VALIDAÇÃO E ESPACIALIZAÇÃO DE DADOS HIDROLÓGICOS PARTICIPATIVOS COM APOIO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL: AVANÇOS DA PLATAFORMA CIÊNCIA CIDADÃ

Lorena Lima Ferraz [1] ; Bruno Lobo Coqueiro [2]; Thiago Costa Dionisio de Oliveira [3]; Maria Clara Fava [4]& Marina Batalini de Macedo [5]

RESUMO – Eventos hidrológicos extremos em áreas urbanas demandam estratégias complementares de monitoramento capazes de ampliar a escala espacial e temporal de registro das ocorrências. Nesse contexto, este artigo apresenta os avanços da Plataforma Ciência Cidadã para o monitoramento hidrológico participativo de eventos de inundações, enchentes e alagamentos, com foco na validação dos dados recebidos, no uso de Inteligência Artificial (IA) para apoio à estimativa da altura da lâmina d'água e na espacialização dos registros validados em dashboard interativo. A metodologia envolveu a organização dos dados enviados por usuários, verificação de duplicidades e campos obrigatórios, avaliação da qualidade da localização, classificação da consistência entre relato e imagem, e análise assistida por IA de fotografias dos eventos. Foram analisados 45 registros válidos coletados entre outubro de 2025 e fevereiro de 2026, dos quais 44 apresentaram informação quantitativa sobre a altura da água. Os resultados indicaram que a combinação entre validação, IA e visualização espacial contribui para qualificar dados participativos e identificar ocorrências em escala local.

ABSTRACT– Extreme hydrological events in urban areas require complementary monitoring strategies capable of expanding the spatial and temporal coverage of event records. In this context, this paper presents the advances of the Citizen Science Platform for participatory hydrological monitoring of flood events, focusing on the validation of submitted data, the use of Artificial Intelligence (AI) to support water depth estimation, and the spatialization of validated records in an interactive dashboard. The methodology involved organizing user-submitted data, checking for duplicates and mandatory fields, assessing location quality, classifying the consistency between textual reports and images, and conducting AI-assisted analysis of event photographs. A total of 45 valid records collected between October 2025 and February 2026 were analyzed, of which 44 contained quantitative information on water depth. The results indicated that the combination of validation procedures, AI support, and spatial visualization contributes to improving the quality of participatory data and identifying hydrological occurrences at the local scale.

Palavras-Chave – monitoramento hidrológico, coleta colaborativa, gestão de riscos urbanos.

[1]) Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga - BA, lorena.ferraz@uesb.edu.br
[2]) Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, Itapetinga - BA, brunnocoqueiro2@gmail.com
[3]) Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Recursos Naturais, d2022002248@unifei.edu.br
[4]) Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Civil, São Carlos - SP, mcfava@ufscar.br
[5])Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Recursos Naturais, Itajubá - MG, marinamacedo@unifei.edu.br

INTRODUÇÃO

Eventos climáticos extremos têm se tornado cada vez mais frequentes no Brasil e em diversas regiões do mundo. Segundo Marengo (2025), aproximadamente 11 milhões de pessoas no Brasil foram impactadas por eventos de natureza hidrometeorológica entre os anos de 1948 e 2023. Entre esses eventos, destacam-se as chuvas intensas que, embora seja um fenômeno natural, podem desencadear uma série de impactos socioambientais, como inundações, alagamentos e deslizamentos de encostas (Marengo, 2025). Dados do Serviço Geológico do Brasil (2026) de estudos realizados em 1.803 municípios brasileiros, abrangendo áreas urbanizadas, identificaram mais de 4,6 milhões de pessoas com habitações permanentes em áreas de riscos hidrológico e hidrogeológico, impactando, sobretudo, populações de maior vulnerabilidade socioeconômica (Marengo, 2024).

