

Universidade Federal de Santa Maria  
Ci. e Nat., Santa Maria v.42, e62, 2020  
DOI:10.5902/2179460X39228  
ISSN 2179-460X  
Received 25/07/19 Accepted: 25/11/19 Published:27/08/20



Geo-Sciences

## Panorama geral sobre estudos da influência dos detritos lenhosos na dinâmica de rios do mundo e do Brasil

An overview of studies of woody debris influences on the fluvial dynamics in the world and in Brazil

**Karla Campagnolo<sup>I</sup>**  
**Masato Kobiyama<sup>II</sup>**  
**Fernando Mainardi Fan<sup>III</sup>**

<sup>I</sup> IPH-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, Brasil - kbcampagnolo@gmail.com

<sup>II</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, Brasil -masato.kobiyama@ufrgs.br

<sup>III</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, Brasil -fernando.fan@ufrgs.br

### RESUMO

O espaço compreendido entre o rio e a vegetação existente no seu entorno constitui a zona ripária, sendo que esta área produz detritos lenhosos que modificam a dinâmica fluvial. Estes fragmentos de madeira são chamados de woody debris (WD) na literatura mundial, sendo constituídos por galhos e troncos depositados no canal do rio. Uma das formas que os WD podem modificar a geomorfologia do rio é formando degraus e piscinas, o chamado sistema step-pool. Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi realizar uma revisão bibliográfica sobre detritos lenhosos em rios e identificar os principais enfoques utilizados em pesquisas sobre a ocorrência e monitoramento destes materiais. Observou-se que os WD podem ser encontrados como peças individuais ou formando acumulações, e que existe uma tendência entre os pesquisadores em analisar diâmetro e comprimento das peças, com obtenção do volume total em comprimento de rio. Concluiu-se que existe uma lacuna em relação ao manejo dos detritos lenhosos no Brasil, visto que apenas um bioma (Mata Atlântica) foi abrangido nas poucas pesquisas realizadas. Salienta-se que o conhecimento da dinâmica dos WD pode futuramente ser utilizado na gestão de bacias hidrográficas e em técnicas que visam o manejo de rios.

**Palavras-chave:** Morfologia de canal; Zona ripária; Ecologia de rios

### ABSTRACT

The area between the river and its surrounding vegetation constitutes the riparian zone which produces woody debris (WD) that modifies the fluvial dynamics. The WD is constituted by branches and trunks deposited in the river channel. One of the ways that WD can modify the geomorphology of the river is to form steps and pools (step-pool system). In this way, the objective of the present study was to perform a literature review on woody debris in rivers and, to identify the main focus used in research on the occurrence and monitoring of these materials. It was observed that the WD can be found as individual pieces or forming accumulations, and that there is a tendency among the researchers to analyze the diameter and length of the pieces, obtaining the total volume in length of river. There is a gap regarding the woody debris management in Brazil, because only one biome (Atlantic Forest) was included in the few researches carried out. The knowledge of WD dynamics can be surely used in the future in the watersheds management and for rivers renaturalization.

**Keywords:** Channel morphology; Riparian zone; River ecology

## 1 INTRODUÇÃO

A partir do ponto onde existe a nascente de um rio, sua área adjacente apresenta-se como uma região ambientalmente sensível, que funciona através da interação cíclica de vários elementos naturais. Trata-se da zona ripária, que pode ser definida como uma área onde estão inseridos vegetação, solo e rio (Kobiyama, 2003).

As zonas ripárias são componentes vitais das paisagens, pois atuam como áreas de transição (ou ecótonos) entre o ecossistema fluvial e o seu entorno. Paula et al. (2011) ressaltam que em áreas onde ainda existem florestas remanescentes, essa vegetação ripária deve ser preservada mediante ações que garantam sua sustentabilidade e sucessão natural.

Quando a vegetação é formada por floresta, a zona ripária produz detritos como galhos e troncos, os quais se chamam detritos lenhosos (woody debris – WD).

Estando depositados ou sendo transportados pelo rio, os detritos lenhosos influenciam os processos fluviais. Conforme Abbe & Montgomery (2003), os WD podem modificar a geomorfologia de um rio de três maneiras: na unidade do canal, com a formação de degraus e piscinas (o chamado sistema step-pool); na escala de trecho do canal, com o aumento da largura e diminuição da profundidade; e na escala do vale, com a deposição de sedimentos ou intensificação dos processos erosivos.

Essa alteração na dinâmica ocasionada pelos WD tem uma série de implicações. Uma delas é ecológica e está relacionada com a criação de novos habitat. As funções ecológicas dos WD e as respostas subsequentes da comunidade biológica estão relacionadas com sua distribuição e abundância na zona ripária (Seo et al., 2010).

Outra implicação é relacionada ao meio físico, pela modificação das características do escoamento e da dinâmica dos sedimentos, o que pode interferir até mesmo na evolução da paisagem. Algumas dessas implicações são de abordagem prática, como estudos de recuperação de áreas degradadas, ou para determinação de locais adequados, sem interferências, para medição de vazão.

O conhecimento sobre as interações de WD com os rios é alvo de muitas pesquisas que tem como enfoque as práticas supracitadas. Todavia, este conhecimento encontra-se, de uma forma geral, inconsolidado no contexto brasileiro. Em matéria de conhecimento na literatura mundial, destacam-se revisões como Seo et al. (2010), que apresentaram uma visão geral sobre a dinâmica dos WD ao longo de um gradiente de tamanhos de bacias hidrográficas. Ruiz-Villanueva et al. (2016) também enfatizaram que difundir estudos relacionados à madeira em rios permite a popularização das técnicas de manejo disponíveis.

Condensar o estado da arte sobre um tema permite identificar lacunas no conhecimento. No contexto brasileiro não existe uma definição clara sobre quais são as aplicações atuais destes conhecimentos e quais seriam os rumos desejáveis para a pesquisa deste tipo específico de sedimento fluvial.

Sabendo disso, na presente pesquisa objetivou-se realizar uma revisão bibliográfica sobre os estudos científicos em WD, dinâmica e consequências dessa madeira nos rios com base na literatura mundial. Os bancos de dados consultados na busca por bibliografia a nível mundial foram: Wiley Online Library, Scielo e Google Acadêmico. As buscas foram realizadas para o período de publicações entre 1970 e 2019. Após isso, enfocando nos estudos brasileiros, discutimos tendências e prioridades para pesquisas sobre a ocorrência desses materiais no canal de um rio no Brasil. Desta forma, buscamos direcionar a realização de novos trabalhos no tema.

O presente trabalho está organizado nas seguintes seções: definição da nomenclatura; aspectos gerais; principais enfoques dos trabalhos; influência das geoformas do rio; influência na gestão; e situação dos estudos brasileiros.

## 2 NOMENCLATURA E ASPECTOS GERAIS

A compreensão do funcionamento de um canal fluvial envolve uma série de fatores, e conforme Montgomery & MacDonald (2002), os principais estão relacionados com a sua carga sedimentar, a capacidade de transporte, presença de obstruções de fluxo (como WD) e vegetação ribeirinha. Essa compreensão permite prever potenciais respostas do rio, o que depende de uma avaliação da influência atual e futura de cada um desses fatores principais.

Com foco nas árvores caídas no canal, sabe-se que na literatura existe uma série de nomenclaturas utilizadas em referência a este tema, o que é necessário esclarecer para evitar equívocos na análise dos trabalhos. Além de woody debris, pode-se encontrar, por exemplo, large woody debris (LWD) ou small woody debris (SWD), considerando assim o tamanho da peça (grandes ou pequenas), ou woody debris jams (WDJ), referente a acumulações (ou barramentos).

Em relação à sua abundância, os WD podem estar dispostos como peças individuais ou formando acumulações. As peças individuais são classificadas como sendo de três tipos: membros-chave, referindo-se às peças que servem como obstáculo que retêm outros detritos; membros suportados (peças alojadas) e membros soltos (que preenchem os espaços vazios) (Abbe & Montgomery, 2003). Este tipo de classificação exige experiência por parte do pesquisador.

Ocorre ainda uma tendência entre os pesquisadores em analisar diâmetro e comprimento dos WD, com obtenção da volumetria das peças e volume total em comprimento de leito, tal como Chen et al. (2013), Baillie et al. (2008) e Comiti et al. (2006). Sobre o curso d'água, é comum a aquisição de dados como declividade e sinuosidade do leito, e assim relacionar esses fatores com a abundância desses detritos. Os principais mecanismos de avaliação utilizados são topografia, imagens de satélite, georreferenciamento dos WD e monitoramento da evolução dos barramentos.

O destaque deste tema no meio acadêmico pôde ser observado a partir da década de 1970, ressaltando o trabalho de Keller & Swanson (1979). Nos EUA, o interesse ocorreu inicialmente devido a campanhas de remoção de madeiras para melhorar a navegação em rios (Montgomery & Piégay, 2003). No Brasil, essa questão também é de extremo interesse, pois o desassoreamento de rios é prática comum e a mesma inclui a retirada dos sedimentos de grande porte, como troncos e árvores inteiras, sem considerar as consequências ambientais que esse processo envolve.

Na década de 1990, Nakamura & Swanson (1993) observaram que os efeitos dos WD na morfologia do canal e no armazenamento de sedimentos variavam conforme a largura do rio. Ainda, Nagasaka & Nakamura (1999) concluíram que a temperatura máxima da água no rio analisado aumentou de 22°C para 28°C, e o volume e número de peças de WD substancialmente diminuiu com a canalização do rio e corte da floresta associada, relacionando assim os usos antrópicos da bacia com o estudo de WD.

