UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

GABRIEL ARAUJO DE OLIVEIRA

INFORMAÇÕES ESPACIAIS COLABORATIVAS COMO FONTE ALTERNATIVA DE DADOS OBSERVADOS PARA A CALIBRAÇÃO DE MODELOS HIDRODINÂMICOS

Recife
2021

GABRIEL ARAUJO DE OLIVEIRA

INFORMAÇÕES ESPACIAIS COLABORATIVAS COMO FONTE ALTERNATIVA DE DADOS OBSERVADOS PARA A CALIBRAÇÃO DE MODELOS HIDRODINÂMICOS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil.

Área de concentração: Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos.

Orientador: Profº. Dr. José Almir Cirilo.

Recife

2021

Catalogação na fonte
Bibliotecário Gabriel Luz CRB-4 / 2222

O48i Oliveira, Gabriel Araujo de.
Informações espaciais colaborativas como fonte alternativa de dados observados para a calibração de modelos hidrodinâmicos / Gabriel Araujo de Oliveira.
140 f.; il.

Orientador: Prof. Dr. José Almir Cirilo.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Recife, 2021.
Inclui referências e apêndices.

1. Engenharia Civil. 2. inundação. 3. incerteza. 4. HEC-RAS. 5. Hidromapp. 6. informação geográfica voluntária. I. Cirilo, José Almir (Orientador). II. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.) BCTG / 2022 - 112

GABRIEL ARAUJO DE OLIVEIRA

INFORMAÇÕES ESPACIAIS COLABORATIVAS COMO FONTE ALTERNATIVA DE DADOS OBSERVADOS PARA A CALIBRAÇÃO DE MODELOS HIDRODINÂMICOS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil, Área de Concentração em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos.

Aprovada em 25/06/2021

BANCA EXAMINADORA

participação por videoconferência
Prof. Dr. José Almir Cirilo (orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

participação por videoconferência
Prof.ª Dr.ª Iana Alexandra Alves Rufino (examinadora externa)
Universidade Federal de Campina Grande

participação por videoconferência
Prof. Dr. Adriano Rolim da Paz (examinador externo)
Universidade Federal da Paraíba

participação por videoconferência
Prof.ª Dr.ª Suzana Maria Gico Lima Montenegro (examinadora interna)
Universidade Federal de Pernambuco

participação por videoconferência
Prof. Dr. Alfredo Ribeiro Neto (examinador interno)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Ao meu micronúcleo familiar primário, constituído por Dona Magali, Seu Domingos, Rafaela e Júlia, dos quais carrego os primeiros e principais entendimentos de vida, assim como as memórias, e a quem devo a minha maior gratidão. Os quais seguem acreditando e apoiando a minha escolha em seguir o caminho das pedras da carreira acadêmica.

À minha filha, a pequena Flora, fonte inesgotável de motivação, que a cada dia me ensina algo novo e ressignifica a minha compreensão sobre o viver. À Duda, que acompanhou de perto o desenvolvimento desta tese, e com quem compartilho a incrível e desafiadora missão de cuidar e educar um Ser, sobretudo em tempos cada vez mais complexos.

Ao professor Almir Cirilo, orientador desta pesquisa e um grande incentivador profissional, com quem tive a imensurável oportunidade de aprendizado e convívio durante os quatro anos que compreenderam o desenvolvimento desta tese.

Aos demais professores do Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da UFPE (GRH), os quais extremamente dedicados se constituíram enquanto exemplos no árduo papel que é desenvolver pesquisa científica no país, e em especial aos professores Alfredo Ribeiro Neto e Suzana Maria Gico Lima Montenegro.

Aos professores membros da banca de avaliação desta pesquisa, Alfredo Ribeiro Neto (UFPE), Suzana Maria Gico Lima Montenegro (UFPE), Adriano Rolim da Paz (UFPB) e Iana Alexandra Alves Rufino (UFCG).

À professora Patricia Lustosa Brito (UFBA), de quem carrego todos os ensinamentos transmitidos durante o mestrado, reconhecendo hoje a importância de cada um deles para o desenvolvimento desta Tese de Doutorado.

Aos colegas de bancada do GRH, que se constituem hoje como grandes amigos que fiz neste período, em especial e em ordem alfabética (pois não existe ordem de importância) à Adson, Ana, Arivânia, Bruno, Camilla, Cleber, Diego, Diogo, Diórgenes, Fellipe, Gabi, Jussara, Larissa, Lívia, Lucila, Marina, Mayara, Rochele, Samara, Tati, Thiago e Vitor. Ao quais, em tempos pandêmicos e de restrições no convívio social, escrevo de forma saudosa.

Ainda agradecendo aos colegas de bancada, agradeço à Ayane (por todo o apoio nos trabalhos de campo realizados em Jaqueira-PE), à Larissa (pelas incontáveis conversas acerca das nossas pesquisas, as quais sempre com muitas contribuições para a tese), à Diogo (pelas inúmeras contribuições no desenvolvimento do aplicativo Hidromapp), à Fellipe e Lívia (por toda a paciência e disponibilidade nas longas conversas sobre modelos hidrodinâmicos).

Aos meus grandes amigos de vida, Mano, Léo, Caio, João, Mayana, Neemias, Arjuna, Indra, Narayana, Surya, Zulmira, que representam o significado da palavra amizade em todos os seus sentidos, e aos quais agradeço a amizade de longas datas.

À professora Edna (Colégio Estadual Miguel Pellegrino) e à professora Juliana (Escola Municipal Aécio Barros de Oliveira), as quais acolheram a pesquisa de forma extremamente receptiva, sendo assim, pessoas fundamentais para a realização dos trabalhos de campo. Assim como, da mesma forma, agradeço aos estudantes que participaram das oficinas e palestras realizadas ao longo da pesquisa.

À Andrea, Claudiana e Cleide, servidoras da secretaria do PPGEC/UFPE, a quem agradeço por toda a disponibilidade e presteza em assegurar o desenvolvimento das atividades no programa.

À Universidade Federal de Pernambuco pela oportunidade de realização do doutorado, proporcionado por um ensino de qualidade.

À Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado de Pernambuco (FACEPE) pela concessão da bolsa de doutorado (Processo nº IBPG-0051-3.01/17), sem a qual não teria sido possível realizar a pesquisa, e sendo assim um importante instrumento de inclusão social e desenvolvimento científico no Estado de Pernambuco.

Enfim, agradeço da forma mais sincera a todos e a tudo que de alguma maneira contribuiu ou me motivou para a realização dessa Tese de Doutorado.

RESUMO

A pesquisa tem como objetivo explorar a utilização de dados espaciais colaborativos enquanto fonte alternativa de dados observados para a calibração de modelos hidrodinâmicos, especificamente no mapeamento de áreas de riscos hidrológicos. O trabalho é motivado pelas múltiplas fontes de incertezas presentes na modelagem hidrodinâmica, o que salienta a relevância das etapas de calibração e validação das simulações de cheia. Ao mesmo tempo, a escassez de dados observados tem sido apontada como uma das principais limitações da temática, de modo que informações compartilhadas de forma colaborativa podem ser consideradas como potencial fonte alternativa de coleta de dados. Para isso, são abordados no trabalho os seguintes aspectos: desenvolvimento de uma plataforma colaborativa (aplicativo móvel) para a coleta de marcas de cheia; estratégias que podem ser adotadas para a motivação e engajamento de potenciais colaboradores para a realização de coletas de dados; desenvolvimento de mecanismos para análise de consistência dos dados; e, por fim, as potencialidades e limitações identificadas na aplicação de informações colaborativas enquanto fonte alternativa de dados observados para a calibração de modelos hidrodinâmicos. Os resultados obtidos validam a hipótese de que dados espaciais colaborativos podem ser considerados uma fonte alternativa de dados observados para a calibração de modelos hidrodinâmicos. As simulações calibradas a partir desses dados apresentaram erros (RMSE) abaixo de 10 centímetros, e sendo observado que o desenvolvimento de mecanismos para análise de consistência dos dados foi fundamental para o desempenho dos resultados. Da mesma forma, o aplicativo desenvolvido demonstrou bom desempenho uma vez que possibilitou a coleta de dados colaborativos (marcas de cheia), sendo relatado pelos usuários a sua facilidade de utilização e ausência de falhas no funcionamento. Por fim, em relação à motivação e engajamento de colaboradores, estudantes de ensino fundamental apresentaram maior desempenho na realização de coleta de dados, sendo observado também a importância da realização de ações diretas de mobilização, como oficinas presenciais. Dessa forma, a pesquisa espera contribuir para a redução de incertezas no mapeamento de áreas de riscos hidrológicos, especificamente no que diz respeito à escassez de dados observados para a calibração e validação de modelos hidrodinâmicos.

Palavras-chave: Inundação. Incerteza. HEC-RAS. Hidromapp. Informação Geográfica Voluntária.

ABSTRACT

The research aims to explore the use of collaborative spatial data as an alternative source of observed data for the calibration of hydrodynamic models, specifically in the mapping of hydrological risk areas. The work is motivated by the multiple sources of uncertainties present in the hydrodynamic modeling, which highlights the relevance of the calibration and validation stages of the simulations. At the same time, the scarcity of observed data has been pointed out as one of the main limitations of the theme, so that information shared collaboratively can be considered a potential alternative source of information. For this, the following aspects are addressed in the work: development of a collaborative platform (mobile application) for the collection of flood marks; strategies that can be adopted to motivate and engage potential employees to carry out data collections; development of mechanisms for data consistency analysis; and, finally, the potentialities and limitations identified in the application of collaborative information as an alternative source of data observed for the calibration of hydrodynamic models. The results obtained validate the hypothesis that collaborative spatial data can be considered an alternative source of observed data for the calibration of hydrodynamic models. The simulations calibrated from collaborative data showed errors (RMSE) below 10 centimeters when compared to a reference simulation, in which the development of mechanisms for analyzing data consistency was fundamental for the performance of the results. Likewise, the developed application demonstrated good performance since it enabled the collection of collaborative data (flood marks), with users reporting its ease of use and absence of malfunctions. Finally, in relation to the motivation and engagement of employees, elementary school students showed greater performance in conducting data collection, while also observing the importance of carrying out direct mobilization actions, such as in-person workshops. Thus, the research hopes to contribute to the reduction of uncertainties in the mapping of hydrological risk areas, specifically with regard to the scarcity of data observed for the calibration and validation of hydrodynamic models.

Keywords: Flood. Uncertainty. HEC-RAS. Hidromapp. Volunteered Geographic Information.

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO**	**11**
1.1	HIPÓTESE	13
1.2	OBJETIVOS	13
2	**REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**	**14**
2.1	MODELAGEM HIDRODINÂMICA	14
2.1.1	**Fundamentos e aplicações na gestão de riscos**	**14**
2.1.2	**Incertezas associadas na modelagem hidrodinâmica**	**18**
2.1.3	**Calibração de modelos hidrodinâmicos**	**22**
2.2	DADOS ESPACIAIS COLABORATIVOS	25
2.2.1	**Uma fonte alternativa de dados espaciais na era digital**	**25**
2.2.2	**Qualidade em dados espaciais colaborativos**	**30**
2.2.2.1	Medidas/métricas de qualidade	31
2.2.2.2	Indicadores de qualidade (consistência/credibilidade)	34
2.3	TRABALHOS CORRELATOS	37
3	**MATERIAIS E MÉTODOS**	**50**
3.1	DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO HIDROMAPP	51
3.1.1	**Avaliação da acurácia posicional planimétrica do aplicativo Hidromapp**	**55**
3.2	COLETA DE REGISTROS DE INUNDAÇÃO UTILIZANDO O HIDROMAPP	58
3.2.1	**Oficinas presenciais realizadas em escolas**	**59**
3.2.2	**Palestras de curta duração realizada em escolas**	**61**
3.2.3	**Divulgação à distância do aplicativo em escolas**	**62**
3.2.4	**Divulgação do aplicativo em redes sociais**	**64**

3.3 ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO DE DADOS ESPACIAIS COLABORATIVOS NA CALIBRAÇÃO DE MODELAGEM HIDRODINÂMICA BIDIMENSIONAL 65

3.3.1 Área de estudo e evento simulado 65

3.3.2 Estruturação do modelo hidrodinâmico 67

3.3.3 Calibração do modelo hidrodinâmico a partir de dados espaciais colaborativos 70

3.3.4 Análise de desempenho da calibração 77

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 79

4.1 APLICATIVO HIDROMAPP 79

4.1.1 Interface e funcionalidades 79

4.1.2 Acurácia posicional planimétrica do aplicativo 84

4.1.3 Avaliação do aplicativo na perspectiva dos usuários 86

4.2 DESEMPENHO DAS ESTRATÉGIAS DE MOBILIZAÇÃO E ASPECTOS SOBRE A MOTIVAÇÃO DOS COLABORADORES 87

4.2.1 Campanhas presenciais em escolas (Oficinas e Palestras) 88

4.2.2 Contato à distância com escolas 90

4.2.3 Divulgação do aplicativo por meio de redes sociais 91

4.2.4 Colaborações espontâneas 93

4.3 RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO 94

4.3.1 Dados colaborativos selecionados para a calibração do modelo hidrodinâmico 94

4.3.2 Desempenho da calibração do modelo hidrodinâmico com dados colaborativos 98

4.3.3 Desempenho do algoritmo de classificação de consistência e calibração do modelo 102

4.3.4 Desempenho dos estudantes na coleta de dados 108

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 109

5.1 RECOMENDAÇÕES 110

REFERÊNCIAS 112

ANEXO A – CÓDIGO FONTE DO ALGORITMO 126

ANEXO B – INTERFACE DO APLICATIVO HIDROMAPP 137

1. INTRODUÇÃO

Na gestão de riscos hidrológicos, entre outras medidas recomendadas, destaca-se o mapeamento de áreas onde há probabilidade de ocorrência de inundações, gerando subsídios para o planejamento de medidas de prevenção e mitigação, ou de ações em resposta e socorro (MUÑOZ et al., 2021). Para isso, convencionalmente são utilizados modelos matemáticos, denominados modelos hidrodinâmicos, que permitem simular em ambiente computacional o escoamento da água na superfície possibilitando assim, o mapeamento de áreas em situação de risco hidrológico (CALIXTO, WENDLAND e MELO, 2020; DI BALDASSARRE, 2012).

A modelagem hidrodinâmica é fundamental em análises de riscos hidrológicos uma vez que permite estimar as principais variáveis relacionadas aos danos causados por eventos extremos (LI et al., 2021). A partir de modelos é possível simular, além da velocidade de escoamento, a extensão da área inundada, incluindo a distribuição espacial da profundidade da lâmina d'água e as vazões (DI BALDASSARRE, 2012; TENG et al., 2017). Dessa forma podem ser aplicados na reconstituição de eventos já ocorridos, monitoramento em tempo real ou simulação de cenários hipotéticos, contribuindo em todas as fases da gestão de riscos hidrológicos (LI et al., 2021).

No entanto, todo e qualquer modelo de simulação de fenômenos naturais possui incertezas que estão associadas à sua própria concepção (abstração e simplificação do fenômeno), ou que podem ser ocasionadas pela qualidade dos dados de entrada, incluindo a disponibilidade destes (MERWADE et al., 2008; DI BALDASSARRE, 2012; PINHEIRO, NAGHETTINI e PALMIER, 2019). Assim, a verificação e a redução de incertezas são indispensáveis na modelagem de inundações considerando, principalmente, que a subestimativa dos resultados pode acarretar em desprovimento de ações em áreas de risco não identificadas (MOLINARI et al., 2019).

A calibração de modelos hidrodinâmicos consiste no principal mecanismo adotado para a redução de incertezas, enquanto a validação é utilizada para determinar a precisão dos resultados. Ambas são realizadas a partir de dados observados do evento simulado, os quais são aplicados como referência na verificação de desempenho da simulação, seja para o ajuste dos parâmetros do modelo na etapa de calibração, ou para determinar o grau de incerteza dos resultados (validação) (HALL et al., 2005; DI BALDASSARRE, 2012; MOLINARI et al., 2019).

Avanços consideráveis têm sido obtidos no desenvolvimento dos modelos de simulação, seja na redução de incertezas associadas à sua concepção e estrutura, na otimização dos mecanismos de calibração automatizada, ou na qualidade dos dados de entrada, sobretudo na obtenção de modelos digitais de terreno com alta resolução. Entretanto, uma das principais limitações mencionadas na literatura é sobre a indisponibilidade de dados observados para a calibração e validação das simulações. Da mesma forma, uma vez que os parâmetros de calibração dos modelos também variam em função do uso e ocupação do solo, os dados observados devem ser atualizados constantemente, sobretudo em áreas urbanas onde as alterações no uso do solo são frequentes (TUCCI, 2003).

As limitações existentes no monitoramento hidrológico no Brasil, tratando-se especificamente de inundações, inclui a indisponibilidade de séries de vazões e registros de marcas de cheias já ocorridas. De tal modo que diversos estudos relacionados à modelagem hidrodinâmica, realizados no país, utilizam dados não convencionais para a calibração e/ou validação das simulações, como entrevistas com moradores de áreas afetadas, ou por meio de fotografias e vídeos registrados pela população e em mídias jornalísticas.

Nesse contexto, esta pesquisa busca explorar mecanismos alternativos na obtenção de informações de suporte para a calibração e a validação de modelos hidrodinâmicos, frente a escassez de dados observados convencionais. Para isso, aborda-se especificamente a temática relacionada à coleta de dados espaciais georreferenciados via compartilhamento de forma colaborativa, por meio de *sites* ou aplicativos móveis, independente do grau de instrução ou área de atuação dos usuários (GOODCHILD, 2007).

Nas últimas duas décadas tem sido observado o aumento exponencial de plataformas baseadas em colaborações *online*, impulsionado pela ampliação do acesso à internet e aos dispositivos móveis (*smartphones* e *tablets*). Entre as mais diversas possibilidades, essas aplicações têm contribuído para a coleta e disseminação de informações espaciais de forma colaborativa, com baixo custo, podendo ser atualizadas em tempo real, inclusive com o levantamento de informações não contempladas pela cartografia convencional (GOODCHILD, 2007; ELWOOD, 2008; CASTELEIN et al., 2010).

Com base nos elementos expostos, observa-se que os dados espaciais colaborativos podem ser explorados enquanto fonte alternativa de dados observados para a calibração e/ou validação de modelos hidrodinâmicos, que por sua vez consiste em uma das principais lacunas mencionadas na literatura. Nesse sentido, a pesquisa visa investigar a utilização de plataformas colaborativas para o compartilhamento de registros de marcas de cheias já ocorridas, a qualidade das informações, e a sua aplicabilidade na calibração de modelos hidrodinâmicos.

1.1 HIPÓTESE

Considerando a presença de incertezas associadas à modelagem hidrodinâmica e as limitações existentes na sua calibração, no que diz respeito à escassez de registros de marcas de cheia, a pesquisa busca testar a hipótese de que dados espaciais colaborativos podem ser considerados como uma fonte alternativa de dados observados para a calibração de modelos hidrodinâmicos.

1.2 OBJETIVOS

A pesquisa tem como objetivo geral desenvolver mecanismos para a coleta e utilização de dados espaciais colaborativos enquanto fonte alternativa de dados observados para a calibração de modelos hidrodinâmicos, visando contribuir para a redução de incertezas no mapeamento de áreas de riscos hidrológicos.

Por sua vez, são estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

a. Desenvolver uma plataforma colaborativa para a coleta de marcas de cheia;

b. Identificar procedimentos apropriados para a mobilização e engajamento de potenciais colaboradores, por meio de campanhas de coleta de dados;

c. Desenvolver e avaliar mecanismos para a análise de consistência/credibilidade em dados espaciais colaborativos;

d. Identificar as contribuições e limitações de dados espaciais colaborativos enquanto fonte alternativa de dados observados para a calibração de modelos hidrodinâmicos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MODELAGEM HIDRODINÂMICA

2.1.1 Fundamentos e aplicações na gestão de riscos

Em desastres de qualquer natureza, a análise de riscos envolve a mensuração e espacialização (mapeamento) de três componentes básicos: a) ameaça ou perigo; b) vulnerabilidade; e c) capacidade (BRASIL, 2006; GUIMARÃES, GUERREIRO e PEIXOTO, 2008). Estas variáveis originam-se no conceito de risco, compreendido como a probabilidade de ocorrência de um fenômeno potencialmente causador de danos e prejuízos (Ameaça), que pode alcançar áreas vulneráveis e expostas ao fenômeno (Vulnerabilidade), e que não dispõem de medidas (estruturais e não-estruturais) suficientes para o gerenciamento dos possíveis impactos (Capacidade), resultando assim em um desastre (MANSILLA, 2000; BRASIL, 2006; 2007; CASTRO, 2009).

Sendo uma medida passível de mensuração, o risco e os seus componentes podem ser também definidos pela Equação 1 (GUIMARÃES, GUERREIRO e PEIXOTO, 2008) e Equação 2 (BRASIL, 2006):

$$Risco = \frac{Ameaça\ x\ Vulnerabilidade}{Capacidade} \quad (1)$$

$$R = P\,(fA) * C\,(fV) * g\text{-}1 \quad (2)$$

onde um determinado nível de risco ***R*** representa a probabilidade ***P*** de ocorrer um fenômeno físico (ou perigo) ***A***, em local e intervalo de tempo específicos e com características determinadas (localização, dimensões, processos e materiais envolvidos, velocidade e trajetória); causando consequências ***C*** (às pessoas, bens e/ou ao ambiente), em função da vulnerabilidade ***V*** dos elementos expostos; podendo ser modificado pelo grau de gerenciamento ***g*** (BRASIL, 2006).

Especificamente para riscos hidrológicos, que trata esta tese, os fenômenos que representam a ameaça consistem em enxurradas, inundações e alagamentos, de acordo com Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE). As enxurradas e inundações estão relacionadas com o transbordamento de corpos hídricos naturais, e se diferenciam pela velocidade de escoamento, capacidade de transporte de material sólido e tempo de pico. Por sua vez, os alagamentos estão relacionados exclusivamente com a infraestrutura de drenagem construída, quando o volume de chuva precipitado excede a capacidade de escoamento da rede de microdrenagem e de canais artificiais (COBRADE).

Nesta tese, os alagamentos não serão abordados uma vez que a sua análise envolve principalmente a utilização de modelos hidráulicos para sistemas de drenagem (CALIXTO, WENDLAND e MELO, 2020), os quais não são objetos desta pesquisa. Além disso, os danos causados por enxurradas e inundações, em geral, são proporcionalmente maiores quando comparados com eventos de alagamentos, estando este estudo focado apenas nos dois primeiros tipos de ameaças citados.

Enquanto as enxurradas são caracterizadas por alta velocidade de escoamento, elevada capacidade de transporte de material sólido e tempo de pico reduzido, configurando eventos abruptos e com alto impacto, as inundações apresentam estas variáveis com comportamento atenuado, o que pode resultar em danos e prejuízos relativamente menores (COBRADE; UFSC, 2004; GOERL e KOBYIAMA, 2005; TUCCI, 2005). Os termos enxurradas e inundações também são encontrados na literatura como sinônimos de inundações graduais (*flood)* e inundações bruscas (*flash flood*) (GOERL e KOBYIAMA, 2005; TUCCI, 2007).

Em análises de riscos hidrológicos, a utilização de modelos hidrodinâmicos que permitem a simulação de inundações em ambiente computacional é bastante difundida para se estimar a intensidade de eventos de enxurradas e inundações (DI BALDASSARRE, 2012; TENG et al., 2017). A formulação matemática dos modelos hidrodinâmicos é dada pelo sistema de equações de Saint Venant (Equações 3 e 4), baseando-se em princípios físicos que regem o movimento dos fluidos, especificamente as leis da conservação de massa e conservação do movimento (CHAUDHRY, 2008; POPESCU, 2012).

Adotando-se um volume de controle para a representação do sistema (canal), delimitado por seções transversais (forma unidimensional), assume-se que as vazões na seção de entrada (Q_{in}) devem corresponder ao volume na seção de saída (Q_{out}), em que a diferença entre Q_{in} e Q_{out} num determinado intervalo de tempo se refere ao volume armazenado no sistema neste mesmo passo de tempo. Dessa forma, a vazão, a velocidade, e a altura da lâmina d'água pode ser estabelecida em função da distância e do tempo, sendo então calculadas a partir da equação da continuidade (Equação 3).

$$\frac{\partial A}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial t} = q \tag{3}$$

onde A = Área da seção transversal (m²); Q = Vazão (m³/s); x = distância no sentido do escoamento (m); t = tempo (s); q = vazão em marcha distribuída ao longo da extensão do corpo hídrico.

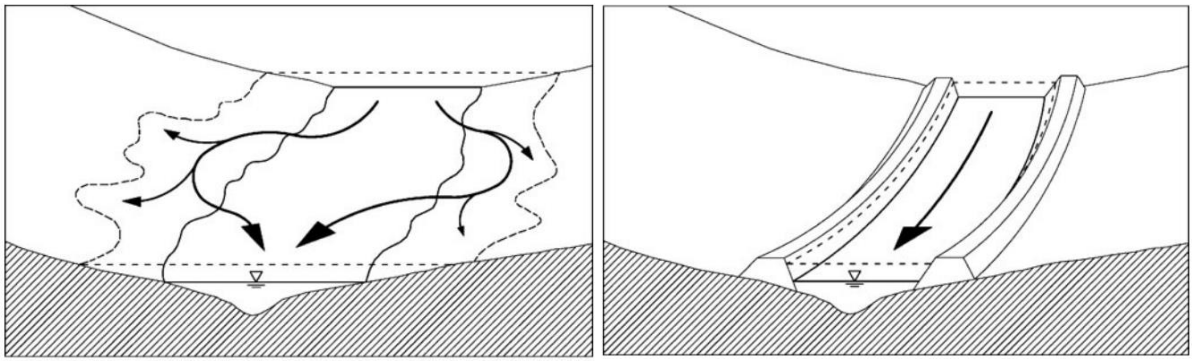
Por sua vez, a equação da quantidade de movimento (Equação 4), ou equação dinâmica, considera os efeitos hidrodinâmicos presentes no escoamento, como a translação e atenuação do hidrograma, e efeitos de jusante, que ocorrem em função das forças atuantes no sistema. Tais efeitos são acoplados no modelo através do balanço da quantidade movimento, considerando a inserção, na Equação 4, dos termos (forças) relativos à inércia ($\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial (Q^2/A)}{\partial x}$), pressão ($gA\frac{\partial h}{\partial x}$), atrito ($gAS_f$), e gravidade ($gAS_0$).

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial (\frac{Q^2}{A})}{\partial x} + gA\frac{\partial h}{\partial x} + gAS_f - gAS_0 = 0 \quad (4)$$

onde Q = Vazão (m³/s); t = tempo (s); x = distância no sentido do escoamento (m); A = Área da seção transversal (m²); h = altura da lâmina d'água (m); g =aceleração da gravidade (m²/s); S_f = declividade da linha de energia (m/m); S_0 = declividade do fundo do canal (m/m).

As equações 3 e 4 correspondem ao modelo hidrodinâmico em sua forma unidimensional, uma vez que a variação no espaço é dada apenas no sentido longitudinal do canal. No entanto, para a simulação de inundações urbanas, os modelos bidimensionais são mais recomendados uma vez que uma parcela considerável do fluxo ocorre sobre a planície de inundação, em que o comportamento do escoamento é fortemente influenciado pelas características físicas (topografia e coeficiente de *Manning*) na área externa ao canal (Figura 1) (DI BALDASSARRE, 2012; TENG et al., 2017)

Figura 1 - Domínio do escoamento na planície de inundação e no leito do canal.



Fonte: Di Baldassarre (2012).

A modelagem hidrodinâmica permite a simulação de inundações por meio de *softwares* como HEC-RAS, MIKE, LISFLOOD, TUFLOW, dentre outros, fornecendo como resultados (*output*) a estimativa das vazões no tempo e no espaço, velocidades de escoamento e altura da lâmina d'água para cada evento simulado (DI BALDASSARRE, 2012; TENG et al., 2017). A mensuração dessas variáveis e a sua representação no tempo e no espaço é fundamental na análise de riscos hidrológicos, uma vez que a intensidade do evento está diretamente relacionada com o potencial de danos e prejuízos, como evidenciado nas curvas "profundidade x dano" e "profundidade x velocidade x dano" (HUIZINGA, MOEL e SZEWCZYK, 2017; ALMEIDA e EULETÉRIO, 2019).