Dessa forma, o monitoramento hidrometeorológico torna-se fundamental em escala nacional, pois fornece informações essenciais para o planejamento e a implementação de políticas públicas de prevenção e mitigação de desastres. No Brasil, esses dados são obtidos através de 22.779 estações de monitoramento que cobrem uma área total de 8,5 milhões de km^2 (Silva, 2021). No que tange o monitoramento pluviométrico em escala nacional, observa-se que a densidade da rede pluviométrica brasileira corresponde a aproximadamente uma estação para cada 700 km² (Silva, 2021), valor inferior ao recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (WMO), que estabelece uma densidade mínima de uma estação para cada 575 km² para planícies interiores e áreas onduladas (WMO, 2008). Como consequência, casos de eventos de pequena escala espacial e curta duração podem não ser adequadamente registrados pelas estações convencionais, criando lacunas de informação para diagnóstico, resposta e planejamento.

Dado essa realidade, a ciência cidadã surge como uma estratégia complementar de coleta de dados em campo. A ciência cidadã é uma abordagem de pesquisa que promove a participação de cidadãos não cientistas na produção de conhecimento científico, podendo contribuir para a coleta e monitoramento de dados em diferentes áreas do conhecimento (Martins; Cabral, 2021). A participação dos cidadãos com o projeto pode assumir diferentes níveis de engajamento ao longo do projeto, abrangendo desde a delimitação do problema da pesquisa, da determinação da metodologia aplicada, na obtenção e interpretação dos dados, bem como na divulgação dos resultados alcançados (Silva; Santana, 2023). Desta forma, esses colaboradores leigos podem contribuir ao registrar os eventos hidrológicos por meio de dispositivos móveis, contornando as lacunas espaciais existentes nas redes convencionais de observação. Entretanto, a utilização desses dados em análises técnicas requer processos de validação que garantam sua qualidade.

Ocorre, no entanto, que a qualidade dos dados coletados em projetos de ciência cidadã podem ser questionados uma vez que estes podem apresentar inconsistências (como erros de localização, ausência de informações, descrição incompleta, fotos pouco claras ou estimativas subjetivas da altura da água) e vieses porque, em geral, os participantes não seguem protocolos de amostragem tão rigorosos quanto aqueles adotados em pesquisas científicas tradicionais. Assim, é de grande importância que os dados, ao serem recebidos, sejam validados, garantindo que sejam registrados corretamente, e verificados, confirmando que a informação registrada é correta (Baker *et al*., 2021).

Com a Inteligência Artificial (IA), tornou-se possível aprimorar o processamento de dados provenientes de iniciativas de ciência cidadã. Baker *et al.* (2021) destacam que algoritmos de consenso podem ser empregados após a classificação de um mesmo registro por múltiplos usuários, permitindo avaliar o grau de concordância entre os observadores, além de poder ser integrada a técnicas de Inteligência Artificial, potencializando os processos de validação. A IA pode ainda ser integrada na análise dos dados fornecidos na estimativa da altura da água e na comparação entre foto, descrição textual, localização e demais informações preenchidas no formulário. Por fim, os dados validados e verificados com o auxílio da IA podem ser disponibilizados e divulgados através de um dashboard que possibilita a visualização espacial temporal dos eventos registrados.

Considerando os desafios associados ao monitoramento e ao registro de dados hidrometeorológicos, bem como as potencialidades de uma plataforma que integre a abordagem da ciência cidadã na coleta de dados, o objetivo deste artigo é apresentar os avanços da plataforma Ciência Cidadã para o monitoramento hidrológico participativo de eventos de inundação, alagamento e enchente, com ênfase na validação dos registros recebidos, no uso de inteligência artificial para apoio à estimativa da altura da água e na espacialização dos dados validados em um dashboard interativo

MATERIAIS E MÉTODOS

A Plataforma Ciência Cidadã (2025) (https://onseadapta.netlify.app/) foi desenvolvida como um aplicativo Web para a coleta participativa de dados sobre eventos hidrológicos, permitindo que os usuários registrem informações como tipo de ocorrência, data, localização, descrição, altura estimada da lâmina d'água, fotografias e observações adicionais.

