

USO DA MODELAGEM NUMÉRICA PARA RESTAURAÇÃO DE CURSOS D'ÁGUA COM UTILIZAÇÃO DE RIFFLE-POOL

Vinícius José Marcial¹; Jordanna Misson Mota dos Anjos²; Juliana Albuquerque Pereira³; Aline de Araújo Nunes⁴; Denis Furstenau Plec⁵

RESUMO – O processo de urbanização trouxe várias consequências para o meio ambiente, dentre elas, a degradação dos rios. Assim, tendo em vista a necessidade de uma alteração deste cenário, técnicas de restauração de cursos de água podem ser empregadas. Desse modo, o presente trabalho avalia estudos de caso que fazem uso da modelagem numérica em projetos de restauração e análise de comportamento fluvial, em específico restauração e impacto em estruturas de riffle-pool. primeiro estudo de caso demonstra uma aplicação tangível na avaliação de hipóteses a respeito de diferentes níveis de jusante, condições de habitat, erosão e entalhamento ocorridas nos *riffle-pools* com o foco na reprodução de peixes (salmões). Em contrapartida, o segundo estudo de caso abordou a aplicabilidade da simulação hidrológica por meio da modelagem bi e tridimensional no auxílio do planejamento de propostas de projeto, além do impacto das soluções, caso este fosse executado. Por fim, após avaliação da utilização em ambos os casos, a modelagem demonstrou-se de suma importância no desenvolvimento de projetos, apresentando maior probabilidade de precisão na resolução das problemáticas, de forma a evitar o desperdício de recursos e aumentando a eficácia dos mesmos.

ABSTRACT– The urbanization process brought several consequences for the environment, among them, the degradation of rivers. Thus, in view of the need to change this scenario, watercourse restoration techniques can be used. Thus, the present work evaluates case studies that make use of numerical modeling in restoration projects and fluvial behavior analysis, in specific restoration and impact of riffle-pool structures. The first case study demonstrated a tangible application of hypothesis evaluation regarding elevation variations, habitat conditions, erosion and carving occurring in riffle-pools. On the other hand, the second case study addressed the applicability of hydrological simulation through two- and three-dimensional modeling to aid in the planning of project proposals, in addition to the impact of the solutions if it were executed. Finally, after evaluating the use in both cases, the modeling proved to be of paramount importance in the development of projects presenting a greater probability of precision in solving the problems, in order to avoid wasting resources and increasing their effectiveness.

Palavras-Chave – Processos erosivos; estudo de caso; modelagem hidrodinâmica

¹) Graduando em Eng^a Urbana - Depto. Eng. Urbana, CEP 35400-000, Ouro Preto - MG. Correio eletrônico: vinicius.marcial@aluno.ufop.edu.br

²) Graduanda em Eng^a Urbana - Depto. Eng. Urbana, CEP 35400-000, Ouro Preto - MG. Correio eletrônico: jordanna.anjos@aluno.ufop.edu.br

³) Graduanda em Eng^a Urbana - Depto. Eng. Urbana, CEP 35400-000, Ouro Preto - MG. Correio eletrônico: juliana.albuquerque@aluno.ufop.edu.br

⁴) Eng^a Agrícola e Ambiental, Prof^a. Dr^a. UFOP - Depto. Eng. Urbana, CEP 35400-000 Ouro Preto - MG. Correio eletrônico: aline.nunes@ufop.edu.br

⁵) Eng. Ambiental e Matemático Aplicado Computacional, Prof. Dr. UFOP - Depto. Eng. Urbana, CEP 35400-000 Ouro Preto - MG. Correio eletrônico: denis.plec@ufop.edu.br

INTRODUÇÃO

O intenso processo de urbanização tem provocado degradação em diversos cursos de água pelo mundo nas últimas décadas (BAPTISTA; CARDOSO, 2013), uma vez que, traz consigo a redução da cobertura vegetal, acarretando no aumento da área de impermeabilização, elevando assim, o volume, a intensidade e a energia do escoamento, o que ocasiona processos erosivos nas calhas fluviais (DOS SANTOS; PINHEIRO, 2002) e limita o reabastecimento do lençol freático (TUCCI; CLARKE, 1997), podendo restringir o habitat de espécies aquáticas.

