

## XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

### **ANÁLISE DE ESTUDOS HIDROLÓGICOS COM A PARTICIPAÇÃO DA SOCIEDADE PARA PREVISÃO DE ENCHENTES**

*Tassiana Halmenschlager Oliveira<sup>1\*</sup>; Maria Clara Fava<sup>1</sup>; Felipe Augusto Arguello de Souza<sup>1</sup>  
Bruno José de Oliveira Sousa<sup>1</sup>; Ana Carolina Sarmiento Buarque<sup>1</sup> & Eduardo Mário Mendiondo<sup>1</sup>*

**RESUMO** – O aumento da ocorrência de desastres naturais e os impactos causados sobre o meio ambiente refletem a importância de se desenvolver metodologias para sua previsão e redução da vulnerabilidade em áreas de risco. Nesse contexto, a Associação Internacional de Ciências Hidrológicas (IAHS) introduziu a nova década científica (2013-2022) chamada “*Panta Rhei- Everything Flows*”, com o propósito de melhorar a capacidade de realizar previsões da dinâmica dos recursos hídricos através da análise da interface entre as mudanças no meio ambiente e na sociedade. Levando isso em consideração, esse trabalho tem como objetivo analisar as iniciativas de desenvolvimento de estudos hidrológicos com a participação e/ou utilização de dados advindos dos cidadãos para estudos no Brasil. A metodologia aplicada foi a revisão bibliográfica de trabalhos relacionados a esta temática. Os resultados destas pesquisas mostraram que a ciência cidadã pode servir como fonte complementar de dados hidrometeorológicos, auxiliando na calibração ou sendo utilizadas como entradas para simulação de modelos em locais pouco monitorados. Portanto, a participação da população inserida em locais de risco contribui para a tomada de decisão e previsão de desastres hidrológicos. Apesar de terem sido encontrados resultados promissores na área, conclui-se que ainda existem várias aplicações a serem exploradas.

**ABSTRACT**– Increased frequency of natural disasters and impacts on the environment reflect the importance of developing methodologies for disaster prediction and vulnerability reduction in risk areas. In order to improve the capacity to forecast water resource dynamics with an interface between the environment and society, the International Association of Hydrological Sciences (IAHS) has introduced the new scientific decade (2013-2022) entitled "Panta Rhei- Everything Flows ". This research aims to analyze the initiatives of development of hydrological studies with the participation of society, in urban basins in Brazil. The applied methodology was a

<sup>1</sup>) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. Av. Trabalhador São Carlense, 400 – Centro. CEP 13566-590 - Caixa Postal 359. São Carlos – SP, Brasil.

\* tassiana.oliveira95@gmail.com.

bibliographical analysis, of the application of citizen science, in short term models, implemented in Brazil. The results of these surveys showed that citizen science can serve as a source of complementary data for hydrometeorological data. In the case of uncalibrated basins, voluntary information may be used for calibration. Therefore, the participation of the population inserted in the place of risk, contributes to the decision making and prediction of disasters.

**Palavras-Chave** – Ciência cidadã; modelagem hidrológica; desastres naturais.

## 1. INTRODUÇÃO

Os desastres naturais estão mais intensos em todo o mundo. Os impactos ao meio ambiente oriundos de atividades antrópicas, especialmente em áreas urbanas, e às mudanças climáticas estão associadas a este evento que afeta diretamente à sociedade, e que pode provocar mortes e/ou perdas econômicas. De acordo com o *Annual Disaster Statistical Review (2016)*, os desastres hidrológicos foram os que apresentaram a maior parcela de ocorrência entre os desastres naturais no ano de 2016, totalizando 164 inundações e 13 deslizamentos, representando 51,7 % dos desastres naturais em todo o mundo. Ainda, de acordo com o documento, somente no ano de 2016, foram 4.731 mortes por desastres hidrológicos. Tais dados revelam a necessidade de previsão dos eventos de extremos hidrológicos no sentido de mitigar os danos causados.

