MAPEAMENTO DE ÁREAS FAVORÁVEIS A SEDIMENTAÇÃO A PARTIR DE DERIVADORES RASTREADOS POR SATÉLITE E IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO

Maísa Mello Ribeiro[1], *Samara Calçado de Azevedo*[1], *Michel Yasuyuki Gejima Junior*[1], *Adriana Trópia de Abreu*[2], *Hermínio Arias Nalini Júnior*[2] *e Arcilan Trevenzoli Assireu*[1]

[1]Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Av. BPS, 1303, Pinheirinho, Itajubá – MG, mamelloribeiro@gmail.com; samara_calcado@unifei.edu.br, michelgejima@gmail.com, arcilan@unifei.edu.br; [2]Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Morro do Cruzeiro, Bauxita, Ouro Preto - MG, adriana.abreu@ufop.edu.br; naline@ufop.edu.br.

RESUMO

Em novembro de 2015 o Rio Doce foi afetado por um dos piores desastres sócio-ambientais relacionados a ruptura de barragem de rejeitos. Este estudo investiga a resposta hidro-morfo-sedimentar de uma zona de confluência do Rio Doce ao desastre, tendo como objetivos principais a avaliação das mudanças hidromorfológicas e as possíveis causas físicas moduladora das mudanças observadas. Uma metodologia inovadora baseada em imagens de satélite de alta resolução e derivadores rastreados por satélite fornecem subsídios para o entendimento dos processos envolvidos. Os resultados indicaram correlação no sentido qualitativo entre campo de convergência detectado pelos derivadores e áreas preferenciais para deposição de sedimento. Esta é uma contribuição do Projeto "Derivadores Rastreados por Satélite e Monitoramento Automático de Parâmetros Ambientais Aplicados ao Entendimento da Contribuição dos Afluentes para o Restabelecimento do Rio Doce", que consiste num esforço multi-instrumental e multi-institucional para estudar a influência da hidrodinâmica na região de confluências para o reestabelecimento do Rio Doce.

Palavras-chave **—** Confluência do rio; reabilitação do rio; morfodinâmica; transporte de sedimento; derivadores rastreados por satélite.

ABSTRACT

On November 2015, the Doce River (southeast Brazil) was affected by one of the worst socioenvironmental disasters due to an tailings dam rupture. This study investigates the hydro-morpho-sedimentary responses for a hydrodynamic confluence zone of the Rio Doce to this disaster with the aims of assessing the hydromorphology changes and investigating the possible physical processes controlling the spatial pattern of the observed changes. Herein, a novel approach combining high resolution satellite images and hydrodynamical features from satellite-tracked drifters provide information about morphological changes observed. It is found that there is correlation in a qualitative sense between convergence field and potential hotspots to depositional processes. This is a contribution of the Project "Satellite Tracked Drifters and Automatic Monitoring of Environmental Parameters Applied to Understanding the role of Affluents to the Restoration of the Rio Doce", a multi-institutional and multi-instrumented experiment carried out to estimate the role of the hydrodynamic process in the river confluence to Doce River restoration.

Key words **—** *River confluence; river rehabilitation; morphodynamics; sediment transport; satellite-tracked drifters.*

1. INTRODUÇÃO

As zonas de confluência de rios são tipicamente caracterizadas por elevada heterogeneidade no regime de escoamento, de qualidade de água, de transporte e características sedimentológicas (Rice et al., 2008; Yuan et al., 2021) [1]. Por isso, são locais estratégicos em relação à ecologia, morfologia, ações de prevenção à inundação, e qualidade de água (Rice et al., 2006; Roca et al., 2009; Gualtieri et al., 2018) [2]. A importância destas zonas de confluência tem motivado, desde a última década, estudos tendo em vista o melhor entendimento da hidrodinâmica e do seu impacto para os processos ecossistêmicos, de qualidade da água e morfológicos. Experimentos em laboratório e em campo baseados em modelagem numérica apontam que as variáveis moduladoras são, principalmente, a inclinação do fundo dos rios, ângulo de confluência e desnível no ponto de confluência, e a razão entre velocidade e vazão entre os dois rios (Constantinescu et al., 2012) [3]. Porém, as relações encontradas nestes trabalhos não permitem generalizações, pois os eventos são fortemente dependentes das condições e características do local em estudo (Ribeiro et al., 2012) [4]. Em complemento, Constantinescu et al., 2012 [3] chamam atenção para o fato de que os desenhos amostrais, até então utilizados, não possuem resolução, nem espacial nem temporal, suficientes para a comprovação dos resultados numéricos, devido ao caráter altamente não estacionário e espacialmente heterogêneo que regem os processos relacionados.