Tendo em vista a necessidade de uma alteração da condição de degradação, existem diferentes técnicas de restauração de cursos d'água que podem ser empregadas para mudar este cenário. Nesse sentido, os traçados fluviais devem permitir que o rio tome sua forma sinuosa natural e possua uma hidrodinâmica que possibilite a oxigenação da água e a diversidade de condições de escoamento, além de qualidade da água adequada para a manutenção da biota (PETTS, 2007). Ademais, para restabelecer a integridade dos corpos hídricos, faz-se necessário um pensamento sistêmico, considerando a ecologia, a hidrologia, a geomorfologia, a hidrodinâmica e a qualidade da água (FINDLAY & TAYLOR, 2006).

Objetivando o conhecimento do comportamento hidrodinâmico em diferentes áreas de estudo, a modelagem numérica computacional é comumente aplicada (FERNANDES, 2013). Nesse sentido, o uso de tal ferramenta proporciona a redução dos custos e do tempo de estudo, uma vez que possibilita a avaliação de diversos cenários de cheias e estiagens pelo computador (FERNANDES, 2013). Dessa forma, conhecendo o comportamento hidrodinâmico para diferentes vazões de escoamento, é possível avaliar a eficiência de projetos, propor melhorias e medir a veracidade de hipóteses levantadas.

Com o objetivo de melhorar a consistência e a compreensão de técnicas de restauração fluvial e o papel da modelagem numérica computacional na mesma, o presente artigo buscou apresentar estudos de casos de aplicação de técnicas de restauração em estruturas fluviais específicas, elencando vantagens, desvantagens e dificuldades presentes em tais técnicas e a aplicabilidade da modelagem numérica computacional.

TÉCNICAS APLICADAS EM ANÁLISES DE SEQUÊNCIAS RIFFLE-POOL

Diante da expansão da urbanização, os corpos hídricos em bacias hidrográficas vêm sofrendo com as alterações ocorridas de natureza hidrossedimentológica, como por exemplo, mudanças no escoamento superficial, no transporte e produção de sedimentos, na ocorrência de inundações

(SCHWARTZ *et al.*, 2015), e alterações no regime de escoamento fluvial que provocam alterações nas linhas de fluxo, nas quais a ação hidráulica sobre as margens resulta em processos erosivos e na deposição de sedimentos na calha principal, gerando a necessidade de intervenções no sentido de proteger as margens dos canais e manter os cursos d'água estáveis (PEREIRA, 2008). Desse modo, a restauração de leitos fluviais para mitigação de tais impactos tem se tornado cada vez mais necessária.

Em conformidade com as respostas morfológicas decorrentes dos impactos gerados nas bacias hidrográficas, cita-se as estruturas denominadas *riffle-pool*, que também sofrem degradações devido a alterações de fluxo. *Riffle-Pool*, são unidades de mesohabitat essenciais à diversificação da fauna aquática, onde diversas biotas lóticicas se instalam preferencialmente (SCHWARTZ *et al.*, 2015). Destacando como diferentes tópicos de um perfil longitudinal, os *riffles* são as áreas do canal fluvial em que a topografia é elevada e o fluxo é convergente, com o fundo formado materialmente por sedimentos grossos (grânulos e seixos) ou substrato rochoso, tendo também gradiente acentuado da lâmina d'água (ARNDT e FERNANDEZ, 2017). Em contrapartida, os *pools* são os trechos de leito que apresentam um aprofundamento do canal, formando então as depressões. Estas, são habitats cuja velocidade da corrente é baixa, o fluxo é divergente e o material do leito constitui-se por sedimentos arenosos e lamosos, além de apresentar baixo gradiente da lâmina d'água (ARNDT e FERNANDEZ, 2017).

A diversificação hidrodinâmica pode ser observada no exemplo de perfil topográfico de um riffle-pool do Rio Trinity, localizado no estado da Califórnia nos Estados Unidos (Figura 1), ilustrando os conceitos destacados anteriormente.