A previsão de eventos hidrológicos, como inundações, permite estimar, com antecedência, os níveis e vazão de rios. Sendo, uma ferramenta importante para a tomada de decisão, emissão de alertas e para a atuação de órgãos preventivos, como a Defesa Civil. Os modelos de previsão hidrológica podem ser de curto e longo prazo, sendo os modelos de curto prazo aqueles que permitem prever em dias ou em horas as respostas da bacia a uma precipitação conhecida, e de longo prazo aqueles que permitem estimar, com antecedência de meses, a ocorrência de um evento.

A confiabilidade dos dados de um modelo hidrológico está ligada diretamente a disponibilidade (quantidade e qualidade) dos dados disponíveis. Conhecendo a necessidade do melhoramento dos dados hidrológicos, na década de 2003 a 2012, Associação Internacional de Ciências Hidrológicas (IAHS), focou em iniciativas para a redução das incertezas de dados e na previsão de inundações em bacias não calibradas, ficando evidente a necessidade do desenvolvimento de metodologias para o preenchimento de dados. Entre as metodologias alternativas para o melhoramento na qualidade e na quantidade

de dados destaca-se a ciência cidadã (do inglês *citizen science*). Esta consiste na participação de voluntários que coletam e pesquisadores que processam dados como parte de uma investigação científica (Silvertown, 2009).

Considerando essa necessidade do melhoramento da confiabilidade de dados e a coleta de informações a curto prazo, este trabalho teve como objetivo analisar as iniciativas de estudos hidrológicos que incorporaram a ciência cidadã para o preenchimento de dados em bacias urbanas no Brasil.

## 1.1 Estrutura do trabalho

Após esta breve introdução, o delineamento dos termos a serem utilizados para classificação dos tipos de uso de dados de ciência cidadã, os trabalhos realizados no Brasil e a sua respectiva classificação serão apresentados na seção 2. Na seção 3 serão apresentados os principais desafios, vantagens e desvantagens ao utilizar este tipo de fonte alternativa de dados. E por fim a última seção apresenta as conclusões e recomendações para futuros trabalhos.

O critério utilizado para encontrar os trabalhos revisados foi a buscar por pesquisas que relacionassem *citizen science Brazil*, *volunteered geographic information Brazil*, previsão de enchentes, modelos de alertas hidrológicos e gestão de risco de inundações. A busca pelos trabalhos ocorreu na plataforma de pesquisa Google Scholar.

## 2. CIÊNCIA CIDADÃ

### 2.1 Proposta de classificação de dados de ciência cidadã

Visando apresentar as iniciativas revisadas de forma organizada optou-se por utilizar a classificação baseada no nível de engajamento e participação dos voluntários proposto por Haklay *et al.* (2013). O autor propõe a distinção de projetos de ciência cidadã em quatro níveis, conforme descrito abaixo e apresentado na Figura 1.

1 – *Crowdsourcing*: Este é o nível mais básico de participação, sendo limitado à provisão de recursos e apresentando um engajamento cognitivo mínimo. Neste nível para que as informações sejam consideradas dentro de uma incerteza aceitável para o aproveitamento no projeto científico é necessário possuir um grande volume de dados (Restrepo-Estrada *et al.*, 2018). Howe (2006), chamou esse tipo de coleta de dados de "*crowdsourcing*".

2 – Inteligência distribuída: O segundo nível é a "inteligência distribuída", na qual a capacidade cognitiva dos participantes é o recurso a ser utilizado. Os participantes são convidados a fazer algum treinamento básico e, em seguida, coletam dados ou realizam uma atividade de interpretação simples. Normalmente, a atividade de treinamento inclui um teste que fornece aos cientistas uma indicação da qualidade do trabalho que o participante pode realizar.

3 – Ciência participativa: O terceiro nível é o tipo de participação em que a definição do problema é definida pelos participantes e, em consulta com cientistas e especialistas, é elaborado um método de coleta de dados, este método é especialmente relevante na "ciência da comunidade". Os participantes são envolvidos na coleta de dados, mas requerem a assistência dos especialistas na análise e interpretação dos resultados.