O fluxo metodológico, apresentado na Figura 1, se inicia com o recebimento dos registros pelo Webapp, seguido da organização das informações em banco de dados, validação da consistência e completude dos registros, aplicação de técnicas de Inteligência Artificial para apoio à análise das imagens e extração de informações, correlação entre altura estimada, evidências fotográficas e

descrição textual, e, por fim, espacialização dos dados verificados em um dashboard para visualização da distribuição geográfica dos eventos.

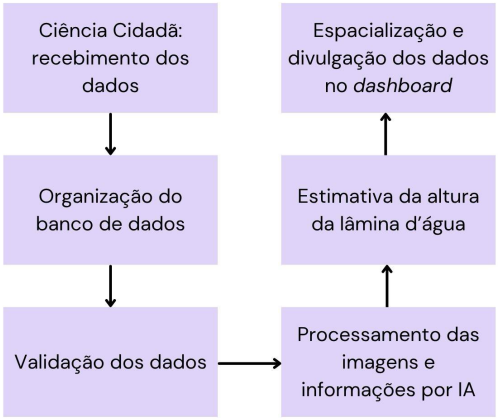


Figura 1 – Fluxo metodológico da plataforma.

Os registros recebidos foram organizados de forma estruturada em banco de dados e planilhas, contendo informações como data e horário da ocorrência, coordenadas geográficas, tipo de evento hidrológico, descrição textual, altura estimada da lâmina d'água, fotografias e observações adicionais.

Para garantir a qualidade dos dados, foram realizados procedimentos de padronização, remoção de duplicidades e verificação do preenchimento dos campos obrigatórios. Em seguida, os registros passaram por validação com base em critérios predefinidos, incluindo a análise da validade e compatibilidade das coordenadas geográficas, a coerência entre o tipo de evento e a descrição textual, e a existência de imagem anexada. Após esse processo, os registros foram classificados como "validado", "parcialmente validado" ou "não validado", sendo excluídos aqueles incompletos ou inconsistentes. Foram analisados 45 registros válidos coletados entre outubro de 2025 e fevereiro de 2026, dos quais 44 apresentaram informação quantitativa sobre a altura da água.

Calibração da Inteligência Artificial

A calibração da inteligência artificial utilizada para estimar a altura da lâmina d'água em eventos de inundação foi realizada por meio da construção de um prompt técnico estruturado, elaborado para orientar a interpretação visual de imagens com base em princípios de hidrologia urbana, fotogrametria e análise sociohidrológica. As análises foram conduzidas na plataforma ChatGPT, na modalidade paga Go, em razão da maior capacidade de interpretação multimodal de imagens.

O objetivo da calibração foi reduzir subjetividades e padronizar o raciocínio analítico da IA. Para isso, o modelo foi orientado a assumir o papel de especialista em hidrologia urbana e a seguir etapas sequenciais de análise. Inicialmente, a IA deveria descrever a cena urbana, identificando vias,

calçadas, estacionamentos, praças, ciclovias, áreas alagadas, zonas secas e pontos de maior acúmulo de água, permitindo inferências sobre a microtopografia urbana e o comportamento superficial do escoamento.

Em seguida, foi definida a calibração de escala a partir de marcadores urbanos parcialmente submersos, como pneus, rodas, portas de automóveis, meio-fio e bancos de praça. Foram fornecidas dimensões médias desses elementos para que a IA pudesse utilizá-los como referências indiretas de profundidade, especialmente em imagens com água turva, nas quais não é possível visualizar o fundo.

A IA também foi orientada a analisar o nível de submersão desses marcadores, observando a posição da linha d'água em relação às dimensões conhecidas dos objetos. A partir dessa comparação visual, o modelo deveria estimar a profundidade aproximada da lâmina d'água, considerando incertezas associadas à perspectiva da câmera, resolução da imagem, distorções fotográficas, ondulações superficiais e variações topográficas da via.