Nesse contexto, os modelos hidrodinâmicos têm sido aplicados na reconstituição de eventos já ocorridos (RIBEIRO NETO et al., 2015); monitoramento em tempo real (ALCOFORADO e CIRILO, 2001; SILVA et al., 2014); e na simulação de cenários hipotéticos, incluindo cenários de probabilidade e frequência em função do tempo de retorno (MONTE et al., 2016; PARHI, 2018; TALISAY, PUNO e AMPER, 2019); na hipótese de construção ou ausência de dispositivos de controle de cheias (ALVES et al., 2017); ou em cenários de alterações no comportamento hidrológico, como mudanças climáticas e aumento do nível do mar (VERÇOSA, 2019; SAKENA et al., 2020).

Além destas, os modelos hidrodinâmicos também são utilizados na simulação de rompimento/colapso de barragens (HALTAS, TAYFUR e ELCI, 2016; VIEIRA, FONTES e SIMÕES, 2019), sendo salientado que tais situações se enquadram como risco e desastre de natureza tecnológica, e não necessariamente como risco hidrológico (COBRADE).

Dessa forma, os modelos hidrodinâmicos fornecem subsídios para a tomada de decisão em todas as etapas da gestão de riscos hidrológicos, desde o mapeamento e análise prévia de riscos para a implantação de medidas de prevenção e mitigação, estruturais ou não-estruturais; o monitoramento em tempo real ou baseado em previsões de curto prazo para a emissão de alertas e ações de preparação; e após a ocorrência de desastres, na realização de ações de resposta e recuperação, a partir da modelagem do evento ocorrido (SAKENA et al., 2020; LI et al., 2021; OLIVEIRA, FLEISCHMANN e PAIVA, 2021).

Assim, as considerações apresentadas demonstram a relevância dos modelos hidrodinâmicos para a gestão de riscos hidrológicos e apontam para a necessidade de esforços no seu aprimoramento, sobretudo no que diz respeito às incertezas associadas e precisão dos resultados, como abordado na próxima seção.

2.1.2 Incertezas associadas na modelagem hidrodinâmica

Assim como em qualquer modelo numérico de fenômenos naturais, as incertezas são inerentes e inevitáveis. Isto ocorre, pelo próprio conceito de modelagem ambiental, que de acordo com Christofoletti (1999), consiste na representação de fenômenos/processos naturais, em um formato simplificado, aproximando-se o máximo possível da realidade.

Ou seja, na construção do modelo é necessário que sejam realizadas abstrações e simplificações do fenômeno representado, sobretudo para que a sua aplicação seja possível. Em fenômenos complexos, como na modelagem hidrodinâmica, pode-se afirmar que seria inviável a concepção de um modelo de simulação que permita a representação inequívoca dos eventos simulados, considerando a complexidade na formulação matemática, a carga computacional e a obtenção dos parâmetros e dados de entrada necessárias para o seu processamento.

Neste ponto, as incertezas estão atreladas à estrutura do modelo hidrodinâmico utilizado, considerando principalmente: dimensões da modelagem (1D, 2D, 1D/2D, 3D); equacionamento do modelo; método numérico utilizado na resolução das equações; e o tipo de malha computacional, no caso dos modelos bidimensionais (células estruturadas ou não estruturadas), como apontado em Pappenberger et al. (2005), Pinheiro, Naghettini e Palmier (2019).

De modo geral, estes fatores não são abordados enquanto problemas, uma vez que consistem nas simplificações adotadas na concepção dos modelos, e cabe ao modelador selecionar aquele cuja estrutura seja mais adequada, em função dos objetivos da simulação e dos recursos disponíveis. Por sua vez, os parâmetros e dados de entrada (*inputs*) também afetam a precisão dos resultados das simulações e estes têm sido consideravelmente explorados na literatura, sendo evidenciada a existência de incertezas associadas aos seguintes elementos:

Hidrograma

Sejam obtidos por estações fluviométricas (curvas-chave), modelagem hidrológica ou por métodos baseados em regionalização, os hidrogramas de entrada em modelos hidrodinâmicos possuem incertezas que são propagadas na simulação, uma vez que todas as técnicas citadas se constituem também enquanto aproximações (MERWADE et al., 2008; PINHEIRO, NAGHETTINI e PALMIER, 2019).

Dados altimétricos e batimetria

A qualidade dessas informações (resolução espacial e acurácia vertical) possui interferência direta nos resultados da simulação, sobretudo na estimativa da altura da lâmina d’água e extensão da área inundada (PAPPENBERGER et al., 2005; CASAS et al., 2006;

MERWADE et al., 2008; LUPPICHINI et al., 2019; PINHEIRO, NAGHETTINI e PALMIER, 2019). Em relação aos dados batimétricos, quando indisponíveis, as incertezas no modelo podem também estar associadas à utilização de batimetrias sintéticas (CORUM, BALL e HUBBARD, 2015), ou à representação da calha do rio considerando apenas modelo digital de elevação, como visto em Ribeiro Neto et al. (2015) e Alves et al. (2017). Além disso, a qualidade das informações batimétricas exerce influência direta na estimativa da declividade do fundo do canal, que por sua vez é aplicada na determinação de parâmetros do modelo.

Coeficiente de Manning

O coeficiente de rugosidade, ou coeficiente de *Manning* tem efeito no desempenho e incertezas das simulações por ser uma variável empírica, cuja complexidade de mensuração é reconhecida na literatura, e que está diretamente relacionada às equações de Saint Vennant, sendo necessária para a resolução do termo relativo à força de atrito (CHOW, 1994; ARCEMENT e SCHNEIDER, 1989; CHAUDHRY, 2008). Por ser adotado convencionalmente como o único parâmetro das equações do modelo passível de calibração, o coeficiente de *Manning* tem sido bastante explorado na literatura, seja no que diz respeito à sua determinação ou, ao nível de incerteza associado (DING, JIA e WANG, 2004; PAPPENBERGER et al., 2005; PARHI, SANKHUA e ROY, 2012; AYVAZ, 2013; BERETTA et al., 2018; OUBENNACEUR et al., 2018; TEIXEIRA et al., 2018; WOLSKI, TYMINSKI, e DABEK, 2018; ARDIÇLIOĞLU e KURIQI, 2019). Por vezes, o coeficiente de *Manning* exerce a função de atenuar todas as demais ambiguidades presentes nos modelos hidrodinâmicos.

Elementos geométricos e simplificações do cenário

Nos modelos unidimensionais, a vetorização da geometria do canal modelado, o espaçamento entre as seções transversais e a sua disposição ao longo da área de estudo podem trazer incertezas nas simulações, mesmo que sejam utilizadas informações altimétricas e batimétricas de alta qualidade (MERWADE et al., 2008; PINHEIRO, NAGHETTINI e PALMIER, 2019). Da mesma forma, nos modelos bidimensionais as incertezas podem estar associadas à resolução espacial das células computacionais e vetorização dos traçados para o acoplamento das condições de contorno à montante e jusante (MERWADE et al., 2008; PINHEIRO, NAGHETTINI e PALMIER, 2019). Além destes fatores, algumas outras simplificações do cenário modelado também acarretam incertezas nos resultados, como considerar ou desconsiderar a existência de barreiras físicas no canal e na planície de inundação,

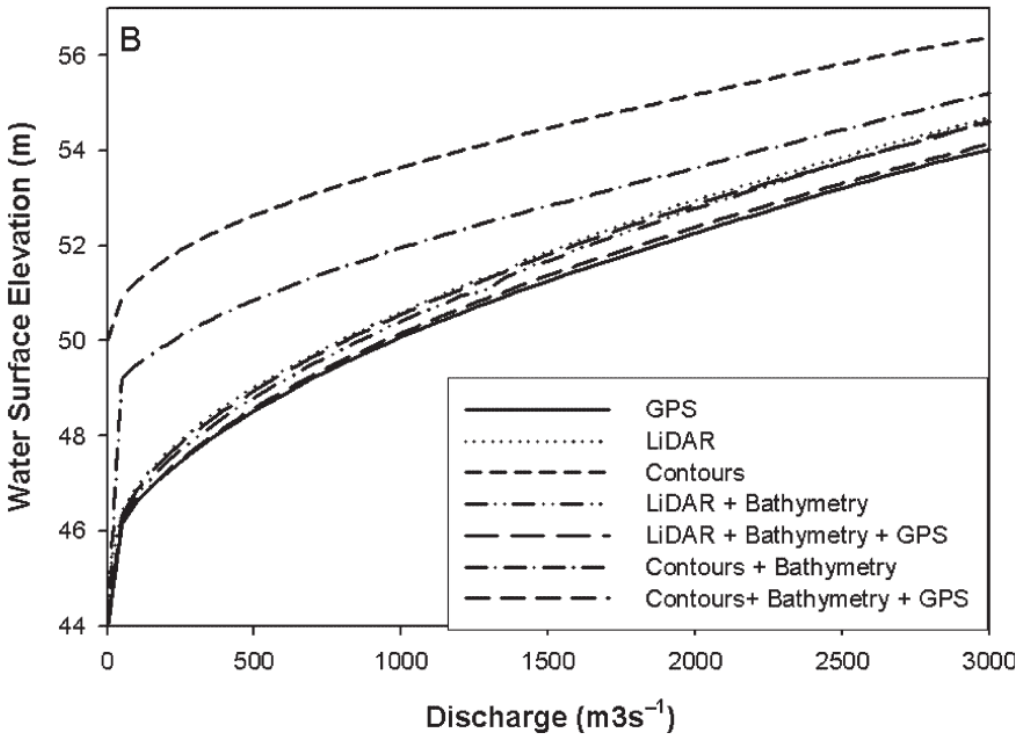
sobretudo pontes e edificações, que constituem elementos determinantes no comportamento dos fluxos (BERETTA et al., 2018).

Intervalo Computacional

Por fim, o intervalo computacional (passo de tempo) adotado nas iterações causa interferência direta na estabilidade do modelo e nos resultados obtidos na simulação, sendo uma fonte de incertezas nos modelos hidrodinâmicos (HEC-USACE, 2016, HOMAN e TONIOLO, 2018).

Assim, observa-se que os resultados de um mesmo evento simulado podem sofrer variações, considerando cada uma das características mencionadas, sejam relacionadas com a estrutura do modelo ou com os dados de entrada, e que representam as incertezas associadas aos modelos hidrodinâmicos, como ilustrado na Figura 2. Tais considerações não invalidam a sua eficiência, de modo que os estudos correlatos à temática buscam o seu aprimoramento para a obtenção de resultados mais precisos, ou nos quais seja possível estabelecer o grau de incerteza.

Figura 2 - Incertezas em modelagem hidrodinâmica associadas ao modelo digital de terreno.



Fonte: Casas et al. (2006).

Em geral, observa-se que os modeladores buscam sempre realizar simulações com o maior nível de precisão possível, considerando a utilização de *softwares* robustos e dados cada vez mais precisos, mas que, nem sempre estão disponíveis com a qualidade máxima desejada. Também é necessário compreender a existência de limitações computacionais que exigem a adoção de simplificações no modelo, como a utilização de malhas computacionais de menor resolução espacial (2D), número reduzido de seções transversais (1D), e maiores intervalos de computação, sobretudo na modelagem de áreas extensas.

Neste contexto, as etapas de calibração e validação do modelo consistem na principal abordagem aplicada na redução e verificação de incertezas. A calibração corresponde ao ajuste dos parâmetros do modelo até que os valores simulados estejam, o mais próximo possível, equivalentes aos seus respectivos valores observados; e por sua vez, a etapa de validação tem como objetivo verificar o desempenho do modelo calibrado, sendo realizada também em função dos respectivos valores observados (HALL et al., 2005; DI BALDASSARRE, 2012; WILLIAMS e ESTEVES, 2017; MOLINARI et al., 2019).

Em análise de riscos hidrológicos, as cautelas com as incertezas na simulação estão atreladas principalmente à possibilidade de subestimação do grau de ameaça e, consequentemente, dos danos potenciais do evento simulado. Uma vez que os mapas de inundação são a principal ferramenta de suporte na gestão de riscos hidrológicos, a subestimativa da simulação pode resultar no planejamento inadequado das ações em prevenção, mitigação e preparação (pré-desastre). Já para a superestimava do modelo, os resultados podem resultar em custos mais elevados na implementação de medidas de gestão de riscos, seja no superdimensionamento das ações ou na sua realização em áreas que não apresentam probabilidade de ocorrência de cheias.

De tal modo, constata-se então a importância da calibração e validação na modelagem hidrodinâmica para a simulação de inundações, como abordado neste trabalho. Tais procedimentos possibilitam a redução de incertezas nos resultados, permitindo identificar a margem de erro associada na estimativa do grau de ameaça simulado, fornecendo assim subsídios adequados para a gestão de riscos hidrológicos. Para isso, a calibração e validação dependem principalmente da disponibilidade de dados observados, sendo essa uma das principais lacunas apontadas na literatura, como discutido na próxima seção, e que, por tais razões, consiste no objeto de pesquisa central desta tese.

2.1.3 Calibração de modelos hidrodinâmicos

Como já mencionado, o processo de calibração de modelos de simulação consiste no ajuste dos parâmetros, buscando o melhor resultado possível dos resultados em função dos respectivos valores observados. Nos modelos hidrodinâmicos, a calibração é realizada a partir da comparação entre as vazões e/ou profundidades da lâmina d'água simuladas e respectivos valores observados (HALL et al., 2005; WILLIAMS e ESTEVES, 2017; MOLINARI et al., 2019).

De modo geral, busca-se estabelecer valores para os parâmetros do modelo, executar a simulação, verificar o seu desempenho em relação aos valores observados, e decidir se o resultado é aceito, correspondendo ao ajuste dos parâmetros, ou se novas simulações devem ser realizadas, até que seja encontrado o ajuste considerado ótimo ou aceitável. A avaliação do desempenho da simulação é realizada por meio de funções objetivo que permitem mensurar o grau de associação entre os valores simulados e observados, como os coeficientes R^2 e Nash-Sutcliffe, RMSE, BIAS, erro médio, Índice de Sucesso Crítico, entre outros (DI BALDASSARRE, 2012; WOOD et al., 2016; WING et al., 2017; WILLIAMS e ESTEVES, 2017).

Em relação às tipologias, a calibração pode ser realizada por: a) calibração manual, em que o modelador é responsável por todos os procedimentos, desde a seleção dos valores dos parâmetros, as simulações, avaliação do desempenho do ajuste, e decisão sobre os parâmetros otimizados; e b) calibração automatizada, em que o ajuste dos parâmetros é realizado de forma computacional por meio de algoritmos baseados em métodos de otimização e funções objetivo, para a busca de valores dos parâmetros e avaliação do desempenho das simulações.

Em comparação com modelos hidrológicos do tipo "chuva x vazão" pode-se afirmar que a calibração de modelos hidrodinâmicos é relativamente menos complexa pois abrange um número consideravelmente menor de parâmetros que devem ser ajustados. Frequentemente, apenas o coeficiente de rugosidade de *Manning* é calibrado nos modelos hidrodinâmicos, o qual representa a resistência exercida sobre o escoamento no canal e na planície de inundação. Para a sua estimativa adota-se valores empíricos definidos na literatura, em função das características físicas do canal, incluindo as suas margens, e da cobertura do solo na planície de inundação, sendo alguns desses valores apresentados na Tabela 1 (ARCEMENT e SCHNEIDER, 1989; CHOW, 1994; CHAUDHRY, 2008).

Tabela 1 - Exemplos de valores recomendados o Coeficiente de *Manning*

Características Físicas (cobertura)	**Valores de Manning**	
	Mínimo	**Máximo**
Canais naturais	0.025	0.035
Solo exposto / Vegetação rasteira	0.025	0.050
Área arborizada	0.080	0.200
Edificações	1,00	

Fonte: Adaptado de Brisbane City Council (2003) e Moreton Bay Regional Council (2012).

Além das características relacionadas à cobertura da superfície modelada (Tabela 1), na calibração do coeficiente de *Manning* recomenda-se também a adoção de outros aspectos, como grau de sinuosidade do canal, efeitos de obstrução e grau de irregularidade no canal e na planície de inundação, como abordado no método de Cowan (ARCEMENT e SCHNEIDER, 1989; CHOW, 1994; BRISBANE CITY COUNCIL, 2003). Porém, na simulação de inundações frequentemente é considerada apenas a cobertura da superfície, dadas as múltiplas incertezas associadas no modelo.

Assim, para a calibração de modelos hidrodinâmicos, seja manual ou automática, os dados de suporte são: a) Ortofotos, imagens de satélite e observações em campo para auxiliar na determinação do coeficiente de *Manning*; b) Hidrogramas observados do evento modelado, para a comparação com as vazões simuladas; e c) Informações sobre a profundidade da lâmina d'água atingida no evento, necessárias para avaliar o ajuste na estimativa da profundidade da inundação.

Observa-se que na medida em que avançam os métodos computacionais para a calibração de modelos hidrodinâmicos, como o desenvolvimento de algoritmos de predição e de calibração automática, a disponibilidade de dados observados ainda é uma limitação. Dessa forma, é comum identificar na literatura autores que mencionam a dificuldade de obter dados para calibração e validação dos modelos, como em Hall et al. (2005), Ribeiro Neto et al. (2015), Molinari et al. (2019) entre tantos outros. Também como evidência da escassez de dados observados de variáveis hidrológicas, têm-se o desenvolvimento de diversos trabalhos voltados especificamente para bacias não monitoradas (*ungauged*), em que as informações são obtidas por meio de técnicas de inferência, de modo que o período entre os anos de 2003 e 2012 é

mencionado por Hrachowitz et al. (2013) como “A década da predição em bacias não monitoradas”.

No Brasil, no que diz respeito ao monitoramento de vazões, têm sido obtidos avanços com a implantação de estações automáticas (Plataforma de Coleta de Dados – PCD) que possibilitam a obtenção de hidrogramas observados com intervalo de tempo menor ou igual a 15 minutos, ampliando consideravelmente a qualidade das simulações. Porém, o número de estações numa mesma localidade ainda é baixo, sendo em sua maioria implantada apenas uma estação. Assim, cabe ao modelador decidir entre obter o hidrograma de entrada da simulação por modelos hidrológicos, ampliando o nível de incerteza, e realizar a calibração e validação com o hidrograma observado; ou utilizar os dados da estação como hidrograma de entrada no modelo hidrodinâmico, caso se tenham disponíveis outras informações para a calibração e validação das simulações.

Contudo, ainda que as estações fluviométricas estivessem em quantidade e distribuição espacial satisfatória para a calibração e validação das vazões simuladas, o desempenho da simulação deve estar primordialmente atrelado à sua capacidade de estimar as profundidades da lâmina d’água na planície de inundação, dado necessário para análise de riscos hidrológicos (DI BALDASSARRE, 2012). Sobre este ponto, observa-se que entre 29 curvas de danos associados às inundações identificadas na literatura por Almeida e Euletério (2019), a profundidade da inundação consta como variável em 28 destas, enquanto a velocidade do escoamento é considerada em apenas 3.

Constata-se então a importância do registro de marcas de cheia para a calibração de modelos hidrodinâmicos, considerando também que o ajuste do modelo apenas em relação às vazões simuladas não necessariamente representa o seu desempenho na estimativa da profundidade da lâmina d’água, como abordado em Habert et al. (2016). Sobre este último aspecto, em Casas et al. (2006) é possível observar, por exemplo, que as bases altimétricas e batimétricas utilizadas nos experimentos ocasionaram efeitos direto na relação entre as vazões e altura da lâmina d’água.

Por tais razões, busca-se nesta tese explorar fontes alternativas para a obtenção de dados observados referentes à altura da lâmina d’água em inundações urbanas. Como visto ao longo da seção, as cotas de inundação são informações cruciais para a calibração e validação de modelos hidrodinâmicos na perspectiva de riscos hidrológicos, uma vez que permitem verificar o desempenho do modelo em relação à estimativa da área inundada e profundidades da lâmina d’água.

2.2 DADOS ESPACIAIS COLABORATIVOS

2.2.1 Uma fonte alternativa de dados espaciais na era digital

Nas duas últimas duas décadas, com o avanço das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC's), tem sido observado o crescimento e popularização de plataformas digitais (*sites* e aplicativos móveis) em que os usuários produzem o conteúdo disponibilizado. *Sites* como *Wikipedia* e fóruns de discussão são hoje reconhecidos como uma importante fonte de informações, cujo conteúdo é gerado e consumido pelos próprios usuários.

De uma forma geral, entende-se por *Crowdsourcing* e Inteligência Coletiva o ato de reunir e sistematizar, a partir de plataformas *online* e múltiplos agentes, informações que estão dispersas entre a população para auxiliar na resolução de problemas, sejam eles do cotidiano ou de natureza técnica e científica (BRABHAM, 2008; SEGARAN, 2008; SCHENK e GUITTARD, 2011). Numa outra perspectiva, os termos também podem ser aplicados para a resolução de tarefas ou problemas por múltiplos agentes, de forma simultânea e colaborativa, e não só para a coleta e sistematização de dados, como por exemplo, os *hackathons* (BRABHAM, 2008; SCHENK e GUITTARD, 2011; BRISCOE e MULLIGAN, 2014).

No *site Wikipedia* pessoas de todo o planeta diariamente adicionam e editam informações sobre os mais diversos assuntos, consolidando-se atualmente como uma enciclopédia *online* que contém, apenas em português, aproximadamente 1 milhão de artigos (temas) e 5 milhões de páginas (subtemas). Ao mesmo tempo, estas informações podem ser acessadas e utilizadas por qualquer pessoa com acesso à *internet*.

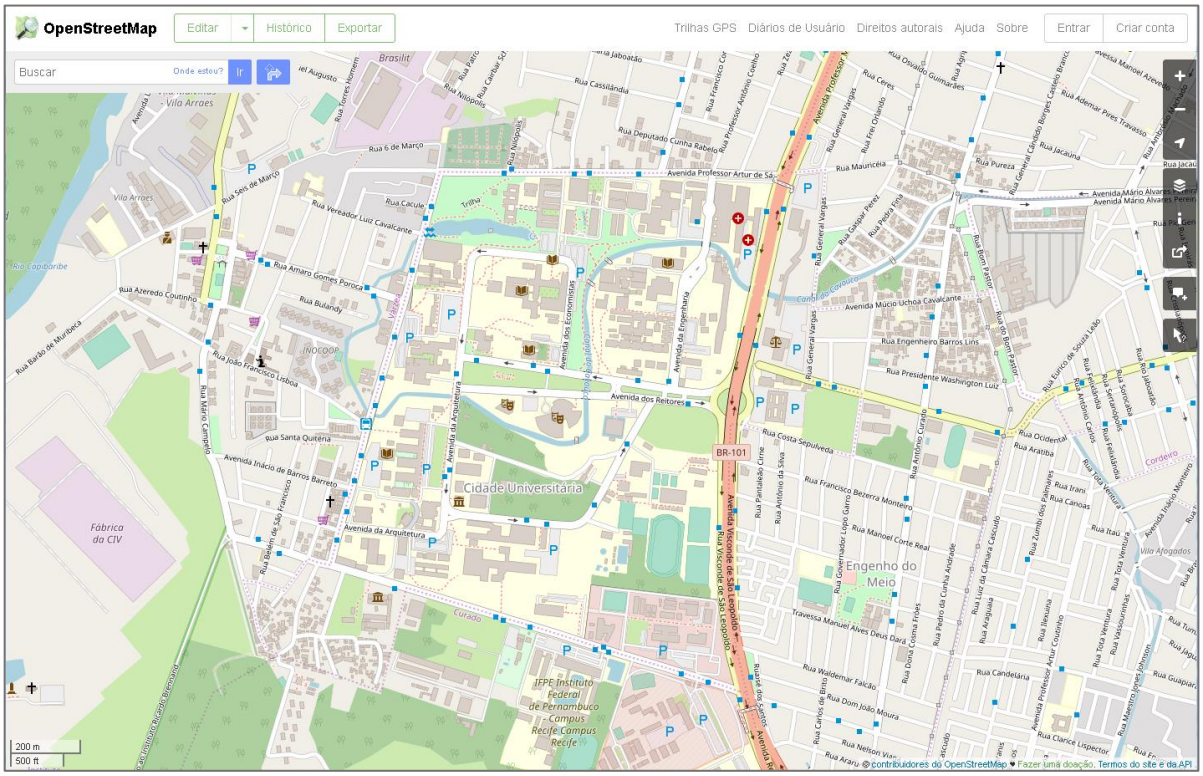
Seguindo esta mesma lógica, observa-se também nas duas últimas décadas o desenvolvimento de plataformas digitais voltadas especificamente para a coleta de informações georreferenciadas, possibilitando a realização de mapeamentos das mais diversas informações, a partir da atuação conjunta e *online* de pessoas em todo o planeta. Como exemplos de uso cotidiano têm-se a plataforma *Google Maps,* em que qualquer pessoa com acesso à *internet* pode adicionar e editar informações sobre a base cartográfica e o aplicativo *Waze*, no qual motoristas podem compartilhar, em tempo real, informações georreferenciadas sobre condições de tráfego nas vias, incluindo velocidade do fluxo, pontos de engarrafamento, acidentes, entre outros. Em ambos os casos, é possível observar como o desenvolvimento dessas plataformas e a cultura do compartilhamento *online* de informações tem contribuído para a aquisição de informações georreferenciadas, produzidas por pessoas de todo o planeta, de forma colaborativa e independente do seu grau de instrução ou área de atuação.

Para a sua terminologia, observa-se na literatura a utilização de diversas nomenclaturas, como *Crowdmapping*, *Crowdsourcing Geoespatial*, *Crowdsourced Geographic Information*, *GeoWiki*, *WikiGIS*, *Volunteered Geographic Information* (VGI), *Public Participation Geographic Information System* (PPGIS), *Non-authoritative Data*, mapeamento colaborativo, geocolaboração, dados espaciais colaborativos, entre outros (KAMEL BOULOS, 2005; GOODCHILD, 2007; SCHAFER, GANOE e CARROL, 2007; CASTELEIN et al., 2010; HEIPKE, 2010; RIBEIRO e LIMA, 2011; ROCHE et al., 2012; SIGALA, 2012; HIRATA et al., 2013; BRITO et al., 2014; LIU, 2014; SCHNEBELE, CERVONE e WATERS, 2014; SEE et al., 2015; BRAVO e SLUTER, 2018). De modo geral, todos estes termos convergem para um mesmo conceito, podendo ser compreendido como a realização de mapeamentos a partir de informações produzidas por diversas pessoas que não necessariamente possuem conhecimentos técnicos em cartografia, e que, em sua maioria, ocorre de forma *online* e não envolve a utilização de métodos da cartografia convencional.

Nesse contexto surgiram outras iniciativas similares ao *Google Maps*, dada a possibilidade de mapear os mais diversos tipos de informações, muitas vezes até então escassas, desatualizadas ou indisponíveis ao público pelas instituições. Dentre elas, a plataforma *OpenStreetMap* (OSM) é o exemplo mais citado na literatura correlata, e consiste no mapeamento de ruas, edificações, equipamentos públicos, e demais informações referentes ao uso e ocupação do solo de todo o planeta, a partir da colaboração de aproximadamente 6 milhões de usuários (Figura 3). No *site* do projeto *OpenStreetMap* os usuários podem realizar a vetorização de feições a partir de imagens de satélites, e adicionar informações sobre o local mapeado, como nome, categoria (estrada rural, avenida, via local, ciclovia, edificação, terminais e paradas de ônibus, floresta, parque, área militar, etc), e demais informações que possam caracterizar as feições vetorizada.

Atualmente, no *OpenStreetMap* existem mapeados aproximadamente 5 bilhões de pontos, sendo possível encontrar informações detalhadas de todas as capitais brasileiras, além de cidades de médio e pequeno porte, e até mesmo bases cartográficas de pequenas localidades, como vilas e povoados nos quais nunca foram realizados mapeamentos convencionais. Diferente do *Google Maps*, na qual é necessário firmar planos de assinatura para utilizar as informações com fins comerciais ou em aplicações técnicas específicas (ver *Google Maps Platform*), todos os dados mapeados no projeto *OpenStreetMap* estão disponíveis para o público em geral, de forma aberta e gratuita.

Figura 3 - Plataforma *OpenStreetMap*: UFPE e entorno.



