

# DETECÇÃO DE EROSÕES MARGINAIS EM RESERVATÓRIOS E ESTIMATIVA DE VOLUME ERODIDO A PARTIR DE DADOS DE VARREDURA LASER TERRESTRE MÓVEL

Lucas Dias Santos<sup>1</sup>

Marcus Vinicius Antunes de Moraes<sup>2</sup>

Antonio Maria Garcia Tommaselli<sup>3</sup>

Mauricio Fava Rubio<sup>4</sup>

Guilherme Jardim Carvalho

José Tadeu Garcia Tommaselli<sup>5</sup>

1 – Universidade Estadual Paulista – Graduação em Engenharia Cartográfica - (dias\_lucas\_santos@hotmail.com)

2 – Universidade Estadual Paulista – Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas - (antunesdemoraes@gmail.com)

3 – Universidade Estadual Paulista – Departamento de Cartografia - (tomaseli@fct.unesp.br)

4 – Duke Energy Internacional-Geração Paranapanema S.A - (mauricio.rubio@duke-energy.com; guilherme.carvalho@duke-energy.com)

5 – Universidade Estadual Paulista – Departamento de Geografia - (tadeu@fct.unesp.br)

## ABSTRACT

Marginal erosion in hydroelectric plant reservoirs are a serious environmental problem, both for the company that has the concession for energy production, considering the reduction of the production areas, as for the riverside owner, who has its land parcel devalued. Few studies have been developed to understand the dynamics of the marginal erosions in reservoirs in Brazil, despite being a very important issue for the country. Emerging new technologies, as the laser scanning, enables increased efficiency and accuracy in the production of geographic information and it is a potential tool for erosion monitoring. The degree of details of the acquired data by laser scanning techniques allows the generation of products such as crest lines and cross sections and also it allows quantitative monitoring of erosion processes in terms of eroded area and volume, supporting the responses of the actuation mechanism over time. In this work, the application of terrestrial mobile laser scanning technique, identified a marginal erosion stretch in parts of the banks of the Rosana plant reservoir, with eroded area larger than 35 m<sup>2</sup> and volume of approximately 90 m<sup>3</sup>, in a period of 10 months.

**Keywords:** Marginal erosions, Hydroelectric reservoirs, LASER scanning.

## INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro maior país do mundo em capacidade de geração de energia hidráulica. Por este fato, em grande parte de seus rios existem reservatórios hidrelétricos (RUBIO, 2015). Ao barrar-se parcialmente o canal fluvial de um rio,

interfere-se diretamente em sua dinâmica de vazão, passando do estado de águas correntes para águas praticamente paradas (COELHO, 2008), com um comportamento mais estático. Devido a essa interferência, a erosão marginal em reservatórios se destaca como impacto ambiental, mas poucos estudos foram realizados para o entendimento da gênese desses processos erosivos, principalmente as técnicas para o seu monitoramento.

Nesse sentido, um projeto de pesquisa e desenvolvimento<sup>1</sup> está em desenvolvimento pela empresa Duke Energy – Geração Paranapanema em parceria com a UNESP (Campus de Presidente Prudente) e um dos objetivos é o estabelecimento de um procedimento de monitoramento dos processos erosivos marginais, baseado em dados de LASER terrestre móvel. Este trabalho é o resultado da aplicação da varredura a LASER como técnica de monitoramento, visando à geração de informação espacial georreferenciada dos processos erosivos. O diferencial fundamental desse projeto é a utilização do equipamento embarcado, associado com posicionamento GPS cinemático.

Os levantamentos são realizados periodicamente em dois reservatórios gerenciados pela empresa, um do tipo fio d'água (UHE de Rosana) e outro de acumulação (UHE de Chavantes), onde vários pontos são monitorados. O resultado apresentado neste trabalho é da aplicação em apenas um dos pontos experimentais, situado na cidade de Euclides da Cunha Paulista/SP às margens do reservatório da Usina Hidrelétrica de Rosana.

## **METODOLOGIA**

A varredura da margem é realizada através de um sistema LASER, instalado em uma embarcação devidamente adaptada (Figura 1.a). O sistema é composto por um LASER rotativo (medição de ângulos e distâncias), um receptor GNSS (posicionamento da embarcação através de correções recebidas por estação em terra (Figura 1.b) e uma unidade de medição inercial – IMU (atitude da embarcação). O levantamento é realizado em um deslocamento aproximadamente paralelo à margem, a uma distância de 15 metros da mesma, em velocidade aproximada de 4 km/h, possibilitando a medida de 36.000 pontos por segundo (TOMMASELLI *et al.*, 2014). O resultado do levantamento é uma nuvem de pontos com coordenadas tridimensionais de todas as feições que estão ao alcance do sensor (Figura 1.c), que pode ser

1 “Monitoramento e Controle de Erosões Marginais em Reservatórios Hidrelétricos: Métodos de avaliação dos processos, uso de geotecnologias para seu monitoramento e experimentação de técnicas de controle”, registrado na ANEEL sob o n.º PD-0387-0311/2010.

observada e avaliada ainda em campo, o que permite decidir sobre refazer ou aceitar a medida recente.