Em trabalho semelhante realizado na Itália, Ravazzolo et al. (2015) constataram que informações quantitativas e qualitativas sobre WD ajudam a elucidar a interferência das pressões humanas na bacia hidrográfica, e recomendam que mais atenção deve ser dada para as interações entre o acúmulo de peças de madeira, vegetação em pé e dinâmica de canal.

Galia et al. (2018) afirmam que o efeito dos WD nos processos hidrogeomorfológicos de um rio depende das dimensões desses detritos e do canal, bem como da composição florestal na zona ripária. Wohl (2011) também chegou a essa conclusão, pois observou que florestas com maior área basal geravam maior recrutamento de WD. Desta forma, cada ecossistema (dependendo do bioma em que está inserido) responde de uma forma particular à presença desses detritos.

Estudos recentes sobre WD demonstram novas tendências para levantamento dos dados. As conclusões descritas por Atha (2014), por exemplo, foram que o Google Earth, uma ferramenta online gratuita, pode fornecer os dados necessários para se determinar o papel dos WD na transformação de canais, mesmo havendo limitações em relação à qualidade da imagem exportada e sua utilização em aplicações mais robustas de sensoriamento remoto. No Brasil, essa ferramenta é útil apenas para rios onde a floresta não encobre a imagem do canal.

Novas ferramentas são essenciais, buscando assim desenvolver no Brasil uma gestão de bacias hidrográficas que considera também a influência da floresta dentro do rio. Bertoldi et al. (2015) confirmam o impacto das árvores na forma e dinâmica dos canais fluviais, sugerindo que suas contribuições para estes ecossistemas devem ser reconhecidas, e que a conservação da floresta seja incorporada na gestão de rios.

Para investigação do comportamento de WD, muitos autores estimaram a volumetria de madeira existente em trechos de 100 metros no canal, o que permite observar gradientes de entrada de WD, tal como Costigan & Daniels (2013), Baillie e Davies (2002) e Wohl (2011).

Ainda, segundo Costigan & Daniels (2013), há uma tendência em observar o comportamento de diferentes tipos de vegetação ripária (nativa ou exótica, por exemplo) frente ao seu fornecimento de WD. Brooks et al. (2003) observaram que o tipo de vegetação ripária influenciava a largura do canal, sendo que em área de fazendas, a média da largura das seções do canal foi maior que em área com floresta nativa.

Esse resultado pode ser utilizado para comprovação da importância da manutenção de áreas ripárias protegidas, como determina a legislação brasileira através da APP (Área de Preservação Permanente) de rios. Neste sentido, Boyer et al. (2003) confirmam que, em uma bacia hidrográfica, a vegetação ripária faz a conectividade do rio com sua várzea, afetando as taxas de vazão, de migração de canais e a troca de nutrientes entre os fluxos superficiais e subsuperficiais. Esses fatores afetam diretamente a dinâmica das comunidades ribeirinhas.

Desta forma, de acordo com Hogan & Luzi (2010), a remoção da vegetação ripária e seu impacto como fonte de entrada de WD no rio reduz a capacidade do canal de armazenar sedimentos e prolonga assim o tempo para sua restauração. Assim, o conhecimento e o acompanhamento da vegetação ripária são necessários para interpretar a condição de um rio em relação a estados passados e potenciais (Montgomery & MacDonald, 2002).

### 3 PRINCIPAIS ENFOQUES DOS ESTUDOS DE DETRITOS LENHOSOS

São encontrados principalmente três tipos de objetivos na análise da influência dos WD na morfologia e na sedimentologia de canais fluviais. Os enfoques mais comuns são relacionados a seguir.

#### 3.1 Mapeamento

Neste tipo de abordagem, há um levantamento dos WD existentes no trecho de rio analisado e os mesmos são medidos e geolocalizados, para reconhecimento da abundância deste material, e algumas vezes também é feita sua classificação.

Conhecer o tamanho médio dos WD é importante para reconhecer neles as características da vegetação ripária. Desta forma, cada tipo de vegetação deve fornecer uma carga diferente de madeira. Ainda, segundo observaram Iroumé et al. (2018), as peças de WD percorrem longas distâncias durante os períodos de cheia, e seu comprimento total é o principal fator que rege esse transporte.

Destaca-se o trabalho realizado pelos órgãos governamentais e pesquisadores nos EUA. Gomi et al. (2003), no Alasca, descreveram a geometria de degraus em canais de rios, formados por WD, seixos e rochas em diferentes regimes de manejo e perturbação. Para essa análise, a metodologia incluiu a medição do diâmetro a altura do peito (DAP) e composição das espécies vegetais em parcelas ao longo da faixa ripária, relacionando-a diretamente com os detritos no canal.

Em trabalho similar, também nos EUA, Magilligan et al. (2008) buscaram estabelecer as condições para a distribuição, abundância e função dos WD nos rios. Para isso, cada WD com mais de 10 cm de diâmetro médio foi identificado e medido, no canal e na zona ripária, no trecho de rio avaliado. Verificou-se, para cada barramento, se este estava associado ao armazenamento de sedimentos, e cada peça de WD foi demarcada com o Sistema de Posicionamento Global (GPS) para ser incorporada a uma base de dados no Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Essa demarcação dos WD é fundamental para avaliar sua permanência no sistema, bem como a mobilidade. Através de pesquisas no EUA, Wohl (2011) concluiu que em rios íngremes e estreitos, provavelmente o barramento persistirá no rio por, no máximo, 10 anos. Chen et al. (2013) também caracterizaram a distribuição espacial e distribuição acumulativa dos WD e demonstraram o transporte dos mesmos (mobilidade e relação com o fluxo) em rios íngremes de Taiwan.

Seguindo a estratégia de mapeamento, mas com um enfoque diferente, Baillie et al. (2008) descreveram e quantificaram a distribuição espacial de WD em uma bacia florestal, determinando sua influência na morfologia do canal. Mediram o volume das peças, orientação e posição no canal. Galia et al. (2018) também observaram a orientação das peças em relação ao fluxo. Essa informação é importante quando se deseja, por exemplo, colocar troncos de madeira artificialmente em um rio e assim aplicar técnicas de recuperação de rios degradados, pois dependendo da orientação no canal, pode haver maior ou menor retenção de sedimentos.

Observou-se que a maioria dos estudos que objetiva o mapeamento medem os WD com diâmetro maior que 10 cm e comprimento maior que 1 metro (por exemplo, Magilligan et al., 2008 e Iroumé et al., 2015), mas pode ocorrer da quantidade total de pequenas peças de madeira ser maior que aquela de tamanho grande.

As barragens criadas por castores formam um subconjunto particular de madeira dentro dos sistemas fluviais. Embora as peças individuais de madeira dentro dessas barragens possam ser menores do que o limite de tamanho citado acima, a presença deste tipo de barragem cria efeitos físicos e ecológicos semelhantes àqueles associados a grandes WD (Wohl, 2015).

Mao et al. (2008) observaram que apesar do número total de WD (com as mesmas dimensões mínimas) ser comparável ao observado em outros climas, ocorreu menor abundância de madeira em termos de carga volumétrica. Isso acontece devido às dimensões relativamente pequenas das peças de madeira, por sua vez determinadas pelo crescimento lento da floresta, localizada no sul da Argentina.

Então, o levantamento de todos os WD, de qualquer tamanho, seria uma forma mais eficiente de responder diferentes questionamentos. Essa informação é fundamental para estudos com enfoques nos itens 3.2 e 3.3.

#### 3.2 Hidrodinâmica

O estudo da dinâmica rio/vegetação é de extrema relevância, podendo-se medir inclusive o movimento dos WD dentro da zona ripária, e não só no canal, bem como sua interação com o ambiente.

Com essa finalidade, Bertoldi et al. (2013), em estudo na Itália, mediram o recrutamento e a retenção de madeira em escala local com alta resolução temporal, combinando informações de fotografias, levantamentos aéreos e medições de

campo. Com base nas informações obtidas, foi possível compreender o fornecimento de madeira por erosão dos taludes e investigar o seu destino em termos de armazenamento local.

Brooks et al. (2003) forneceram um contexto evolutivo de longo prazo para a mudança do canal do rio, destacando o papel da vegetação e dos WD no comportamento e evolução desse canal. Ravazzolo et al. (2015) ao explorar as características, abundância, distribuição e efeitos geomórficos dos WD, puderam relacionar o grau de pressões humanas com a natureza e abundância de WD nos canais.

No caso da abordagem hidrodinâmica, observou-se que a medição de vazão em campo é fundamental. O conhecimento sobre o funcionamento de um ecossistema através do monitoramento de campo é de extrema importância e deve ser incentivado em todas as esferas da pesquisa.

Tal como fizeram Iroumé et al. (2018) por mais de oito anos, em quatro córregos chilenos, mais de 1.000 peças de madeira foram etiquetadas. Assim, puderam aprofundar a compreensão dos principais fatores que controlam a dinâmica desses materiais, como deslocamento, deposição e seu reposicionamento após inundações.

É comum que rios de cabeceiras florestadas sejam estreitos e com o dossel fechado pela copa das árvores. Assim, os processos biológicos terrestres e aquáticos são intimamente interligados, e os materiais orgânicos (como serapilheira e detritos lenhosos) afetam os processos biológicos desses sistemas (Gomi et al., 2002).