Por fim, foi padronizado um formato obrigatório de saída, contendo um intervalo mínimo e máximo estimado da altura da lâmina d'água, em centímetros, e um valor único mais provável. Essa padronização teve como finalidade garantir maior uniformidade metodológica entre as análises e facilitar a organização e comparação posterior dos dados obtidos.

Classificação e validação dos dados coletados

Para organização e padronização dos dados coletados, os registros foram classificados segundo a qualidade da informação sobre a altura da lâmina d'água e a precisão espacial da localização. A variável "Classe 1 – Qualidade Nível" diferenciou registros "Quantitativos", quando havia valor ou estimativa de altura da inundação, e "Qualitativos", quando o dado se restringia à descrição do evento.

Já a "Subclasse 1 – Tipo de Informação" indicou a origem e a consistência da estimativa, sendo os registros classificados como "Relato", quando baseados apenas na percepção textual do participante; "Foto", quando derivados somente da interpretação visual da imagem; "Ambos – Bom", quando havia concordância satisfatória entre relato e imagem; e "Ambos – Ruim", quando as duas fontes apresentavam divergência significativa. Também foi avaliada a qualidade da localização, por meio da "Classe 2 – Qualidade Localização", classificando os registros como "Preciso", quando o ponto da ocorrência pôde ser identificado com exatidão, ou "Geral", quando a localização estava associada apenas a uma área ampla, como bairro ou cidade.

Para verificar a compatibilidade entre as estimativas de nível, os intervalos informados pelos participantes foram tratados numericamente a partir de seus valores mínimo e máximo. Em seguida,

aplicou-se uma margem de tolerância de 50%, reduzindo o limite inferior e ampliando o limite superior da faixa original, de modo a considerar as incertezas inerentes às estimativas perceptivas. Assim, uma informação entre 10 e 20 cm, por exemplo, passou a admitir uma faixa ampliada entre 5 e 30 cm. Quando o valor de referência da lâmina d'água se encontrava dentro desse intervalo expandido, o registro foi classificado como "Ambos – Bom"; quando estava fora da faixa de aceitação, recebeu a classificação "Ambos – Ruim", indicando discrepância relevante entre a percepção informada e o valor validado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tela inicial do *webapp* desenvolvido pode ser observada na Figura 2. Durante o período de coleta, isto é, entre 14 de outubro de 2025 e 27 de fevereiro de 2026, foram realizados 45 registros válidos de eventos hidrológicos na plataforma, incluindo chuvas intensas, enxurradas, alagamentos e transbordamentos, dos quais 44 foram registros quantitativos e 1, qualitativo. Dos 44 registros quantitativos, 34 foram classificados como "Ambos - Bom" e 10 como "Ambos - Ruim". Além disso, quanto à localização da ocorrência, 25 registros foram classificados como "Precisos" e 20 como "Geral".