Neste artigo é apresentada uma proposta metodológica que visa contornar os problemas levantados pelos dois autores, a partir do emprego de amostragem lagrangeana (instrumentos que seguem o escoamento) combinada com o

uso de imagens de satélite em alta resolução para a detecção de áreas de convergência do escoamento e sua relação com pontos preferenciais para sedimentação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Derivadores posicionados via GPS

Os derivadores utilizados aqui são do tipo Lagrangiano, pois são transportados pelo escoamento e reportam suas sucessivas posições no tempo podendo ainda medir outros parâmetros como temperatura, OD e turbidez. Amplamente empregados em oceanografia [5,6], mais recentemente estes derivadores vem sendo amplamente utilizados também para estudos em rios [7]. Estes derivadores são equipados com receptores GPS e transmitem sua posição, em tempo real, via enlace com sistema GRPS e, diferentemente dos utilizados em oceanografia, são resgatados ao final do experimento.

2.2 – Imagens de satélite

As imagens utilizadas neste artigo foram retiradas do programa *Google Earth Pro (*datum WGS84), devido à sua gratuidade e relativa alta resolução espacial. Outro aspecto importante é a possibilidade de utilizar imagens da mesma área ao longo do tempo, para comparação da evolução do leito do rio Doce ao longo do tempo.

2.3 – Parâmetros cinemáticos e dinâmicos do escoamento

A identificação do eixo principal do escoamento, zonas de máxima velocidade longitudinal, é fundamental para a localização das regiões de elevado transporte ou concentrações de sedimentos (Xie et al., 2018) [8]. Os derivadores vêm sendo amplamente utilizados para a localização de regiões de convergência do escoamento. Na interface de mistura entre os rios, quando o cisalhamento transversal for significativo, uma grandeza dinâmica importante para a descrição do problema é representada por D/U (onde é a componente vertical da vorticidade, D e U são, respectivamente, profundidade e velocidade média na interface). Para o cálculo de a partir dos dados dos derivadores, as trajetórias serão convenientemente representadas no sistema de coordenadas naturais, como realizado por Assireu et al. (2017) [5], a partir da formulação proposta por (Arthur, 1965) [9]:

$$\xi = \frac{V}{R} - \frac{\partial V}{\partial n} \quad (1)$$

onde V é a velocidade, R é o raio de curvature das linhas de corrente, e ($\partial V / \partial n$) é o gradiente de velocidade normal às linhas de corrente (transversal) (Fig. 1b). A tendência para rotação anti-horária é positiva pela convenção de sinais.