Além da hidrodinâmica, alguns parâmetros físico-químicos da água, tais como temperatura, pH e condutividade elétrica deveriam ser também avaliados. Fantin-Cruz et al. (2010) relataram que alterações térmicas impostas a um rio atuam diretamente na estrutura de suas comunidades biológicas e processos ecossistêmicos.

### 3.3. Simulação

A dinâmica da madeira em rios reflete processos paisagísticos complexos que diferem por região geográfica, intervalo de tempo, regime hidrológico, geologia da bacia, forma do canal, estrutura da rede de drenagem, tipo de floresta, processos de perturbação e interferência humana (Gregory et al., 2003).

Desta forma, os modelos de simulação são uma ferramenta importante, desenvolvida nas últimas décadas para explorar implicações de longo prazo ou em grande escala da dinâmica da madeira em diferentes cenários.

#### 3.3.1 Balanço (Budget)

O fornecimento, armazenamento e transporte de WD em rios pode ser entendido em termos de um balanço de massa, também chamado de orçamento quantitativo de madeira. O monitoramento da taxa deste recrutamento é realizado de forma a avaliar a importância de todos os processos envolvidos. Entre eles, está mortalidade natural, tempestades de vento, incêndios florestais, erosão de margens ou deslizamentos de terra (Benda et al., 2003).

Neste sentido, para avaliar o balanço de madeira em rios do norte da Califórnia, Benda & Bigelow (2014) utilizaram, entre outros fatores, um modelo para prever a distância média percorrida pelos WD. Assim, verificaram que o recrutamento das maiores peças de WD se dava principalmente pela erosão de taludes em florestas manejadas e por mortalidade natural em florestas não manejadas. Essa informação é importante para conhecimento dos impactos das florestas plantadas.

Segundo Benda et al. (2003) o cálculo do fornecimento de madeira pode ser usado para prever como variações no manejo do solo afetam a abundância e distribuição de WD para regiões específicas. Como essas variações mudam dependendo do local, os parâmetros da modelagem devem representar também esses diferentes coeficientes.

Outra abordagem que pode ser feita é integrar os dados a modelos numéricos de simulação para estimar as flutuações temporais do suprimento de madeira ou as taxas de mortalidade florestal. Assim, podem-se construir hipóteses do fornecimento de madeira em diferentes climas, tamanho da bacia, topografia, tamanhos de WD (considerando os de pequeno porte) e manejo do solo.

#### 3.3.2 Simulação Computacional

A utilização de modelos para simular o comportamento de WD nos rios é usual em trabalhos acadêmicos que buscam a geração de mapas de índice de risco e foi feita, por exemplo, por Mazzorana et al. (2009). Os autores classificaram as bacias hidrográficas de acordo com sua propensão para arrastar e transportar material lenhoso. Neste tipo de abordagem, é fundamental a existência de MDT's (Modelos Digitais de Elevação) de alta resolução, que permitam a obtenção de dados detalhados de cobertura florestal (como alturas de árvores e densidades de dossel).

Lancaster et al. (2003) usaram um modelo simplificado para analisar se a madeira tem um efeito significativo no escoamento de detritos em pequenas bacias hidrográficas montanhosas. Os autores executaram-no dentro do modelo de escala de paisagem, e assim puderam descrever um fluxo de detritos e estimar os efeitos da remoção desta madeira no

escoamento.

Em relação à adição de WD em rios com o objetivo de melhorar a retenção de sedimentos, Wallerstein (2003) afirma que estas acumulações deveriam ser projetadas incluindo estimativas das taxas de saída e de deposição desses sedimentos, bem como da evolução da erosão. Para fazer essa análise, o autor usou-se de um modelo unidimensional baseado nas equações da continuidade do sedimento, resistência ao escoamento e transporte de sedimentos. Uma limitação deste tipo de modelagem é que as entradas laterais de sedimentos não são conhecidas, as quais tornariam a taxa de erosão mais lenta.

Ruiz-Villanueva et al. (2014a) analisaram um evento de inundação ocorrido em 1997 em um rio da Espanha, onde uma grande quantidade de WD foi transportada. O objetivo foi simular um processo de entupimento de uma ponte e reconstruir os padrões de depósito da madeira. Para isso, utilizaram um modelo numérico bidimensional que simula o transporte de WD e seu efeito na hidrodinâmica fluvial, sendo que este mostrou ser uma ferramenta eficaz.

Em relação aos estudos brasileiros, constatamos que há um grande campo de estudo em relação ao bloqueio de canais pelas pontes, por exemplo, através da modelagem.

A questão sobre WD é relacionada analogamente aos processos erosivos, ou seja, desagregação, transporte e deposição. A maior parte das simulações é voltada ao transporte. Então, deveriam ser simuladas também desagregação (entrada dos WD no sistema fluvial) e deposição das peças lenhosas (em relação à sua orientação dentro do rio).

### 3.3.3 Simulação física em laboratório

Uma alternativa que surge ao levantamento de campo propriamente dito é a utilização de simuladores ambientais com parâmetros controlados em laboratório, tal como fez Bocchiola (2011), ao avaliar as modificações de um fluxo com a introdução de WD. O autor demonstrou que a madeira no canal aumenta a disponibilidade de habitat para a colonização por Trutas. No entanto, outras espécies podem ter respostas diferentes, e, além disso, este estudo negligenciou os efeitos indiretos da madeira sobre a preferência do habitat, como sombreamento.

Hasegawa et al. (2010) conduzindo o experimento em um canal de seção transversal retangular, confirmaram a influência de WD em um fluxo de detritos, pois observaram que os mesmos ficam misturados com os demais detritos na parte frontal do fluxo, prendendo-se nos taludes e bloqueando-o, formando assim um barramento temporário no canal do rio.

Neste sentido, calibrando um modelo numérico bidimensional com os resultados de um canal experimental, Shrestha et al. (2012) também analisaram fluxos de detritos contendo WD e compararam a resultados onde o componente madeira foi retirado, no enfoque de avaliação do potencial danoso destes fluxos. Sabe-se que o uso da modelagem na análise de fluxo de detritos é comum em países que têm maiores registros de ocorrência destes eventos.

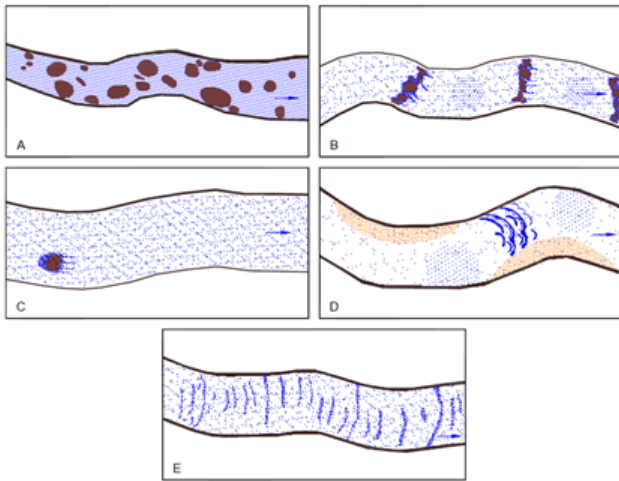
Para avaliar o transporte de WD mais detalhadamente, Watanabe et al. (2013) realizaram um experimento laboratorial com canal fluvial com enfoque de WD de diferentes espécies. O resultado demonstrou que diferentes densidades de detritos, dependendo da espécie, afetam o regime de transporte e conseqüentemente gera uma distinta forma de acumulação.

## 4 CLASSIFICAÇÃO DOS RIOS E SUAS FORMAÇÕES

Um canal fluvial pode apresentar diferentes formas geomórficas, dependendo do ambiente em que está inserido. São sistemas complexos, que desafiam uma simples classificação, pois esta depende da finalidade e do tipo de dados disponíveis, sendo essencialmente subjetiva.

Hassan et al. (2005) ressaltam que vários métodos de classificação de rios têm sido sugeridos, sendo baseados em características hidrológicas, geomorfológicas e ecológicas do sistema fluvial. Montgomery & Buffington (1997) caracterizaram de uma forma simples a morfologia de canais fluviais (Figura 1).

Figura 1 – Morfologias do canal fluvial: (A) canal em cascata, com fluxo turbulento em torno de grandes sedimentos; (B) *step-pool*, com fluxo sequencial turbulento antes e depois das quedas e lento nas piscinas; (C) *plane-bed*, uma rocha única com fluxo uniforme; (D) *pool-riffle*, fluxo altamente turbulento através de cascatas e lento nas piscinas; e (E) *dune-ripple*, com formas de dunas.



Fonte: Baseado em Montgomery & Buffington (1997)

Outra classificação geomorfológica muito utilizada é a de Rosgen (1994), que se baseia na correta identificação do nível de margens plenas. A identificação desse nível em trechos com grandes acumulações de WD é difícil, pois essas formações alteram o regime hidrológico e a produção de sedimentos, modificando assim a geometria e os processos erosivos e deposicionais da calha fluvial.

Tadaki et al. (2014) explicaram que para a classificação de um rio é necessário identificar unidades estruturais funcionais, ligando assim a forma ao processo e permitindo que características comportamentais sejam extrapoladas para diferentes cenários. Desta forma, em teoria, se um tipo de rio for sustentado pelos mesmos processos dominantes, ele provavelmente reagirá de maneira similar a mudanças nos componentes do sistema ou nas condições de entorno.