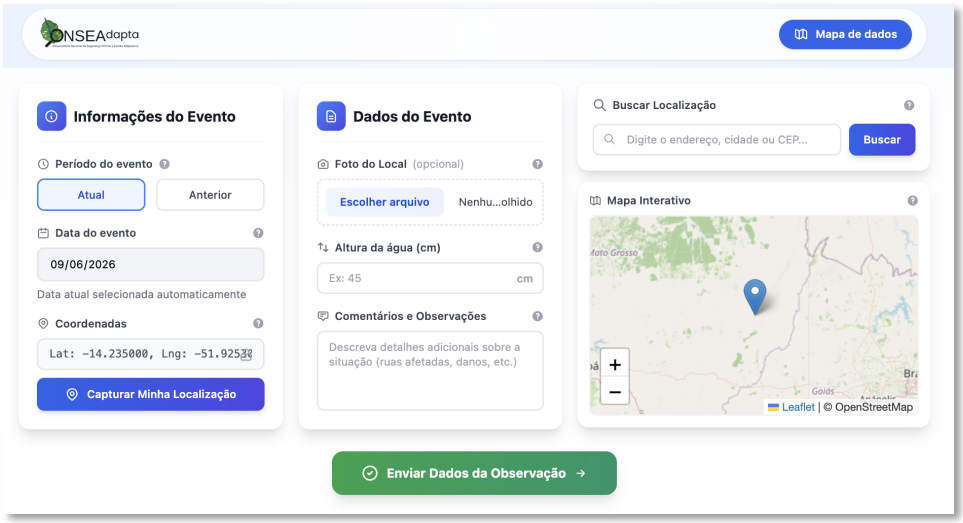


Figura 2 – Tela inicial de envio de dados para a plataforma.

O processamento assistido por Inteligência Artificial contribuiu para qualificar a interpretação dos registros fotográficos, permitindo identificar elementos visuais úteis à estimativa indireta da altura da lâmina d'água, como meio-fio, rodas de veículos, calçadas, portas e outras estruturas parcialmente submersas.

A partir desses marcadores, a IA auxiliou na inferência de intervalos aproximados de profundidade e na verificação da coerência entre imagem, descrição textual e ocorrência registrada,

atuando como ferramenta complementar de validação. No entanto, as estimativas dependem da qualidade das fotografias e podem ser prejudicadas por baixa resolução, pouca iluminação, ângulo inadequado, ausência de objetos de referência ou dificuldade de identificação da linha d'água. Assim, os resultados devem ser compreendidos como estimativas auxiliares, e não como medições hidrométricas diretas.

A Figura 3 apresenta a correlação entre os valores da altura da lâmina d'água informados pelos participantes e aqueles estimados com apoio da Inteligência Artificial a partir das imagens enviadas. De modo geral, observa-se que a maior parte dos registros classificados como "Ambos – Bom" encontra-se próxima da linha de concordância (1:1), indicando boa correspondência entre as informações fornecidas pelos usuários e as estimativas obtidas pela análise das fotografias. Em contrapartida, os registros classificados como "Ambos – Ruim" apresentaram discrepâncias mais acentuadas, evidenciando divergências entre a percepção do participante e a interpretação visual realizada com apoio da IA.

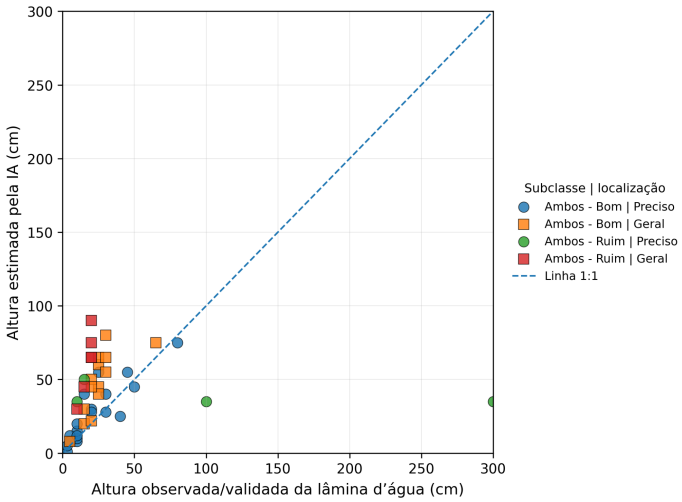


Figura 3 – Correlação entre dados informados pelo usuário com os dados estimados pela Inteligência Artificial.

Também foi possível observar que os registros associados a localizações classificadas como "Preciso" tenderam a apresentar maior consistência entre as diferentes fontes de informação quando comparados aos registros classificados como "Geral". Esses resultados defendem a importância da validação cruzada entre imagem, relato textual, localização geográfica e altura informada pelo usuário, uma vez que a análise integrada dessas evidências aumenta a confiabilidade dos dados produzidos em iniciativas de ciência cidadã. Dessa forma, a combinação entre participação cidadã e ferramentas de Inteligência Artificial mostrou-se uma estratégia promissora para qualificar registros hidrológicos e ampliar seu potencial de utilização em atividades de monitoramento e gestão de riscos.