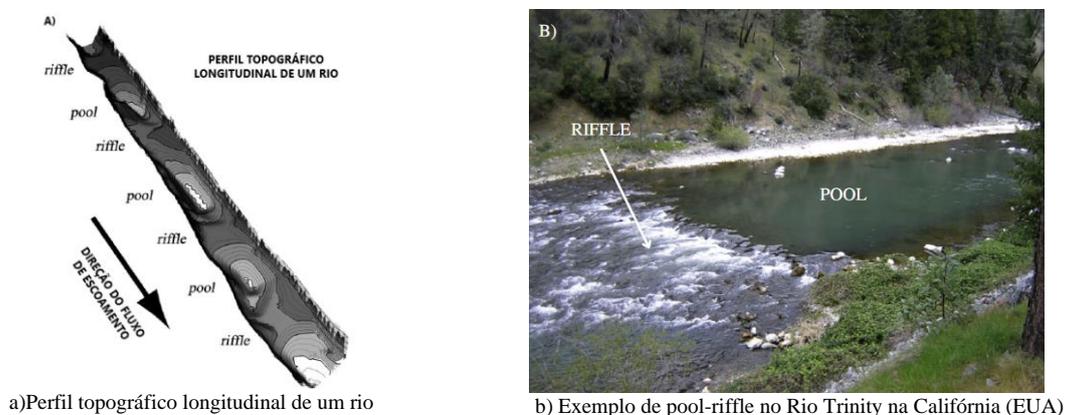


Figura 1 - Perfil topográfico longitudinal e imagem de um riffle-pool
 Fonte: Adaptado pelos autores de Pasternack *et al.* (2008)

Muitos projetos relacionados à manutenção e restauração são realizados sem aprofundamento técnico, utilizando escoamento permanente e canais prismáticos uniformes (PASTERNAK *et al.*, 2008), portanto, o uso da modelagem numérica mostra-se de grande valia para simular as diversas condições de canais fluviais, bem como a simulação do comportamento dos mesmos frente a aplicação de técnicas que mantenham a melhor geometria, a diversidade hidrodinâmica e a qualidade ecológica do curso d'água (PEREIRA, 2008).

USO DA MODELAGEM

A utilização de ferramentas computacionais tem possibilitado análises detalhadas de projetos e estudos referentes a canais fluviais, tendo como exemplo o uso da modelagem numérica, que permite ao usuário ponderar a respeito de possíveis cenários de escoamento fluvial, incluindo o transporte de sedimentos e o comportamento da calha frente a diferentes condições de escoamento. Assim, o cálculo e a análise do comportamento hidrodinâmico para diferentes cenários de vazão, com foco no nível de água, nas linhas de fluxo, na topografia, nas velocidades de escoamento, no transporte de sedimentos e nas tensões cisalhantes, possibilitam a avaliação do desempenho de estruturas e projetos que visam a restauração de leitos fluviais (PASTERNAK, *et. al.*, 2008).

Nesta ótica, menciona-se a existência de diferentes abordagens que trabalham com a modelagem dos processos relacionados à cursos d'água, variando a utilização de modelos unidimensionais (SHIELDS, 2003), bidimensionais (PASTERNAK, *et. al.*, 2008) e tridimensionais, (KHOSRONEJAD *et al.*, (2013), e alguns casos que utilizaram mais de uma abordagem concomitante, como por exemplo, Harrison e Keller (2007) que usaram modelos uni e bidimensional, e Schwartz (2008) que fez uso dos modelos bi e tridimensional.

Geralmente, modelos unidimensionais são utilizados para obtenção de um comportamento hidrodinâmico mais geral (PASTERNAK, *et. al.*, 2008).

Os modelos bidimensionais, que resolvem a equação fundamental da conservação da massa e as duas componentes horizontais da equação do momento (VAZQUEZ e DE LIMA, 2009), expressam resultados como a magnitude e direção do vetor velocidade e a profundidade média em cada ponto calculado (ou nó). Entretanto, a metodologia considera que não há alteração na distribuição vertical de velocidade e a distribuição de pressão é hidrostática.

A modelagem tridimensional também é empregada na restauração de canais fluviais, ofertando resultados diferentes da modelagem unidimensional e bidimensional. Considerando a modelagem tridimensional, Khosronejad *et.al* (2013) utilizaram da mesma para modelar a aplicação de técnicas

de restauração de riachos, definindo para o modelo as equações que regem um campo de fluxo instantâneo, turbulento e incompressível, como sendo uma continuidade média no tempo (média de Reynolds) ou filtradas espacialmente, além das equações de Navier-Stokes.