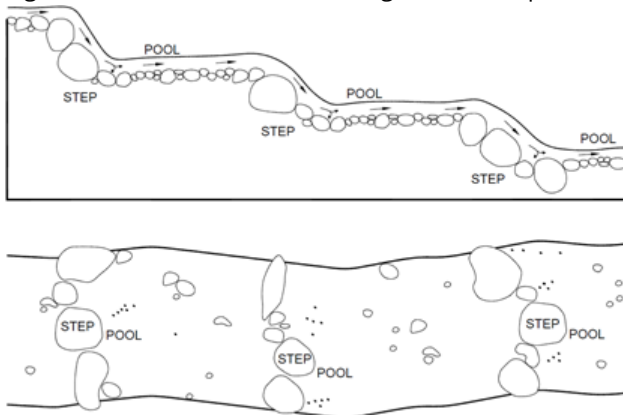
Para Gomi et al. (2003), características como a localização da área, nível de degradação e taxa de deposição dos sedimentos e dos WD provenientes de deslizamentos e fluxos de detritos modificam a estrutura geomorfológica dos canais fluviais.

Sabendo disso, entre os tipos de leito fluvial, alguns são mais impactados pela presença de WD, destacando-se step-pool e dune-ripple, os quais comumente se encontram em ambientes montanhosos (Wohl, 2010). Estes são discutidos a seguir.

#### 4.1. Formação step-pool e detritos lenhosos

Buffington & Montgomery (2013) caracterizaram um canal fluvial do tipo step-pool como aquele onde ocorre uma repetição de sequências de degraus e piscinas, que podem ser formadas por WD, rochas ou pedregulhos acumulados. Os típicos perfis transversal e longitudinal de uma sequência step-pool encontram-se na Figura 2.

Figura 2 - Perfis transversal e longitudinal, respectivamente, de uma sequência *step-pool*



Fonte: Baseado em Lenzi (2001)

Uma sequência step-pool é característica marcante de um rio de cabeceira com declividade média superior a 3% (Gomi et al., 2003). Trata-se de uma geoforma observada em diferentes paisagens. Nos canais em que ocorrem, os step-pool adicionam maior estabilidade a um fluxo do que esse teria com os mesmos sedimentos e declive constante.

Comiti et al. (2005) comentaram que em canais com step-pool o fluxo é impulsionado pela gravidade através dos

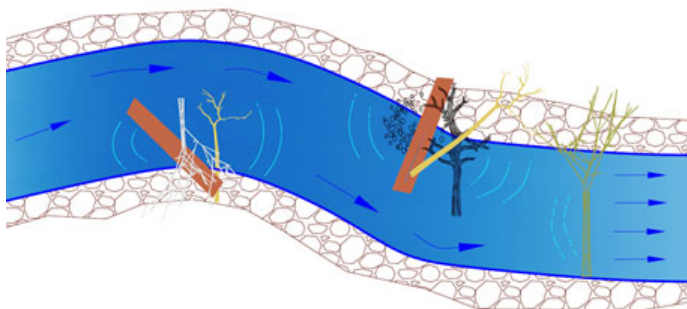
degraus, e há uma difusão da energia do escoamento logo abaixo, nas piscinas, de maneira constante, onde a piscina é moldada pelo fluxo e o material do leito é então arrastado e removido.

Ressalta-se que a ocorrência de piscinas em um canal normalmente é devido a um processo à montante, que muitas vezes é um tronco caído. Buffington & Montgomery (2013) complementam que a amplitude e o comprimento dos step-pools podem ser ajustados para maximizar a resistência hidráulica e equilibrar as taxas de fornecimento de sedimento e transporte de carga do leito. Neste sentido é que surge a importância do conhecimento da interferência da presença da madeira nesses canais.

Existem diversas teorias que explicam a origem, a dinâmica de formação e a evolução das estruturas de step-pool, mas segundo Lenzi (2001) a maioria delas converge no sentido de que estas formações surgem em grandes vazões. Entretanto, em revisão sobre o tema, Chin & Wohl (2005) ressaltam que mais pesquisas são necessárias para explicar a sua formação e manutenção nos diferentes ambientes.

É comum que grandes vazões transportem WD, podendo ser até árvores inteiras, de modo que essas estruturas podem então formar degraus e piscinas no rio (Figura 3).

Figura 3 – Formação de *step-pool* em rios de pequeno porte através da presença de detritos lenhosos no canal



Embora os degraus de WD ocupem uma pequena porcentagem do canal, seus efeitos são relevantes (Keller & Swanson, 1979). Observa-se que esses degraus têm características diferentes daqueles formados pela rocha do leito, já que os WD são susceptíveis ao apodrecimento ao longo do tempo, a uma taxa que depende de vários fatores como o clima e a densidade da madeira.

Mao et al. (2008) concluíram que as acumulações de WD são responsáveis por criar piscinas maiores do que seria possível por degraus formados por pedregulhos, redução da declividade total do trecho analisado em cerca de 25%, dissipação da energia potencial em aproximadamente 25% e armazenamento de sedimentos na ordem de 1000 m<sup>3</sup>/km.

Em relação aos WD e step-pool, Chin & Wohl (2005) destacaram que o aumento na abundância de madeira em um rio montanhoso tem um efeito mais intenso na resistência ao fluxo e no armazenamento de sedimentos, se esta madeira formar degraus.

Curran & Wohl (2003) dizem que em canais florestais de step-pool, o principal componente da resistência total é o grande WD, pois esses detritos exercem um controle indireto por acentuar a altura do degrau.

#### Formação dune-ripple e detritos lenhosos

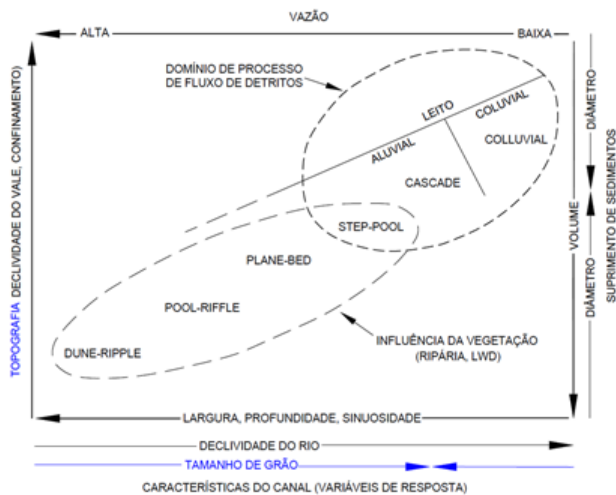
Rios classificados como do tipo dune-ripple apresentam normalmente leito de areia e pouca declividade (Montgomery & Buffington, 1997). Apesar de serem recorrentes entre muitos biomas, estudos com leito dune-ripple são minoria, sendo preteridos à análise dos step-pool.

Como possuem uma capacidade de transporte limitada, grandes detritos depositados no canal, como WD, podem alterar severamente o fluxo do rio e influenciar de forma significativa a geomorfologia desse canal, conforme demonstrou Buffington (2012) (Figura 4).

O autor sinalizou as formas geomorfológicas que sofrem maior influência da vegetação ripária, sendo uma delas a dune-ripple. Isso ocorre porque em rios com formação arenosa, ou seja, grãos de pequeno diâmetro, mas grande volume, além de pouca largura, essa interferência da madeira é maior, o que não ocorre em rios de grande largura e profundidade.

Figura 4 – Morfologia do canal em função das condições da bacia hidrográfica. *Dune-ripple, pool-riffle, plane-bed, step-pool, cascade, colluvial*





Fonte: baseado em Buffington (2012)

Wondzell & Gooseff (2013) afirmam que os processos hidrodinâmicos dominam em rios com leitos relativamente móveis, caracterizados por dune-ripple. Conforme os autores, como há pouca declividade longitudinal, a morfologia destes canais tende a não criar gradientes hidrostáticos acentuados.

## 5 INFLUÊNCIA NA GESTÃO

Os estudos de WD surgiram no ambiente científico. Entretanto, paralelamente a sociedade em geral tem se interessado em compreendê-los e aplicar seus conhecimentos na prática. Trata-se de uma tendência global, onde recursos da própria natureza ajudam a recuperar ambientes danificados ou apenas ajudam a harmonizar um ambiente degradado. Aqui se apresenta duas aplicações do conhecimento sobre WD.

### 5.1 Subsídios ao manejo de rios

Os WD são um componente natural vital dos cursos d'água. No entanto, sua presença levou gestores fluviais italianos (muitas vezes pressionados pela população local) a removê-los dos rios. Essa ação era justificada como medida para redução da retenção de sedimentos e, conseqüentemente, do risco de inundações. Na verdade, não possuía uma abordagem científica sólida e a lógica econômica (custo-benefício) é discutível (Comiti et al., 2011). As mesmas justificativas são observadas no gerenciamento tradicional realizado no Brasil.

A vegetação ripária é uma condição do ambiente desenvolvida e mantida naturalmente através da integração de várias características, como solo, umidade e microclima. Observa-se que a resistência dos taludes, os elementos de rugosidade do canal (como WD) e a resistência geral ao fluxo são influenciados pela comunidade ripária e determinantes para este ecossistema (Rosgen, 2011).