4 – Máximo envolvimento participativo: Por último, este método apresenta a ciência colaborativa como uma atividade completamente integrada, onde todos os participantes são envolvidos na decisão sobre quais problemas científicos devem ser trabalhados e a natureza da coleta de dados, combinando as motivações e interesses dos participantes. Os participantes podem escolher seu nível de envolvimento e podem estar potencialmente envolvidos na análise e publicação ou utilização dos resultados.

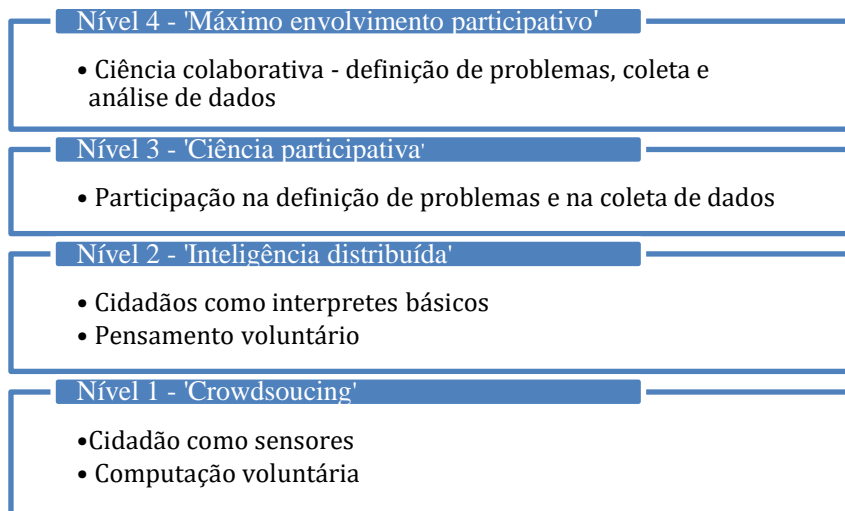


Figura 1 – Níveis de participação e engajamento em projetos de *citizen science*. Adaptado de Haklay (2013).

### 3. CIÊNCIA CIDADÃ E O MONITORAMENTO HIDROLÓGICO NO BRASIL

Fava (2015) desenvolveu um sistema de alerta hidrológico com base participativa, que interage com Informação geográfica voluntária (VGI – *Volunteered Geographic Information*) e informações de sensores sem fio (WSN – *Wireless Sensor Network*) para bacias hidrográficas com dados escassos. A autora realizou, também, um levantamento das principais causas que influenciam na qualidade das informações voluntárias e considerou três situações, conforme as condições de monitoramento da bacia; (i) bacia com dados escassos, (ii) bacias monitoradas com modelagem e não calibradas, e (iii) bacias monitoradas por modelagem e calibradas. Fava (2015) propôs parâmetros espaço-temporais, que podem influenciar na qualidade dos dados de previsão ao se utilizar como fonte o VGI. Segundo a autora, a qualidade dos dados depende: da localização do ponto VGI ( $x$ ); número de pontos onde foram inseridas informações ( $y$ ); confiabilidade das

informações obtidas ( $\lambda$ ); número de observações no mesmo nó ( $\epsilon$ ); o instante em que a informação foi fornecida ( $\tau$ ); erro inerente à coleta das informações ( $\sigma$ ) e Tempo de Concentração da bacia ( $T_c$ ).

Restrepo-Estrada et al. (2018) baseou-se na hipótese da possibilidade da utilização de indicadores oriundos da atividade de mídia social para a realização da previsão e para monitoramento de inundações na bacia de Aricanduva com área de 88 km<sup>2</sup>, localizada na cidade de São Paulo, Brasil. O objetivo foi utilizar os dados de *twitter* de maneira conjunta aos dados de sensores hidrometeorológicos para aprimorar os sistemas de alerta em curto prazo. O autor examinou a frequência de mensagens via *twitter* relacionadas com a ocorrência de chuva para definir uma série de dados de precipitação não oficiais e as utilizou como entrada de um modelo hidrológico para a previsão dos níveis de água. Foi possível observar que a combinação das duas fontes de dados (*twitter* e sensores hidrometeorológicos) alcançou um grau de precisão de 71 % e uma taxa de superestimação de 29 % quando comparado as medições de vazão reais, enquanto que ao utilizar apenas os dados hidrometeorológicos oficiais a modelagem alcançou uma precisão de 39 % e 58 %, respectivamente. Os resultados apresentados pelo autor tornam evidente o potencial da utilização de dados de mídia geo-social para o melhoramento dos sistemas de alerta de enchente a curto prazo.