No universo dos tipos de modelo descritos anteriormente e em concordância com a proposta deste trabalho, a seguir serão apresentados estudos de casos de aplicação de técnicas e análises em estruturas de *riffle-pool* avaliadas por meio de modelagem numérica.

METODOLOGIA

O presente estudo é desenvolvido por meio da avaliação de estudos de caso no que se refere à temática do uso da modelagem numérica em casos de ocorrência de *riffle-pool* em cursos d'água. Assim, utilizou-se periódicos publicados em revistas científicas internacionais, devido à escassez de publicações nacionais relacionadas ao contexto em questão.

ESTUDOS DE CASO

Caso 1 : Rio Trinity (Califórnia, EUA)

Esse estudo de caso foi selecionado por ter sido um estudo que fez uso de modelos hidrodinâmicos 2D em duas parcelas não uniformes da estrutura *riffle-pool* formada no Rio Trinity na Califórnia (EUA). O objetivo do estudo foi explorar sistematicamente 4 níveis de elevação do leito fluvial e da superfície da água a jusante, com o uso de três diferentes descargas de vazão e os impactos para a qualidade do habitat para salmões utilizando diferentes arranjos de *riffle-pools*. No total, foram avaliadas 24 simulações.

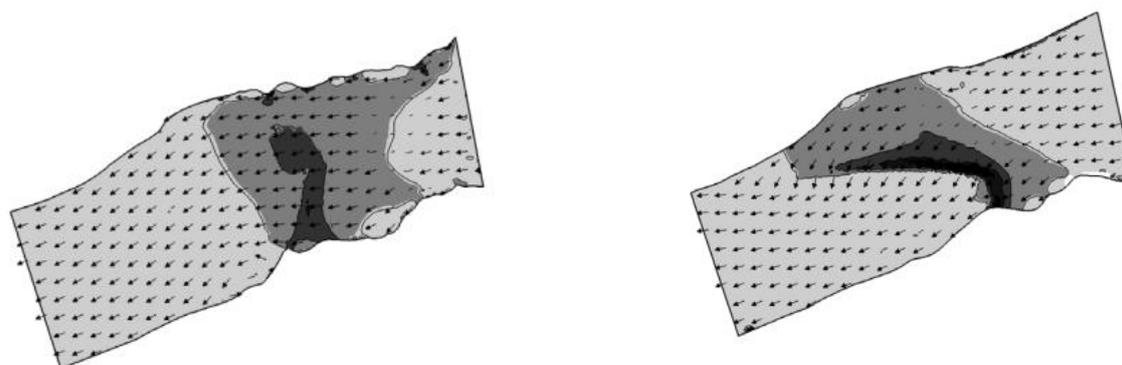
Conforme Pasternack *et al.* (2008), a simulação foi efetuada para averiguar três principais questionamentos: I - como a mudança da superfície da água a jusante afeta as condições de habitat de alta qualidade para desova de salmão; II - como o aumento da vazão em um local afeta o controle da elevação da superfície da água a jusante e modifica a estabilidade do canal; III - qual a diferença entre a utilização de um riffle diagonal e um riffle transversal, no que se refere à qualidade do habitat e na estabilidade do canal.

Tal programa utilizou o método dos elementos finitos para medir a velocidade média ao longo da profundidade e a elevação do nível de água em cada nó da malha. Assim, foram adotadas três abordagens para chegar nos resultados almejados, sendo: I - previsão e medição de possíveis modificações nos leitos e influência na qualidade de habitat; II - simulações do escoamento para três

vazões ecológicas: durante a desova ($8,5 \text{ m}^3/\text{s}$); reprodução ($70,8 \text{ m}^3/\text{s}$) e; para evento de vazão de cheia ($170 \text{ m}^3/\text{s}$); III - comparação entre as estimativas de erosão a jusante e valores obtidos para o índice global de adequação do habitat (GHSI) na área de estudo (PASTERNAK *et al.*, 2008).

A análise dos resultados das simulações das estruturas quanto ao comportamento hidrodinâmico para diferentes vazões de escoamento, destacaram diferenças significativas nos padrões hidrodinâmicos, na qualidade do habitat para desova e valores de tensões cisalhantes, para as diferentes condições de fluxo e condições de jusante avaliadas (PASTERNAK *et al.*, 2008). Durante a simulação, notou-se uma variação das linhas de fluxo para as estruturas transversais e diagonais em cada condição de nível de água de jusante, indicando que as não uniformidades do canal exercem mais efeito de remanso nas vazões mais elevadas. Cabendo ressaltar que, devido a erosão do leito fluvial durante eventos de cheias e conseqüentemente, na alteração do comportamento hidrodinâmico, as estruturas podem colapsar de jusante para montante (PASTERNAK *et al.*, 2008).