Conforme analisado por Ruiz-Villanueva et al. (2014b), até recentemente, a prática de remover sistematicamente os WD dos rios era amplamente aceita como medida preventiva. No entanto, estudos demonstraram que esta prática é ineficaz, já que após cada inundação o material é transportado e depositado novamente, podendo afetar o equilíbrio natural do ecossistema ripário em longo prazo.

Portanto, a presença deste material lenhoso nos rios deve ser gerenciada eficientemente. Por exemplo, se a maioria se apresentar como árvores inteiras, estas podem ser retiradas, e esse fator pode ser um indicativo de que estejam ocorrendo intensos processos de erosão nas margens nesta bacia.

Sendo assim, onde os WD ocorrem naturalmente, desde que seja de forma estável, não causando erosão excessiva, risco de inundação ou barrando a passagem de peixes, eles devem ser mantidos, para que a dinâmica natural seja perpetuada.

A lista de funções da madeira no canal é extensa, e esta importância tem sido demonstrada em diversos estudos que envolvem os efeitos na dinâmica e morfologia do canal, na ciclagem de nutrientes e no habitat e biota.

Fernandez et al. (2010), em trabalho realizado no oeste do Paraná, comprovaram que pode-se utilizar WD como técnica para manejo de rios. Essa metodologia também foi utilizada para restauração das funções ecológicas do Rio Mangaraí (ES), onde troncos de eucalipto foram depositados artificialmente no canal para melhorar a qualidade da água, recriar habitats e aumentar a biodiversidade desse rio (Pinto et al., 2017).

Em revisão sobre o tema, Roni et al. (2015) destacaram que a madeira é um importante componente ecológico em rios

e, ainda, quando buscam a renaturalização, a maioria das estruturas em madeira permanecem estáveis em canais por mais de uma década. Os autores também concluíram que a colocação artificial de madeira leva a melhorias nas características do habitat físico, como aumento de piscinas, cobertura e complexidade de habitat, especialmente quando combinadas com um cenário geomorfológico apropriado.

Sutili et al. (2018) trazem um novo viés, e ressaltam que na impossibilidade de recuperação natural da vegetação, também os trabalhos de remodelagem dos taludes, estabilização do solo e recobrimento vegetal induzido se mostram necessários, a fim de contornar os inúmeros problemas decorrentes dos impactos negativos da erosão em taludes fluviais.

Diversos manuais ilustram as funções da madeira em rios. Por exemplo, Schuett-Hames et al. (1999) e Giordanengo et al. (2016). Esse último trata-se do Manual Técnico para rios do Colorado (EUA), que enfatiza que barramentos de WD proporcionam habitat e estabilização do ecossistema até que a vegetação ripária e as encostas estáveis possam ser restabelecidas.

A partir do conhecimento existente, os projetos de recuperação são desenvolvidos de forma a possibilitar que o ambiente fluvial tenha condições de se autodesenvolver depois de criadas as condições básicas. Ou seja, o princípio da recuperação não deve ser a reconstrução total do dano causado ao meio, mas sim, dar condições ao ecossistema de tornar-se autossustentável. (Souza & Kobiyama, 2003).

Paixão et al. (2017) ressaltam que o sucesso na renaturalização de um rio traz a saúde dele, demonstrando assim a importância da geomorfologia fluvial também no saneamento ambiental. Ainda, conforme enfatiza Boyer et al. (2003), os gestores ambientais devem reconhecer a natureza dinâmica do ecossistema ripário, ao considerar o tempo necessário para restaurar suas funções ecológicas em um cenário em constante mudança.

## 5.2 Influência em desastres naturais

Segundo Kobiyama et al. (2012), reconhecer os papéis que a floresta exerce no ambiente possibilita seu uso e manejo adequado também no contexto do gerenciamento de desastres naturais. Diversos fenômenos como inundações e escorregamentos ocorrem devido a características como, por exemplo, vegetação, topografia e tipo de solo. Quando esses fenômenos ocorrem em locais habitados e provocam danos materiais ou humanos, são tratados como desastres naturais.

No Brasil, provavelmente por possuir grandes territórios de floresta tropical, a maioria dos fluxos de detritos é lenhosa, enquanto que em países europeus ou no Japão eles são rochosos (Kobiyama et al., 2018).

A ocorrência desses eventos não é rara, conforme descreveu Kobiyama et al. (2008). Durante um evento de chuva intensa, pode acontecer um ou vários deslizamentos, e a massa movimentada, constituída de solo, rocha e vegetação, chega ao rio e enterra seu leito, funcionando como um barramento. Se a barragem se destrói, ocorre enxurrada ou fluxo de lama, causando danos à jusante.

Desta forma, quando uma árvore cai próximo ou dentro do canal do rio, sua função no ecossistema muda completamente, pois a presença dos WD aumenta o poder destrutivo do fluxo de detritos e conseqüentemente aumenta o dano associado. Assim, a floresta pode exercer efeitos positivos e negativos para um mesmo fenômeno natural (Kobiyama et al., 2012), que é a morte de um exemplar na zona ripária.

Moos et al. (2018) também entendem que a floresta desempenha um papel duplo e contraditório em relação aos WD. Para os autores, um exemplo são as inundações que transportam grandes detritos de madeira, que podem ter efeitos devastadores consideravelmente maiores em comparação com as inundações que transportam apenas sedimentos. Quando as margens são ocupadas por atividades humanas, o processo natural de cheias e a morte de indivíduos vegetais potencializam ainda mais o risco de desastres.

Comiti et al. (2011), ao analisarem as mudanças morfológicas de um rio localizado nos Alpes Italianos, também descreveram os potenciais aspectos negativos dos WD, entre eles o aumento da rugosidade total no canal em altas vazões, possivelmente levando a inundações mais frequentes, e maior entrega de elementos de madeira potencialmente perigosos a jusante, em seções potencialmente críticas, como pilares de pontes.

Para Ruiz-Villanueva et al. (2014b), quando os WD interagem com estruturas como pontes, a formação de entupimentos ou barragens pode levar a sérias conseqüências durante eventos de inundação. Mas este e outros trabalhos muitas vezes relacionam o risco de inundação a grandes árvores inteiras, ou seja, grandes WD, sendo que detritos menores teriam menos interferência nessas infraestruturas.

Ruiz-Villanueva et al. (2014a) demonstraram como o impacto (em termos de profundidade da água e áreas alagadas) de uma inundação repentina pode aumentar consideravelmente devido ao transporte de grandes quantidades de madeira e sua interação com pontes. Entretanto, os autores analisaram apenas um evento, ocorrido em 1997, em um rio de

cabeceira espanhol, mas puderam comprovar que a influência dos WD não deve ser descartada de análises de inundação, ao menos em bacias que cruzam áreas florestais.

Não é discutível o papel que a vegetação desempenha nos ecossistemas ripários. Existe um consenso na literatura científica de que as florestas oferecem a redução de múltiplos riscos e que os custos de manutenção de uma floresta de proteção são extremamente baixos quando comparados às medidas estruturais (Moos et al., 2018). Mas os riscos associados à geração de WD em eventos de inundação e fluxos de detritos não podem ser negligenciados.

## 6 ESTUDOS DE DETRITOS LENHOSOS NO BRASIL

Ressalta-se a importância da realização de estudos sobre WD em rios, para que se possam fazer recomendações cientificamente embasadas de manejo das bacias hidrográficas brasileiras, principalmente em termos de bioma e mecanismos de avaliação.

Algumas abordagens de avaliação dos WD realizadas no Brasil, estritamente no bioma Mata Atlântica, são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Trabalhos sobre detritos lenhosos no Brasil

| Autor                     | Local   | Objetivos  | Metodologia   |
|---------------------------|---|--|---|
| Fernandez (2004)          | Córrego Guavirá<br>Marechal Cândido Rondon (PR)                               | Discutir o papel dos WD na retenção de sedimentos de fundo e na formação de unidades soleira-depressão no rio.                                       | Levantamento topográfico de barramentos com WD; análise de fundo; medição de largura  |
| Binda & Lima (2008)       | Rio das Pedras e rio Guabiroba<br>Guarapuava (PR)                             | Demonstrar o papel dos WD sobre a morfologia e processos fluviais.   | Análise visual  |
| Fernandez et al. (2010)   | Córregos Quati, Santa Fé e Aurora<br>Palotina (PR)                            | Avaliar os efeitos de estacas de madeira na morfologia do leito e na fauna de macroinvertebrados.  | Instalação de estações topográficas (perfis verticais) e sedimentológicas do canal e da fauna   |
| Binda e Fernandez (2010)  | Rio Guabiroba<br>Guarapuava (PR)  | Analisar a influência dos WD na configuração espacial de soleiras e depressões em trecho de rio.   | Caracterização do canal mediante topografia e profundidade do canal e de detritos   |
| Binda & Fernandez (2011a) | Rio Guabiroba<br>Guarapuava (PR)  | Verificar a influência de acumulações de detritos lenhosos na morfologia do leito.   | Monitoramento de perfis e jusante de acumulações  |
| Binda & Fernandez (2011b) | Rio Guabiroba<br>Guarapuava (PR)  | Analisar as acumulações de WD e sua influência na morfologia do rio.   | Instalação de seção batimétrica e elaboração de técnicas de geoplano  |
| Dias & Thomaz (2011)      | Rio Guabiroba<br>Guarapuava (PR)  | Observar a interferência dos WD em alguns parâmetros da dinâmica fluvial em áreas marginais.   | Análise do fluxo, variação de quantidade e volume de detritos, granulometria e morfologia do leito, e caracterização de áreas marginais |
| Paula et al. (2011)       | Rio Corumbataí<br>Rio Claro, Ipeúna, Charqueada, Corumbataí e Piracicaba (SP) | Avaliar os efeitos de mudanças na floresta ripária na oferta de LWD e na estrutura de canais em rios tropicais.                                      | Geolocalização, levantamento de canal, dados hidrológicos e medição de volume de detritos   |
| Fernandez & Binda (2012)  | Rio Guabiroba<br>Guarapuava (PR)  | Análise do papel destes detritos nos processos de erosão e deposição no leito fluvial.   | Medição de diâmetros e classificação de detritos  |
| Faria (2014)              | Rios sem denominação específica no maciço da Tijuca<br>Rio de Janeiro (RJ)    | Observar a capacidade dos canais para transportar sedimentos em ambientes florestados, a dinâmica das partículas e as consequências do desmatamento. | Diferentes técnicas para medição de calhas perenes e intermitentes regulares e torrenciais, medição de sedimentos de fundo              |
| Arndt e Fernandez (2017)  | Córregos Guavirá, Guará, Matildecuê e Apepu<br>Marechal Cândido Rondon (PR)   | Conhecer os aspectos morfológicos e hidráulicos de mesohabitats aquáticos em córregos urbanos.   | Medição de largura, velocidade do fluxo, declividade da seção e frequência de Fr  |