Fonte: http:www.openstreetmap.org

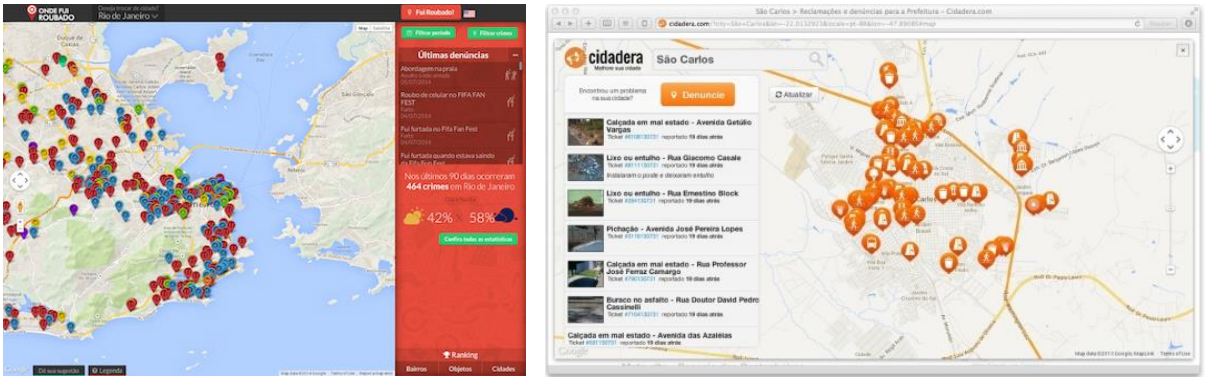
Assim, em função dos custos para utilização da tecnologia *Google Maps*, muitas instituições têm adotado a base *OpenStreetMap* em seus projetos. No Brasil, o portal Hidroweb, a Infraestrutura Nacional de dados Espaciais (INDE), o projeto Topodata do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), e diversos outros têm utilizado o *OpenStreetMap* como mapa base em suas aplicações. Dessa forma, apenas o exemplo do *OpenStreetMap* permite demonstrar o potencial dos dados espaciais colaborativos, sobretudo quando os dados produzidos por todos podem ser acessados por todos.

De maneira análoga ao sensoriamento remoto por satélite, Goodchild (2007) utiliza a expressão "cidadãos como sensores" ("*citizens as sensors*") para demonstrar a atuação das pessoas no ato de mapear informações a partir do seu conhecimento, experiências e seu cotidiano. Assim, tem sido possível não só obter informações da cartografia convencional, como bases de ruas, edificações e outros elementos físicos, mas também qualquer outra informação que possa ser observada e transmitida pela população.

Nesse sentido, podem ser citados como exemplos: o aplicativo "Estou sem água", desenvolvido para identificar locais com falhas no abastecimento de água na cidade de São Paulo, durante o período de crise hídrica ocorrido entre 2014 e 2016; o aplicativo "*Hush City*", voltado para o mapeamento de poluição sonora, sendo possível visualizar atualmente

informações de cidades em diversos países; o site “Onde fui roubado”, que permite aos usuários informar locais onde ocorreram roubos e furtos, com cobertura apenas no Brasil (Figura 4); o site “Fogo cruzado”, desenvolvido no Rio de Janeiro para que a população possa informar, em tempo real, locais onde ocorreram tiroteios, permitindo assim que estas áreas sejam evitadas; e a plataforma “Cidadera”, desenvolvida para auxiliar no planejamento urbano, no qual a população pode informar problemas como buracos em vias, falhas na coleta de lixo e transporte público, depredação de equipamentos urbanos, etc (Figura 4).

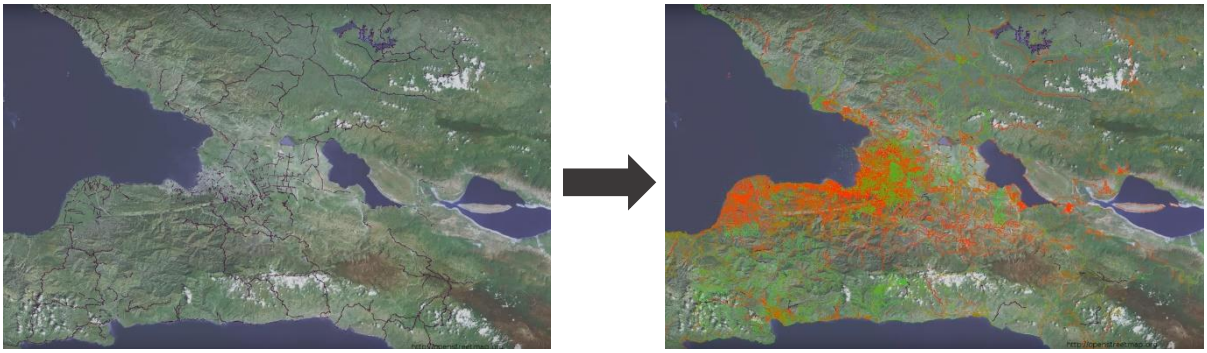
Figura 4 - Plataformas “Onde fui roubado” (a) e “Cidadera” (b).



Fonte: http://www.ondefuiroubado.com.br/ e http://cidadera.com/

Na gestão de riscos e desastres, em que se concentra esta tese, a utilização de dados espaciais colaborativos tem apresentado destaque na literatura correlata, principalmente no desenvolvimento de plataformas para emissão de alertas em tempo real e mapeamento de áreas afetadas por eventos adversos para ações de socorro (GOODCHILD e GLENNON, 2010; HORITA et al., 2013; FAZELI et al., 2015; HARRISON e JOHNSON, 2016; OLIVEIRA e BRITO, 2017). Como apresentado em Horita et al. (2013), Harrison e Johnson (2016) e em Oliveira e Brito (2017), as informações obtidas via *crowdsource* tem contribuído em todas as etapas da gestão de riscos e desastres, posicionando-se assim como uma importante fonte alternativa de dados espaciais. Entre alguns exemplos, cita-se com recorrência na literatura as ações realizadas após o terremoto ocorrido no Haiti no ano de 2010, em que Zook et al. (2010) demonstram como os mapeamentos realizados de forma colaborativa, por meio de plataformas *online*, foram cruciais para o atendimento e socorro às vítimas, uma vez que o país não dispunha de bases cartográficas atualizadas no período do desastre (Figura 5).

Figura 5 - Base Cartográfica do Haiti na plataforma OSM antes e após o terremoto de 2010.



Fonte: Adaptado de Humanitarian OSM Team (2010).

Diversos outros exemplos na gestão de riscos e desastres podem ser vistos em Horita et al. (2013) e em Oliveira e Brito (2017), enquanto os principais estudos correlatos à esta tese são apresentados posteriormente na seção 2.3. Neste momento buscou-se compreender a relevância dos dados espaciais colaborativos enquanto fonte alternativa de informações geográficas, sobretudo na gestão de riscos e desastres. Como visto, esta "nova" forma de mapeamento tem possibilitado a obtenção dos mais diversos tipos de informações em formato georreferenciado, ampliando consideravelmente as possibilidades para todas as áreas do conhecimento que demandam a utilização de dados espaciais, os quais muitas vezes são escassos, desatualizados ou de acesso limitado.

Por tais razões, busca-se nesta tese explorar o seu potencial frente à escassez de dados observados sobre inundações, especificamente registros de marcas de cheia, fundamentais para a calibração e validação de modelos hidrodinâmicos. Porém, é necessário salientar que a qualidade das informações é uma das principais limitações em projetos baseados em dados espaciais colaborativos, de modo que são necessários cuidados para que o uso da plataforma para coleta de dados ocorra de forma confiável e efetiva.

2.2.2 Qualidade em dados espaciais colaborativos

Embora os dados espaciais colaborativos sejam reconhecidos atualmente como uma importante fonte alternativa de informações, a sua qualidade ainda é uma questão a ser explorada, como pode ser visto, dentre diversos outros autores, em Flanagin e Metzger (2008), Haklay (2010), Grira, Bédard e Roche (2010), Goodchild e Li (2012), Esmail, Naeseri e Esmail (2013), Bravo e Sluter (2015), Hung, Kalantari e Rajabifard (2016), De Tré et al. (2017), Fonte et al. (2017) e Degrossi et al. (2018).

Desde o princípio reconhece-se que tal questionamento é compreensível na medida em que se trata de informações produzidas por pessoas que não necessariamente possuem conhecimentos técnicos na realização de mapeamentos, e que não envolve a utilização de métodos da cartografia convencional, como já citado anteriormente. Além disso, deve-se considerar também a probabilidade de ações de vandalismo (erros propositais), como abordado em Ballatore (2014). Neste último caso, os problemas com a qualidade da informação abrangem, em geral, todo o compartilhamento de dados na *internet* (ex. *Fake News*), e que consiste um desafio encontrado também nos serviços telefônicos de emergência (SAMU, Polícia, Bombeiros, etc) como apresentado em Peixoto, Sousa e Odon (2005).

No entanto, múltiplos esforços têm sido empregados para compreender este fator, que pode ser considerado como limitante, e estruturar soluções para que os dados espaciais colaborativos possam contribuir efetivamente com o seu potencial que já é identificado na literatura. De modo geral, observam-se duas abordagens no estudo da qualidade em dados espaciais colaborativos, sendo estas:

a) Medidas ou métricas de qualidade, que consiste na mensuração de atributos de qualidade estabelecidos por normas técnicas de avaliação e padronização de dados espaciais, como definido pela ISO 19157 (*Geographic Information - Data Quality*);

b) Indicadores de qualidade, que por sua vez se referem à uma estimativa da qualidade, ou da sua consistência/credibilidade, realizada por inferência, e que não se dá na perspectiva normativa como na abordagem anterior (ANTONIOU e SKOPELITI, 2015; SENARATNE et al., 2016; FONTE et al., 2017; DEGROSSI et al., 2018).

2.2.2.1 Medidas/métricas de qualidade

De acordo com a ISO 19157, a qualidade em dados espaciais é representada pelo grau em que um conjunto de características (atributos) dos produtos cartográficos avaliados atendem aos requisitos (necessidades) dos seus respectivos usuários. Por conseguinte, esta mesma norma estabelece os seguintes elementos (atributos) enquanto componentes da qualidade de uma informação geográfica:

Acurácia posicional

Refere-se à magnitude das discrepâncias posicionais detectadas entre as feições mapeadas e suas respectivas coordenadas de referência, levando em consideração a presença de erros aleatórios (precisão) e de erros sistemáticos (tendências) (ISO 19157, 2013; ET-CQDG, 2016; FONTE et al., 2017). De modo geral a avaliação da qualidade desta componente é realizada a partir da comparação entre os dados em análise e outras informações de referência, como bases cartográficas já validadas ou levantamentos em campo, desde que apresentem acurácia posicional superior aos dados avaliados (ISO 19157, 2013; ET-CQDG, 2016; FONTE et al., 2017).

Acurácia temática

Diz respeito aos atributos que estão vinculados às feições, como classes, *tags*, ou valores numéricos referentes as variáveis que caracterizam as feições mapeadas (ISO 19157, 2013; ET-CQDG, 2016; FONTE et al., 2017). Ex.: em um mapeamento de uso e ocupação do solo, a acurácia temática é comprometida quando é atribuída a classe “solo exposto” em um polígono que na realidade trata-se de uma área coberta por vegetação densa; ou, tratando de variáveis quantitativas, quando num mapeamento de patrimônio arquitetônico atribui-se de forma errônea o ano de construção de uma edificação. Assim como a acurácia posicional, a análise da acurácia temática também depende de informações de referência, com qualidade superior, sejam bases cartográficas validadas ou levantamentos de informações em outras fontes.

Completude

Está relacionado com a ausência de feições mapeadas, ou excesso de informações, que neste último caso corresponde à presença de feições inexistentes na base de dados (ISO 19157, 20136; ET-CQDG, 2016; FONTE et al., 2017). Assim como nas componentes anteriores, a sua avaliação é realizada a partir da confrontação com dados de referência.

Qualidade temporal

Refere-se à análise das informações em relação ao tempo, como data de coleta e publicação, tempo decorrido entre a produção e validação das informações, ou prazo de validade dos produtos cartográficos (ISO 19157, 20136; ET-CQDG, 2016; FONTE et al., 2017).

Consistência lógica

Representa a qualidade da informação no âmbito da modelagem conceitual de dados espaciais – ver Borges, Davis e Laender (2005) – e é avaliada em função das regras lógicas estabelecidas na estruturação do banco de dados (ISO 19157, 20136; ET-CQDG, 2016; FONTE et al., 2017). Ex.: no mapeamento de redes, como abastecimento de água, esgotamento sanitário ou vias de circulação, as conexões entre os nós e grafos devem representar de forma consistente o relacionamento topológico entre as feições; ou ainda sobre regras topológicas, limites políticos-administrativos não devem apresentar sobreposições; ou como exemplificado em ET-CQDG (2016, p. 2-3):

> "em uma base de dados geográficos as rodovias devem receber no campo de atributos 'tipo de pavimentação' uma das seguintes informações: 'Pavimentada' ou 'Não pavimentada'. Caso se verifique que foi inserido 'Estrada não asfaltada', tem-se uma inconsistência".

Usabilidade

Por fim, o termo usabilidade advém da engenharia de *software*, e de acordo com a ISO 9241-11 (1998 apud BROWN et al., 2013) busca avaliar "em que medida um produto pode ser usado por usuários específicos para atingir objetivos específicos com eficácia, eficiência e satisfação em um contexto de uso específico". Tratando especificamente de dados espaciais, e em relação aos demais componentes apresentados acima, a ISO 1957 estabelece que:

> A usabilidade é baseada nos requisitos do usuário. Todos os elementos de qualidade podem ser usados para avaliar a usabilidade. A avaliação da usabilidade pode ser baseada em requisitos específicos do usuário que não podem ser descritos usando os elementos de qualidade descritos acima. (ISO 19157, 2013, p. 10)

Ou seja, a componente usabilidade considera que a qualidade de uma informação geográfica é estabelecida a partir das necessidades do usuário, podendo ser de certa forma independente da sua qualidade em relação aos demais atributos mencionados acima, e variando em função do contexto em que os dados são aplicados (ISO 19157, 2013; BROWN et al., 2013;

BRAVO e SLUTER, 2015; FONTE et al., 2017). Ex.: dados altimétricos da base SRTM podem atender as necessidades dos usuários na modelagem hidrológica de grandes bacias ou em estudos geomorfológicos em grande escala, mas não são aplicáveis na elaboração de projetos executivos de barragens.

A inserção da componente usabilidade na ISO 19157 ampliou consideravelmente as possibilidades de avaliar a qualidade de dados espaciais colaborativos. Uma vez que as informações podem ser avaliadas na perspectiva da sua destinação final (*fitness-for-use, fitness-for-purpose*), a sua análise é centrada nas necessidades do usuário e que, por sua vez, não necessariamente devem corresponder aos níveis de qualidade da cartografia convencional (BROWN et al., 2013; ANTONIOU e SKOPELITI, 2015; FONTE et al., 2017).

Em relação aos trabalhos já realizados, os estudos têm se concentrado na análise da acurácia posicional, acurácia temática e completude, sobretudo na plataforma *OpenStreetMap* (ANTONIOU e SKOPELITI, 2015). De modo geral, observa-se que a qualidade das informações é heterogênea, não sendo possível estabelecer um único nível para os dados como um todo.

Haklay (2010), Haklay et al. (2010), Zielstra e Zipf (2010), Helbich, Amelunxen e Neis (2012) e Hecht, Kunze e Hahmann (2013) identificaram que na base *OpenStreetMap*, em suas respectivas áreas de estudo, as informações apresentavam acurácia posicional e completude superior em áreas urbanas, quando comparada com localidades rurais. Da mesma forma, é possível observar avaliações distintas (qualidades heterogêneas) se comparados os resultados obtidos em cada um dos estudos mencionados (áreas urbanas x áreas urbanas e áreas rurais x áreas rurais).

Em suma, no que diz respeito a mensuração da qualidade no âmbito normativo, verifica-se que não é coerente classificar os dados espaciais colaborativos como “bons” ou “ruins”, de forma *booleana*, se analisados como um todo e desconsiderando a destinação final das informações. Entende-se que, enquanto forma de mapeamento, é possível obter uma quantidade considerável de informações colaborativas de qualidade dentro de um conjunto total de dados, sobretudo se a qualidade das informações seja avaliada na perspectiva do usuário e suas necessidades. No entanto, limitações neste aspecto são reconhecidas, incluindo a presença de falhas e incertezas nas informações, as quais podem ser identificadas e reduzidas, como abordado a seguir nos indicadores de qualidade.

2.2.2.2 Indicadores de qualidade (consistência/credibilidade)

Em relação às medidas/métricas de qualidade, alguns autores apontam que a principal limitação para a sua análise (avaliação) se dá pelo fato de que a sua aplicação se baseia principalmente na análise comparativa com dados de referência, de qualidade superior (ANTONIOU e SKOPELITI, 2015; SENARATNE et al., 2016; FONTE et al., 2017; DEGROSSI et al., 2018). Como colocado por Goodchild e Li (2012), os dados espaciais colaborativos em alguns casos são de qualidade superior e/ou estão mais disponíveis que informações da cartografia convencional. Da mesma forma, esta limitação é ainda mais latente quando se trata de dados em tempo real (ex. *Waze*).

Nesse sentido, esta segunda abordagem, baseada na estimativa da qualidade por inferência (indicadores), tem sido colocada na literatura como uma alternativa para avaliação da qualidade de dados espaciais colaborativos, principalmente quando não se dispõe de informações de referência (ANTONIOU e SKOPELITI, 2015; SENARATNE et al., 2016; FONTE et al., 2017; DEGROSSI et al., 2018).

Para exemplificar esta abordagem e estabelecer um entendimento inicial, toma-se como exemplo o aplicativo *Waze*, em situações nas quais os usuários adicionam informações sobre acidentes ocorridos ou presença de obstáculos nas vias. Nestes casos, a consistência das informações é avaliada pelos próprios usuários, que podem confirmar, contestar ou retificar as informações em tempo real. Assim, é possível observar que a qualidade da informação é avaliada, sem que seja necessário a utilização de dados de referência, da cartografia convencional, como colocado na abordagem anterior. No entanto, trata-se de uma estimativa da qualidade, a partir da atuação de outros usuários. Nestes casos, parte-se do pressuposto que uma informação é consistente na medida em que diversos usuários a confirmam, ou vice-versa.

Este pressuposto tem sido frequentemente explorado para a avaliação de dados espaciais colaborativos, e baseia-se na Lei de Linus, formulada originalmente para a identificação de erros (*bugs*) em *softwares* de código-fonte aberto (*open source*): “dado olhos suficientes, todos os erros são superficiais”, ou como colocado por Degrossi et al. (2018) na temática aqui abordada, “dado um número suficiente de colaboradores, todos os erros podem ser identificados e corrigidos”.

Este é um dos métodos para a identificação da qualidade de dados espaciais colaborativos, baseado na estimativa da consistência/credibilidade das informações e que não está atrelado aos atributos estabelecidos na ISO 19157. Nesse contexto, são identificados outros mecanismos com o mesmo propósito, desenvolvidos inicialmente de forma experimental, até que, dado o

volume de trabalhos realizados até então, tem sido possível agrupá-los em categorias e estabelecer enquanto métodos (GOODCHILD e LI, 2012; ANTONIOU e SKOPELITI, 2015; SENARATNE et al, 2017; DEGROSSI et al., 2018).

A partir de revisão sistemática, Degrossi et al. (2018) propuseram uma taxonomia para a classificação de métodos de avaliação da credibilidade/consistência de dados espaciais colaborativos, contribuindo de forma significativa para o seu entendimento e aplicação. Além da Lei de Linus, que os autores classificam como "detecção e correção de erros pela multidão" são identificados outros métodos, descritos abaixo.

Redundância de contribuições dos voluntários

Consiste na comparação entre dados adicionados por diferentes usuários, de forma independente, referentes à uma mesma informação e numa mesma região geográfica, sendo verificado se há contradições entre as informações mapeadas. Este método assemelha-se à abordagem anterior (Lei de Linus), porém neste caso os colaboradores não atuam diretamente na verificação de informações já cadastradas. Ex.: numa plataforma colaborativa em que os usuários informam locais de poluição sonora, se 10 pontos são informados numa mesma localidade por usuários diferentes, admite-se a probabilidade de que estas informações sejam consistentes. Assim, a redundância de colaborações é utilizada como parâmetro de avaliação de consistência, enquanto na Lei de Linus essa validação é realizada por vários usuários sobre uma mesma informação.

Contexto Geográfico

Baseia-se nas relações entre a informação mapeada e as características geográficas que podem ser utilizadas para verificar a consistência/credibilidade do dado informado. Ex.: um alerta de inundação informado em período chuvoso, e cujas coordenadas do ponto estão localizadas nas margens de um canal, apresenta maior probabilidade de ser uma informação consistente, em comparação com um alerta de inundação localizado a 10km do canal mais próximo, e numa região que não apresentou índices pluviométricos no período da informação. Da mesma forma, um alerta de deslizamento de massa localizado sobre uma área de declividade acentuada possui maior probabilidade de consistência, em comparação com um alerta posicionado sobre uma área plana.

Extração/Aprendizado de características

As características que uma colaboração deve apresentar para ser considerada consistente ou inconsistente são estabelecidas a partir de informações de referência. Ex.: Se em uma plataforma voltada para o mapeamento de instalações esportivas, um usuário realiza a vetorização de um polígono cuja área é de 20m² e atribui a categoria "piscina olímpica", a credibilidade da informação pode ser automaticamente avaliada como baixa, ou até mesmo nula, considerando que as dimensões oficiais dessa categoria são de 25 m de largura e 50 m de comprimento. Neste caso, os critérios foram obtidos em função do padrão normativo da categoria "piscina olímpica", mas a mesma abordagem pode ser aplicada também quando características são extraídas e aprendidas a partir de informações colaborativas, em função de padrões identificados em colaborações já realizadas.

Perfil/Reputação dos colaboradores

Em plataformas colaborativas que exigem a realização de cadastro dos usuários, é possível identificar perfis de colaboradores que possuem, a priori, maior credibilidade. Ex.: um alerta de inundação informado por um usuário que no seu cadastro consta a profissão "Agente de Defesa Civil" é uma informação que, neste aspecto, pode ser considerada consistente. Além das informações de cadastro, também podem ser estabelecidos perfis em função da atuação do usuário na plataforma. Ex.: uma colaboração realizada por um usuário assíduo do sistema, a priori, possui maior credibilidade em comparação com um dado adicionado por usuário recém cadastrado, ou inativo.

Em suma, observa-se que estes métodos se concentram na estimativa de consistência/credibilidade das informações, o que não necessariamente representa a sua qualidade na perspectiva apresentada anteriormente (seção 2.2.2.1). As principais vantagens dos indicadores de consistência/credibilidade, estão no fato de que não demandam dados de referência (mesma informação com qualidade superior) para a sua aplicação, e principalmente, permitem identificar informações consistentes e retificar as inconsistências na base de dados. Sobre o último aspecto, a qualidade do conjunto de dados é ampliada na medida em que são filtradas as informações consistentes e/ou descartadas/corrigidas as inconsistências.

2.3 TRABALHOS CORRELATOS

Como trabalhos correlatos à esta tese, foram considerados aqueles relacionados ao mapeamento de áreas de inundação por modelagem hidrodinâmica, e que utilizaram informações colaborativas como dados de suporte no processo de calibração e/ou validação. Ao todo foram identificados 30 estudos nas bases de dados *Scopus* e *Google Scholar*, entre os anos de 2010 e 2019, sendo que apenas 08 trabalhos estavam diretamente relacionados com a tese, demonstrando que este ainda é um campo a ser explorado.

Sobre os trabalhos parcialmente correlatos, foram identificadas as seguintes abordagens:

a) Desenvolvimento de plataformas colaborativas para mapeamento em tempo real de pontos de alagamento, com foco na identificação de alertas (HIRATA et al., 2013, 2015);

b) Redução de incertezas na estimativa de vazões e níveis do canal, em modelos hidrológicos e sistemas de previsão de inundações, a partir de informações transmitidas pela população, via plataformas específicas (aplicativos e *websites*) ou mineração de dados em redes sociais (FAVA et al., 2013, 2015, 2018; DEGROSSI et al., 2014; MAZZOLENI et al., 2017; BURKARD et al., 2018; RESTREPO-ESTRADA et al., 2018);

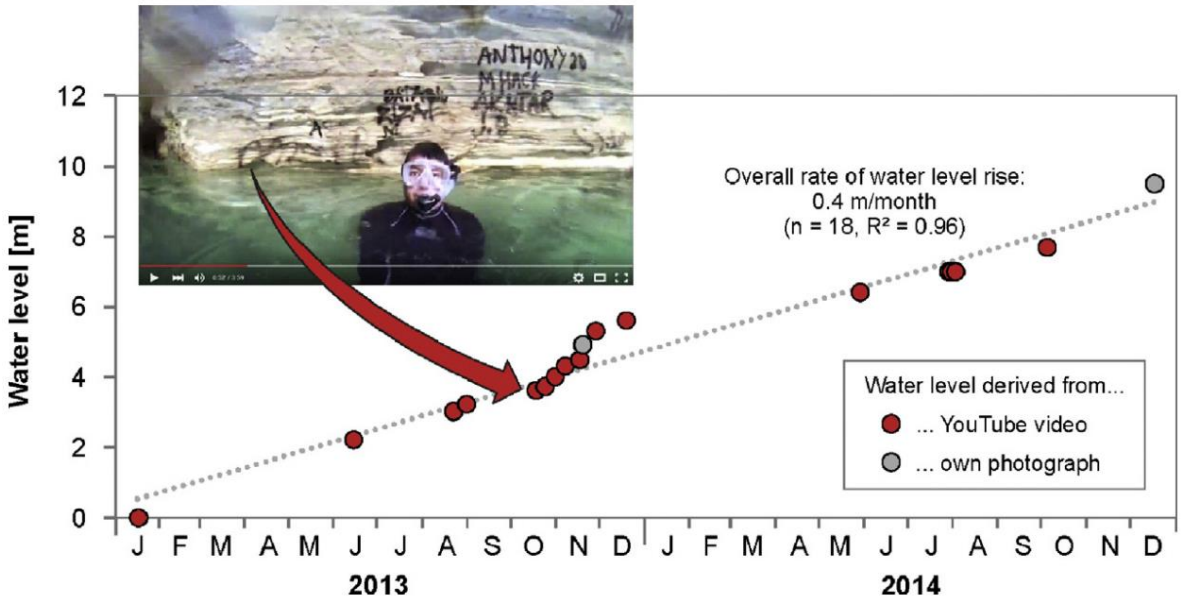
c) Estimativa de níveis de água e velocidade de escoamento a partir de vídeos gravados pela população e disponibilizados na plataforma *Youtube* (Figura 6) (LE BOURSICAUD et al., 2016; MICHELSEN et al., 2016);

d) Reconstituição de manchas de inundação baseado em modelos digitais de terreno e marcas de cheia obtidas de forma colaborativa (POSER e DRANSCH, 2010; MCDOUGALL e TEMPLE-WATTS, 2012; SCHNEBELE e CERVONE, 2013; TRIGLAV-CEKADA e RADOVAN, 2013; FLORIANO et al., 2014; FOHRINGER et al., 2015; EILANDER et al., 2016; BROUWER et al., 2017; LI et al., 2018);

e) Medição do nível em canais de forma colaborativa, por meio de régua virtual em aplicativo móvel (Figura 7) (SEIBERT et al., 2019);

e) Estimativa da altura da lâmina d’água a partir de imagens obtidas em mídias sociais, por meio de processamento automático (Figura 8) (CHAUDHARY et al., 2019).

Figura 6 - Estimativa da lâmina d'água a partir de vídeos na plataforma *Youtube*.



Fonte: Michelsen et al. (2016).

Figura 7 - Régua virtual em aplicativo móvel para medições de níveis em canais.

Fonte: Seibert et al. (2019).

Figura 8 - Identificação de profundidades da lâmina d'água em imagens obtidas em redes sociais, por meio de processamento automático.

Fonte: Chaudhary et al. (2019).