Atualização da plataforma: Disponibilização de um dashboard de dados validados

Após as etapas de processamento, validação e verificação, os dados foram disponibilizados em um dashboard espacial e interativo, como estratégia de democratização do conhecimento pela ciência cidadã. A interface (Figura 4) apresenta um mapa com pontos georreferenciados dos eventos registrados e permite filtrar as informações por tipo de evento, data, status de validação, altura estimada da água, imagens e descrições associadas. Dessa forma, a ferramenta transforma registros individuais em informação espacializada, favorecendo a interpretação territorial dos eventos hidrológicos e apoiando ações de monitoramento, análise e gestão de riscos urbanos.

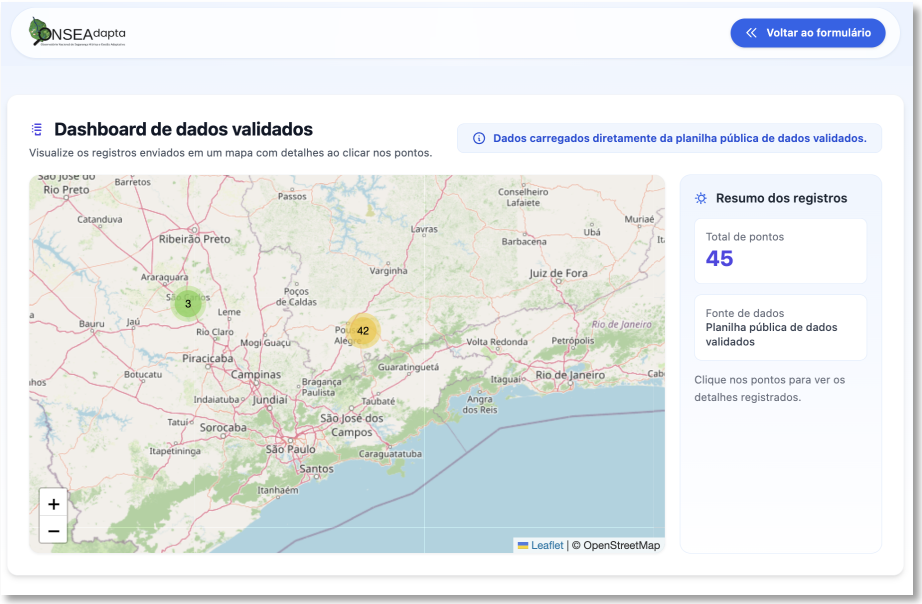


Figura 4 – dashboard de dados validados e especializados.

Os resultados obtidos indicam que a combinação entre validação dos registros, processamento assistido por IA e espacialização em dashboard amplia o potencial de uso dos dados participativos para além da etapa de coleta. A organização dos registros validados em ambiente espacial permite visualizar a distribuição territorial das ocorrências, identificar padrões locais de alagamentos e apoiar a interpretação dos eventos em escala mais próxima da realidade urbana.

Nesse sentido, a plataforma passa a complementar as bases oficiais de monitoramento, sobretudo em situações nas quais eventos de pequena escala espacial ou curta duração não são captados pelas redes convencionais. Em comparação ao trabalho anteriormente apresentado, centrado no desenvolvimento do webapp, os resultados desta atualização demonstram um avanço metodológico ao incorporar procedimentos de qualificação dos dados, análise assistida por IA e disponibilização das informações em um dashboard interativo, fortalecendo o potencial da ferramenta como apoio ao monitoramento comunitário, à gestão de riscos e ao planejamento urbano.

CONCLUSÃO

Este artigo apresentou os avanços da Plataforma Ciência Cidadã para o monitoramento hidrológico participativo, com foco na validação dos registros, no uso de Inteligência Artificial para apoio à interpretação das imagens e na espacialização dos dados em dashboard interativo. Os resultados indicam que a plataforma avançou de uma ferramenta de coleta para um sistema de qualificação e visualização territorial dos dados, reforçando a importância da validação para transformar contribuições cidadãs em informações tecnicamente utilizáveis.

