

## ÍNDICE DE PERIGO ASSOCIADO A FLUXOS DE ÁGUA EM RIOS NATURAIS

*Marina Refatti Fagundes<sup>1</sup>; Franciele Maria Vanelli<sup>1</sup>; Maurício Andrades Paixão<sup>1</sup>; Karla Campagnolo<sup>1</sup>; Fernando Mainardi Fan<sup>1</sup> & Masato Kobiyama<sup>1</sup>*

**Palavras-Chave** – ecoturismo, ambientes naturais, perda de estabilidade.

### INTRODUÇÃO

O ecoturismo é um segmento crescente do turismo mundial e ocorre, principalmente, em parques e áreas protegidas (EAGLES, 2002). Em virtude de sua biodiversidade, o Brasil apresenta grande potencial para o desenvolvimento desse segmento, sendo que a visitação em Unidades de Conservação (UCs) federais cresceu ao longo dos anos, atingindo mais de 15 milhões em 2019 nas 137 UCs monitoradas. Isso representa um aumento de 20,4% em relação à 2018, sendo 6,4% devido ao aumento real da visitação e 14% devido à melhora no esforço de monitoramento (ICMBIO, 2020a).

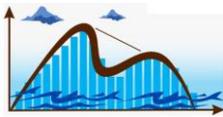
O ecoturismo pode ser definido como um "segmento da atividade turística que utiliza, de forma sustentável, o patrimônio natural e cultural, incentiva sua conservação e busca a formação de uma consciência ambientalista por meio da interpretação do ambiente, promovendo o bem-estar das populações" (BRASIL, 2010). Uma maior proximidade com o ambiente natural traz bem-estar ao turista, sensibiliza a sociedade em relação à proteção e conservação do meio ambiente, bem como pode impulsionar o desenvolvimento econômico local. Entretanto, quando não bem gerenciado, o ecoturismo também pode afetar a sociedade negativamente causando perturbações ao modo de vida das populações locais, roubo ou destruição de espécies da fauna e/ou da flora, compactação e erosão do solo devido ao uso excessivo de trilhas, poluição dos recursos hídricos, ou ainda descontinuação de habitat.

Um aspecto relevante do ecoturismo se refere à exposição dos turistas aos perigos naturais, entre eles, a exposição à fluxos violentos de água em rios. Esse tipo de situação pode ocorrer durante a realização de trilhas, já que a maioria é feita nas proximidades de corpos hídricos, sendo que sua travessia por vezes se torna necessária. Como exemplos de trilhas em que os turistas atravessam o leito do rio durante o percurso pode-se citar: Travessia das Sete Quedas (Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros), a Trilha do Rio do Boi (Parque Nacional de Aparados da Serra), Cachoeira de Santo Izidro (Parque Nacional da Serra da Bocaina) e a Trilha das Piscinas do Malacara (Parque Nacional Serra Geral).

Sobre a travessia de rios, pode-se enfatizar os perigos associados a fluxos de água que podem trazer risco aos turistas em determinadas condições de profundidade, velocidade ou combinação desses dois fatores, causando perda da estabilidade das pessoas, que podem ser carregadas pela força do escoamento. De acordo com Matínez-Gomaríz *et al.* (2016), a segurança das pessoas pode estar comprometida quando elas são expostas à fluxos de água que as impeçam de ficar de pé ou cruzar de modo seguro uma rua ou um curso de água natural.

As características da bacia hidrográfica em que a trilha está inserida também têm influência direta no modo como o fluxo é propagado ao longo dos corpos hídricos. Bacias com pequenas áreas de drenagem e relevo declivosos, por exemplo, podem resultar em um curto tempo de concentração, ou seja, uma rápida resposta na transformação da chuva em vazão. Assim, a elevação nos níveis de

1) Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (IPH/UFRGS), Avenida Bento Gonçalves 9500, (51) 3308-6686, marinarf95@hotmail.com.br.



água do rio ocorre repentinamente em um curto intervalo de tempo, causando situações de perigo aos turistas que estiverem realizando o percurso. Dessa forma, o estabelecimento de critérios para o gerenciamento da abertura ou fechamento das trilhas deve levar em consideração as condições dos fluxos de água, para que as atividades sejam realizadas em segurança.