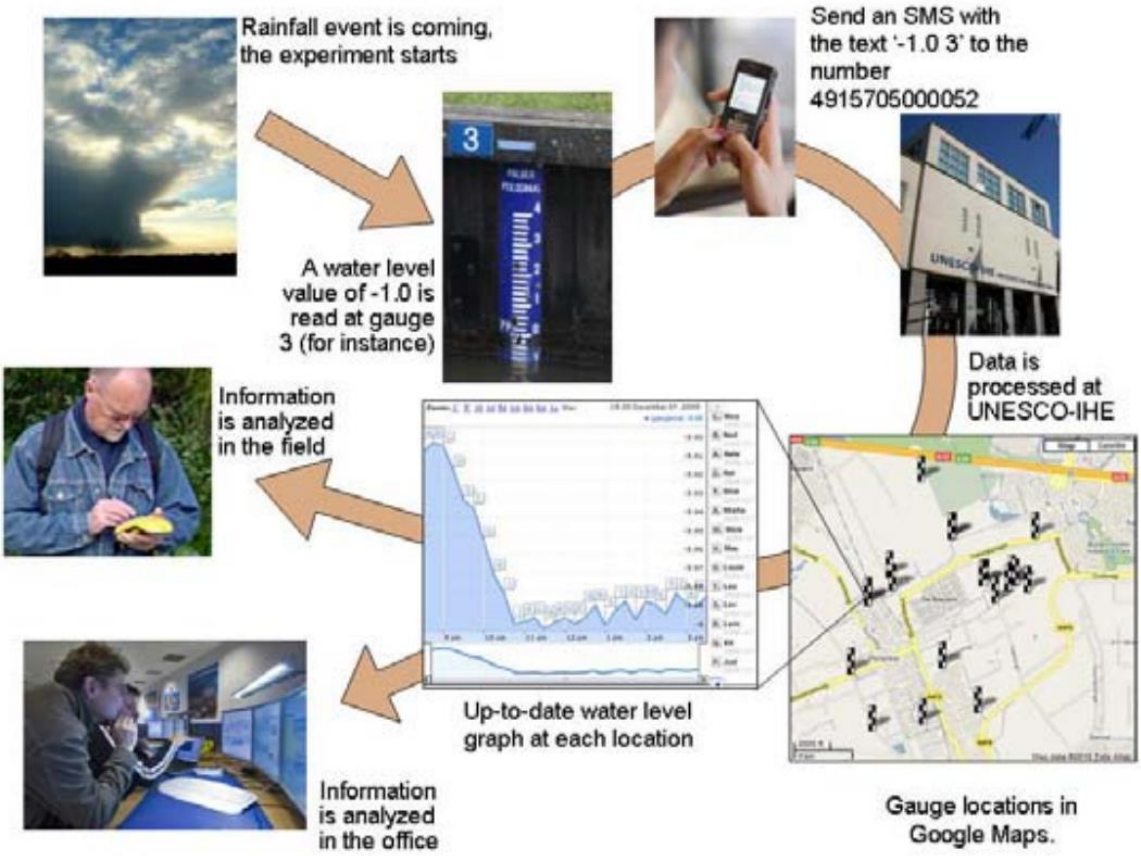
Por sua vez, tratando-se especificamente do problema abordado nesta tese, foram identificados os seguintes estudos:

Alfonso, Lobbrecht e Price (2010)

Consiste no primeiro estudo diretamente correlato, identificado no levantamento bibliográfico. Neste trabalho, desenvolvido na cidade de Pijnacker (Holanda), os colaboradores realizavam a leitura de diversas réguas milimétricas distribuídas na cidade e enviavam as informações para o banco de dados do projeto por meio de mensagem de texto (*Short Message Service* - SMS). Em seguida, os operadores do projeto avaliaram as informações enviadas e que foram utilizadas na calibração do modelo hidrodinâmico (Figura 9).

Como o foco do trabalho consistiu na estrutura para a coleta de dados colaborativos, os autores não especificaram o modelo hidrodinâmico utilizado e não apresentaram detalhes sobre as simulações realizadas e resultados obtidos. Sendo importante observar que, dado o período em que o trabalho foi desenvolvido, as informações são enviadas por SMS e não abrange a utilização de aplicativos móveis desenvolvidos especificamente para a coleta dos dados.

Figura 9 - Estrutura do sistema apresentado em Alfonso, Lobbrecht e Price (2010).



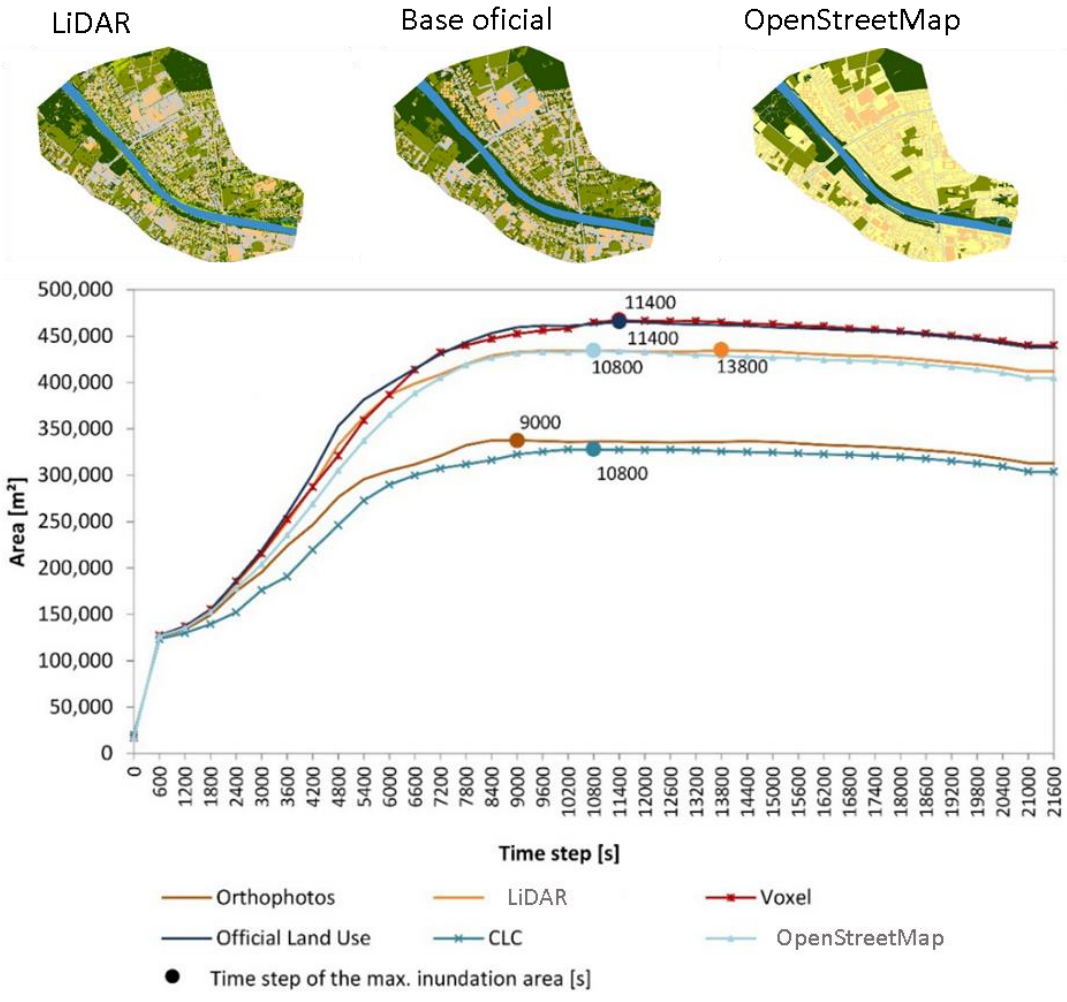
Fonte: Alfonso, Lobbrecht e Price (2010)

Dorn, Vetter e Höfle (2014)

Utilizaram dados da plataforma *OpenStreetMap* como base de uso e ocupação do solo para determinar o coeficiente de *Manning*, e compararam os resultados com outras simulações nas quais o parâmetro foi estimado por diferentes bases de uso e ocupação do solo (ortofotos, dados LiDAR, mapeamento oficial, entre outros). Os autores identificaram que os dados colaborativos da base *OpenStreetMap* possibilitaram a obtenção de resultados semelhantes à simulação em que o coeficiente foi obtido por classificação de imagens de alta resolução (LiDAR) (Figura 10).

No entanto, os autores utilizaram as informações do *OpenStreetMap* para determinar o coeficiente de *Manning* num primeiro momento (*default*), sem que houvesse a calibração ou validação das simulações na perspectiva de comparar os resultados da simulação com dados observados do evento.

Figura 10 - Base de uso e ocupação do solo utilizadas por Dorn, Vetter e Höfle (2014) para a determinação do coeficiente de *Manning*, e resultado das simulações.



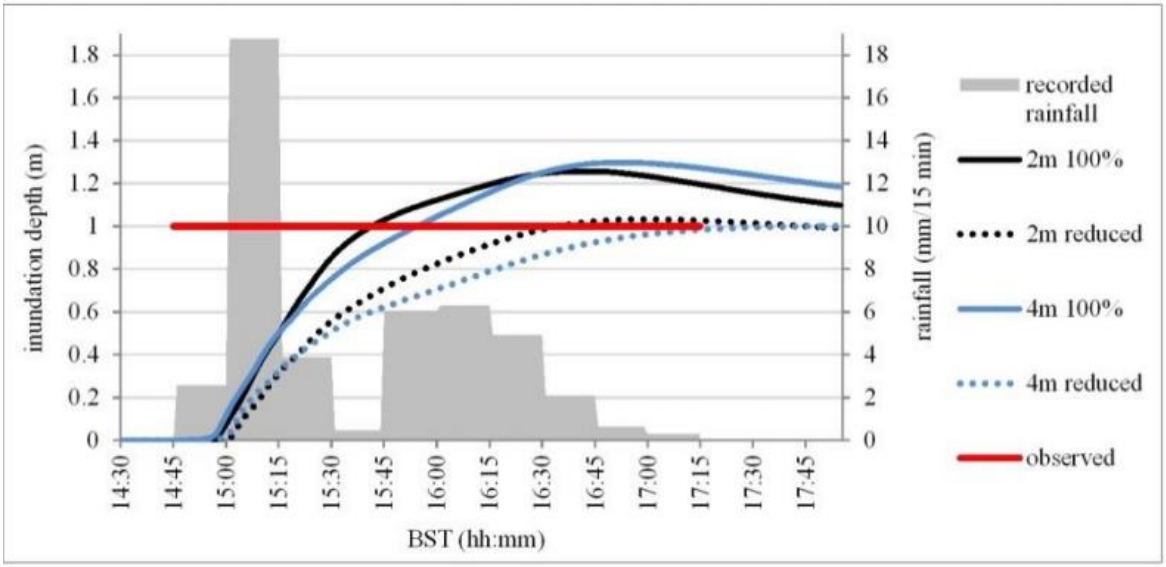
Fonte: Dorn, Vetter e Höfle (2014).

Kutija et al. (2014)

Apresentaram resultados obtidos em experimentos realizados na cidade de Newcastle (Reino Unido), em que dados espaciais colaborativos foram utilizados para a calibração e validação de simulações de inundação, por modelagem hidrodinâmica, realizadas para o evento ocorrido em junho de 2012. Para isso, após ocorrência da inundação, a Universidade de Newcastle desenvolveu e publicou um *website* para que a população pudesse enviar fotos e informações sobre o evento ocorrido, as quais podiam ser georreferenciadas por meio de mapa digital interativo. Além disso, a câmara municipal da cidade enviou questionários para a população que residia em áreas afetadas, solicitando informações sobre a inundação, abrangendo impactos causados dentro dos imóveis e em seu entorno.

Com este conjunto de dados enviados pela população, os autores realizaram a verificação de consistência dos dados, de forma manual, sendo selecionadas as informações consideradas válidas para o estudo. Por fim, os dados foram aplicados na calibração e validação de simulações do evento, realizadas no *software* CityCAT, que consiste num modelo hidrodinâmico bidimensional desenvolvido na Universidade de Newcastle. Com os dados colaborativos, os autores buscaram validar o desempenho das simulações em função da resolução espacial do modelo digital do terreno e após a redução de 12mm/h nos dados de precipitação, considerando as recomendações da Agência Ambiental quando utilizam-se modelos que não abrangem o sistema de drenagem (Figura 11).

Figura 11 - Validação das simulações realizadas por Kutija et al. (2014)

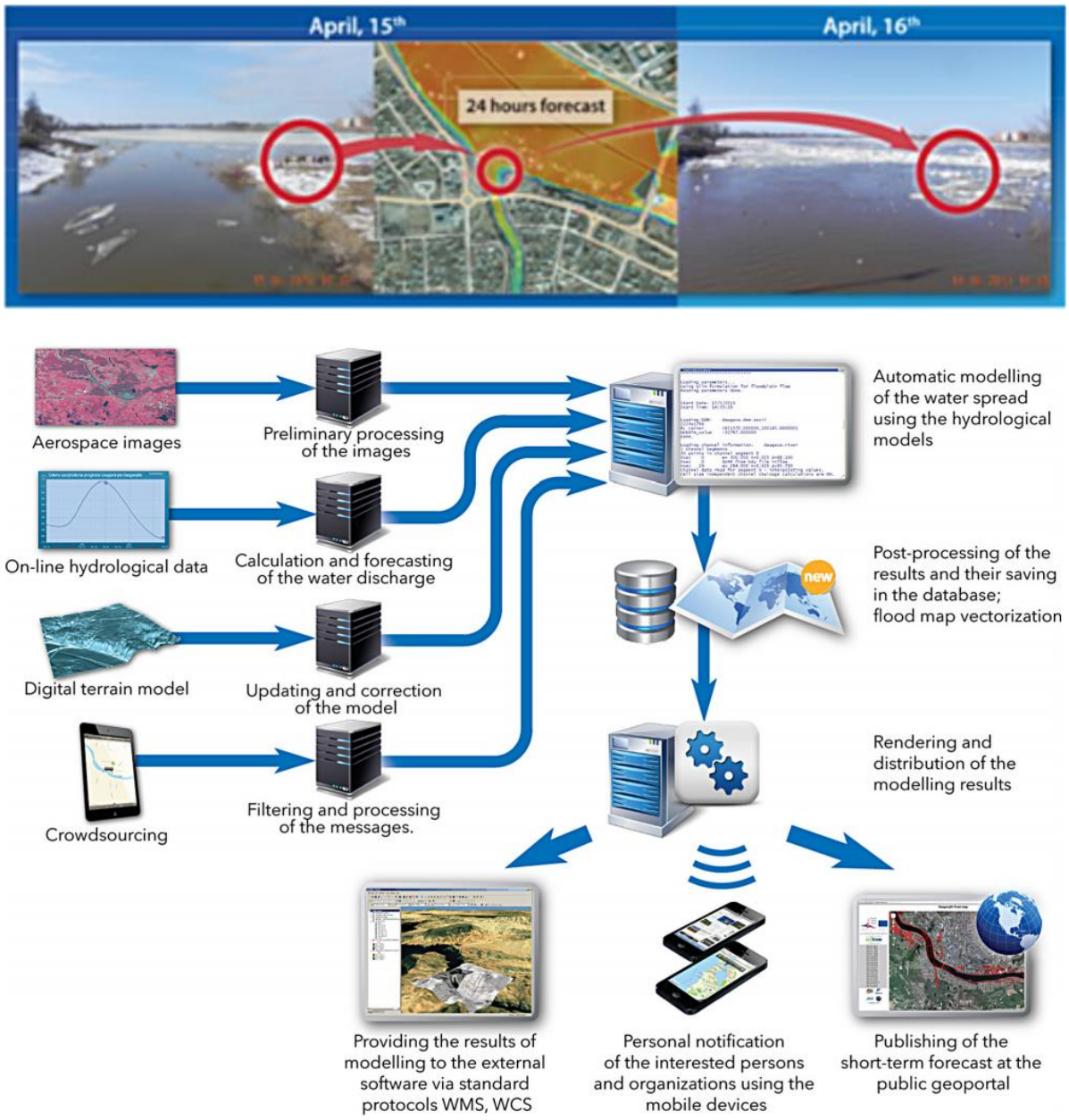


Fonte: Kutija et al. (2014).

Merkuryeva et al. (2015)

Apresentaram um sistema de monitoramento, modelagem e previsão de inundações para a cidade de Daugavpils, na Letônia, que incluiu um *website* no qual a população pôde enviar fotos e vídeos sobre pontos de inundação, servindo como dados de suporte para a calibração e validação das simulações (Figura 12). A validação e análise dos dados colaborativos foi realizada de forma manual, por operadores do sistema, e em seguida as informações foram assimiladas pela plataforma para a verificação do desempenho do modelo (Figura 12).

Figura 12 - Estrutura do sistema apresentado em Merkuryeva et al. (2015).



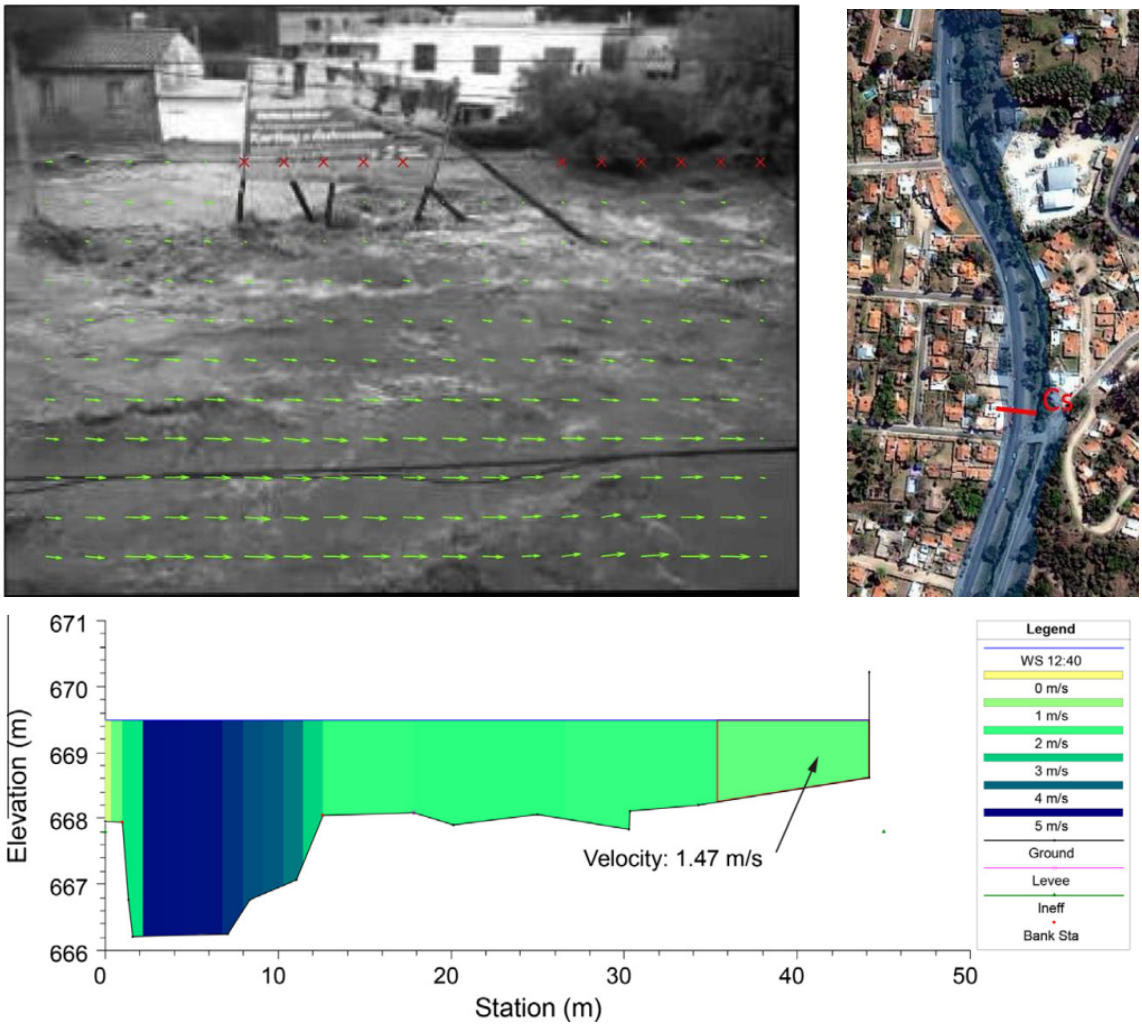
Fonte: Merkuryeva et al. (2015).

Le Coz et al. (2016)

Realizaram a compilação de 03 projetos baseados em dados produzidos pela população como informação de suporte para o estudo de inundações. Entre eles, foi identificado o projeto *Flood Chasers* (Caçadores de inundação), desenvolvido na Argentina, em que os usuários podem enviar fotos e vídeos de inundações ocorridas na cidade de Córdova, por meio de um *website*. Em seguida, os vídeos coletados foram utilizados para estimar a velocidade de escoamento nos locais e horário em que as gravações foram realizadas, a partir de técnicas de velocimetria por imagem de partículas.

Por fim, a velocidade de escoamento e a profundidade da lâmina d'água estimada nos vídeos é aplicada na calibração do coeficiente de rugosidade em simulações unidimensionais no *software* HEC-RAS (Figura 13). Esses autores mencionaram como principal limitação do método a obtenção de vídeos que atendessem aos requisitos necessários para o processamento.

Figura 13 - Estimativa da velocidade do escoamento a partir de vídeos colaborativos.

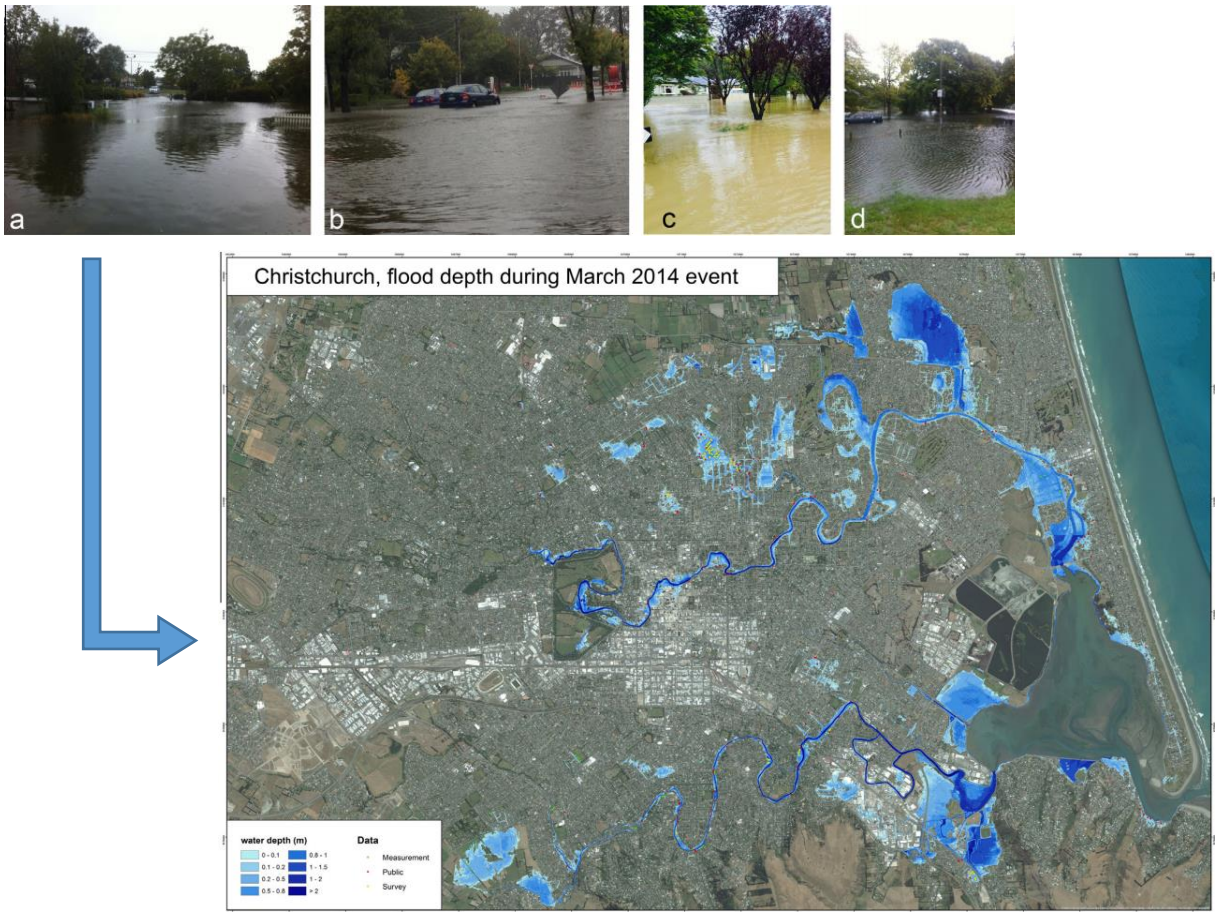


Fonte: Le Coz et al. (2016).

Além do projeto *Flood Chasers*, Le Coz et al. (2016) também apresentaram o projeto *FloodScale* desenvolvido na França, que se assemelha ao exemplo anterior na estimava de velocidades de escoamento por imagem, mas que não incluiu a calibração de modelos hidrodinâmicos; e o projeto *RiskScape*, desenvolvido na Nova Zelândia e que está diretamente relacionado à esta tese.

No projeto *RiskScape*, após a ocorrência de inundações na cidade de Christchurch em março de 2014, a população foi convidada por meio de plataformas digitais a enviar fotos e informações sobre o evento ocorrido, que permitissem identificar o nível máximo da lâmina d'água, o local e horário em que as fotos foram registradas. Após a avaliação de consistência das informações colaborativas, realizada manualmente por profissionais do projeto, os dados foram interpolados e a mancha de inundação foi obtida em função do modelo digital do terreno (Figura 14). Por fim, os autores mencionaram que um dos objetivos do projeto é utilizar manchas de inundação reconstituídas a partir de informações colaborativas na calibração de modelos hidrodinâmicos, embora os resultados não tenham sido apresentados.

Figura 14 - Estimativa da mancha de inundação a partir de dados espaciais colaborativos.



Fonte: Le Coz et al. (2016).

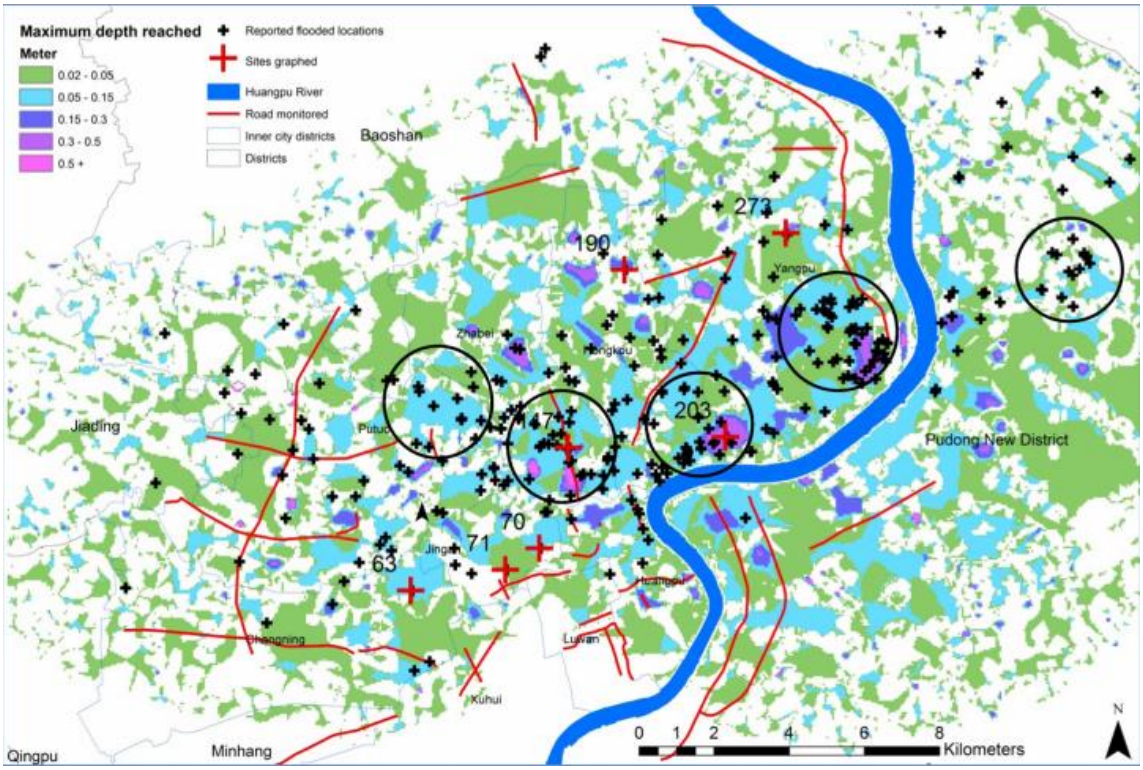
Yu, Yin e Liu (2016)

Esses autores apresentaram os resultados dos experimentos realizados na cidade de Xangai (China), em que dados transmitidos pela população foram utilizados na validação de simulações de inundação por modelagem hidrodinâmica. As informações consistiram em envios de relatos sobre o evento ocorrido pela população por meio de um *website*, operado por agências governamentais.