Visando o apoio a gestão de riscos de inundações, Degrossi (2015) definiu mecanismos para orientar os cidadãos voluntários e auxiliá-los a interpretar a altura da água no leito do rio. Além disso, propôs a disponibilidade interoperável dos dados através de serviços geoespaciais. A autora configurou uma plataforma *crowdsourcing*, chamada Observatório Cidadão de Enchentes, O método desenvolvido foi testado através de um experimento na cidade de São Carlos, no estado de São Paulo. Houve a participação de 10 voluntários, os quais possuíam um grau de conhecimento, sobre a gestão de risco de inundações, diferente uns dos outros. Cada um dos voluntários inseriu na plataforma informações referentes à altura da água no leito do rio em um ponto da bacia. Conforme a autora, estatisticamente, não houve diferença significativa das médias dos valores contidos nas informações obtidas por voluntários quando comparado com os valores médios medidos por sensores, que foram de 21,13 e 23,93, respectivamente. De acordo com Degrossi (2014), a plataforma foi eficiente para a obtenção de informações voluntárias, sendo estas consideradas úteis no contexto da gestão de risco de inundações pois os voluntários reproduziram o estado das variáveis ambientais.

Em outro trabalho desenvolvido em 2014, o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden) criou o projeto Cemaden Educação: Rede de escolas e comunidades para prevenção de desastres. O projeto tem como finalidade a criação de uma cultura de percepção de desastres entre os jovens, e foi indicado como uma referência educacional de boas práticas para

promover a sensibilização de riscos de desastres a nível nacional. O projeto ocorre da seguinte maneira: primeiramente, um grupo representante do Cemaden vai até as escolas e instala sensores de chuva de baixo custo, treina os estudantes e a comunidade para a interpretação dos dados. Posteriormente, os estudantes realizaram o monitoramento do clima e compartilham seus conhecimentos com outras escolas, por meio de *crowdsourcing*. O projeto contou com três linhas de tecnologia de informação: Ciência Cidadã, Compartilhamento de informações e Comissão de Prevenção de Desastres e Proteção da Vida (Com-VidAção). Os dados informados pelos jovens, todavia não são utilizados para o monitoramento do Cemaden.

A Tabela 1 propõe uma categorização dos projetos supracitados. Nele é possível relacionar as pesquisas de acordo com o tipo de informação voluntária utilizada, o propósito da pesquisa e o nível de classificação de Harklay et al (2013).

Tabela 1 – Categorização dos trabalhos hidrológicos desenvolvidos no Brasil de acordo com o tipo de informação voluntária, propósito da pesquisa e a classificação de Harklay et al (2013).

<b>Autor</b>	<b>Tipo de informação voluntária</b>	<b>Propósito da pesquisa</b>	<b>Classificação Harklay et al.</b>
FAVA, Maria Clara (2015).	Informações Geográficas Voluntárias (VGI) e redes de sensores sem fio (WSN).	Desenvolver um sistema de alerta hidrológico com base participativa em bacias com dados escassos.	Nível 3 – ‘Ciência Participativa’
RESTREPO-ESTRADA, Camilo et al (2018).	Dados de twitter e de sensores hidrometeorológicos.	Aprimorar os sistemas de alerta em curto prazo.	Nível 1 – ‘Crowdsourcing’
DEGROSSI, Livia Castro (2015).	Informações Geográficas Voluntárias (VGI) e dados de sensores hidrometeorológicos.	Apoiar a gestão de riscos de inundações.	Nível 2 – ‘Inteligência distribuída’
Cemaden Educação	Informações Geográficas Voluntárias (VGI) dados de sensores hidrometeorológicos de baixo custo.	Criar uma cultura de percepção de desastres hidrológicos nas escolas.	Nível 3 – ‘Ciência Participativa’