Tendo em vista um aumento no número de praticantes de ecoturismo, tanto em UCs quanto em outras áreas naturais, torna-se essencial avaliar a exposição dos turistas aos perigos naturais, entre eles, o perigo associado aos fluxos de água, situação presente em diversas trilhas. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi realizar uma análise crítica e demonstrar a relevância do estudo do índice de perigo (IP) associado aos fluxos de água em rios naturais com vistas a garantir a segurança dos turistas.

## ÍNDICE DE PERIGO ASSOCIADO AOS FLUXOS DE ÁGUA

O valor do IP pode ser utilizado para verificar qual o limite de segurança das pessoas quando elas estiverem expostas a um fluxo de água. A determinação do valor do IP pode ser realizada pelo produto da profundidade ( $h$ ) pela velocidade ( $v$ ) do escoamento, sendo que esses dois fatores são considerados por muitos autores como os mais importantes na avaliação da segurança das pessoas durante um evento de inundação (STEPHENSON, 2002; MARTÍNEZ-GOMARÍZ *et al.*, 2016).

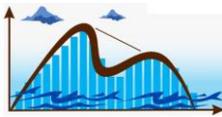
De acordo com Jonkman & Penning-Rowsell (2008), a perda de estabilidade das pessoas quando expostas a um fluxo de água e consequente arrasto e/ou afogamento ocorre devido à três fatores principais, sendo eles, o deslizamento, o tombamento e a flutuação. Situações de perda de estabilidade devido ao deslizamento ocorrem quando a força de arrasto induzida pelo fluxo horizontal supera a resistência de atrito entre os pés e a superfície. O tombamento, também chamado de instabilidade de momento, ocorre quando o fluxo de água gera um momento superior ao momento causado pelo peso do corpo. Já a flutuação, ocorre nas situações em que a profundidade do escoamento supera a altura da pessoa.

Nesse sentido, diversos estudos experimentais e teóricos foram conduzidos nas últimas décadas com a finalidade de definir quais são os limites relativos à profundidade e à velocidade do escoamento, considerados como seguros, ou seja, os limites em que não há perda de estabilidade.

As primeiras referências acerca desse tema derivam de Foster & Cox (1973) que realizaram, na Austrália, testes em laboratório para verificar as condições de perda de estabilidade de 6 crianças em um canal com fundo de madeira, ao serem alteradas as profundidades e as velocidades do fluxo. Os resultados mostraram que mesmo em baixas profundidades ( $< 0,3$  m), mas com velocidades elevadas ( $> 1,5$  m/s) podem ser verificadas situações de risco. Além das condições do escoamento e das características físicas e psicológicas das crianças, Foster & Cox (1973) apontaram que terrenos irregulares e possível impacto de detritos flutuantes também são fatores que devem ser levados em consideração nessa análise.

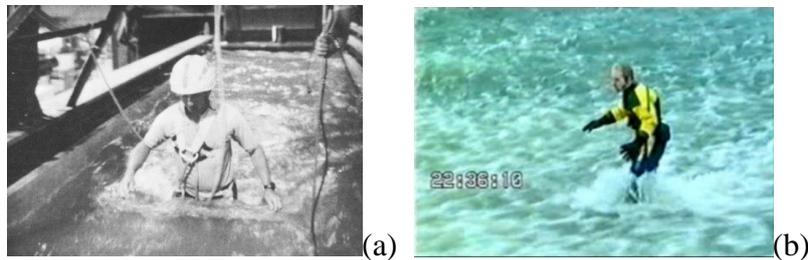
Abt *et al.* (1989) realizaram experimentos de laboratório com um grupo de 20 pessoas adultas nos EUA (Figura 1a). Nesse caso, o material que compunha a superfície do canal foi alterado a fim de analisar sua influência na segurança das pessoas. Os materiais utilizados foram o aço, o concreto, o cascalho e a turfa. Entretanto, os resultados obtidos mostraram que a mudança das características da superfície do canal não afetou significativamente as condições de estabilidade. Isso pode ter ocorrido devido às elevadas profundidades ( $> 1$  m) analisadas, de modo que as forças do momento são mais importantes do que as forças que geram o deslizamento na determinação da segurança. A partir desses experimentos, Abt *et al.* (1989) incluíram as características físicas das pessoas (massa e altura), além das características do escoamento (velocidade e profundidade) para calcular o limiar de estabilidade de uma pessoa sujeita a um fluxo de água.