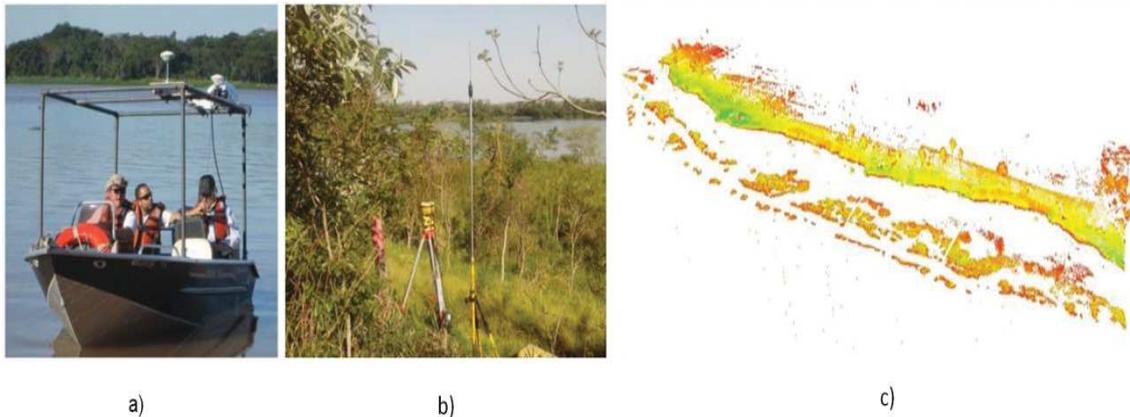


Figura 1. a) Embarcação adaptada durante uma varredura. b) Receptor GNSS em uma estação localizada próximo ao reservatório. c) Nuvem de pontos não filtrada resultante de uma varredura (Barranco da Fazenda Machado no reservatório de Rosana/SP).

Em uma etapa de pós-processamento, a nuvem de pontos passa por um processo de filtragem para remoção da vegetação e feições antrópicas (Figura 2.a). A linha de crista é a linha que separa o talude do barranco e a propriedade ribeirinha. Para fim de detecção das erosões, é extraída a linha de crista do barranco, em processo semiautomático, utilizando o aplicativo Leica HDS cyclone 8.0. Deste modo, as linhas de crista de duas ou mais épocas sobrepostas permitem a detecção de erosão marginal (Figura 2.b). Em aplicativos de SIG ou CAD, é possível realizar medidas lineares do avanço da margem, bem como a área perdida pela propriedade adjacente ao rio.

Uma vez detectado o avanço do processo de erosão, o volume erodido, inferido com base em duas épocas de medição, pode ser calculado através dos perfis topográficos do barranco. Os perfis permitem uma análise pontual do volume de material erodido quando dados de diferentes épocas são sobrepostos (Figura 2.c).

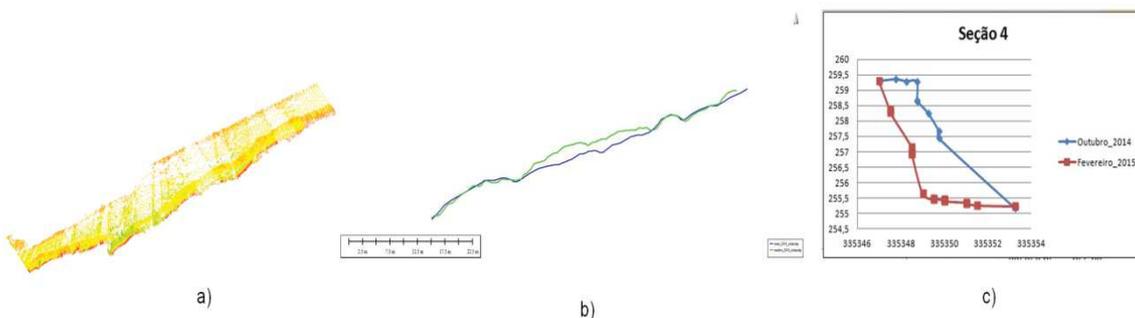


Figura 2. a) Nuvem de pontos filtrada do barranco da Fazenda Machado. b) Linhas de crista de duas épocas sobrepostas. c) Sobreposição de perfis de duas épocas.