Ressalta-se a atuação de universidades do Paraná, onde ocorreu a maioria dos trabalhos (Figura 5).

Em estudos no rio Guabiroba (PR), Binda & Fernandez (2010, 2011a e 2011b) analisaram os WD através de levantamento geométrico, inspeção visual, definição da morfologia e da variação do leito, classificação dos segmentos com acumulações de WD, geoprocessamento e monitoramento de perfis transversais junto das acumulações. Esses

trabalhos alcançaram seu objetivo de verificar a influência das acumulações de WD na morfologia do canal do rio e, portanto, estas metodologias servem como exemplo para serem replicadas nos demais biomas brasileiros.

Figura 5 – Distribuição de trabalhos sobre WD realizados no Brasil



Fonte dos dados de biomas: IBGE

As práticas com base na dinâmica de WD, como a recuperação de rios, devem ser adequadas para cada região brasileira. Isso ocorre na medida em que cada bioma possui características especiais de pluviosidade anual ou tamanho dos WD, por exemplo, o que pode alterar o comportamento desses detritos e suas interferências na geomorfologia fluvial.

Silva et al. (2016) estimaram a produção e o estoque de grandes detritos lenhosos em diferentes tipos de florestas não perturbadas, em duas bacias da porção norte da Amazônia brasileira. Neste trabalho, o ambiente de coleta dos autores era trilhas ao longo das bacias, bem como parcelas permanentes na floresta, e não especificamente dentro dos canais fluviais.

Watanabe et al. (2013) confirma que o tipo de espécie pode influenciar a dinâmica dos WD. Portanto, apesar de pouco usual, considerar o tipo de vegetação e suas diferenciações, como a forma das raízes e da copa, ao seu comportamento quando essa madeira se torna WD, deveria ser mais bem explorada (Campagnolo et al., 2018).

Itoh et al. (2010) analisaram esta diferenciação focando nos diferentes valores de peso específico para coníferas e folhosas do Japão, já que coníferas tendem a apresentar uma fase sólida flutuante, e folhosas, submersa. Os testes demonstraram que a influência do peso específico sobre o movimento da madeira é significativo. No Brasil, poderia se observar a diferenciação da araucária, uma conífera nativa notória, frente ao restante das espécies.

No Chile, Iroumé et al. (2018) mediram o comprimento e o diâmetro dos WD, e também as peças foram classificadas de acordo com grupos de espécies (latifoliadas, coníferas), tipo (com raízes anexadas, árvores inteiras, galhos, etc.) e posição no canal.

Um tema que ainda não foi abordado no Brasil é a influência dos WD nas taxas de troca do rio com a sua zona hiporreica. Para Tonina & Buffington (2009), a importância dos WD nessas trocas depende de sua frequência, tamanho e orientação dentro do canal.

Em estudo utilizando simulação física, Mutz et al. (2007) observaram que os WD causaram um aumento significativo nessas trocas hiporreicas. Destaca-se assim sua importância potencial, já que, segundo Kobiyama (2003), a zona hiporreica trata-se de uma parte da zona ripária.

Para Gomi et al. (2002) as trocas que ocorrem na zona hiporreica podem ser potencializadas quando sedimentos e WD acumulam-se nas confluências, mas este assunto não foi profundamente analisado pelos autores.

Indiretamente, muitos trabalhos abordam a influência da vegetação ripária para o ecossistema fluvial, apesar de não discutirem diretamente os WD, mas a engenharia natural em si, tal como Sousa & Sutili (2013). Segundo os autores, a engenharia natural constrói estruturas para estabilização de margens de cursos d'água utilizando materiais naturais, como troncos de árvores.

## 7 CONCLUSÕES

A partir da revisão bibliográfica empreendida no presente trabalho, observamos que os estudos de ocorrência e

manejo dos WD são uma área de pesquisa difundida e consolidada mundialmente, utilizando-se de diferentes enfoques no campo de estudo, principalmente mapeamento, análise da hidrodinâmica ou simulação. Diversos manuais técnicos auxiliam no manejo de WD e sua aplicação no manejo de rios, ocorrendo também uma tendência em se utilizar este conhecimento na gestão de bacias hidrográficas.

Ao depositar-se no canal, uma árvore pode mudar completamente a dinâmica desta seção, inclusive dos sedimentos. Assim, a presença de possíveis WD deve ser considerada na escolha da seção para medições hidrológicas, e não apenas a presença de corredeiras ou curvas no canal.

Ainda, a remoção sistemática dos WD dos canais trata-se de uma prática ineficaz, já que após cada inundação o material é transportado e depositado novamente, podendo afetar o equilíbrio natural do ecossistema ripário em longo prazo. Entretanto, aumenta o poder destrutivo do fluxo de detritos e conseqüentemente aumenta o dano associado. Portanto, o desenvolvimento de estudos brasileiros deve direcionar a gestão de rios, considerando as particularidades de cada bioma.

Finalmente, sob o ponto de vista de gestão de recursos hídricos, de desastres naturais e de bacias hidrográficas, chamamos a atenção para a importância do assunto, encorajando pesquisas principalmente nas seguintes linhas:

- Tempo de permanência dos WD nos rios, desenvolvendo estudos com acompanhamento ao longo de vários anos. Conjuntos de dados nesse formato são escassos no Brasil e essenciais para uma melhor compreensão da dinâmica dos WD;
- Modelagem do transporte de WD em rios e das flutuações temporais do suprimento de madeira;
- A orientação do WD no canal é importante quando se deseja colocar troncos de madeira artificialmente em um rio, e assim aplicar técnicas de recuperação de rios degradados, pois pode haver maior ou menor retenção de sedimentos;
- O fornecimento de WD por florestas plantadas pode ser comparado com o de florestas nativas, relacionando às diferentes taxas de mortalidade;
- Análise da influência dos WD nas taxas de troca do rio com a sua zona hiporreica;
- Monitoramento de campo é de extrema importância e deve ser incentivado em todas as esferas da pesquisa.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Programa Pró-Recursos Hídricos, Chamada nº 16/2017, Projeto 88881.144918/2017-01.

## REFERÊNCIAS

ABBE, T.B. & MONTGOMERY, D.R. Patterns and processes of wood debris accumulation in the Queets river basin, Washington. *Geomorphology*, v. 51, p. 81-107, 2003.

ARNDT, M.A. & FERNANDEZ, O.V.Q. Caracterização morfológica e hidráulica de mesohabitats em córregos de Marechal Cândido Rondon, oeste do Paraná. *Revista Equador*, v. 6, n. 1, p. 108-133, 2017.

ATHA, J.B. Identification of fluvial wood using Google Earth. *River Research and Applications*, v. 30, p. 857-864, 2014.

BAILLIE, B.R. & DAVIES, T.R. Influence of large woody debris on channel morphology in native forest and pine plantation streams in the Nelson region, New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, v. 36, p. 763-774, 2002.

BAILLIE, B.R.; GARRETT, L.G. & EVANSON, A.W. Spatial distribution and influence of large woody debris in an old-growth forest river system, New Zealand. *Forest Ecology and Management*, v. 256, p. 20-27, 2008.

BENDA, L. & BIGELOW, P. On the patterns and processes of wood in northern California streams. *Geomorphology*, v. 209, p. 79-97, 2014.

BENDA, L.; MILLER, D.; SIAS, J.; MARTIN, D.; BILBY, R.; VELDHUISEN, C. & DUNNE, T. Wood recruitment processes and wood budgeting. *American Fisheries Society Symposium*, v. 37, p. 49-73, 2003.

BERTOLDI, W.; GURNELL, A.M. & WELBER, M. Wood recruitment and retention: The fate of eroded trees on a braided river explored using a combination of field and remotely-sensed data sources. *Geomorphology*, v. 180-181, p. 146-155, 2013.

BERTOLDI, W.; WELBER, M.; GURNELL, A.M.; MAO, L.; COMITI, F. & TAL, M. Physical modelling of the combined effect of

vegetation and wood on river morphology. *Geomorphology*, v. 246, p. 178-187, 2015.