A integração entre ciência cidadã, Inteligência Artificial e dashboard espacial ampliou o potencial de monitoramento hidrológico em escala local, especialmente para eventos que podem não ser captados pelas redes convencionais. A plataforma pode contribuir para a identificação de áreas críticas, apoio à gestão de riscos, planejamento urbano, educação ambiental e fortalecimento da participação social no monitoramento ambiental. Como próximos passos, recomenda-se ampliar a base de registros e aprimorar os procedimentos de validação e os modelos de Inteligência Artificial.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio institucional à pesquisa, por meio da concessão de bolsa de pós-doutorado e pela concessão de apoio INCT nº 58/2022, Observatório Nacional de Segurança Hídrica e Gestão Adaptativa (ONSEAdapta).

DECLARAÇÃO DE USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Os autores declaram que, no âmbito da metodologia do trabalho, utilizaram o ChatGPT para análise interpretativa de imagens de eventos hidrológicos. A ferramenta também foi utilizada para auxílio na escrita e revisão textual do manuscrito. Todo o conteúdo, resultados, interpretações e conclusões foram revisados e validados pelos autores, que assumem integral responsabilidade pela versão final do artigo.

REFERÊNCIAS

BAKER, E. *et al*. (2021). "*The Verification of Ecological Citizen Science Data: Current Approaches and Future Possibilities*". Citizen Science: Theory and Practice, 12, pp. 1-14. Disponível em: https://theoryandpractice.citizenscienceassociation.org/articles/10.5334/cstp.351?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 02 jun. 2026.

MARENGO, J. A. (2025). *"Extremos de precipitação e desastres hidro-geo-meteorológicos no Brasil", in Do local ao global: Mudanças climáticas e gestão de risco de desastres.* Org. por Júnior, L.M. *et al*., ed. Centro Paula Souza, São Paulo – SP, pp. 487-505. Disponível em: https://www.agbbauru.org.br/DLAG2025.html. Acesso em: 2 jun. 2026.

MARENGO, J. A. (2024). *"Impactos sociais dos eventos climáticos extremos".* Ciência e Cultura, pp. 1-8. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252024000300009&script=sci_arttext. Acesso em: 02 jun. 2026.

MARTINS, D. G. M.; CABRAL, E. H. S. (2021). "*Panorama dos principais estudos sobre ciência cidadã*". For Science, pp. 1-20. Disponível em: https://forscience.ifmg.edu.br/index.php/forscience/article/view/1030. Acesso em: 02 jun. 2026.

Plataforma Ciência Cidadã. (2026). "*Sistema colaborativo de monitoramento e coleta de dados sobre eventos hidrológicos*". Disponível em: <https://onseadapta.netlify.app/>. Acesso em 15 jun 2026.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Serviço Geológico do Brasil identificou mais de 17,7 mil áreas de risco no país. Brasília, DF: Serviço Geológico do Brasil, 2 mar. 2026. Disponível em: https://www.sgb.gov.br/w/servico-geologico-do-brasil-identificou-mais-de-17-7-mil-areas-de-risco-no-pais-1. Acesso em: 2 jun. 2026.

SILVA, L.R.S. (2021). "*Monitoramento hidrometeorológico no Brasil: uma análise sob a ótica da coordenação de políticas públicas*". Revista de Gestão de Água da América Latina, pp. 1-15.

SILVA, R. C. G.; SANTANA, E. S. (2023). "*Ciência cidadã*". Cogitare Enfermagem, pp. 1-3. Disponível em: https://www.scielo.br/j/cenf/a/jFBZ9T4XtYzpmTPQLMmzXdG/. Acesso em: 02 jun. 2026.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (2008). *"Guide to Hydrological Practices: Hydrology – From Measurement to Hydrological Information.".* World Meteorological Organization, Gêneva, 296 p.