#### 4. DESAFIOS E PERSPECTIVAS DA CIÊNCIA DE DADOS ALTERNATIVOS

Entre os desafios da utilização da ciência cidadã em modelos de previsão de enchentes, Degrossi (2015) cita a qualidade dos dados, a localização dos voluntários e a incerteza da credibilidade dos dados. A ciência cidadã é uma ferramenta nova de apoio à tomada de decisão e assim como outras ferramentas de apoio, existe o desafio de não parecer suficiente quando

comparada aos dados científicos. Para que isso não ocorra, deve-se treinar a população a respeito da interpretação dos fenômenos hidrológicos, do compartilhamento e da importância da veracidade dos dados.

Dentre as perspectivas futuras, acredita-se que com a aplicação da ciência cidadã na previsão de eventos hidrológicos, a população esteja menos susceptível aos riscos, podendo haver a diminuição do número de mortes e até mesmo de perdas econômicas. Além disso, acredita-se ser necessário aproximar a população da ciência e tecnologia, promovendo cidadãos cientistas. Os estudos nesta área empregam uma metodologia nova, portanto muitas tecnologias podem ser desenvolvidas para auxiliar no processamento e tratamento dos dados futuramente.

## CONCLUSÕES

Através deste trabalho foi possível concluir que os estudos hidrológicos, com a participação da sociedade como fonte de informação para estudos hidrológicos apresentam grande potencial para o complemento de dados oficiais ou para locais sem nenhuma fonte de dados de monitoramento, podendo, no caso das bacias hidrográficas não calibradas, servir como fonte de informações para a calibração de modelos. Apesar dos resultados promissores, as pesquisas desenvolvidas no Brasil nesta área ainda são muito recentes, indicando que ainda existem muitas possibilidades de uso e aplicação da ciência cidadã a serem exploradas.

**AGRADECIMENTOS** – CAPES PROEX 1650/2017/23038.013525/2017-3; CAPES 24/2014, Pró-Alertas 88887.091743/2014-01, CEPED-USP/NAP; CNPq 465501/2014-1, FAPESP 2014/50848-9 INCT-II Mudanças Climáticas; CNPq 312056/2016-8, EESC-USP/CEMADEN/MCTIC; FAPESP CEPID-CeMEAI 2013/07375-0, Fase 2.

## REFERÊNCIAS

Centro Nacional de monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. **Cemaden Educação**. Disponível em: < <https://www.cemaden.gov.br/cemaden-educacao/>>. Acesso: 03 Mai.2019.

DEGROSSI, Livia Castro. **Uma abordagem para obtenção e disponibilização em tempo real de informações geográficas voluntárias no contexto de gestão de risco de inundação**. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

FAVA, Maria Clara. **Modelo de alerta hidrológico com base participativa usando sistema de informações voluntárias para previsão de enchentes**. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GUHA-SAPIR, Debarati et al. Annual disaster statistical review 2016. **Centre for Research on the Epidemiology of Disasters**, 2017.

HAKLAY, Muki. Citizen science and volunteered geographic information: Overview and typology of participation. In: **Crowdsourcing geographic knowledge**. Springer, Dordrecht, 2013. p. 105-122.

MONTANARI, Alberto et al. “Panta Rhei - tudo flui”: mudança na hidrologia e na sociedade - a década científica 2013–2022 do IAHS. **Revista de Ciências Hidrológicas**, v. 58, n. 6, p. 1256-1275, 2013.

RESTREPO-ESTRADA, Camilo et al. **Geo-social media as a proxy for hydrometeorological data for streamflow estimation and to improve flood monitoring**. *Computers & Geosciences*, v. 111, p. 148-158, 2018.

SILVERTOWN, Jonathan. Um novo amanhecer para a ciência cidadã. **Tendências em ecologia e evolução**, v. 24, n. 9, p. 467-471, 2009.