BINDA, A.L. & FERNANDEZ, O.V.Q. Detritos lenhosos e sequência de soleiras e depressões no Rio Guabiroba, Guarapuava-PR. *Geografia*, v. 35, n. 2, p. 411-422, 2010.

BINDA, A.L. & FERNANDEZ, O.V.Q. Acumulações de detritos lenhosos e mudanças na morfologia do canal fluvial no rio Guabiroba, Guarapuava (PR). *Geografia*, v. 20, n. 1, p. 31-50, 2011a.

BINDA, A.L. & FERNANDEZ, O.V.Q. Morfologia de leito e processos erosivo-deposicionais em áreas afetadas por acumulações de detritos lenhosos: Rio Guabiroba, Guarapuava/PR. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 12, n. 2, p. 105-115, 2011b.

BINDA, A.L. & LIMA, A.G. Morfologia e processos fluviais: o papel dos detritos lenhosos. *Boletim Goiano de Geografia*, v. 28, n. 2, p. 59-74, 2008.

BOCCHIOLA, D. Hydraulic characteristics and habitat suitability in presence of woody debris: A flume experiment. *Advances in Water Resources*, v. 34, p. 1304-1319, 2011.

BOYER, K.L.; BERG, D.R. & GREGORY, S.V. Riparian Management for Wood in Rivers. In: Gregory, S.V., Boyer, K.L., Gurnell, A.M. (Eds.), *The Ecology and Management of Wood in World Rivers*. American Fisheries Society Symposium, v. 37, p. 407-420, 2003.

BROOKS, A.P.; BRIERLEYA, G.J. & MILLAR, R.G. The long-term control of vegetation and woody debris on channel and flood-plain evolution: insights from a paired catchment study in southeastern Australia. *Geomorphology*, v. 5, p. 7-29, 2003.

BUFFINGTON, J.M. Changes in channel morphology over human time scales. In: Church, M., Biron, P.M., Roy, A.G. (Eds.), *Gravel-bed Rivers: Processes, Tools, Environments*, p. 435-463, 2012.

BUFFINGTON, J.M. & MONTGOMERY, D.R. Geomorphic Classification of Rivers. In: Shroder, J. (Editor in Chief), Wohl, E. (Ed.), *Treatise on fluvial geomorphology*. Academic Press, San Diego, CA. *Fluvial Geomorphology*, 2013. p. 739-767.

CAMPAGNOLO, K.; KOBİYAMA, M.; MAZZALI, L.H. & PAIXÃO, M.A. A influência da vegetação na estabilidade de encostas com ênfase em margem do rio. In: *Encontro Nacional de Desastres (1: 2018: Porto Alegre) Porto Alegre: ABRHidro, Anais*, 2018. 8p.

CHEN, S.; CHAO, Y. & CHAN, H. Typhoon-dominated Influence on Woody Debris Distribution and Transportation in a High Gradient Headwater Catchment. *Journal of Mountain Science*, v. 10, p. 509-521, 2013.

CHIN, A. & WOHL, E. Toward a theory for step pools in stream channels. *Progress in Physical Geography*, v. 29, n. 3, p. 275-296, 2005.

COMITI, F.; ANDREOLI, A. & LENZI, M.A. Morphological effects of local scouring in step-pool streams. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 30, p. 1567-1581, 2005.

COMITI, F.; ANDREOLI, A.; LENZI, M.A. & MAO, L. Spatial density and characteristics of woody debris in five mountain rivers of the Dolomites (Italian Alps). *Geomorphology*, v. 78, p. 44-63, 2006.

COMITI, F.; da CANAL, M.; SURIAN, N.; MAO, L.; PICCO, L. & LENZI, M.A. Channel adjustments and vegetation cover dynamics in a large gravel bed river over the last 200 years. *Geomorphology*, v. 125, p. 147-159, 2011.

COSTIGAN, K.H. & DANIELS, M.D. Spatial pattern, density and characteristics of large wood in connecticut streams: implications for stream restoration priorities in Southern New England. *River Research and Applications*, v. 29, p. 161-171, 2013.

CURRAN, J.H. & WOHL, E.E. Large woody debris and flow resistance in step-pool channels, Cascade Range, Washington. *Geomorphology*, v. 51, p. 141-57, 2003.

DIAS, W.A. & THOMAZ, E.L. Influência de escombros lenhosos na dinâmica de riachos em área de faxinal. *Terr@ Plural*, v. 5, n. 2, p. 229-248, 2011.

FANTIN-CRUZ, I.; TONDATO, K.K.; MARQUES, D.M. & PEDROLLO, O. Regime térmico em águas correntes e sua importância na estrutura do habitat e na biologia de organismos aquáticos. *Caminhos de Geografia*, v. 11, n. 36, p.

295-307, 2010.

FARIA, A.P. Transporte de sedimentos em canais fluviais de primeira ordem: Respostas geomorfológicas. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 15, n. 2, p. 191-202, 2014.

FERNANDEZ, O.V.Q. O papel de grandes detritos lenhosos na morfologia e sedimentologia no córrego Guavirá, Marechal Cândido Rondon (PR). *Geografia*, v. 29, n. 2, p. 229-240, 2004.

FERNANDEZ, O.V.Q.; RAMOS, S.M.; WELTER, V.; BAGATINI, Y.M.; BENKE, C.D. & MÜNCHEN, F. Simulações de morfologia fluvial e recuperação de habitats aquáticos em córregos da região oeste do Paraná. *Geografia*, v. 27, n. 3, p. 81-95, 2010.

FERNANDEZ, O.V.Q. & BINDA, A.L. Classificação de detritos lenhosos acumulados em trechos do rio Guabirola, Guarapuava (PR). *Raega*, v. 24, p. 258-271, 2012.

GALIA, T.; RUIZ-VILLANUEVA, V.; TICHAVSKÝ, R.; SILHÁN, K.; HORÁČEK, M. & STOFFEL, M. Characteristics and abundance of large and small instream wood in a Carpathian mixed-forest headwater basin. *Forest Ecology and Management*, v. 424, p. 468-482, 2018.

GIORDANENGO, J.H.; MANDEL, R.H.; SPITZ, W.J.; BOSSLER, M.C.; BLAZEWICZ, M.J.; YOCHUM, S.E.; JAGT, K.R.; LABARRE, W.J.; GURNEE, G.E.; HUMPHRIES, R. & UHING, K.T. *Living Streambanks: A Manual of Bioengineering Treatments for Colorado Streams*. Publicado por: AloTerra Restoration Services, LLC and Golder Associates, Inc., 2016. 152p.

GOMI, T.; SIDLE, R.C. & RICHARDSON, J.S. Understanding Processes and Downstream Linkages of Headwater Systems. *BioScience*, v. 52, n. 10, p. 905-916, 2002.

GOMI, T.; SIDLE, R.C.; WOODSMITH, R.D. & BRYANT, M.D. Characteristics of channel steps and reach morphology in headwater streams, southeast Alaska. *Geomorphology*, v. 51, p. 225-242, 2003.

GREGORY, S.V.; MELEASON, M.A. & SOBOTA, D.J. Modeling the dynamics of wood in streams and rivers. In: Gregory, S. V., K. L. Boyer, and A. M. Gurnell (Eds.) *The Ecology and Management of Wood in World Rivers*, v. 37, American Fisheries Society Symposium, Bethesda, MD, 2003. p. 315-335.

HASSAN, M.A.; CHURCH, M.; LISLE, T.E.; BRARDINONI, F.; BENDA, L. & GRANT, G.E. Sediment Transport and Channel Morphology of Small, Forested Streams. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, v. 41, n. 4, p. 853-876, 2005.

HASEGAWA, Y.; SUGIURA, N.; SHOUZAWA, M. & MIZUYAMA, T. An investigation of measures against woody debris through hydraulic model experiments. *Interpraevent, Conf.*: p. 135-143, 2010.

HOGAN, D.L. & LUZI, D.S. Channel Geomorphology: Fluvial Forms, Processes, and Forest Management Effects. In: Pike, R.G.; Redding, T.E., Moore, R.D.; Winker, R.D. & Bladon, K.D. (eds.). *Compendium of forest hydrology and geomorphology in British Columbia*. Victoria: British Columbia Ministry of Forest Range, For. Sci. Prog., Cap. 10, 2010. 805p.

IROUMÉ, A.; MAO, L.; ANDREOLI, A.; ULLOA, H. & ARDILES, M.P. Large wood mobility processes in low-order Chilean river channels. *Geomorphology*, v. 228, p. 681-693, 2015.

IROUMÉ, A.; RUIZ-VILLANUEVA, V.; MAO, L.; BARRIENTOS, G.; STOFFEL, M. & VERGARA, G. Geomorphic and stream flow influences on large wood dynamics and displacement lengths in high gradient mountain streams. *Hydrological Processes*, v. 32, p. 2636-2653, 2018.

ITOH, T.; OGAWA, K.; NISHIMURA, S. & KURAOKA, S. Preliminary Experimental Studies on Debris Flow with Woods focusing on Difference of Specific Weight of Tree Species. *International Journal of Erosion Control Engineering*, v. 3, n. 1, 2010.

KELLER, E.A. & SWANSON, F.J. Effects of large organic material on channel form and fluvial processes. *Earth Surface Processes*, v. 4, p. 361-380, 1979.