Os *riffle-pools* com arranjo transversais e diagonais de entalhamento apresentaram a quantidade máxima de habitat de alta qualidade na entrada e na saída do *riffle*, já que o fluxo sobre a crista apresentou os maiores valores de tensão cisalhante, devido a menor profundidade e maior vazão de escoamento (PASTERNAK *et al.*, 2008). Conforme a Figura 2, que apresenta o resultado obtido para a condição de maior nível de jusante (remanso), o entalhe transversal permitiu que a água contornasse a crista da soleira do *riffle*. Para o entalhe diagonal, ocorreu uma maior resistência nas mudanças do fluxo, o que permitiu a elevação do nível de água a montante (pool), resultando na retenção da água e na diminuição da tensão cisalhante, mantendo-se assim uma maior zona de qualidade do habitat na zona de convecção entre as parte críticas do *riffle-pool*. Porém, devido a formação de ressalto hidráulico a jusante das estruturas diagonais, as estruturas transversais são mais estáveis (PASTERNAK *et al.*, 2008).



a) Riffle transversal

b) Riffle diagonal

Figura 2 - Tensão cisalhante para $8,5 \text{ m}^3/\text{s}$ com *riffle* (a) transversal e (b) diagonal

Fonte: Adaptado pelos autores de Pasternack et al. (2008)

Para o escoamento com condição de jusante normais, os *riffles* diagonais produziram mais habitat de qualidade média e alta, quando comparado com os *riffles* transversais (PASTERNAK *et al.*, 2008).

Caso 2: Beaver Creek (Condado de Knox, Tennessee)

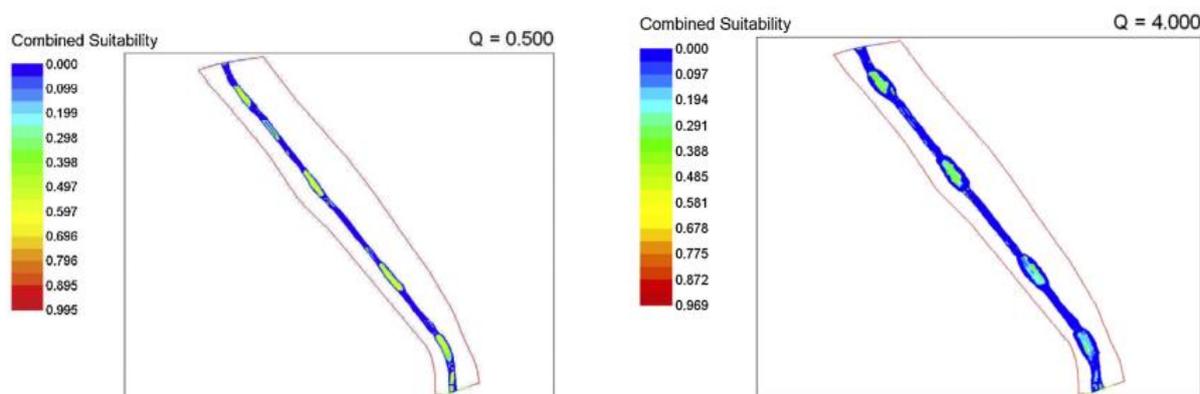
Esse estudo de caso foi selecionado por ter avaliado estruturas de *riffle-pools*, por meio de modelagem numérica bi e tridimensional, para um canal urbano com o foco na melhoria das suas condições bióticas. O córrego canalizado de 270 m localizado em Beaver Creek, no Condado de Knox (EUA), foi protagonista de um projeto que visou a restauração da estrutura *riffle-Pool* em um canal urbano inciso e reto por meio da modelagem eco-hidráulica. O canal urbano com 6,5 m de largura, inclinação média de 0,0001 m/m, possui revestimento de árvores em ambas as margens e solos coesivos, tanto nas margens quanto no leito (SCHWARTZ *et al.*, 2015).