Jonkman & Penning-Rowsell (2008) realizaram um experimento de campo controlado considerando fluxos de água em uma eclusa do Rio Lea, no Reino Unido (Figura 1b). A superfície do canal onde os testes foram realizados era revestida por concreto e suas margens eram naturais. Somente um indivíduo participou do experimento, sendo este um dublê profissional. Os resultados



mostraram que para valores do IP de aproximadamente  $0,8 \text{ m}^2/\text{s}$  o indivíduo começou a perder estabilidade. Durante os testes, ele ressaltou que carregar um peso extra, como uma criança ou uma mochila, faria a locomoção pelo escoamento ficar mais difícil.

Figura 1 – a) Um dos testes realizados por Abt *et al.* (1989); b) os experimentos de Jonkman & Penning-Rowse (2008).



Estudos experimentais mais recentes, como os de Russo *et al.* (2013) e Martínez-Gomaríz *et al.* (2016), foram realizados considerando exclusivamente cheias em áreas urbanas, onde os fluxos normalmente possuem elevadas velocidades e baixas profundidades. Os resultados dos testes de Russo *et al.* (2013) apontam que velocidades de  $1,88 \text{ m/s}$  e profundidades entre 9 e 16 cm já oferecem elevado perigo para as pessoas. Entre todos os estudos realizados, os que resultaram nos critérios mais restritivos foram os de Martínez-Gomaríz *et al.* (2016). Nesse caso 26 indivíduos testaram diferentes tipos de calçados e foram consideradas diferentes condições de visibilidade. Como resultados eles perceberam que os limites para os valores do IP são em torno de  $0,22 \text{ m}^2/\text{s}$ , muito abaixo dos valores tradicionais utilizados, que são em torno de  $0,5 \text{ m}^2/\text{s}$  (FEMA, 1979; GOMÉZ, 2008).

A partir dos resultados de diversos estudos realizados pelo mundo, tanto experimentais quanto teóricos, a *Australian Rainfall Runoff Guidelines* (ARR) sugere que um valor do IP de  $0,4 \text{ m}^2/\text{s}$  é considerado conservativo para crianças e seguro para adultos e evita que os pedestres sejam carregados pelas ruas devido ao fluxo de água durante cheias (COX *et al.*, 2010). Entretanto, nenhum dos estudos analisados por esses autores para a definição desse limiar foi realizado especificamente para o caso de rios localizados em ambientes naturais.

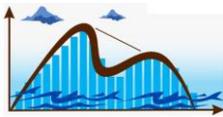
Os estudos analisados apresentam variação nos valores de IP considerados seguros. Entre os fatores que podem influenciar essa variação podem ser citadas as diferenças nas características físicas do experimento, como o material de composição da superfície, os calçados utilizados e as condições de visibilidade; e também os diferentes critérios para determinar o limite de estabilidade: em alguns casos foi considerado o momento em que a pessoa se sentia insegura ao andar pelo fluxo de água e em outros foi o momento em que ela caía.

## DISCUSSÕES

Ao analisar o tema, não foi identificado nenhum estudo que tenha considerado as condições que são encontradas pelas pessoas ao cruzarem um curso natural de água, como é o caso das situações que ocorrem durante uma trilha, por exemplo. Nesse tipo de ambiente, em geral, a superfície apresenta grandes irregularidades, sendo que a visibilidade do fundo do canal é dificultada devido à correnteza, à turbulência no curso de água e também devido à reflexão da luz solar.

Apesar dos experimentos de Abt *et al.* (1989) terem considerado diferentes materiais na composição da superfície do canal, nenhuma delas se assemelha ao leito do rio encontrado ao longo do curso de trilhas como, por exemplo, a Trilha do Rio do Boi, que apresentam grandes seixos e blocos de rocha, os quais muitas vezes são extremamente lisos e de formas irregulares. Nesses casos, a profundidade se altera repentinamente dependendo do caminho que o indivíduo faz para cruzar o leito do rio e, conseqüentemente, o valor do IP. Dessa forma, pode ser que tão importante quanto o estudo do IP, seja o estudo de sua variação ao longo de uma seção transversal.