Dados de um mesmo perfil, em duas épocas distintas, permitem o cálculo da área do polígono formado entre as linhas de perfil. Para este trabalho, as áreas dos polígonos foram determinadas pela fórmula de cálculo de área por coordenadas (GHILANI e WOLF, 2013). Para estimativa do volume erodido, foi utilizada a equação para cálculo de volume de um prismóide, que envolve a área de três seções transversais, duas nas extremidades da região e uma no ponto médio entre elas. A equação 1 fornece o volume entre as seções separadas pela distância L.

$$Volume = \frac{L}{6}(A_1 + 4A_m + A_2) \quad (1)$$

## RESULTADOS

Com dados de três levantamentos realizados no reservatório da UHE de Rosana (maio/2014, outubro/2014 e fevereiro/2015), foram produzidas linhas de crista e perfis topográficos para o barranco situado na Fazenda Machado, ponto experimental do projeto, no reservatório de Rosana-SP, sob concessão da Duke Energy Geração Paranapanema. Com base na sobreposição das linhas de crista, foram identificados avanços da margem em uma extensão de 20 metros e, posteriormente, foram gerados os perfis para o cálculo do volume erodido entre as épocas. Nessa área, foram extraídas sete seções de perfis para cada época. Os resultados podem ser observados na tabela 1, referentes à região entre as seções 2 e 6, conforme delineamento apresentado na Figura 3.

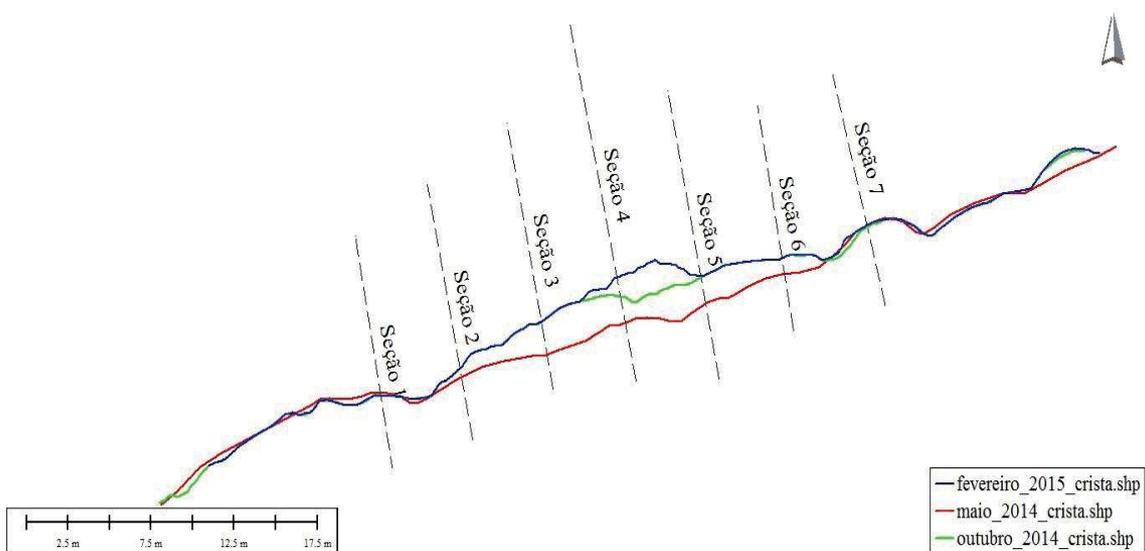


Figura 3. Linhas de crista sobrepostas e localização das linhas de perfil para o barranco da fazenda Machado.

**TABELA 1: DADOS QUANTITAVOS DE AVANÇO DE MARGEM PARA FAZENDA  
MACHADO**

	Avanço linear máximo (m)	Área erodida (m <sup>2</sup> )	Volume erodido (m <sup>3</sup> )
Maio/2014 a Out/2014	2,0	29,3	84,9
Out/2014 a Fev/2015	1,6	6,5	5,7

## **CONCLUSÃO**

A técnica apresentada se destaca pela possibilidade imediata de verificação do sucesso do levantamento, ainda em campo; pela precisão compatível à aplicação (precisão nominal do posicionamento GNSS/RTK de 5 centímetros de acordo com MONICO, 2008) e pelo grau de detalhamento proporcionado pela varredura LASER.

As linhas de crista de duas épocas distintas sobrepostas, além de possibilitar a estimativa da área erodida, permitem uma análise global da evolução da erosão.

Os perfis permitem uma análise pontual dos processos erosivos marginais e estimativa do volume de solo erodido.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

COELHO, A. L. N. Geomorfologia Fluvial de Rios Impactados por Barragens. Revista Caminhos de Geografia Uberlândia v. 9, n. 26 Jun/2008 p. 16 – 32.

GHILANI, C. D., WOLF, P. R. Elementary Surveying: an introduction to geomatics. 13 ed: Upper Saddle River, 2012.

MONICO, J. F. G. Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: Descrição, Fundamentos e Aplicações. 2.ed. São Paulo: Unesp, 2008.

RUBIO, M. F. Gênese e dinâmica de erosões em margens de reservatórios. Pesquisa & Desenvolvimento no estudo de caso nas UHEs Chavantes e Rosana (rio Paranapanema, SP/PR). Tese de Doutorado. São Paulo: FFLCH/USP, 2014.

TOMMASELLI, A. M. G., Moraes, M. V. A., Silva, L. S. L., Rubio, M. F., Carvalho, G. J., and Tommaselli, J. T. G. Monitoring marginal erosion in hydroelectric reservoirs with terrestrial mobile laser scanner, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XL-5, 589-596, doi:10.5194/isprsarchives-XL-5-589-2014, 2014.