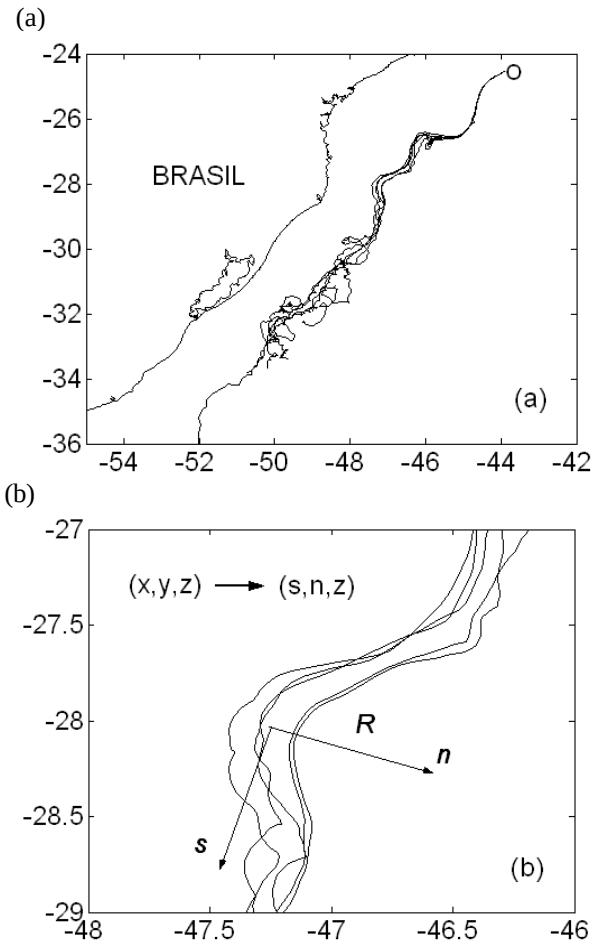


Figura 1. (a) Exemplo de trajetórias em um campo com cisalhamento; (b) Sistema de coordenadas naturais aplicadas às trajetórias. Fonte: Assireu et al. (2017).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O derivador, que vem sendo amplamente aplicado em oceanografia para o mapeamento de regiões de convergência e suas implicações para a dispersão de óleo, larvas de peixes, operações de resgate dentre outras aplicações, se mostrou promissor também para indicar hotpoints de sedimentação no rio. O lançamento de um grupo de 08 derivadores realizado no Rio Doce indicou uma região de convergência (Fig. 2a), que por serem regiões associadas a subsidência são esperadas serem regiões de sedimentação (Constantinescu et al., 2012) [3]. Isso foi confirmado a partir de imagens que demonstram o o afloramento de banco de areia no período da seca (Fig. 2b). Cinco, dos oito derivadores lançados nesta região convergiram para o banco de areia em questão (Fig. 2c).

(a)



(b)



(c)

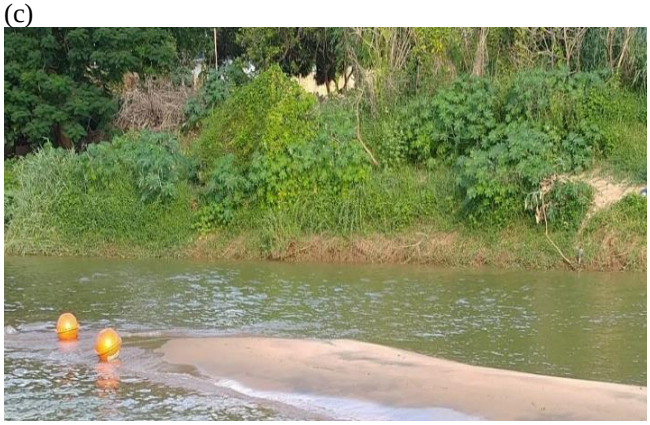


Figura 2 – Trajetórias dos derivadores ao longo de um setor do Rio Doce indicando regiões de convergência (a); banco de areia correspondente a região indicada pelos derivadores, a partir de imagens de alta resolução (b); e respectivo registro fotográfico (c). Os círculos vermelhos indicam o banco de areia. Fonte: arquivo pessoal.

Tendo em vista testar a hipótese deste trabalho de que o banco de areia, que funcionou como um atrator para o escoamento local, conforme indicado pelos derivadores, é resultado da deposição de sedimentos neste trecho por ser região de convergência, foram analisadas séries temporais de imagens (Fig. 3). Imagens para o ano de 2014 (anterior ao acidente), 2016, 2017 e 2021 foram analisadas, tendo em vista verificar a evolução temporal da feição em estudo. Para isso foram selecionadas imagens relativas ao mês de outubro, representativa do período com menor nível entre os anos (Fig. 4). Uma inspeção via imagens na evolução temporal da feição de interesse (círculo vermelho na Figura 3) indica que antes do acidente (Ano 2014) havia um banco de pedras, mas sem assinatura de sedimentação.

A formação do banco de areia aparece como um processo em desenvolvimento contínuo, como esperado para processos sedimentares. Uma investigação sedimentológica está em andamento para confirmação de que este banco de areia, associado a convergência do escoamento indicada pelos derivadores, se formou após o acidente.

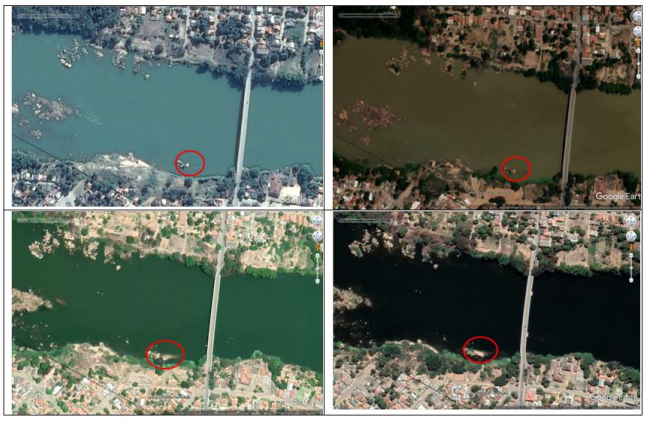


Figura 3 - Evolução temporal do banco de areia indicado pelos derivadores como região de convergência do escoamento, em ordem horária: anos de 2014, 2016, 2017 e 2021. Fonte: arquivo pessoal.