Uma das possíveis razões para não terem sido realizados experimentos em canais naturais é o fato de que esses testes apresentam reais perigos às pessoas que participam, sendo mais difícil de controlar as condições de segurança em ambientes naturais. Ainda, nos rios naturais, as características



da superfície dos canais são extremamente heterogêneas, o que dificulta a realização de ensaio. Considerando o número de usuários, é muito menor o número de pessoas que frequentam esses tipos de ambientes quando comparados aos grandes centros urbanos. Por esses motivos provavelmente haja uma lacuna relativa à análise do IP em rios naturais.

A manutenção das condições de segurança dos turistas em trilhas também é importante devido ao fato de que muitos locais têm nesse ramo sua principal fonte de renda. Dessa forma, a ocorrência de desastres, incluindo até mesmo de vidas, pode prejudicar o desenvolvimento econômico da região. Dessa forma, é importante que sejam realizadas pesquisas mais específicas de modo a contribuir com o estudo do IP associado a fluxos de água em rios naturais. Os resultados obtidos poderão auxiliar no gerenciamento das trilhas e do ecoturismo tanto nas unidades de conservação quanto em outras áreas naturais.

## REFERÊNCIAS

- ABT, S.R.; WITTLER, R.J.; TAYLOR, A.; LOVE, D.J. (1989). “*Human Stability in a High Flood Hazard Zone*”, Water Resources Bulletin, American Water Resources Association, 25 (4), pp 881-890.
- BRASIL. Ministério do Turismo. “*Ecoturismo: orientações básicas.*” Ministério do Turismo, Secretaria Nacional de Políticas de Turismo, Departamento de Estruturação, Articulação e Ordenamento Turístico, Coordenação Geral de Segmentação.” 2. ed. – Brasília: Ministério do Turismo, 2010. 90p.
- COX, R. J.; SHAND, T. D.; BLACKA, M. J. (2010). “*Australian Rainfall and Runoff revision Project 10: appropriate safety criteria for people.*” Water Research, v. 978.
- EAGLES, P. F. J. “*Trends in Park Tourism: Economics, Finance and Management*”. Journal of Sustainable Tourism, 10:2, 132-153, 2002. DOI: 10.1080/09669580208667158
- FEMA - FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY. (1979). “*The floodway: a guide for community permit officials (USA)*”.
- FOSTER, D.N.; COX, R.J. (1973). “*Stability of Children on Roads Used as Floodways*”, Technical Report No. 73/13, Water Research Laboratory, The University of New South Wales, Manly Vale, NSW, Australia.
- GÓMEZ, M. (2008) Curso de Hidrologia Urbana. “*Flumen Research Institute*”. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona. 7ª Ed.
- ICMBIO. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. “*Monitoramento da Visitação em Unidades de Conservação Federais: Resultados de 2019 e Breve Panorama Histórico*”. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2020a. 20p.
- JONKMAN, S.N.; PENNING-ROUSELL, E. (2008). “*Human Instability in Flood Flows*”. Journal of the American Water Resources Association, Vol. 44, No. 4, pp 1 – 11.
- MARTÍNEZ-GOMARIZ, E.; GÓMEZ, M. & RUSSO, B. (2016). “*Experimental study of the stability of pedestrians exposed to urban pluvial flooding.*” Natural hazards, v. 82, n. 2, p. 1259-1278.
- RUSSO, B.; GÓMEZ, M.; MACCHIONE, F. (2013). “*Pedestrian hazard criteria for flooded urban areas.*” Natural hazards, v. 69, n. 1, p. 251-265.
- STEPHENSON, D. (2002). “*Integrated flood plain management strategy for the Vaal.*” Urban Water, v. 4, n. 4, p. 423-428.

## AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem a Capes e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas de pesquisa e ao Grupo de Pesquisas em Desastres Naturais (GPDEN/UFRGS) pelo apoio recebido.