A validação do modelo hidrodinâmico foi realizada em função da sua capacidade de estimar locais inundados, de forma *booleana* entre "local inundado" e "local não inundado", e não considerou a validação na estimativa da profundidade da lâmina d'água (Figura 15). Para o evento simulado no estudo foram obtidos 490 relatos emitidos pela população, após a triagem manual dos dados, 298 relatos foram considerados úteis para serem utilizados nos experimentos.

Como resultados, os autores mencionaram que as informações transmitidas pela população foram fundamentais para o estudo, uma vez que os dados permitiram realizar a calibração e validação do modelo hidrodinâmico. Além disso, os autores recomendaram que novas pesquisas devem ser realizadas para a validação de simulações considerando a altura da lâmina d'água.

Figura 15 - Resultados obtidos por Yu, Yin e Liu (2016).



Fonte: Yu, Yin e Liu (2016).

Smith et al. (2017)

Buscaram avaliar a aplicação de dados colaborativos no monitoramento e modelagem de inundações e alagamentos em tempo real, utilizando como estudo de caso os eventos de precipitação intensa ocorridos em junho de 2012 na cidade de NewCastle (Reino Unido). Enquanto em Kutija et al. (2014) as informações eram enviadas diretamente pela população por meio de um *website* e questionários, Smith et al. (2017) utilizaram dados coletados na rede social *Twitter*. A coleta de dados na plataforma *Twitter* é realizada de forma automática, por meio de API (*Application Programming Interface*), em que o algoritmo executa a busca de informações por meio de palavras-chave que permitam estimar informações sobre a intensidade do evento (profundidade e velocidade) e a sua localização.

Em seguida as informações passam também por análise de consistência e refinamento, executada de forma manual por operadores do sistema, e então são assimiladas pelo sistema de monitoramento. A Figura 16 demonstra uma situação em que o algoritmo identifica uma postagem no *Twitter* sobre o evento, sendo possível estimar a profundidade da inundação (água até o joelho = 0,5m) e a sua localização (cruzamento da *Coast Road* com a *Chillingham Road*).

Figura 16 - Registro de marcas de cheia a partir de mensagens na plataforma Twitter.

Fonte: Smith et al. (2015)

A plataforma foi concebida para monitorar postagens no *Twitter* em tempo real, de modo que ao identificar um número massivo de mensagens em um curto período (mínimo de 4 mensagens num intervalo de 15 minutos), o sistema inicia o módulo de simulações (modelo hidrodinâmico bidimensional), essas informações obtidas do *Twitter* também foram utilizadas na calibração e validação das simulações. Ao todo, foram coletadas 2020 postagens, sendo 1411 aplicadas no estudo após a etapa de refinamento dos dados.

Os autores afirmaram que o modelo apresentou bom desempenho, entretanto as informações necessárias, com a estrutura esperada, foram observadas em um número pequeno das postagens coletadas, sendo importante o aprimoramento das técnicas para a análise automatizada das postagens coletadas.

Rollason et al. (2018)

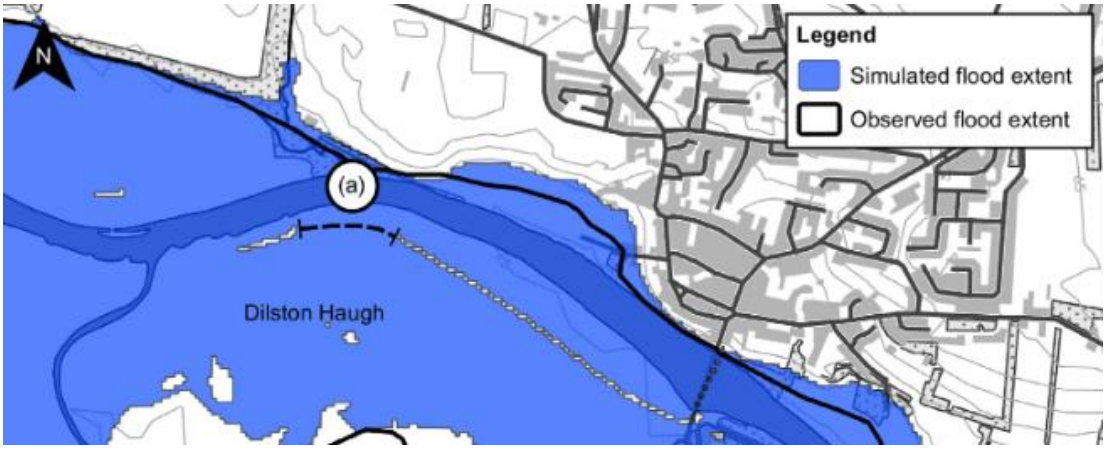
Os autores exploraram a utilização de dados espaciais colaborativos para a validação de simulações de inundação, realizadas por meio de modelagem hidrodinâmica bidimensional, referentes ao evento ocorrido na localidade de Corbridge (Inglaterra) no ano de 2015.

Para a coleta de dados, foram realizadas oficinas de mapeamento colaborativo com membros do Grupo de Ação contra Inundações de Corbridge, em que os participantes eram incentivados a transmitir informações sobre a inundação ocorrida. A localização (georreferenciamento) dos dados foi realizado de forma manual em mapas impressos ou diretamente na base digital em SIG (computador). Além disso, os autores também utilizaram vídeos e fotografias do evento registradas pelos membros do Grupo de Ação contra Inundações de Corbridge e por pesquisadores, incluindo imagens aéreas obtidas por drones.

Em seguida os autores realizaram a análise e segmentação das informações, de modo que fosse possível validar as simulações em relação às direções dos fluxos, profundidades da lâmina d'água, extensão da área inundada, e o comportamento do evento no tempo. O processo de calibração e validação foi realizado de forma manual, sendo determinados os valores para o coeficiente de Manning no canal e para a planície de inundação.

Como resultados, os autores reafirmaram que dados colaborativos são uma importante fonte de informações detalhadas e específicas sobre o evento para a calibração e validação de modelos hidrodinâmicos, permitindo também a análise qualitativa das simulações (Figura 17). No entanto, os dados colaborativos obtidos devem possuir qualidade, quantidade e distribuição espacial adequada, para que possam ser aplicados de forma eficiente.

Figura 17 - Resultados obtidos em Rollason et al. (2018)



Fonte: Rollason et al. (2018).

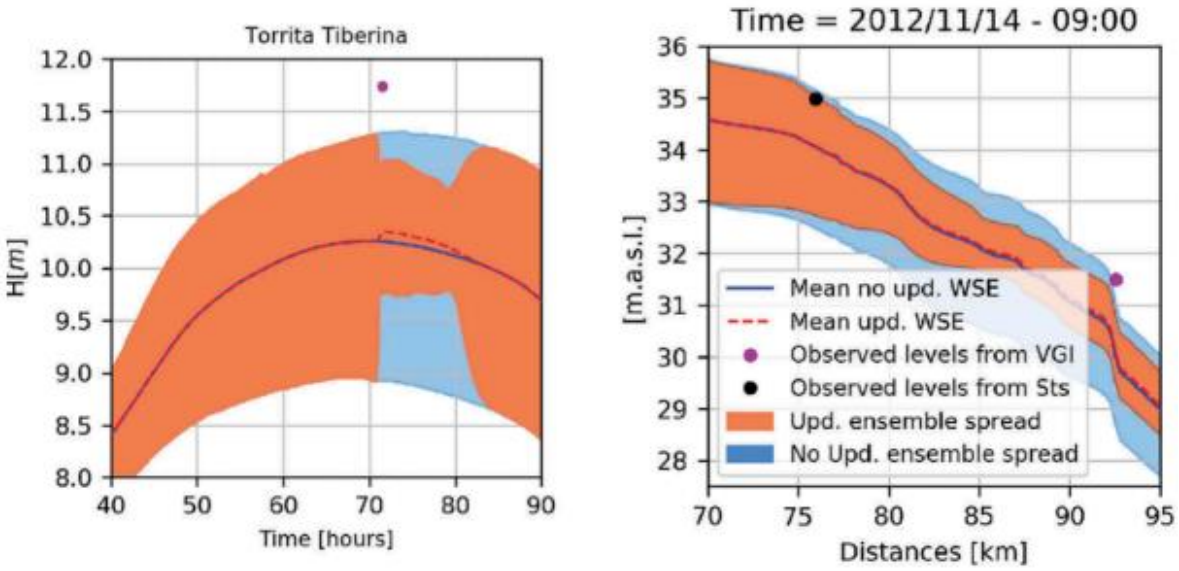
Annis e Nardi (2019)

Os autores realizaram um estudo de caso que contemplou simulações de inundação por meio de modelagem hidrodinâmica bidimensional, referentes ao evento ocorrido em novembro de 2012, na bacia do Rio Tibre. A proposta do estudo foi avaliar um método de assimilação de dados, abrangendo informações produzidas pela população (*Youtube*, *Twitter* e *websites*), acoplado num sistema de predição e mapeamento de inundações.

A validação das informações foi realizada de forma manual (análise visual, consistindo na identificação da altura da lâmina d'água nas imagens, e o seu posicionamento na base georreferenciada, com o auxílio da plataforma *Google Street View*. Assim, na medida em que as simulações foram realizadas, em tempo real, as informações colaborativas foram assimiladas no modelo, considerando também a presença de incertezas, por meio de formulações matemáticas, mesmo após a validação manual.

As incertezas analisadas no modelo consistiram em possíveis erros no posicionamento, altura da lâmina d'água identificada, e no horário das informações. Por fim, esse processo de assimilação de dados foi constituído em atualizações no modelo de predição, em tempo real, ajustando as predições em função dos valores observados. A Figura 18 ilustra os resultados obtidos no estudo, sendo observada a redução das incertezas no modelo no instante em que são assimilados dados observados de forma colaborativa.

Figura 18 - Resultados apresentados por Annis e Nardi (2019): Correção de predições da altura da lâmina d'água simulada e redução de incertezas a partir de informações colaborativas



Fonte: Annis e Nardi (2019).

Em suma, observou-se com a interpretação destes trabalhos, que a utilização de dados espaciais colaborativos na calibração e validação de simulação de inundação é um campo de pesquisa recente e promissor. A principal contribuição identificada diz respeito à redução de incertezas na modelagem hidrodinâmica, frente à escassez de dados observados convencionais.

Nestes trabalhos identifica-se como tendência o desenvolvimento de ferramentas para a obtenção de informações de fontes heterogêneas, de forma inovadora e com diferentes níveis de complexidade. Nesse sentido, é possível observar a evolução destes estudos ao longo do tempo (desde 2010), sobretudo nas tecnologias e abordagens utilizadas para a coleta de dados colaborativos e nos métodos de calibração e validação das simulações. Apesar da qualidade dos dados colaborativos como processo de calibração e validação dos modelos terem sido comumente avaliados de forma manual, pesquisas mais recentes têm buscado explorar mecanismos automatizados para otimizar estas etapas.

Neste último aspecto, verifica-se a importância e a aplicabilidade da avaliação da consistência/credibilidade das informações, abordada na seção 2.2.2. Em todos os estudos apresentados, a verificação de consistência/credibilidade dos dados, seja manual ou automatizada, possibilitou a seleção de informações consistentes e garantiu a utilização dos dados de forma adequada, independentemente do nível de qualidade na perspectiva normativa da ISO 19157.

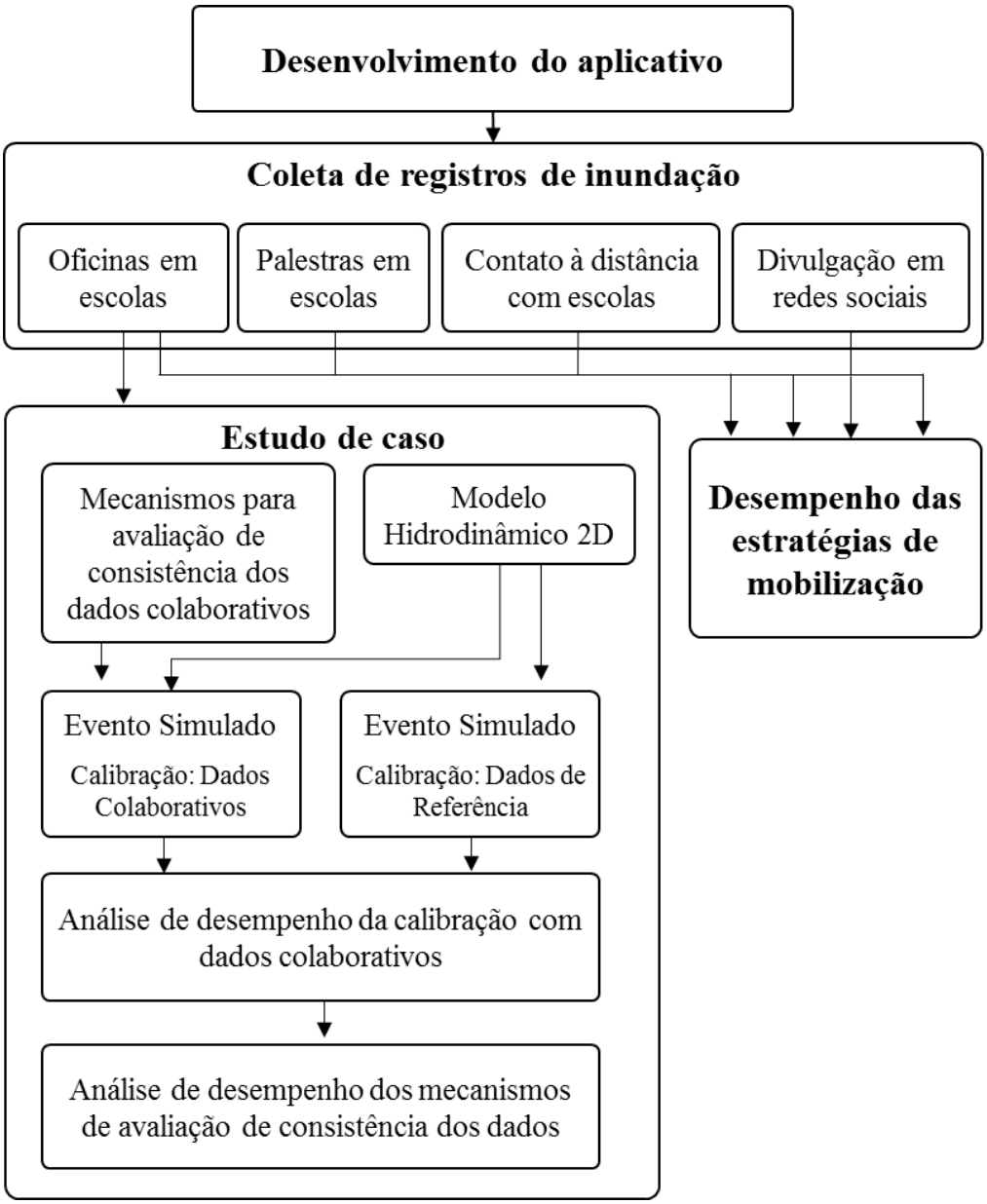
Em todos os casos os autores obtiveram êxito na utilização das informações para a calibração e/ou validação dos modelos, ao mesmo tempo em que foram mencionadas algumas limitações, sobretudo no que diz respeito a obtenção de informações com qualidade, em número e distribuição espacial satisfatória e a necessidade de métodos para o processamento automatizado das informações, seja para a extração do dado de interesse (ex. profundidade da inundação) ou para a avaliação da sua consistência.

Por fim, a motivação de grande parte dos trabalhos na busca de dados alternativos qualificados está relacionada a escassez de dados observados convencionais, demonstrando que esta é uma limitação existente em outras localidades, incluindo países desenvolvidos. Neste sentido, a coleta de dados colaborativos tem se colocado como uma alternativa para a redução de incertezas na modelagem de eventos hidrológicos extremos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os estágios de desenvolvimento da pesquisa consistiram em: (1) desenvolvimento de aplicativo móvel para a coleta de dados espaciais colaborativos, especificamente para o registro de marcas de cheia; (2) coleta de registros de inundação, utilizando o aplicativo desenvolvido e com diferentes modalidades de campanhas; (3) análise do desempenho obtido em cada uma das estratégias de mobilização adotadas; (4) desenvolvimento de estudo de caso, em que um conjunto de dados colaborativos selecionados são utilizados na calibração de modelo hidrodinâmico; (5) análise de desempenho dos resultados (Figura 19).

Figura 19 - Fluxograma das etapas da pesquisa.

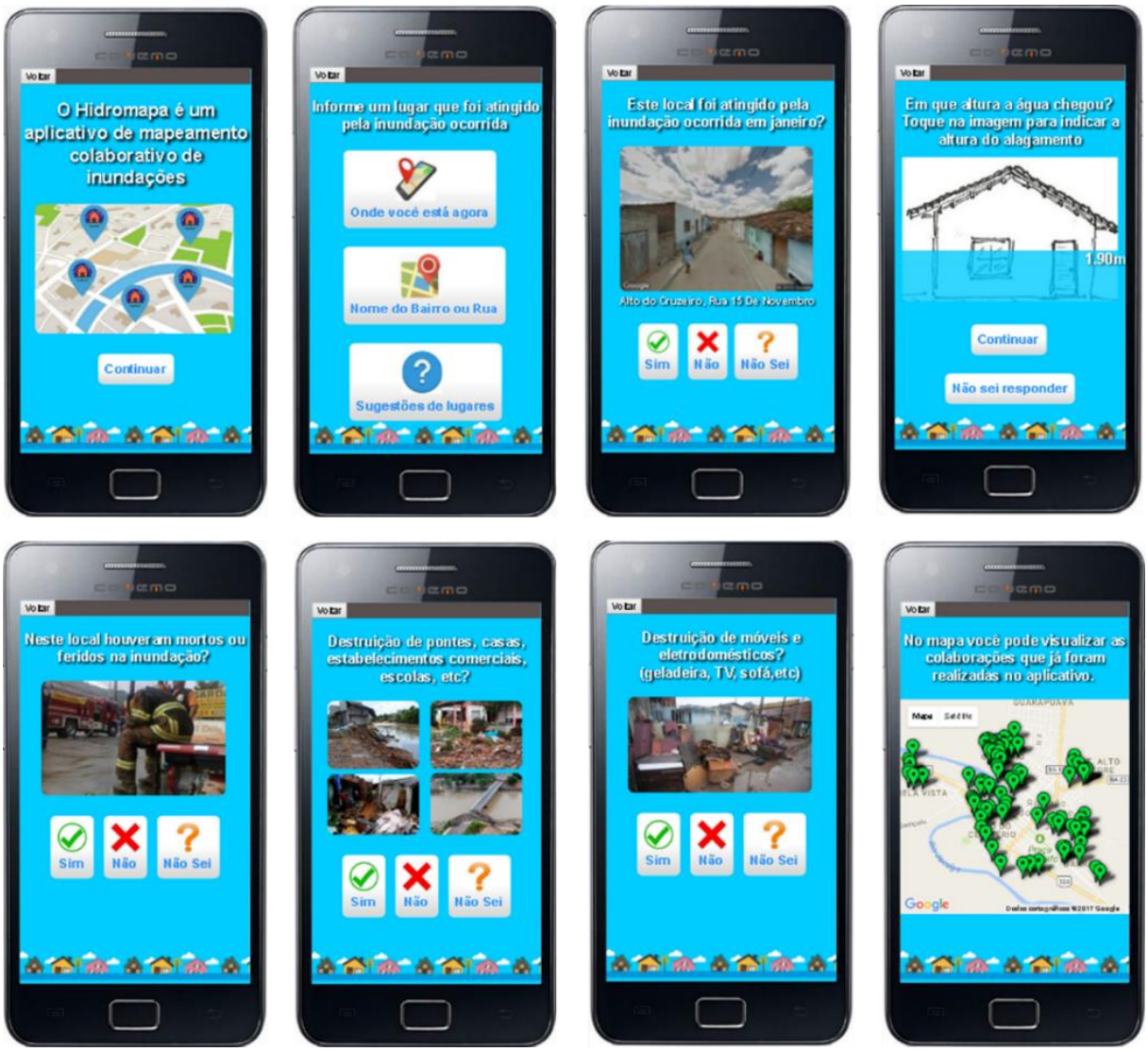


Fonte: Elaborada pelo autor.

3.1 DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO HIDROMAPP

Este trabalho se se constitui como a continuidade da pesquisa realizada por Oliveira (2017), na qual foi desenvolvida a concepção de um aplicativo móvel para a coleta de informações georreferenciadas sobre: pontos afetados por inundações; respectivas cotas atingidas; danos e prejuízos causados pelos eventos; e locais onde residem pessoas com maior grau de vulnerabilidade (Figura 20). A primeira versão do aplicativo foi desenvolvida na forma de protótipo e denominada HidroMapa. Nesta tese foi realizado o segundo ciclo de desenvolvimento da plataforma, sendo a sua denominação alterada para Hidromapp.

Figura 20 - Interface do aplicativo HidroMapa.



Fonte: Oliveira (2017).

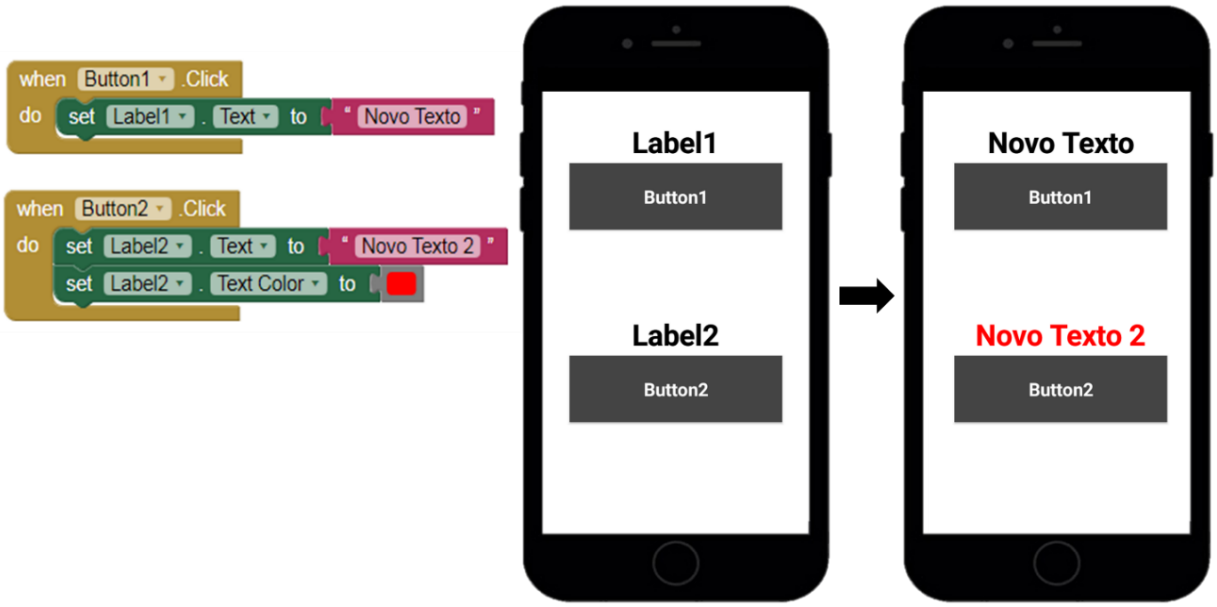
A primeira versão do aplicativo teve como objetivo a coleta de dados para a elaboração de mapas preliminares de riscos hidrológicos (intensidade, danos e vulnerabilidade). No segundo ciclo de desenvolvimento do aplicativo, apresentado nesta tese, a coleta de informações de suporte, especificamente marcas de cheia, teve como objetivo a calibração e validação de modelos hidrodinâmicos do Hidromapp.

Além disso, também foram realizados outros ajustes na nova versão do aplicativo, considerando as seguintes recomendações identificadas em Oliveira (2017): a) migrar a estrutura do protótipo, construído como sistema *web*, para um sistema autônomo, que não necessita de *internet* para a sua utilização; b) aprimorar as funcionalidades voltadas para a coleta de informações sobre cotas de inundação; c) reduzir o número de informações fornecidas pelos usuários, simplificando a utilização do aplicativo; d) implementar recurso de geocodificação de endereços que possa ser utilizado para todo o Brasil, uma vez que o protótipo permitia apenas a geocodificação de locais com base de dados previamente construída; e) implementar funções para que os usuários possam enviar fotografias sobre inundações ocorridas; e f) Disponibilizar o aplicativo para download na plataforma *Google Play Store*.

Para a construção do aplicativo foi utilizada a plataforma *Thunkable*, que consiste num sistema *web* voltado para o desenvolvimento de aplicativos móveis. A plataforma é conhecida pala sua facilidade de uso, possibilitando a construção de aplicativos até mesmo por usuários que não possuem conhecimentos avançados em programação de sistemas. No entanto, para a utilização da plataforma *Thunkable* no desenvolvimento de sistemas complexos, é necessário ter conhecimentos em lógica de programação, e no caso do aplicativo Hidromapp, foi necessário utilizar também as linguagens de programação PHP, SQL, Javascript e HTML.

O desenvolvimento de aplicativos na plataforma Thunkable baseia-se em "*drag-and-drop*" (arrastar e soltar), e de forma intuitiva o usuário precisa apenas selecionar os elementos de interface (botões, rótulos, e demais componentes básicos), formatar a aparência das telas (*layout*), e utilizar os blocos para construir as funções, conforme ilustrado na Figura 21. Na Figura 21 é possível observar a facilidade de uso da plataforma *Thunkable* e as vantagens que o método "*drag-and-drop*" oferece para os usuários que não possuem conhecimentos aprofundados em programação e desenvolvimento de sistemas.