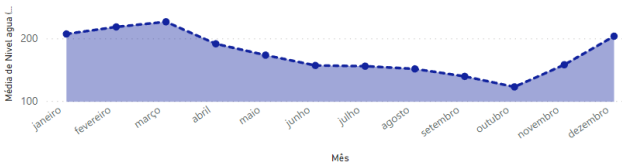


Figura 4 – Média mensal do nível de água entre 2018 – 2021. Fonte: RENOVA (2021).

4. CONCLUSÕES

A relação entre convergência/divergência e sedimentação foi investigada a partir de experimentos com derivadores rastreados por GPS e imagens de satélite. Uma forte indicação, no sentido qualitativo, entre convergência e sedimentação pôde ser confirmada. Uma clara evolução temporal no banco de areia, após o acidente foi constatada na região indicada, pelos derivadores, como de convergência do escoamento. Estudos sedimentológicos estão em andamento para verificação de que este banco surgiu após o acidente.

Análises baseadas em processamento de imagens serão aplicadas às imagens de alta resolução para estimativas da

taxa de aumento deste banco de areia em estudo. O método apresentado aqui, aplicado ao longo do Rio Doce, tem o potencial para indicar áreas críticas ou que mereçam atenção para etapas do reestabelecimento ou restauração deste importante rio.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos a FAPEMIG/RENOVA pelo apoio ao Projeto "Derivadores Rastreados por Satélite e Monitoramento Automático de Parâmetros Ambientais Aplicados ao Entendimento da Contribuição dos Afluentes para o Restabelecimento do Rio Doce" (APQ-00405-19), pelo financiamento ao Projeto. Os autores são gratos também ao CNPq.

6. REFERÊNCIAS

[1] Rice, S. P., Rhoads, B. L., and Roy, A. G.: Introduction: River Confluences, Tributaries and the Fluvial Network, in: River Confluences, Tributaries and the Fluvial Network, John Wiley & Sons, Ltd, 1-9, 2008.

[2] Rice, S. P., Ferguson, R. I., and Hoey, T. B.: Tributary control of physical heterogeneity and biological diversity at river confluences. Can J Fish Aquat Sci, V. 63, 2553-2566, 2006.

[3] Constantinescu, G., Miyawaki, S., Rhoads, B., and Sukhodolov, A.: Numerical analysis of the effect of momentum ratio on the dynamics and sediment-entrainment capacity of coherent flow structures at a stream confluence, Journal of Geophysical Research, V. 117, F04028, 2012.

[4] Ribeiro, M. L., Blanckaert, K., Roy, A. G., and Schleiss.: Hydromorphological implications of local tributary widening for river rehabilitation. Water Resources Research, V. 48, 2012

[5] Assireu, A., Dauhut, T., Santos, F., and Lorenzzetti, J.: Near-inertial motions in the Brazil Current at 24°S-36°S: Observations by satellite tracked drifters. Continental Shelf Research, V. 45, 1-12, 2017.

[6] Novelli, G; Guigang, C; Technological Advances in Drifters for Oil Transport Studies. Marine Technology Society Journal, 52 (6), 2018.

[7] Iwata, T., Ikeda, Y., Uzawa, R. et al. Lagrangian tracking measurements revealed the temporal dynamics of nitrogen and phosphorus spiralling in a large Japanese river. Limnology 21, 379–391 (2020). https://doi.org/10.1007/s10201-020-00612-4.

[8] Xie, Z., Huang, H., Yu, G., and Zhang, M.: Quantifying the effects of dramatic changes in runoff and sediment on the channel morphology of a large, wandering river using remote sensing images. Water, V. 10, 1-27, 2018.

[9] Arthur, R. S.: On the Calculation of Vertical Motion in Eastern Boundary Currents from Determinations of Horizontal Motion. J. Geophys. Res., V. 70(12), 2799-2802, 1965.

Gualtieri, C., et al. A field study of the confluence between Negro and Solimões Rivers. Part 1: Hydrodynamics and sediment transport. Comptes Rendus Geoscience, 350 31 – 42, 2018.