KOBIYAMA, M. Conceitos de zona ripária e seus aspectos geobiohidrológicos. In: *Seminário de Hidrologia Florestal: Zonas Ripárias (1: 2003: Alfredo Wagner)* Florianópolis: UFSC/PPGEA, Anais, 2003, p. 1-13.

KOBIYAMA, M.; MOTA, A.A. & CORSEUIL, C.W. *Recursos hídricos e saneamento*. Curitiba: Ed. Organic Trading, 2008. 160p.

KOBIYAMA, M.; MICHEL, G. P. & GOERL, R. F. Relação entre desastres naturais e floresta. *Revista Geonorte*, v. 1, n. 6, p.

17-48, 2012.

KOBIYAMA, M.; GOERL, R.F.; FAN, F.M.; CORSEUIL, C.W.; MICHEL, G.P. & DULAC, V.F. Abordagem integrada para gerenciamento de desastre em região montanhosa com ênfase no fluxo de detritos. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 7, p. 31-65, 2018.

LANCASTER, S.T.; HAYES, S.K. & GRANT, G.E. Effects of wood on debris flow runout in small mountain watersheds. *Water Resources Research*, v. 39, n. 6, p. 1168, 2003.

LENZI, M.A. Step-Pool evolution in the river Cordon, northeastern Italy. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 26, p. 991-1008, 2001.

MAGILLIGAN, F.J.; NISLOW, K.H.; FISHER, G.B.; WRIGHT, J.; MACKEY, G. & LASER, M. The geomorphic function and characteristics of large woody debris in low gradient rivers, coastal Maine, USA. *Geomorphology*, v. 97, p. 467-482, 2008.

MAO, L.; ANDREOLI, A. & LENZI, M.A. Geomorphic effects of large wood jams on a sub-antarctic mountain stream. *River Research and Applications*, v. 24, p. 249-266, 2008.

MAZZORANA, B.; ZISCHG, A.; LARGIADER, A. & HÜBL, J. Hazard index maps for woody material recruitment and transport in alpine catchments. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v. 9, p. 197-209, 2009.

MOOS, C.; BEBI, P.; SCHWARZ, M.; STOFFEL, M.; SUDMEIER-RIEUX, K. & DORREN, L. Ecosystem-based disaster risk reduction in mountains. *Earth-Science Reviews*, v. 177, p. 497-513, 2018.

MONTGOMERY, D.R & BUFFINGTON, J.M. Channel-reach morphology in mountain drainage basins. *Geological Society of America Bulletin*, v. 109, n. 5, p. 596-611, 1997.

MONTGOMERY, D.R. & MACDONALD, L.H. Diagnostic approach to stream channel assessment and monitoring. *American Water Resources Association, Journal of the American Water Resources Association*, v. 38, n. 1, p. 1-16, 2002.

MONTGOMERY, D.R. & PIÉGAY, H. Wood in rivers: interactions with channel morphology and processes. *Geomorphology*, n. 51, p. 1-5, 2003.

MUTZ, M.; KALBUS, E. & MEINECKE, S. Effect of in stream wood on vertical water flux in low-energy sand bed flume experiments. *Water Resources Research*, v. 43, p. W10424, 2007.

NAGASAKA, A. & NAKAMURA, F. The influences of land-use changes on hydrology and riparian environment in a northern Japanese landscape. *Landscape Ecology*, v. 14, p. 543-556, 1999.

NAKAMURA, F. & SWANSON, F.J. Effects of Coarse Woody Debris on Morphology and Sediment Storage of a Mountain Stream System in Western Oregon. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 18, p. 43-61, 1993.

PAIXÃO, M.A.; KOBIYAMA, M. & CAMPAGNOLO, K. Importância da geomorfologia fluvial no contexto do saneamento ambiental. *Revista Afluente*, v. 1, n. 2, p. 6-11, 2017.

PAULA, F.R.de; FERRAZ, S.F.B.; GERHARD, P.; VETTORAZZI, C.A. & FERREIRA, A. Large Woody Debris Input and Its Influence on Channel Structure in Agricultural Lands of Southeast Brazil. *Environmental Management*, v. 48, p. 750-763, 2011.

PINTO, C.F.; AGRA, J.U.M. & FURLEY, T.H.F. Uso da madeira de eucalipto na recuperação de rios: Projeto Renaturalize. *Revista O Papel*, v. 78, n. 8, p. 106-113, 2017.

RAVAZZOLO, D.; MAO, L.; PICCOA, L.; SITZIA, T. & LENZI, M.A. Geomorphic effects of wood quantity and characteristics in three Italian gravel-bed rivers. *Geomorphology*, v. 246, p. 79-89, 2015.

RONI, P.; BEECHIE, T.; PESS, G. & HANSON, K. Wood placement in river restoration: fact, fiction, and future direction. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 72, p. 466-478, 2015.

ROSGEN, D.L. A classification of natural rivers. *Catena*, v. 21, p. 169-199, 1994.

ROSGEN, D.L. Natural Channel Design: Fundamental Concepts, Assumptions, and Methods. In A. Simon, S.J. Bennett, & J.M. Castro (Eds.), *Stream Restoration in Dynamic Fluvial Systems: Scientific Approaches, Analyses, and Tools*, Geophysical Monograph Series 194, p. 69-93, 2011.



- RUIZ-VILLANUEVA, V.; CASTELLET, E.B.; DíEZ-HERRERO, A.; BODOQUE, J.M. & SÁNCHEZ-JUNY, M. Two-dimensional modelling of large wood transport during flash floods. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 39, p. 438-449, 2014a.
- RUIZ-VILLANUEVA, V.; DIEZ-HERRERO, A.; BODOQUE, J.M. & BLADE, E. Large wood in rivers and its influence on flood hazard. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, v. 40, n. 1, p. 229-246, 2014b.
- RUIZ-VILLANUEVA, V.; PIÉGAY, H.; GURNELL, A.M.; MARSTON, R.A. & STOFFEL, M. Recent advances quantifying the large wood dynamics in river basins: New methods and remaining challenges, *Reviews of Geophysics*, v. 54, p. 611-652, 2016.
- SEO, J.I.; NAKAMURA, F. & CHUN, K.W. Dynamics of large wood at the watershed scale: a perspective on current research limits and future directions. *Landscape and Ecology Engineering*, v. 6, p. 271-287, 2010.
- SHRESTHA, B.B.; NAKAGAWA, H.; KAWAIKE, K.; BABA, Y. & ZHANG, H. Driftwood deposition from debris flows at slit-check dams and fans. *Natural Hazards*, v. 61, p. 577-602, 2012.
- SILVA, L.F.S.G.; DE CASTILHO, C.V.; CAVALCANTE, C.O.; PIMENTEL, T.P.; FEARNESIDE, P.M.; BARBOSA, R.I. Production and stock of coarse woody debris across a hydro-edaphic gradient of oligotrophic forests in the northern Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, v. 364, p. 1-9, 2016.
- SOUSA, R.S.S. & SUTILI, F.J. Aspectos técnicos das plantas utilizadas em engenharia natural. *Ciência & Ambiente*, v. 46/47, 2013. 176p.
- SOUZA, D.P. & KOBIYAMA, M. Ecoengenharia em zona ripária: Renaturalização de rios e recuperação de vegetação ripária. In: *Seminário de Hidrologia Florestal: Zonas Ripárias (1: 2003: Alfredo Wagner)* Florianópolis: UFSC/PPGEA, Anais, 2003. p. 121-131.
- SUTILI, F.J.; DORNELES, R.S.; VARGAS, C.O. & KETTENHUBER, P.L.W. Avaliação da propagação vegetativa de espécies utilizadas na estabilização de obras de terra com técnicas de engenharia natural. *Ciência Florestal*, v. 28, n. 1, p. 1-12, 2018.
- TADAKI, M.; BRIERLEY, G. & CULLUM, C. River classification: theory, practice, politics. *WIREs Water*, v. 1, p. 349-367, 2014.
- THE WILD TROUT TRUST. *The Chalkstream Habitat Manual*, 2008. 9p.
- TONINA, D. & BUFFINGTON, J.M. Hyporheic Exchange in Mountain Rivers I: Mechanics and Environmental Effects. *Geography Compass*, v. 3, n. 3, p. 1063-1086, 2009.
- WALLERSTEIN, N. P. Dynamic model for construction scour caused by large woody debris. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 28, p. 49-68, 2003.
- WATANABE, H.; ITOH, T.; KAITSUKA, K. & NISHIMURA, S. Experimental Studies on Debris Flow with Logs Focusing on Specific Weight Difference of Log Species. *Journal of Mountain Science*, v. 10, n. 2, p. 315-325, 2013.
- WOHL, E. *Mountain Rivers Revisited*. Washington: American Geophysical Union, 2010. 573p.
- WOHL, E. Threshold-induced complex behavior of wood in mountain streams. *Geology*, v. 39, n. 6, p. 587-590, 2011.
- WOHL, E. Of wood and rivers: bridging the perception gap. *WIREs Water*, v. 2, p. 167-176, 2015.
- WONDZELL, S.M. & GOOSEFF, M.N. Geomorphic Controls on Hyporheic Exchange across Scales: Watersheds to Particles. In: Shroder, J. (Editor in Chief), Wohl, E. (Ed.), *Treatise on fluvial geomorphology*. Academic Press, San Diego, CA. *Fluvial Geomorphology*, 2013. p. 203-217.