O projeto em questão objetivou restaurar a auto-manutenção de estruturas *riffle-pool* partindo da avaliação de diferentes arranjos geométricos propostos, avaliados por meio da utilização de modelos hidráulicos e incorporando dados ecológicos, sendo proposto um projeto de *riffle-pool*, construindo estruturas em escala de campo e avaliando a estabilidade e integridade biológica. Para definição do melhor arranjo geométrico, utilizou-se a modelagem bi e tridimensional (2D e 3D), haja vista o baixo gradiente do canal, investigando a influência da vegetação das margens e o fluxo em zonas de desaceleração-aceleração longitudinalmente, além da reversão da tensão de cisalhamento entre os estágios de baixo e alto fluxo (SCHWARTZ *et al.*, 2015). Ademais, o modelo 2D foi usado para ilustrar o efeito do aumento da área da seção transversal do canal em localizações de *riffles* propostas (SCHWARTZ *et al.*, 2015).

Nesse sentido, fazendo uso do FLOW-3D, um modelo de fluidodinâmica computacional, simulações foram realizadas para caracterizar o fluxo de estruturas durante a cheia, analisando a influência de bancos arborizados na resistência ao fluxo hidrodinâmico. Para tal, levantou-se a topografia do local bem como as localizações das árvores presentes ao redor e todas as informações foram inseridas no modelo, gerando uma grade de elementos finitos 3D (SCHWARTZ *et al.*, 2015).

O projeto final construído consistiu em quatro estruturas *riffle* espaçadas em cerca de 35-49 m de distância, encaixadas em 270 m de comprimento no alcance do projeto, conforme pode ser observado na Figura 3, que apresenta o resultado bidimensional do índice de aptidão ecológica (HSI) para o projeto em condição de escoamento de estiagem e de cheia. Sendo assim, os locais de *riffles*

foram selecionados baseados nas configurações de árvores existentes nos bancos, utilizando-as como protetores dos mesmos em áreas de transição *riffle-pool*. Em adição, raízes foram instaladas em locais com tensão de cisalhamento excessivas identificadas nos modelos. Ademais, na parte mais profunda do *riffle-pool*, 3,8 cm de cascalho foi colocado para a camada de folheado aluvial de aproximadamente 15-20 cm de espessura e rochas de 12-18 cm de diâmetro foram colocados em conjunto no cascalho do *riffle* e espaçados de 1 a 2 m para criar estrutura do leito para geração de pacote de folhas (SCHWARTZ *et al.*, 2015).



a) Hidrodinâmica para condição de estiagem (0,5 m³/s)

b) Hidrodinâmica para condição de cheia (4,0 m³/s)

Figura 3 - Comportamento hidrodinâmico para a condição do projeto final

Fonte: Adaptado pelos autores de Schwartz *et al.* (2015)

O desenho da sequência de *riffle-pool* desenvolvido demonstrou como um estudo de *habitats* de riachos urbanos podem potencialmente ser reabilitados com melhorias nas condições bióticas. O projeto apresentou um arranjo geométrico baseado em princípios de engenharia ecológica. Para tal, foi utilizada a modelagem numérica, que forneceu informações essenciais que possibilitaram a avaliação da estabilidade do canal, integrado com medições de campo de tensão de cisalhamento crítica nas margens e características de transporte de carga de fundo. Além disso, a modelagem numérica trouxe uma avaliação da qualidade do habitat, integrando geomorfologia fluvial, hidráulica e dados ecológicos pré e após a implantação das estruturas (SCHWARTZ *et al.*, 2015).

DISCUSSÃO

Avaliando os dois casos supracitados, destaca-se a importância do uso da modelagem hidrodinâmica para obtenção de análises que, caso fossem obtidas em simulações físicas em laboratório, teriam um custo elevado, devido à complexidade de construção, na necessidade de medição e aparelhos, dificuldades de avaliações para diferentes cenários (vazões e geometrias) e erro antrópico.

O primeiro estudo de caso demonstra uma aplicação tangível na avaliação de hipóteses a respeito de diferentes níveis de jusante, condições de habitat, erosão e entalhamento ocorridas nos *riffle-pools* com o foco na reprodução de peixes (salmões). Com o uso da modelagem numérica, há a possibilidade de fazer as simulações em diferentes cenários com valores diferentes de vazão e formatos de entalhe, sem estar refém da ocorrência de tais fatores de forma natural ou da projeção dos mesmo de forma artificial, reduzindo tempo e custos para efetivação da pesquisa, além de promover conhecimentos básicos para melhorar projetos futuros de restauração de leitos.