Figura 21 - Construção de interface e funções na plataforma Thunkable

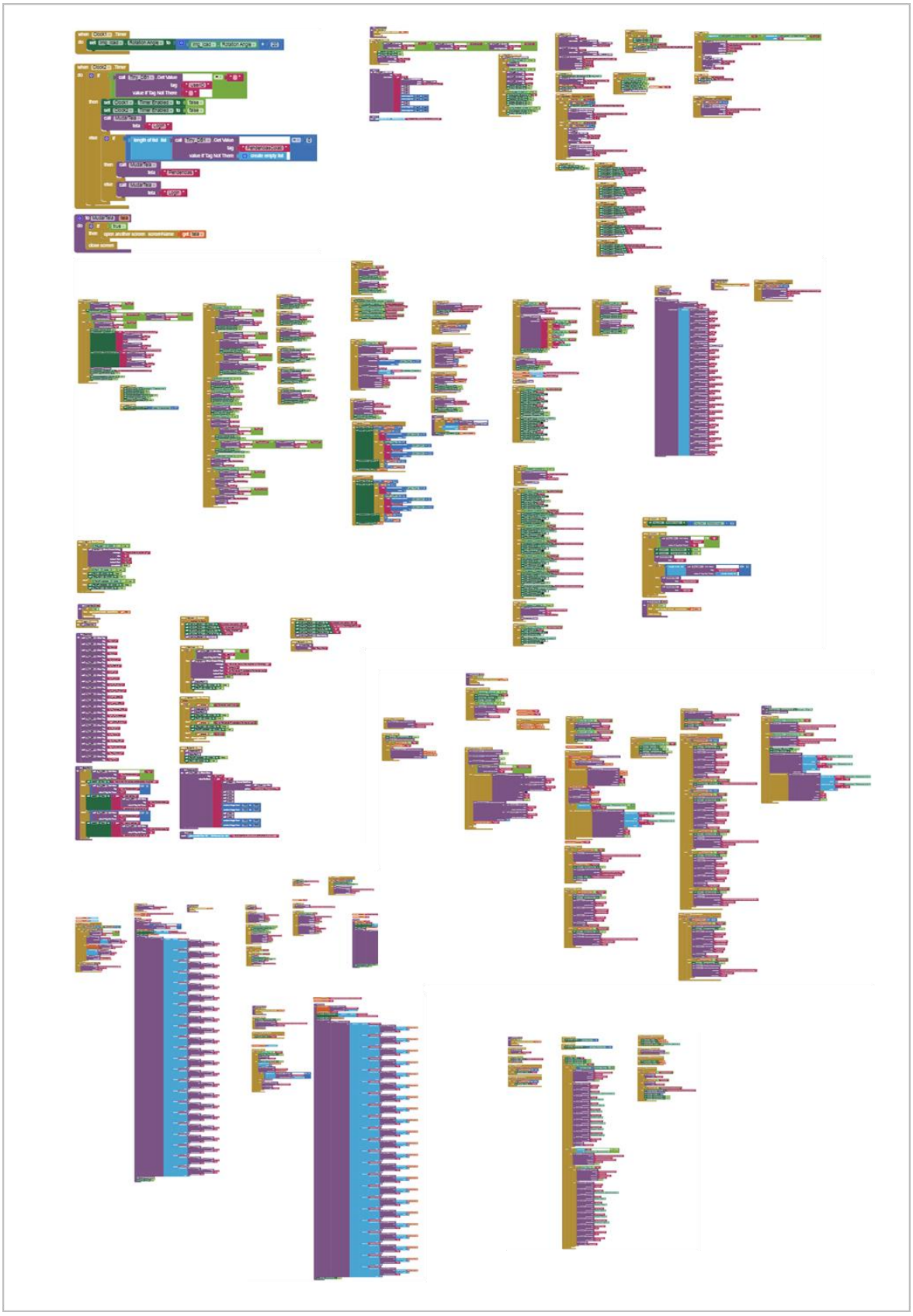


Fonte: Elaborada pelo autor.

Embora o exemplo demonstrado na Figura 21 seja simples, é possível construir funcionalidades complexas, o que possibilitou então o uso da plataforma para o desenvolvimento do aplicativo Hidromapp. Enquanto o exemplo ilustrado possui apenas 8 blocos, no desenvolvimento do aplicativo Hidromapp foram utilizados 2.655 blocos para a construção do seu código-fonte (Figura 22).

Após o desenvolvimento e realização de alguns testes, o aplicativo foi disponibilizado para *download* e uso gratuito na *Google Play Store*, estando assim disponível até o momento apenas para *smartphones* com sistema operacional *Android*. Por fim, além do aplicativo, foi desenvolvido um *website* institucional do projeto, visando divulgar informações sobre a proposta do aplicativo e ampliar a confiabilidade da plataforma entre os usuários.

Figura 22 - Código fonte do aplicativo Hidromapp na plataforma Thunkable



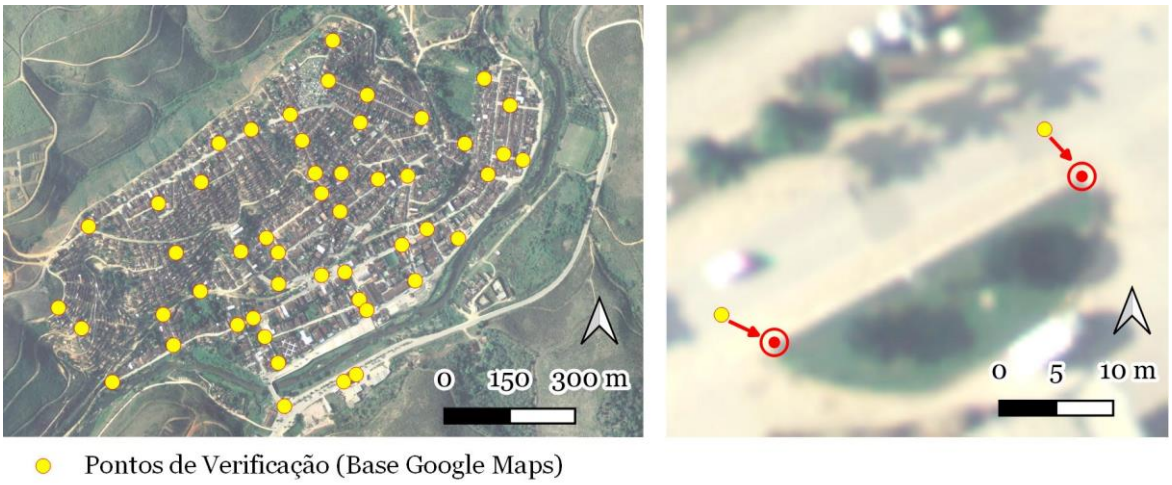
Fonte: Elaborada pelo autor.

3.1.1 Avaliação da acurácia posicional planimétrica do aplicativo Hidromapp

Como mencionado na seção 2.2.2, a acurácia posicional planimétrica representa a capacidade de um equipamento, ou método, de estimar a posição (latitude e longitude) de um ponto na superfície terrestre. Da mesma forma, o atributo também é um indicador da qualidade de um produto cartográfico, informando o quão discrepante podem estar as feições mapeadas em relação às suas coordenadas de referência (MONICO et al., 2009). Assim, dada a importância da acurácia posicional planimétrica para qualidade de dados espaciais, foram realizados experimentos para a avaliação do seu desempenho no aplicativo Hidromapp.

Para o posicionamento manual (*Google Maps*), a acurácia posicional foi avaliada a partir da verificação das discrepâncias planimétricas calculadas em 50 pontos de controle, estabelecidos sobre a área urbana de Jaqueira-PE (Figura 23). Como referência, adotou-se as ortofotos do projeto PE3D para a identificação de pontos homólogos e cálculo das discrepâncias.

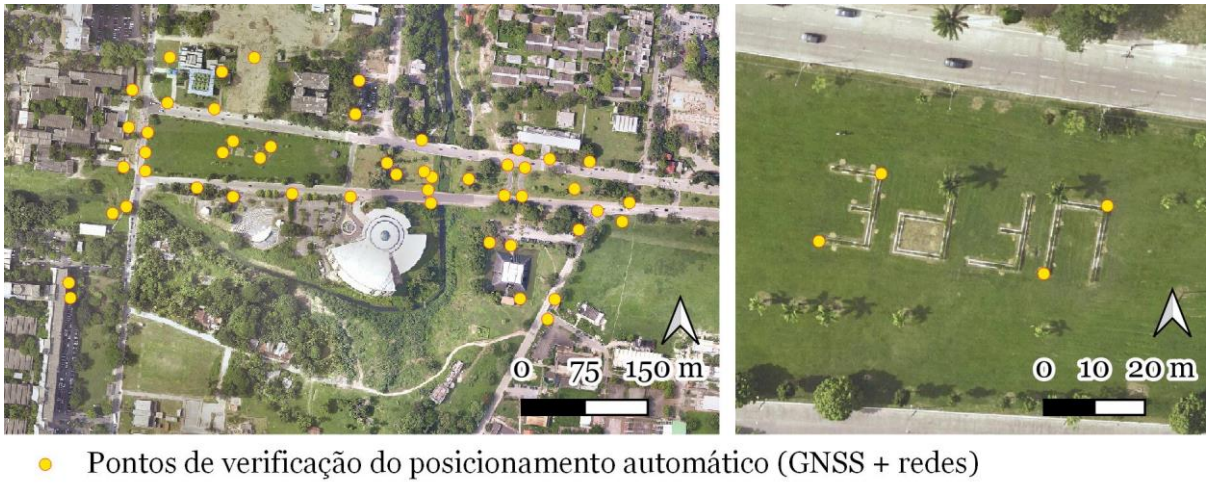
Figura 23 - Pontos de verificação de discrepâncias planimétricas da Base *Google Maps*



Fonte: Elaborada pelo autor.

Por sua vez, como não foi possível identificar a posição exata das informações coletadas pelos estudantes em Jaqueira-PE, a análise da acurácia posicional planimétrica do recurso de posicionamento automático (GNSS e rede) foi avaliada a partir de experimentos realizados no Campus da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Foram definidos 50 pontos de verificação, em ortofotos com escala 1:1.000, distribuídos numa área de aproximadamente 0,3km², e cujas coordenadas foram utilizadas como referência na comparação com os dados coletados com o aplicativo Hidromapp (Figura 24).

Figura 24 - Pontos de verificação para análise do posicionamento automático (GNSS + redes)



Fonte: Elaborada pelo autor.

Para a coleta de pontos em campo foram utilizados 05 *smartphones Android*, com diferentes modelos e configurações, considerando que a qualidade do posicionamento pode sofrer alterações de acordo com os recursos utilizados pelo dispositivo (ADUSEI et al., 2002; GUIMARÃES e GRIVET, 2003; ZEIMPEKIS et al., 2003; AKGUL e PAHLAVAN, 2009; ZANDBERGEN, 2009). Além disso, a coleta de dados por diferentes *smartphones* buscou simular a diversidade de dispositivos utilizados por usuários em plataformas colaborativas (Quadro 1).

Quadro 1 - Características e configurações dos dispositivos utilizados

Características Configuração	Smartphones				
	A	B	C	D	E
Marca / Modelo	Asus Zen Fone 3	Asus Zen Fone 3	Multilaser MS45S	Samsung Galaxy J5	Samsung Galaxy S5
Satélites habilitados para rastreio	Gps, Glonass, Beidou	Gps, Glonass, Beidou	Gps	Gps, Glonass, Beidou	Gps, Glonass
Modo de Localização	Alta Precisão	Alta Precisão	Alta Precisão	Somente Dispositivo	Somente Dispositivo
A-GPS	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
Conexão 3G/4G	Sim	Não	Não	Sim	Não

Fonte: Elaborada pelo autor.

Em relação ao modo de localização, foram utilizados os modos “Alta Precisão” e “Somente Dispositivo”. O modo “Economia de Bateria” foi descartado uma vez que a documentação do Sistema Operacional *Android* recomenda a sua utilização apenas para localização aproximada, com deslocamento superior à 100 metros (ANDROID DEVELOPERS). No que se refere à conexão com redes de internet, nenhum dos dispositivos utilizou conexão de redes Wi-Fi (Wi-Fi Mac-ID), buscando avaliar o desempenho dos dispositivos apenas para a realização de levantamentos *outdoor*.

Entre os dispositivos, o *Smartphone C* está enquadrado na categoria de desempenho inferior e o recurso A-GPS foi desabilitado para a coleta de dados. Com isso, foram inseridos erros propositais para verificar a acurácia em dispositivos com recursos tecnológicos e configurações de baixo desempenho, em situações atípicas. Em campo, os pontos de controle foram visitados e a coleta foi realizada na mesma data e horário. Cada um dos pontos de verificação definidos (n=50) foi levantado por todos os dispositivos (05), gerando assim um total de 250 pontos coletados para análise (Figura 25).

Figura 25 - Coleta de pontos em campo.

Fonte: Registro de campo (O autor).

Por fim, a acurácia posicional das amostras (*Google Maps* e GNSS + redes) foi calculada a partir da Raiz do Erro Médio Quadrático (*Root Mean Square Error - RMSE*). Como discutido em Monico et al. (2009) e Santos (2015), uma vez calculado a partir das discrepâncias posicionais, o RMSE é um indicador estatístico que representa a precisão e tendência dos dados num único valor, consistindo assim na sua acurácia. O indicador é recomendado para situações em que não é necessário, ou possível, mensurar as tendências de forma isolada.

3.2 COLETA DE REGISTROS DE INUNDAÇÃO UTILIZANDO O HIDROMAPP

A proposta do aplicativo Hidromapp é possibilitar que a própria população forneça dados observados sobre inundações já ocorridas em suas cidades. Entre as mais diversas possibilidades de utilização do aplicativo, nesta pesquisa buscou-se obter dados espaciais colaborativos para a calibração e validação de modelos hidrodinâmicos, para o mapeamento de áreas de inundação.

Independente da destinação final das informações coletadas, os elementos "colaboradores" e "colaborações" são indispensáveis no processo. Se não houver colaboradores, não são produzidas informações, para que os objetivos esperados sejam alcançados. Sendo necessária a adoção de estratégias para a mobilização de potenciais colaboradores.

Sobre este aspecto, pode-se afirmar que a proposta do aplicativo Hidromapp enquadra-se entre aquelas em que a mobilização e motivação dos usuários é imprescindível, especialmente pelos seguintes fatores: a) trata-se de uma plataforma nova, que não é do uso cotidiano dos usuários, diferente de sistemas já consolidados como *Google Maps* ou *Waze*; b) para colaborar é necessário instalar o aplicativo e dedicar tempo para o seu preenchimento (ainda que curto); c) o aplicativo é voltado para uma temática específica, em que a consistência das informações é primordial para alcance dos resultado esperados; e d) em determinados momentos é necessário que os colaboradores atuem de forma conjunta em campanhas para coleta de dados, a partir de tarefas pré-estabelecidas.

Dado tais pressupostos metodológicos, esta etapa da pesquisa consistiu na definição de estratégias adotadas para a realização de coletas de dados. Buscou-se também estruturar a etapa sendo possível explorar e gerar resultados acerca dos fatores relacionados à motivação dos colaboradores e quanto ao desempenho das estratégias adotadas para a coleta dos dados.

Para isso, foram definidas diferentes estratégias para a mobilização de colaboradores e realização de campanhas de coleta de dados. Em cada tipologia de campanha buscou-se explorar diferentes níveis de atuação de um agente mobilizador, correspondendo ao grau de autonomia da plataforma. Entende-se por grau de autonomia, a intensidade de atuação do pesquisador enquanto mobilizador direto dos colaboradores, os recursos necessários para realização das campanhas, e o número de potenciais colaboradores alcançados.

Assim, estratégias de mobilização foram estabelecidas para a realização de campanhas de coleta de dados com o aplicativo Hidromapp.

3.2.1 Oficinas presenciais realizadas em escolas

Para a realização das oficinas, o pesquisador fez o contato prévio com escolas de ensino médio e/ou fundamental localizadas em cidades já afetadas por inundação, apresentando a proposta da pesquisa e colocando-se à disposição para a realização de oficinas presenciais com os estudantes. O objetivo das oficinas foi apresentar a pesquisa para os estudantes, realizar treinamentos para a utilização adequada do aplicativo, e assim obter dados espaciais colaborativos sobre inundações já ocorridas na cidade.

Cada oficina teve um número máximo de 12 participantes, indicados pela coordenação e professores, a partir do seguinte perfil: interesse por atividades extraclasse, o que inclui a participação em oficinas, palestras, e atividades semelhantes já realizadas na escola; e curiosidade e entusiasmo por tecnologias, sobretudo aplicativos móveis e informática de modo geral.

As oficinas foram realizadas segundo o cronograma: No primeiro dia de oficina, a proposta de pesquisa foi apresentada e os estudantes aprenderam a utilizar o aplicativo; no segundo dia o uso online do aplicativo foi liberado, momento em que foi realizada uma primeira coleta de dados; no terceiro dia os participantes relataram a experiência com o uso do aplicativo, sendo esclarecidas as dificuldades ou particularidades encontradas. Os alunos foram incentivados a continuação da coleta de dados por meio do uso do aplicativo após a finalização da oficina.

Durante as oficinas também foram aplicados questionários para a avaliação de desempenho do aplicativo. Além disso, para participar das oficinas, os estudantes apresentaram previamente o “Termo de Consentimento Livre e Esclarecido” assinado pelos responsáveis, considerando que os participantes em sua maioria eram menores de idade. Sobre este último aspecto é necessário salientar que a realização das oficinas não exigiu avaliação e autorização por comitê de ética em pesquisa uma vez que as atividades não expõem os participantes a nenhum dos riscos estabelecidos na Resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde.

Observa-se assim que esta modalidade de campanha possui baixo grau de autonomia, considerando que a sua realização depende do interesse e autorização da escola, o que exige tempo de articulação, deslocamento do pesquisador até a escola, principalmente quando há a necessidade de viagens intermunicipais Outros aspectos que contribuem para isso são a preparação das oficinas (planejamento, roteiro, *slides* de apresentação, mapas impressos e outros materiais auxiliares), que têm duração de 08 horas, divididas em três dias de oficina.

Esta modalidade foi aplicada na cidade de Jaqueira-PE, para a coleta de dados acerca da inundação ocorrida em maio de 2017. Ao todo foram realizadas 04 oficinas em 02 escolas (48 participantes), entre os dias 11 e 14 de setembro de 2018 (aproximadamente 1 ano após a ocorrência do evento) (Figura 26).

Figura 26 - Registro fotográfico das oficinas presenciais realizadas na cidade de Jaqueira-PE

Fonte: Registro de campo.

3.2.2 Palestras de curta duração realizada em escolas

Essa abordagem foi semelhante à anterior, onde houve contato prévio do pesquisador com escolas de ensino médio e/ou fundamental. A proposta da pesquisa foi apresentada e o pesquisador colocou-se à disposição para a realização de uma palestra presencial com os estudantes. Enquanto na abordagem anterior as oficinas foram realizadas com duração de no mínimo 8 horas, nesta abordagem a palestra teve duração de 1 hora, e o número de participantes dependeu da capacidade do auditório da escola.

Dessa forma, em comparação com o método anterior, o grau de autonomia foi ampliado considerando a redução no tempo para realização das palestras, a ampliação do número de potenciais colaboradores alcançados, e por demandar uma quantidade menor de recursos para sua preparação e realização. Ainda assim, esta abordagem exigiu tempo de articulação para a obtenção da autorização da escola; preparação de *slides* para apresentação; e o deslocamento do pesquisador, porém com custos reduzidos de alimentação e hospedagem no caso de viagens intermunicipais.

Esta modalidade foi aplicada também no município de Jaqueira-PE, para a coleta de dados referentes à inundação ocorrida em maio de 2017, e foi realizada no dia 06 de junho de 2018. Ao todo foram realizadas 6 palestras (turno matutino, vespertino e noturno), com duração de 1 hora cada, e com um total de participantes estimado (lista de presença) em 532 alunos (Figura 27).

Figura 27 - Registro fotográfico das palestras realizadas na cidade de Jaqueira-PE

Fonte: Registro de campo.

3.2.3 Divulgação à distância do aplicativo em escolas

A terceira estratégia de mobilização consistiu na realização de contato à distância (*e-mail*) com escolas localizadas em cidades afetadas por inundações, visando apenas a divulgação do aplicativo e não incluiu a realização de atividades presenciais, por parte do pesquisador. A proposta foi levar ao conhecimento das escolas a existência do aplicativo, através de mensagem por *e-mail*, para a promoção do uso do aplicativo por meio de atividades realizadas por professores em sala de aula, considerando o uso do aplicativo como ferramenta de ensino, principalmente nas disciplinas de geografia, biologia e afins; ou apenas a partir da divulgação do aplicativo entre os alunos, como um informe geral.

Em comparação com as estratégias anteriores, este método não exigiu a participação do pesquisador enquanto mobilizador direto, envolve menos custos e tempo, e refletindo assim maior grau de autonomia. Dessa forma, esta mobilização pode permitir um alcance consideravelmente maior de potenciais colaboradores, uma vez que é possível estabelecer contato com escolas localizadas em todo o país.

No entanto, a divulgação do aplicativo entre os estudantes (potenciais colaboradores) depende exclusivamente do interesse da instituição, e assim como nas abordagens anteriores, ainda se faz necessário realizar o processo de articulação de modo formal (institucional).

Até o momento, a divulgação do aplicativo de forma remota foi realizada em 61 escolas, localizadas nos estados de Pernambuco, Espírito Santo e Rio Grande do Sul (Tabela 2). Em todos os casos, o contato com as escolas foi estabelecido em momento pós-imediato a ocorrência de inundações, com intervalo de aproximadamente 1 mês.

Na Tabela 2 é possível observar que apenas no dia 04/12/2019 foi estabelecido contato com 60 escolas, localizadas em 07 cidades e 02 estados, demonstrando o potencial desta abordagem para ampliar o alcance do aplicativo. A identificação das escolas e dos respectivos endereços eletrônicos foram obtidos através dos resultados do Censo Escolar 2019, disponíveis no *site* do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas (INEP)

Tabela 2 - Contatos realizados à distância com escolas.

Cidade	Número de escolas contatadas	Período de ocorrência da inundação	Data do contato
Alegre - ES	16	14/11/2019	04/12/2019
Barreiros - PE	01	29/05/2019	02/08/2019
Itapuca - RS	02	05/11/2019	04/12/2019
Nova Bassano - RS	03	05/11/2019	04/12/2019
Rosário do Sul - RS	01	05/11/2019	04/12/2019
Santa Leopoldina - RS	01	05/11/2019	04/12/2019
São Jerônimo - RS	11	05/11/2019	04/12/2019
Viana - RS	26	14/11/2019	04/12/2019

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para a identificação de cidades recentemente afetadas por inundações e realizar a divulgação em pós-imediato, foi utilizada a ferramenta *Google Alerts* (Alertas do *Google*), que possibilita o recebimento diário de notícias relacionadas às palavras-chave configuradas pelo usuário. Neste caso, durante o período de monitoramento, foram recebidas diariamente por *e-mail* notícias publicadas em *sites* jornalísticos que continham algumas das seguintes palavras: inundação, enchente, enxurrada, alagamento, e seus respectivos plurais.

3.2.4 Divulgação do aplicativo em redes sociais

Por fim, a última estratégia de mobilização utilizada na pesquisa consistiu na divulgação do aplicativo em redes sociais, especificamente *Facebook*, *Instagram* e *WhatsApp*. Assim como na abordagem anterior, os eventos ocorridos foram identificados por meio da ferramenta *Google Alerts*.

Esta abordagem foi classificada como a de maior grau de autonomia entre as demais, considerando que não foi necessário realizar atividades presenciais, não envolve custos de deslocamento ou preparação de material, e a divulgação é realizada de modo informal, sem a necessidade de contato institucional. No entanto, a sua efetividade depende da rede de contatos do pesquisador, de modo que as ações com esta abordagem foram realizadas em Recife (PE), para os alagamentos ocorridos em 13 de junho de 2019 (*Instagram* e *Whatsapp*) e em Viçosa (MG), em dezembro de 2019 (*Instagram* e *Facebook*) (Figura 28).

Figura 28 - Material de divulgação utilizado em redes sociais.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Em suma, buscou-se explorar diferentes estratégias para a mobilização dos colaboradores na realização de campanhas de coleta de dados, uma vez que possuem vantagens e desvantagens, além de apresentarem diferentes graus de autonomia do aplicativo. Ao final das coletas, o desempenho de cada uma destas estratégias de mobilização foi avaliado, considerando a quantidade de informações coletadas em cada uma das campanhas realizadas. Com os resultados desta etapa, esperou-se contribuir para o entendimento de alguns fatores relacionados à motivação dos colaboradores em plataformas colaborativas e para o desenvolvimento de abordagens efetivas para a coleta de dados por meio de dispositivos móveis.

3.3 ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO DE DADOS ESPACIAIS COLABORATIVOS NA CALIBRAÇÃO DE MODELAGEM HIDRODINÂMICA BIDIMENSIONAL

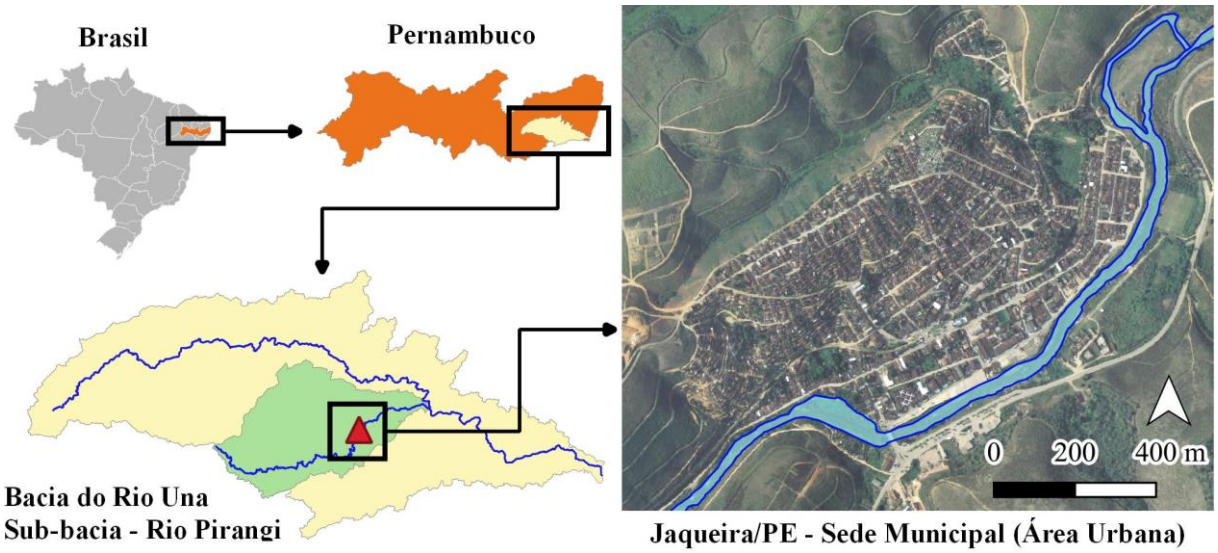
Como último bloco da pesquisa, foi conduzido um estudo de caso para verificar a aplicabilidade de informações espaciais colaborativas enquanto fonte alternativa de dados observados para a calibração e/ou validação de modelagem hidrodinâmica. Para isso, foram selecionados os dados coletados nas oficinas realizadas em Jaqueira-PE (seção 3.2.1), os quais foram utilizados na calibração de modelagem hidrodinâmica para a simulação do evento ocorrido na cidade (maio de 2017), conforme descrito a seguir.

3.3.1 Área de estudo e evento simulado

A área de estudo abrange a sede municipal de Jaqueira-PE, localizada na Bacia do Rio Una, Zona da Mata Sul do Estado de Pernambuco. A cidade é margeada pelo Rio Pirangi, que por sua vez consiste num dos principais afluentes do Rio Una, como ilustrado na Figura 29.

No estado de Pernambuco a bacia do rio Una é conhecida por registros de desastres hidrológicos ocorridos ao longo dos anos, sendo atualmente monitorada pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) e pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN). As inundações na região abrangem o principal rio da bacia (Una), os seus afluentes e cidades lindeiras, como o rio Pirangi e a sede municipal de Jaqueira.

Figura 29 - Localização da área de estudo.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O evento simulado na pesquisa se refere à inundação ocorrida em Jaqueira-PE no dia 28 de maio de 2017, e que no mesmo período atingiu também outros 66 municípios da região, de acordo com o relatório da Comissão Externa das Chuvas em Alagoas e Pernambuco (CEXCHUV, 2017). Na cidade de Jaqueira-PE, entre os dias 25 e 31 de maio de 2017 o volume acumulado de chuvas foi de 336mm, acarretando no transbordamento do Rio Pirangi o que deixou aproximadamente 10% da população do município desalojada ou desabrigada (CEXCHUV, 2017) (Figura 30).

Figura 30 - Impactos da inundação ocorrida em Jaqueira-PE em 28/05/2017.

Fonte: Ribeiro (2019).

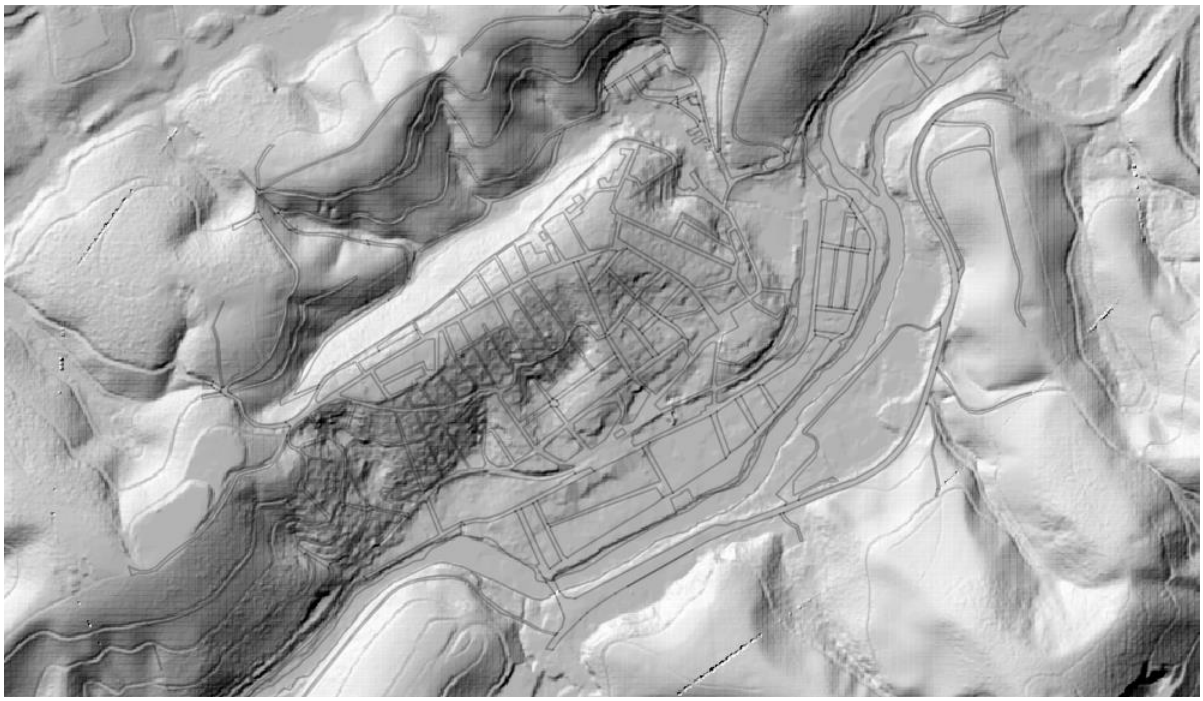
Entre os 66 municípios afetados pelo evento em Pernambuco e Alagoas, Jaqueira-PE apresentou o 8º maior número de desabrigados e desalojados, demonstrando assim a magnitude do desastre. Por fim, embora o evento ocorrido na região em junho de 2010 seja considerado o de maior impacto já identificado nos últimos anos, como pode ser visto em Londe et al. (2015), foi selecionada a inundação de 2017 devido à disponibilidade de dados sobre este evento.

3.3.2 Estruturação do modelo hidrodinâmico

Para a modelagem do evento, foi selecionado o *software* HEC-RAS 5.0.3, desenvolvido pelo Centro de Engenharia Hidrológica do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (HEC-USACE, 2016). O *software* é de uso gratuito, e no qual é possível realizar simulações em sua forma unidimensional (1D), bidimensional (2D), ou acoplado (1D/2D). Na pesquisa foi adotado o modelo bidimensional (2D), sendo necessário os seguintes dados e parâmetros de entrada: Modelo Digital do Terreno (MDT); malha computacional; condições de contorno; intervalo computacional da simulação; e coeficiente de *Manning*.

O MDT utilizado se refere aos produtos do Projeto Pernambuco Tridimensional (PE3D), obtidos por tecnologia LiDAR (*Laser Imaging Detection and Ranging*), com resolução espacial de 1m e acurácia vertical de 0,25m (Figura 31). Assim, a base altimétrica aplicada no modelo consiste em dados de alta resolução, contribuindo de forma significativa para o seu desempenho. No entanto, a área de estudo não possui levantamento batimétrico disponível, de modo que foi necessário realizar adaptações no modelo. A solução adotada foi abatimento das vazões no hidrograma de entrada, em função da vazão do canal no período do imageamento por LiDAR, como realizado em Alves et al. (2017).

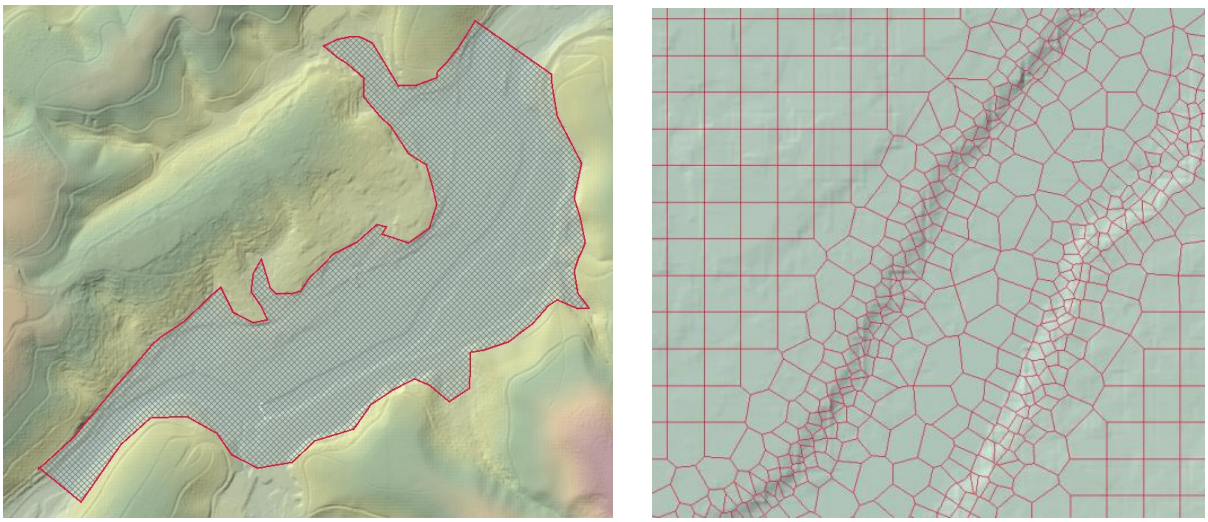
Figura 31 - Modelo Digital do Terreno utilizado no modelo hidrodinâmico.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A resolução adotada para a malha computacional foi de 10m, sendo refinada nas margens do canal, com células entre 5m e 10m (Figura 32). Para aumentar a eficiência computacional no que diz respeito ao tempo de processamento do modelo, o número de células foi reduzido a partir da delimitação da malha em função das curvas de nível situadas 20m acima das margens do canal (Figura 32). Assim, foi possível utilizar uma malha computacional com resolução compatível com o MDT, o que seria inviável para simulações em áreas de maior extensão.

Figura 32 - Malha computacional utilizada nas simulações.



Fonte: Elaborada pelo autor.

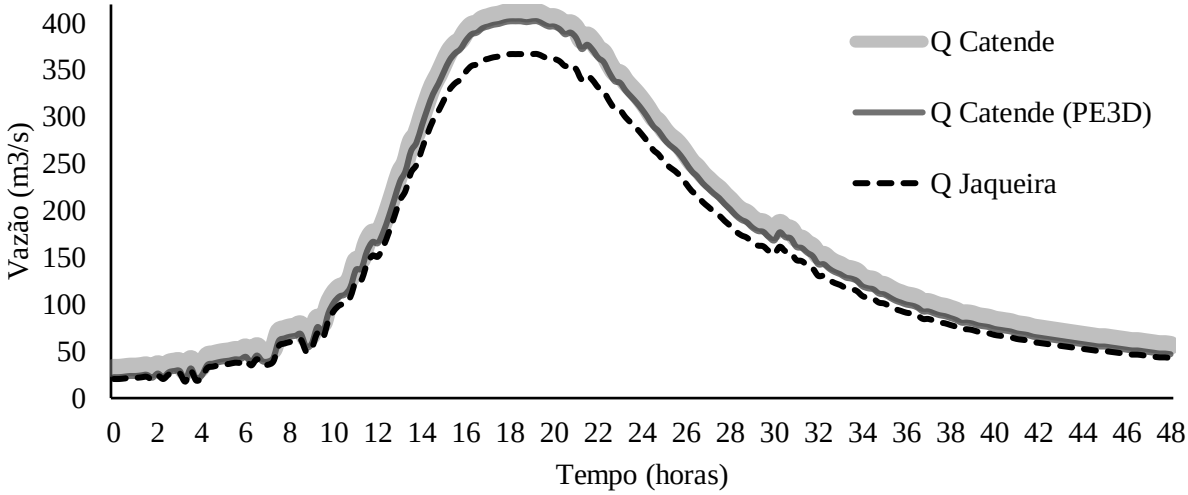
Em relação às condições de contorno, a montante foi adotado o hidrograma do evento simulado (*Flow Hydrograph*), e a jusante considerou-se o cálculo da profundidade normal (*Normal Depth*). Para os parâmetros referentes à declividade da linha de energia (*Energy Slope*) e declividade de fricção (*Friction Slope*), necessários para a resolução das equações de Saint-Venant, foi adotada a declividade do canal no trecho simulado, conforme recomendado em HEC-USACE (2016).

O hidrograma do evento foi obtido a partir da estação telemétrica localizada na cidade de Catende-PE (39550000), uma vez que não se tem dados de vazão disponíveis para Jaqueira-PE. A cidade de Jaqueira-PE está situada a aproximadamente 16km a montante da referida estação, correspondendo à 91,3% da sua área de contribuição. Desse modo, as vazões observadas na Estação Catende foram transferidas pelo fator de proporcionalidade entre as áreas de contribuição.

Além disso foi realizado o abatimento da vazão média do rio no período de execução do perfilamento LiDAR (PE3D) para compensar a ausência de batimetria no MDT, sendo assim efetuou-se a redução de 9,6m³/s nos valores observados (Figura 33). Os dados correspondem

ao período entre 27/05/2017 (20:00) e 29/05/2017 (20:00), em Catende-PE, com intervalo de 15min entre as medições (Figura 33).

Figura 33 - Hidrograma do evento simulado.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Devido à ocorrência de instabilidades no modelo ocasionadas pela ausência de batimetria, mesmo com o abatimento da vazão do canal no período do perfilamento LiDAR, adotou-se a função disponibilizada no HEC-RAS (v. 5.0.3) para a pré-simulação das condições iniciais do evento modelado. Assim, foram utilizadas as vazões observadas 24h antes do evento simulado (entre 26/05/2017 e 20:00 e 27/05/2017 às 20:00) para estabelecer as condições iniciais do fluxo, sendo assim possível anular as instabilidades no modelo.

As simulações foram realizadas com passo de tempo de 1 minuto (intervalo computacional), enquanto os resultados (*outputs*) foram gerados com o intervalo de tempo de 05 minutos. O intervalo de computação foi definido a partir de sucessivos testes para a verificação de instabilidades nas simulações.

Foi possível observar diversas fontes de incertezas que podem estar presentes na modelagem hidrodinâmica. As limitações encontradas na estruturação do modelo nesta pesquisa podem ser consideradas recorrentes, e assim, se reafirma a importância das etapas de calibração e validação para a obtenção de resultados satisfatórios.

Por fim, enquanto os elementos mencionados se constituem como os dados e parâmetros de estruturação do modelo, o coeficiente de *Manning* consiste no parâmetro de calibração, sendo ajustado para cada uma das simulações realizadas (simulação de referência e simulação com dados espaciais colaborativos).

3.3.3 Calibração do modelo hidrodinâmico a partir de dados espaciais colaborativos

Como mencionado anteriormente, apenas os dados colaborativos coletados nas oficinas realizadas em Jaqueira-PE (seção 3.2.1) foram utilizados na calibração do modelo. Entre o conjunto de dados colaborativos coletados, foi realizada a seleção de pontos aptos para serem utilizados na calibração do modelo, considerando os seguintes critérios: a) os pontos devem estar posicionados sobre a área modelada (malha computacional); b) a data de ocorrência da inundação, informada pelo colaborador, deve corresponder ao período do evento simulado; c) os pontos devem conter dados observados, consistentes, sobre a altura da lâmina d'água atingida no evento.

Os critérios de seleção foram aplicados sequencialmente, de modo que fossem selecionadas apenas informações que atendessem a todos os aspectos estabelecidos. Assim, inicialmente foram selecionadas apenas as informações posicionadas sobre a malha computacional utilizada no modelo hidrodinâmico, e cuja data de ocorrência da inundação informada pelos colaboradores correspondesse ao período do evento simulado (28 e 29 de maio de 2017). Por sua vez, para a avaliação de consistência da altura da lâmina d'água informada pelos colaboradores, foi necessário desenvolver um mecanismo que possibilitasse identificar apenas os dados consistentes, de forma automatizada.

O mecanismo desenvolvido para a avaliação de consistência da altura da lâmina d'água nas colaborações baseia-se na "redundância de contribuições dos voluntários" (DEGROSSI et al., 2018; FOODY, 2014; SEE et al., 2013; COMBER et al., 2013). Esta abordagem, apresentada seção 2.2.2.2, consiste na análise comparativa entre os dados fornecidos por diferentes colaboradores (usuários do aplicativo), sendo então verificado se há divergências entre as informações. Por fim, o grau de consistência das informações pode ser observado a partir do percentual de convergência e divergência entre os dados.

Tomando a plataforma *Waze* como exemplo, se 09 diferentes usuários informam a ocorrência de um acidente de trânsito num determinado ponto, enquanto um único usuário informa a ocorrência de um protesto neste mesmo local, pode-se dizer que existe 90% de probabilidade de ter ocorrido um acidente e 10% de probabilidade de estar havendo um protesto. Assim, partindo do pressuposto que dados colaborativos tendem a se concentrar em maior volume em torno da informação consistente, assume-se que as informações adicionadas referentes à ocorrência de acidente de trânsito no ponto são consistentes e que o alerta informado sobre um protesto é inconsistente.

Da mesma forma, este princípio foi utilizado para avaliar a consistência da altura da lâmina d'água nas colaborações, sendo realizada a comparação entre as informações adicionadas por diferentes usuários do aplicativo. Para isso, foi desenvolvido um algoritmo em linguagem *Python* (Anexo A), executado no *software* QGIS (Complemento "Terminal *Python*"), no qual todos os procedimentos descritos são realizados de forma automatizada, por meio da integração entre os *softwares* QGIS e HEC-RAS (*API HEC-RAS Controller*).

O algoritmo realiza sucessivas simulações com valores para o coeficiente de Manning (*N*) entre 0,02 e 0,1, com um passo de 0,001, buscando identificar qual o *N* apresenta maior probabilidade de consistência quando comparadas as alturas da lâmina d'água informadas por diferentes usuários do aplicativo. A amplitude dos valores para *N* (entre 0,02 e 0,01), foi adotada considerando coeficientes mínimos e máximos identificados na literatura, como em Sabat-Tomala et al. (2018), Ercan e Kavvas (2015), Falter et al. (2015), García-Pintado et al. (2012), Palacio, García e Garcia (2010), Horritt e Battes (2002) e Battes et al. (1995).

Para cada valor de *N* entre 0,02 e 0,1 (com intervalo de 0,001), o algoritmo calculou a probabilidade dos pontos informados pelos usuários serem consistentes quando comparados com as colaborações realizadas por outros usuários (Equação 5 e Figura 34).

$$p\ P_N = \frac{n_{P_{acertos}}}{n_{P_{total\ comparado}}} \tag{5}$$

onde $p\ P_N$ = Probabilidade de consistência do ponto avaliado para o valor de *N* testado na simulação; $n_{P_{total\ comparado}}$ = Número total de pontos comparados (informados por outros usuários); $n_{P_{acertos}}$ = Número de pontos convergentes com o ponto avaliado, informados por outros usuários.

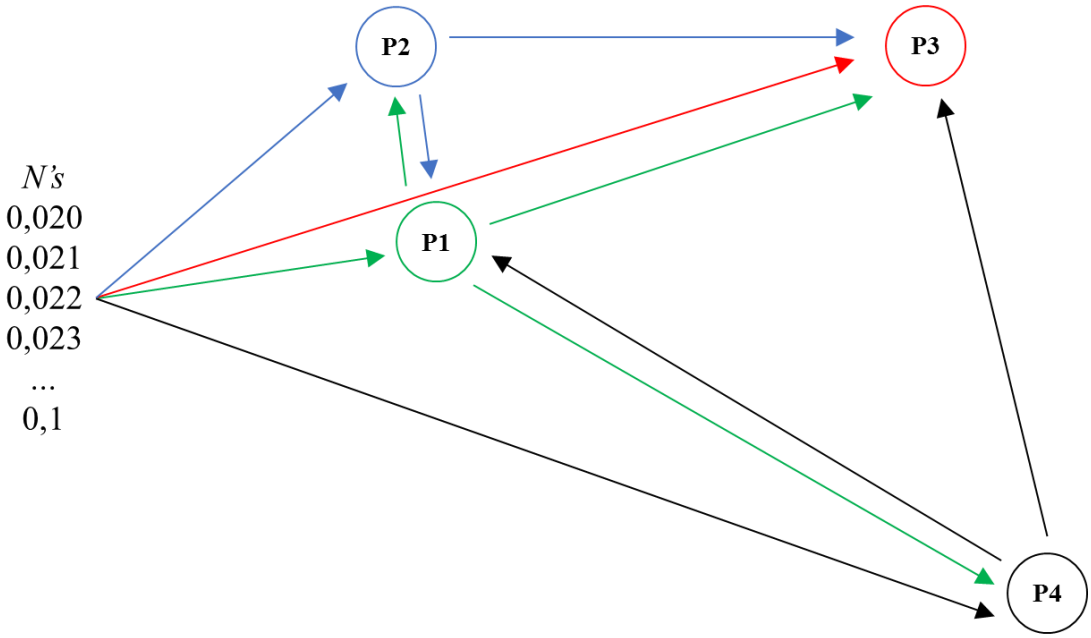
Uma vez que o objetivo da análise é a remoção de *outliers* (inconsistências), a margem de erro aceitável entre a altura da lâmina d'água informada pelos usuários e os valores simulados é de 0,25m. Assim, considera-se que um ponto está ajustado ao valor de *N* simulado, quando a diferença (valor absoluto) entre a altura da lâmina d'água simulada e informada pelo usuário é de até 0,25m. Esta margem de tolerância foi adotada considerando a acurácia altimétrica do MDT utilizado no modelo hidrodinâmico (PE3D = 0,25m).

Por sua vez, a probabilidade de consistência de *N* é igual ao somatório das probabilidades de consistência dos pontos para o valor de *N* simulado (Equação 6), conforme representado na e Figura 34, em que a probabilidade de consistência de *N* 0,22 foi de 42%.

$$p\,N = \frac{\sum p\,P_N}{n_{P_{total}}} \tag{6}$$

onde $p\,N$ = Probabilidade de consistência do valor de N (Manning) testado na simulação; n_N = Número total de pontos avaliados; $\sum p\,P_N$ = Somatório das probabilidades de consistência dos pontos avaliados para o valor de N testado na simulação.

Figura 34 - Demonstração esquemática do algoritmo.



Consistência dos pontos para *N* = 0,022

Ponto	Usuário	H_h	H_s	Dif	P_c	P_{ok}	P_P
P1	A	1,1	1,2	0,1	3	2	0,67
P2	B	2,4	2,1	0,3	2	1	0,50
P3	C	1,2	0,3	0,9	0	0	0,00
P4	B	0,2	0,7	0,5	2	1	0,50

H_h = Altura da lâmina d'água informada no Hidromapp
H_s = Altura da lâmina d'água simulada no ponto
Dif = Diferença entre a lâmina d'água informada e simulada
P_c = Número total de pontos comparados
P_{ok} = Número de pontos concordantes
P_P = Probabilidade do ponto ser consistente para *N* = 0,022

Consistência de N = 0,022

$$P_N = \frac{0{,}67 + 0{,}50 + 0{,}00 + 0{,}50}{4}$$

$$\boldsymbol{P_N = 42\%}$$

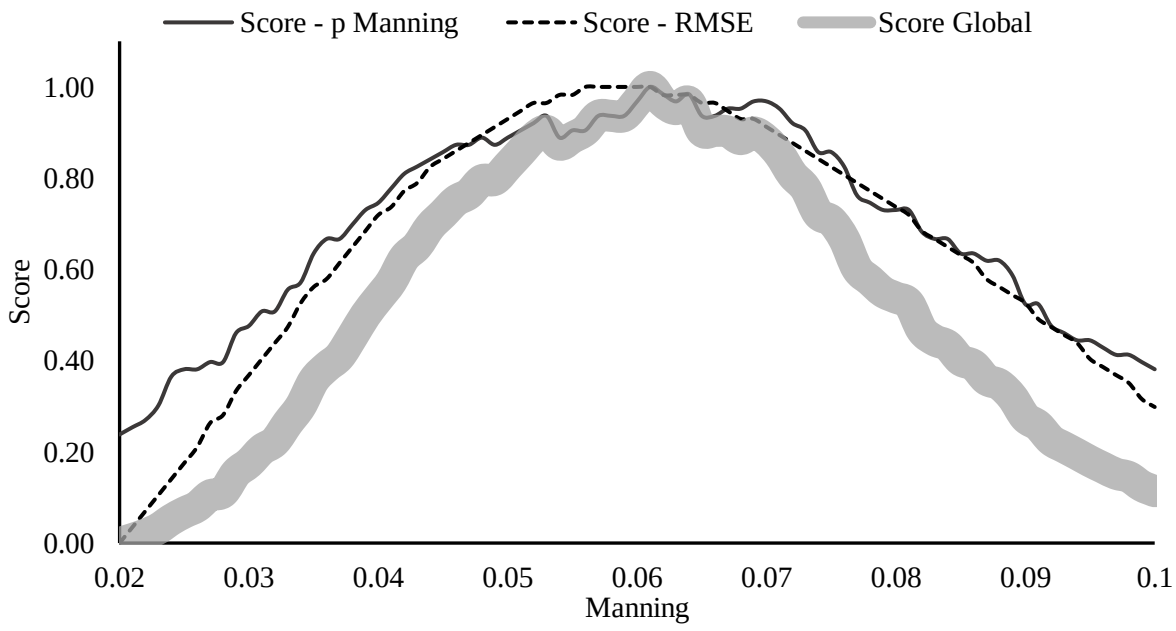
Fonte: Elaborada pelo autor.

Além do cálculo das probabilidades de consistência, o algoritmo também utiliza o RMSE, a partir das discrepâncias entre a altura da lâmina d'água informada pelos usuários e respectivos valores simulados. Partindo do pressuposto que dados colaborativos tendem a se concentrar em maior volume em torno da informação consistente, espera-se que os melhores resultados do RMSE (menor erro) sejam identificados para valores de Manning consistentes.

Para identificar o coeficiente de Manning com a maior probabilidade de consistência (p_Manning) e o menor RMSE, o algoritmo incialmente realiza a normalização dos indicadores, convertendo-os para valores (*scores*) entre 0 e 1, representando o seu desempenho de forma crescente. Por fim, o algoritmo calcula o Score Global a partir do produto dos indicadores (*Score Global = p_Manning * RMSE*), identificando os valores de Manning em que os dados colaborativos apresentam a maior consistência.

Assim, após realizar todas as simulações, o algoritmo seleciona o coeficiente de *Manning* com maior Score Global, adota o valor na calibração do modelo hidrodinâmico e executa a simulação no HEC-RAS, classificando cada um dos pontos informados pelos colaboradores como consistente (quando ajustado à simulação) ou inconsistente (não ajustado). Para ilustrar, a Figura 35 exemplifica os resultados de um teste do algoritmo, sendo possível visualizar o comportamento de cada um dos indicadores calculados no teste, em que o coeficiente de Manning 0,061 apresentou a maior consistência (Score Global).

Figura 35 - Exemplificação dos resultados obtidos pelo algoritmo.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Dessa forma, o algoritmo realiza de forma simultânea a análise de consistência das informações adicionadas pelos usuários do aplicativo, e a calibração do modelo hidrodinâmico a partir das informações consistentes, em que o valor de Manning com maior Score Global é adotado na calibração.

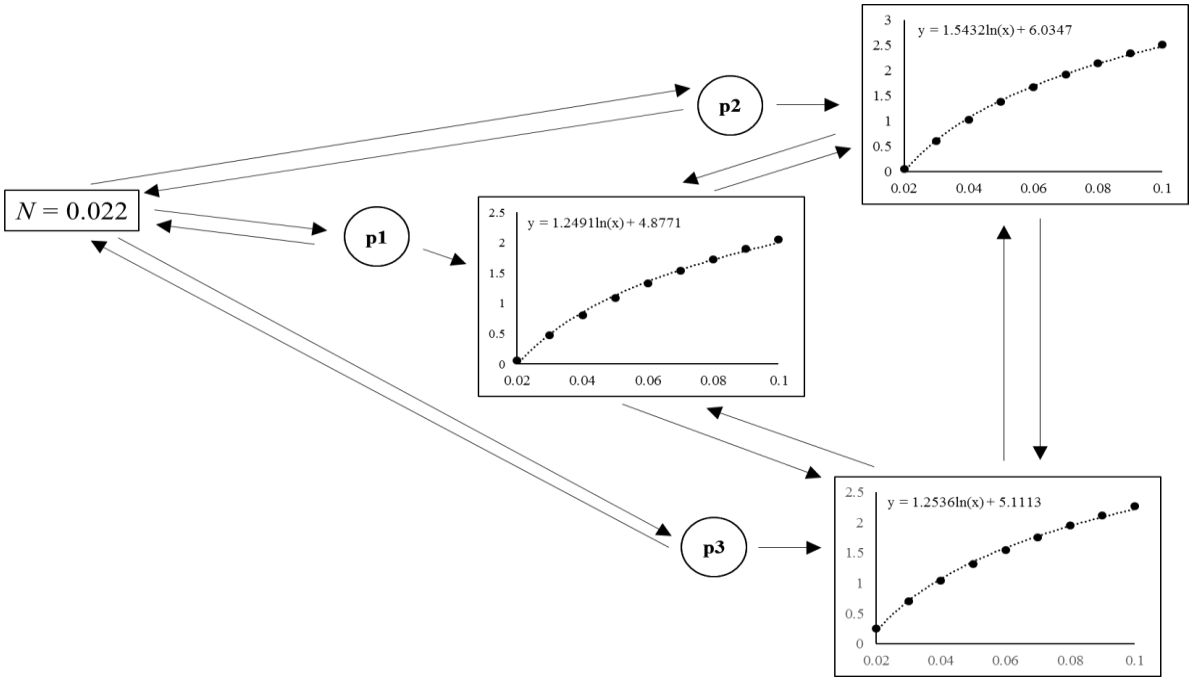
No entanto, considerando a amplitude estabelecida para o coeficiente de *Manning* entre 0,02 e 0,1, e o passo de 0,001 entre as simulações (0,02, 0,021, 0,022, ..., 0.1), o algoritmo teria que realizar 81 simulações no *software* HEC-RAS para a avaliar a consistência dos dados e calibrar o modelo, ampliando consideravelmente o seu custo computacional no que diz respeito ao tempo de processamento. Ainda que todas as simulações sejam realizadas pelo algoritmo de forma automatizada, o tempo necessário para a sua execução neste trabalho seria de aproximadamente 20 horas, uma vez que o processamento de cada simulação no HEC-RAS teve duração de 15 minutos.

Para reduzir o número de simulações necessárias no software HEC-RAS, o algoritmo realiza um número reduzido de simulações e estima os valores não simulados a partir funções logarítmicas, obtidas a partir das simulações realizadas, em função da relação entre o coeficiente de *Manning* e altura da lâmina d'água. Assim, o algoritmo realiza menos simulações do modelo hidrodinâmico no *software* HEC -RAS, obtém a função logarítmica para a estimativa das demais simulações em cada ponto, e por fim calcula a probabilidade de consistência conforme mencionado anteriormente.

Como exemplificado na Figura 36:

a) O algoritmo realizou 09 simulações do modelo hidrodinâmico no software HEC-RAS (*Manning* = 0,02, 0,03, 0,04, 0,05, 0,06, 0,07, 0,08, 0,09, 0,1);
b) A partir dos valores simulados, obteve-se a função logarítmica para cada ponto, onde x= Manning e y=altura da lâmina d'água;
c) Estimou-se a altura da lâmina d'água em cada ponto para o Manning de 0,022, a partir da sua respectiva função logarítmica;
d) A comparação entre os valores informados foi realizada em cada um dos pontos (probabilidade de consistência do ponto para o Manning 0,022);
e) E por fim, calculou-se a probabilidade de consistência do Manning 0,022, considerando o somatório das probabilidades de consistência de cada ponto avaliado.

Figura 36 - Modelo de otimização do algoritmo.



Fonte: Elaborada pelo autor.

No exemplo ilustrado na Figura 36, o tempo necessário para a realização de simulações no software HEC-RAS foi reduzido de 20 horas e 15 minutos (81 simulações) para 02 horas e 15 minutos (9 simulações). Desta forma, espera-se que a redução considerável no tempo de processamento do algoritmo possibilite a sua utilização na modelagem de áreas com maior extensão. Por fim, foram realizados testes do algoritmo para verificar o número mínimo de simulações necessárias no modelo hidrodinâmico para que o processamento ocorra sem o comprometimento dos resultados (Tabela 3 e Figura 37).