O segundo estudo de caso avaliado, aborda a aplicabilidade da simulação hidrodinâmica por meio da modelagem no auxílio do planejamento de propostas de projeto para um canal urbano, além da avaliação do impacto das soluções nas condições bióticas.

Portanto, conclui-se que a modelagem cumpre o papel de auxiliar no desenvolvimento de projetos com maior assertividade na resolução das problemáticas, evitando o desperdício de recursos e aumentando a eficácia dos mesmos.

CONCLUSÃO

No cenário atual, onde os canais fluviais urbanos vêm sofrendo impactos hidrológicos, agravados pela urbanização, a modelagem numérica se mostrou eficiente na simulação da aplicação de diversas técnicas que mitigam os efeitos nocivos aos aspectos estruturais das calhas fluviais, bem como na manutenção e no estímulo de condições naturais de alta qualidade, como é o caso da avaliação de parâmetros de preservação da fauna aquática.

Neste contexto, o uso correto de ferramentas computacionais, alimentadas com dados fidedignos à realidade dos cursos d'água, deve ser empregado sempre que possível, obtendo dessa forma um ganho de projeto, tendo em mãos uma redução de custos e otimização do tempo de elaboração, proporcionando uma tomada de decisão mais assertiva.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), por meio da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação e Inovação (PROPPI), e ao Departamento de Engenharia Urbana (DEURB), pelo apoio técnico fornecido no desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARNDT, M. A; FERNANDEZ, O. V. Q. (2017). “*Caracterização morfológica e hidráulica de mesohabitats em córregos de Marechal Cândido Rondon, oeste do Paraná*”. Revista Equador, v. 6, n. 1, pp. 108-133.
- BAPTISTA, M; CARDOSO, A. (2013). “*Rios e Cidades: uma longa e sinuosa história*”. Belo Horizonte. Rev.UFMG, v. 20, n.2, pp.124-153.
- DOS SANTOS, G. F; PINHEIRO, A. (2002). “*Transformações geomorfológicas e fluviais decorrentes da canalização do Rio Itajaí-Açu na divisa dos municípios de Blumenau e Gaspar (SC)*”. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 3, n. 1.
- FERNANDES, M. (2013). “*Aplicação de modelagem numérica para o estudo de alternativas à renaturalização de rios*”. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade do Vale do Itajaí.
- FINDLAY, S.J., & TAYLOR, M.P. (2006). “*Why rehabilitate urban river systems?*”. Area, 38(3),312-325.
- HARRISON, L,R.; KELLER, E.A. (2007). “*Modeling forced pool–riffle hydraulics in a boulder-bed stream, southern California.*” Geomorphology 83, pp. 232–248.
- KHOSRONEJAD, A.; HILL, C.; KANG, S.; SOTIROPOULOS, F. (2013). “*Computational and experimental investigation of scour past laboratory models of stream restoration rock structures*”. Advances in Water Resources - 54, 191–207, pp. 0309-1708.
- PASTERNAK, G. B.; BOUNRISAVONG, M. K.; PARIKH, K. K. (2008). “*Backwater control on riffle-pool hydraulics, fish habitat quality, and sediment transport regime in gravel-bed rivers*”. Department of Land, Air, and Water Resources - University of California. One Shields Avenue, Davis, CA 95616, United States. Journal of Hydrology, v. 357, n. 1-2, p. 125-139.
- PEREIRA, I. L. V. (2008). “*Estudos de revitalização de cursos de água – trecho experimental no rio das Velhas*”. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- PETTS, J. (2007). “*Learning about learning: lessons from public engagement and deliberation on urban river restoration*”. The Geographical Journal, 173(4), pp.300-311.
- SCHWARTZ, J. S. et al.(2015). “*Restoring riffle-pool structure in an incised, straightened urban stream channel using an ecohydraulic modeling approach*”. Ecological Engineering, v. 78, pp. 112-126.
- TUCCI, C. E. M; CLARKE, R. T. (1997). “*Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão.*” Rbrh: Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, RS. vol. 2, n. 1 (jun. 1997), pp. 135-152.