Tabela 3 - Testes de otimização do algoritmo realizados.

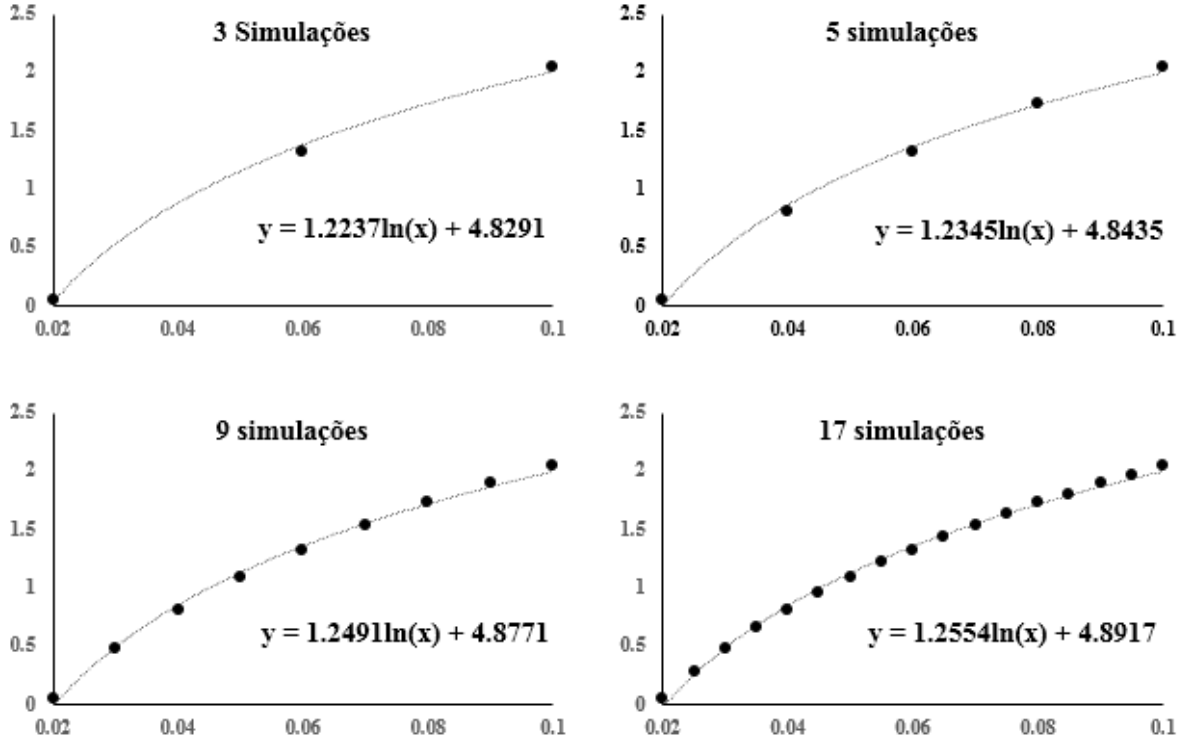
Nº de simulações realizadas no HEC-RAS	**Tempo para processamento das simulações**	**Valores de *N* utilizados para a obtenção das funções logarítmicas**
3	45 minutos	0,02, 0,06, 0,1
5	1 hora e 15 minutos	0,02, 0,04, 0,06, 0,08, 0,1
9	2 horas e 15 minutos	0,02, 0,03, 0,04, 0,05, 0,06, 0,07, 0,08, 0,09, 0,1
17	4 horas e 15 minutos	0,02, 0,025, 0,03, 0,035, 0,04, 0,045, 0,05, 0,055, 0,06, 0,065, 0,07, 0,075, 0,08, 0,085, 0,09, 0,095, 0,1

Fonte: Elaborada pelo autor

A Figura 37 ilustra a obtenção da função logarítmica num determinado ponto da área de estudo para cada um dos testes realizados (Tabela 3), em que o eixo X corresponde aos valores do coeficiente de Manning, o eixo Y representa a altura da lâmina d'água, e os pontos plotados são os valores obtidos nas simulações realizadas no HEC-RAS, os quais por sua vez, foram utilizados na obtenção da função logarítmica.

Como visualizado na Figura 37, os coeficientes da função logarítmica variaram de acordo com o número de simulações realizadas no HEC-RAS, ocasionando diferentes estimativas para a altura da lâmina d'água por meio das equações, e podendo comprometer o desempenho do algoritmo na análise de consistência dos dados e na calibração do modelo hidrodinâmico. Assim, o objetivo dos testes foi analisar o desempenho do algoritmo em relação ao número de simulações realizadas no HEC-RAS, possibilitando a sua otimização em aplicações futuras.

Figura 37 - Obtenção de funções logarítmicas para um mesmo ponto para 03, 05, 09 e simulações.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Para concluir, o código-fonte do algoritmo pode ser visualizado no Anexo A, e na próxima seção são apresentados os materiais e métodos utilizados para avaliar o desempenho obtido na calibração do modelo hidrodinâmico a partir dos dados colaborativos, incluindo também a análise de desempenho do algoritmo desenvolvido.

3.3.4 Análise de desempenho da calibração

Para verificar o desempenho dos resultados obtidos na calibração do modelo hidrodinâmico a partir dados colaborativos e do algoritmo proposto na seção anterior, foi realizada uma simulação de referência, para o mesmo evento, a partir da calibração do modelo com dados coletados diretamente em campo por pesquisadores. Na calibração de referência foram utilizadas as informações levantadas no trabalho realizado por Ribeiro et al. (2020), em que as marcas da cheia ocorrida na cidade de Jaqueira-PE em 28/05/2017 (mesmo evento simulado nesta pesquisa) foram registradas em 130 pontos da área afetada, a partir de levantamentos em campo (Figura 38).

Figura 38 - Marcas de cheia (Jaqueira - 28/05/2017) coletadas por Ribeiro et al. (2020)

Fonte: Elaborada pelo autor.

Dessa forma, a mancha de inundação simulada a partir da calibração do modelo com dados colaborativos foi comparada com a simulação de referência. Para mensurar o grau de correspondência entre as simulações foi utilizado RMSE e o Índice de Sucesso Crítico (*Critical Success Index* - C). O RMSE foi aplicado para avaliar o desempenho da calibração com dados colaborativos na estimativa da altura da lâmina d'água, enquanto o Índice C foi utilizado para verificar a correspondência entre a extensão máxima da área inundada estimada, de forma semelhante às aplicações realizadas por Wood et al. (2016), Wing et al. (2017) e Rollason et al. (2018). O índice C foi dado pela Equação 7, e seus valores que podem variar entre 0 e 1, indicam inexistência de similaridade entre os modelos ou um ótimo ajuste, respectivamente.

$$C = \frac{Hc_1 Hr_1}{Hc_1 Hr_1 + Hc_0 Hr_1 + Hc_1 Hr_0} \quad (7)$$

onde: Hc_1 é o número de *pixels* estimados como pontos inundados, pelo modelo calibrado com dados colaborativos; Hr_1 é o número de *pixels* estimados como pontos inundados na simulação de referência; Hc_0 é o número de *pixels* estimados como pontos não inundados, pelo modelo calibrado com dados colaborativos. Hr_0 é o número de *pixels* estimados como pontos não inundados na simulação de referência.

Além da comparação entre as manchas de inundação simuladas, a consistência dos dados colaborativos foi avaliada em função da simulação de referência, sendo verificadas as diferenças entre a altura da lâmina d'água simulada (referência) e os valores informados pelos estudantes em cada um dos pontos. Para avaliar o desempenho do algoritmo desenvolvido na classificação de consistência dos dados foi aplicado o método matriz de confusão, sendo observados os dados consistentes verdadeiros e falsos, e inconsistentes verdadeiros e falsos.

Por fim, considerando que o algoritmo foi testado para 4 situações distintas (obtenção da função logarítmica a partir de 3, 5, 9 e 17 simulações no HEC-RAS), as análises mencionadas foram aplicadas para cada um dos testes realizados observando-se o desempenho do algoritmo em função do número de simulações realizadas no HEC-RAS.

Assim, os procedimentos descritos nesta seção foram aplicados para avaliar os resultados obtidos no estudo de caso e testar a hipótese estabelecida na seção 1.2, de que dados espaciais colaborativos podem ser considerados como uma fonte alternativa de dados observados para a calibração de modelos hidrodinâmicos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 APLICATIVO HIDROMAPP

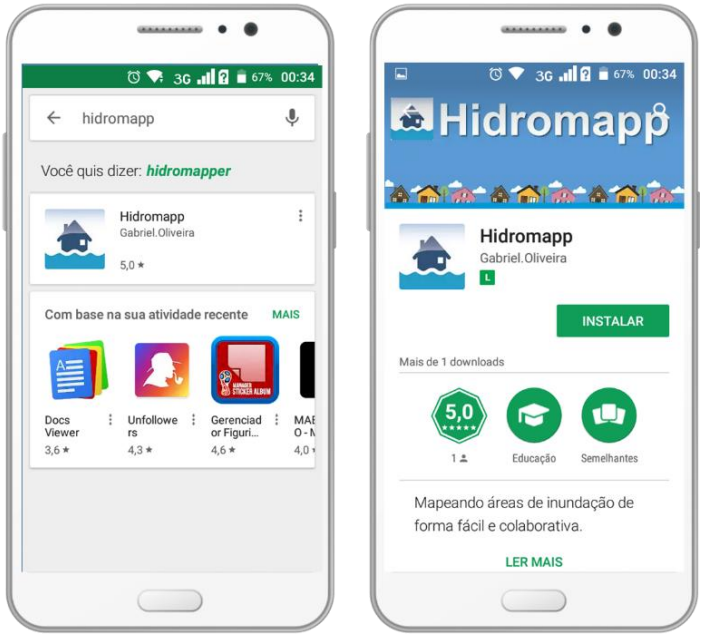
4.1.1 Interface e funcionalidades

Além da correção de problemas identificados no protótipo (primeira versão do aplicativo), a principal modificação foi realizada na definição das informações fornecidas pelos usuários. Como já mencionado, enquanto a versão anterior do aplicativo contemplava a coleta de dados sobre localização de pontos inundados, cotas atingidas, danos causados e vulnerabilidade social, esta nova versão se concentrou na obtenção de dados sobre as duas primeiras informações. Dessa forma, foram removidas a coleta de dados sobre danos e vulnerabilidade, reduzindo o número de informações solicitadas ao usuário.

Sobre este último aspecto é importante ressaltar que aplicativos baseados em colaboração se assemelham a questionários e entrevistas, de forma que o desenvolvedor deve estar atento para que o processo de colaboração não seja demasiadamente extenso e cansativo para o usuário. A partir dos testes realizados foi observado um tempo médio de 02 minutos necessários para a realização de 01 colaboração no aplicativo.

Nesta seção, são apresentadas as principais funcionalidades do aplicativo. A sua interface completa pode ser visualizada no Anexo B, ou diretamente no *smartphone* através de *download* gratuito na *Google Play Store*, disponível apenas para *Android* (Figura 39).

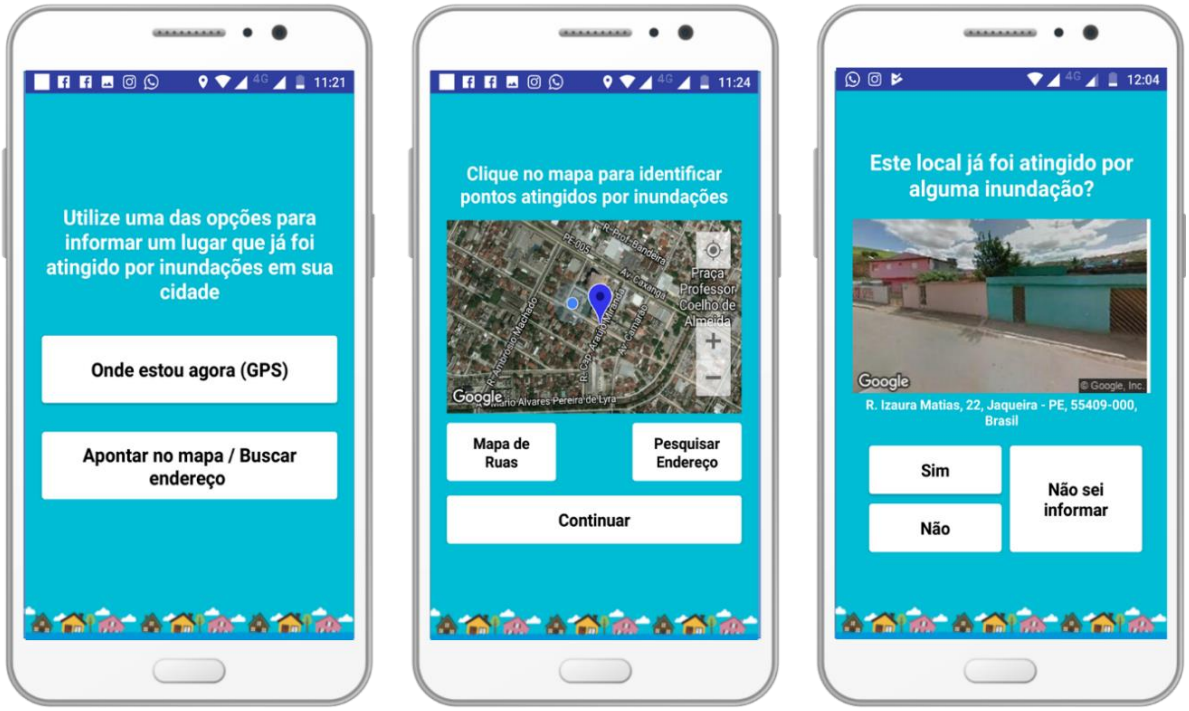
Figura 39 - Aplicativo Hidromapp na Google Play Store



Fonte: Elaborada pelo autor.

Para a identificação de pontos atingidos por inundações, os usuários podem utilizar recursos de posicionamento automático (GNSS e redes) ou indicar os pontos no mapa de forma manual, incluindo a visualização de imagens de satélite da área de interesse (Figura 40). A nova versão do aplicativo foi construída de forma que estas funções possam ser utilizadas mesmo quando o dispositivo não esteja conectado à *internet*. No modo *offline*, o usuário pode indicar pontos já inundados através de recursos de posicionamento automático, ou no mapa (se houverem informações armazenadas em *cache*). Também foram adicionados recursos para a localização de pontos através de geocodificação, possibilitando a conversão de endereços em coordenadas geográficas de todo o país, e visualização de imagens do *Google Street View*.

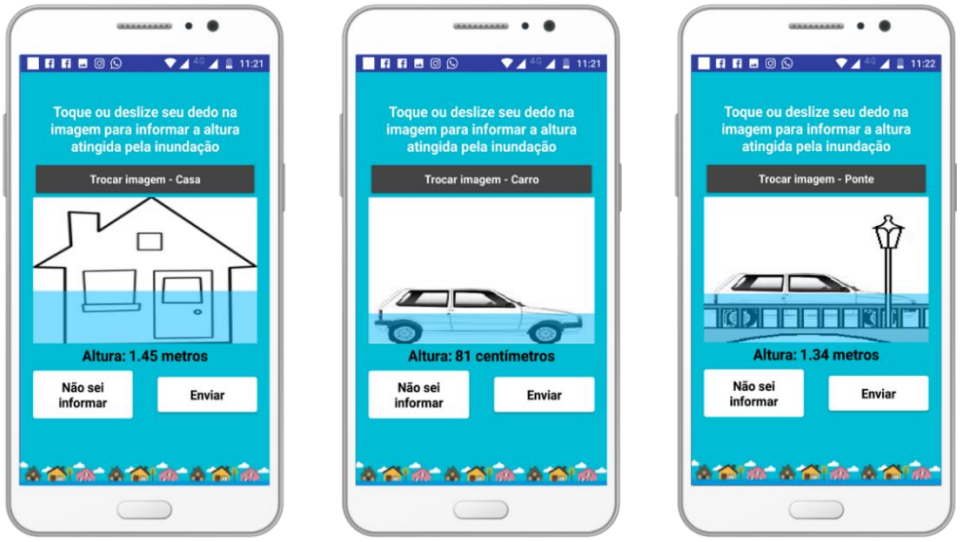
Figura 40 - Recursos implementados para a identificação de pontos atingidos por inundações



Fonte: Elaborada pelo autor.

Para a coleta de informações sobre cotas atingidas pela inundação foram implementados recursos para a sua indicação com o auxílio de imagens ilustrativas, dimensionadas em escala, de forma que ao indicar a altura na imagem, através de toque na tela (*touchscreen*), o aplicativo realiza a conversão de forma automática para unidades métricas (Figura 41). Também foi perguntado ao usuário se foi utilizada trena ou algum outro instrumento de medição para a estimativa do valor informado, visando identificar colaborações que possam eventualmente apresentar maior consistência.

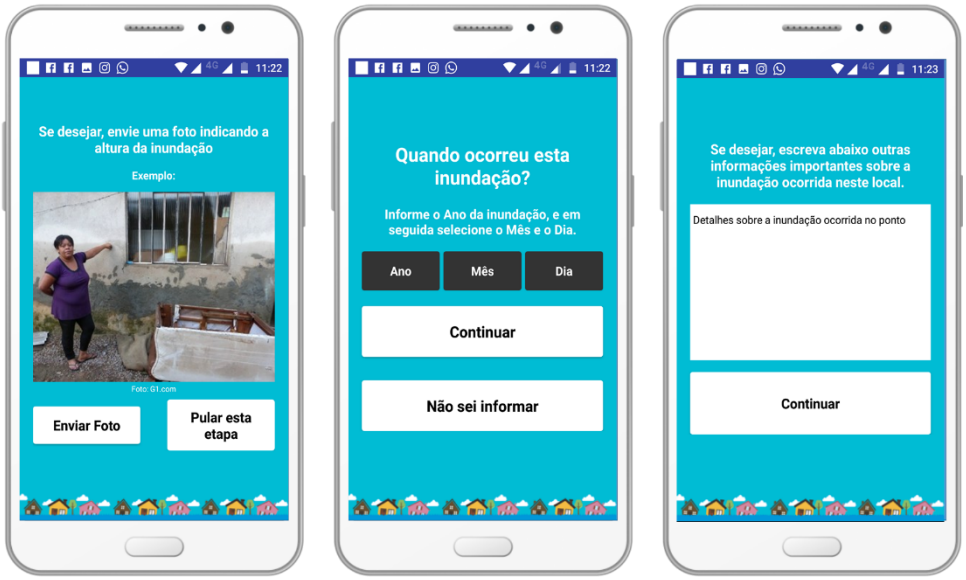
Figura 41 - Recursos para estimativa da altura da lâmina d'água.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Também foram adicionados os seguintes recursos: envio de fotografias pelos usuários, uma vez que podem trazer informações importantes para a compreensão das inundações ocorridas; cadastro da data do evento, sendo necessário informar no mínimo o ano e o mês da inundação; e um campo livre no qual os usuários podem acrescentar informações adicionais (Figura 42). Para todas as funções nas quais os usuários precisam fornecer informações, a opção "não sei informar" foi acrescentada de modo que o usuário não seja forçado a colaborar com informações sobre as quais não tem certeza, visando assim reduzir a possibilidade de inconsistência dos dados.

Figura 42 - Recursos para envio de fotos e registro da data do evento e informações texto.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Após concluir uma colaboração, as informações são enviadas para o banco de dados, hospedado em servidor *web*, e nos casos em que o *smartphone* não esteja conectado à *internet*, as informações são salvas na memória interna do dispositivo e enviadas após a conexão ser restabelecida. Assim, as informações que constam no banco de dados do projeto consistem em: a) coordenadas geográficas de pontos atingidos por inundações; b) data de ocorrência do evento; c) altura atingida pela inundação; d) registros fotográficos; e) mensagem de texto; e f) metadados (Tabela 4).

Tabela 4 - Lista de atributos das informações coletadas no aplicativo Hidromapp.

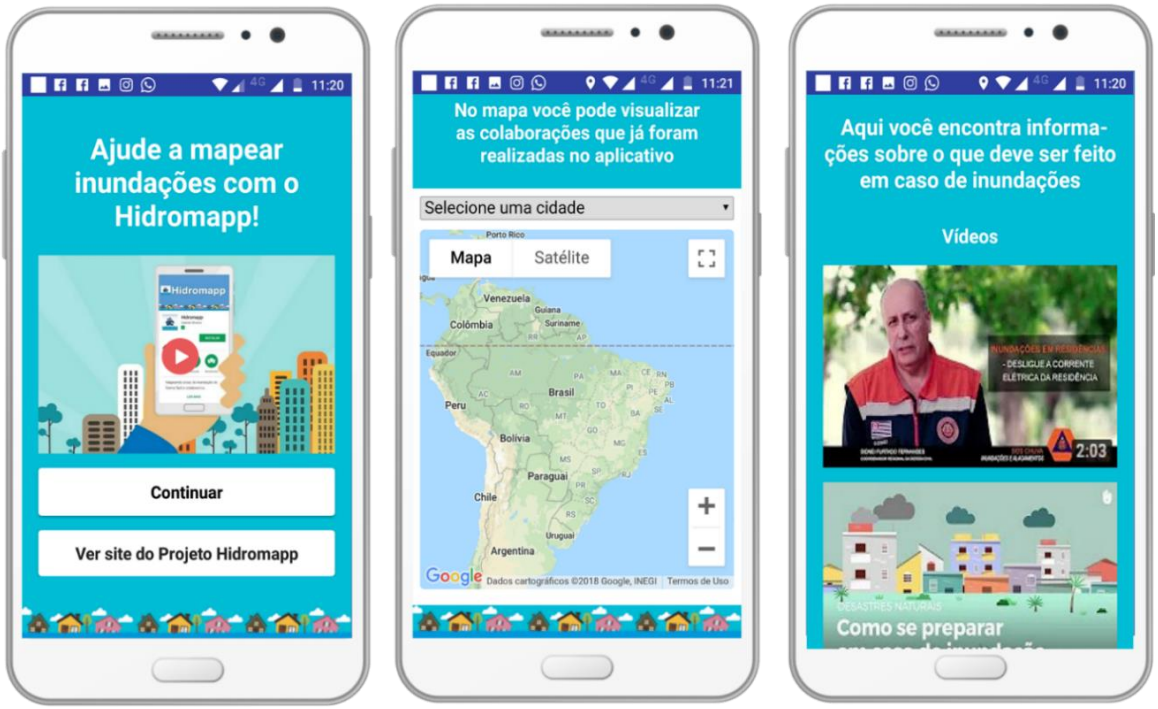
Campo	**Descrição**
Timestamp*	Data e hora em que a colaboração foi recebida no banco de dados
UserID*	Código único de identificação do usuário
InfoID*	Código único de identificação da colaboração
Cidade_UF*	Cidade e Estado em que se situa o ponto informado
Data*	Data em que a colaboração foi realizada
HoraInicio*	Horário em que a colaboração foi iniciada
HoraFim*	Horário em que a colaboração foi finalizada
Conexao*	Uso de *internet* durante a colaboração - *online* ou *off-line*
Georref*	Recurso utilizado pelo usuário para o georreferenciamento da informação – Posicionamento automático (GPS e rede) ou "Apontar no mapa"
Lat	Latitude do ponto informado
Long	Longitude do ponto informado
Inundado	Indica se o ponto foi afetado por inundação
DataEvento	Data de ocorrência do evento informado pelo usuário
Altura	Altura da lâmina d'água informada pelo usuário
Trena	Indica se foi utilizado instrumento de apoio para medição da lâmina d'água
Figura	Figura ilustrativa que o usuário utilizou como referência (casa, carro ou ponte)
Foto	Foto enviada pelo usuário
MsgTexto	Mensagem de texto enviada pelo usuário

*Metadados, coletados automaticamente pelo sistema.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Além destas funcionalidades, ligadas especificamente às informações que podem ser coletadas, o aplicativo também contém mecanismos para envio de notificações aos usuários, em que o administrador da plataforma pode enviar mensagens em tempo real para os colaboradores; um vídeo curto de apresentação (2 minutos); um mapa interativo em que os usuários podem visualizar todas as colaborações já realizadas; vídeos sobre recomendações da Defesa Civil em caso de inundações (Figura 43); e também foram adicionados os “Termos de Uso e Política de Privacidade do aplicativo”, de modo que para a utilização da plataforma, os usuários precisam ler e concordar, visando assim garantir os aspectos legais acerca da coleta de dados pelos usuários.

Figura 43 - Disponibilização de informações no aplicativo.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Além do aplicativo, o *site* do projeto foi publicado e pode ser acessado através do endereço http://www.hidromapp.com.br, no qual estão disponíveis todas as colaborações já realizadas, informações sobre o projeto, fotos de atividades realizadas em escolas, publicações, entre outras. Em relação à disponibilização dos dados coletados no *site*, buscou-se manter uma abordagem de ciência aberta (*Open Science*) e de dados abertos (*Open Data*) considerando que o principal mérito de plataformas colaborativas se dá quando os dados coletados por todos podem ser acessados por todos.

4.1.2 Acurácia posicional planimétrica do aplicativo

A acurácia posicional planimétrica calculada foi abaixo de 15 metros para ambos os recursos de posicionamento disponíveis no aplicativo Hidromapp (Tabela 5).

Para o posicionamento manual (base *Google Maps*), o RMSE calculado foi de 5,32m, e no posicionamento automático (GNSS e redes) foi obtido um RMSE de 11,80m (Tabela 5). A base *Google Maps* na cidade de Jaqueira-PE apresentou acurácia posicional planimétrica apropriada em relação à base PE3D, cujo RMSE calculado esteve acima da média. Além disso, uma acurácia planimétrica superior pode ser obtida a partir do cálculo de tendências das amostras, sendo aplicada na correção posicional dos dados.

Por sua vez, em relação ao posicionamento automático, foram obtidos diferentes resultados entre os *smartphones*, como já era esperado, em que o RMSE calculado individualmente para cada dispositivo variou entre 6,5m e 16,6m. Considerando todos os dispositivos, o RMSE foi de 11,8m, sendo assim compatível com receptores GNSS de navegação, convencionalmente utilizados no levantamento de marcas de cheia.

O *Smartphone C* apresentou o pior desempenho, com RMSE de 32,4m, e foi desconsiderado da média uma vez que a função A-GPS foi desativada propositalmente, representando assim uma situação atípica (Tabela 5).

Tabela 5 - Acurácia posicional planimétrica do aplicativo Hidromapp.

Recurso de posicionamento avaliado		**RMSE**
Posicionamento Manual (base *Google Maps – Jaqueira-PE*)		5,32m
Posicionamento automático (GNSS e redes)	*Smartphone* A	9,8m
	Smartphone B	16,6m
	Smartphone C	32,4m
	Smartphone D	6,5m
	Smartphone E	12,5m
	Todos os dispositivos*	11,8m

* Desconsiderando o *Smartphone C*, por ser uma situação atípica (erros propositais).

Fonte: Elaborada pelo autor.

Em comparação com trabalhos correlatos (Tabela 6), os resultados dos dispositivos A, D e E foram compatíveis, enquanto o *smartphone* B apresentou valores acima para os pontos levantados (*RMSE* = 16,6 m). Por sua vez, o *Smartphone* C obteve desempenho consideravelmente inferior, demonstrando novamente a importância do recurso A-GPS para o posicionamento em *smartphones.*

Tabela 6 - Desempenho do posicionamento de *smartphones* em trabalhos correlatos.

Referência	**Indicador**	**Desempenho no posicionamento planimétrico**	**País**
Hoffmann et al. (2018)	Discrepância Média	6 m	Brasil
Tomaštík et al. (2017)	RMSE	1,9 m - 2,4 m	Eslováquia
		5 m - 6,7 m	
		6,7 m - 11,45 m	
Carrasco-Letelier (2015)	Discrepância Média	4,5 m	Uruguai
Réquia (2013)	Discrepância Média	2,7 m - 6,5 m	Brasil
Zandbergen (2009)	RMSE	9 m	México

Fonte: Elaborada pelo autor.

Assim, a acurácia posicional planimétrica identificada para o aplicativo Hidromapp foi considerada adequada, uma vez que erro planimétrico identificado se situou entre valores de referência, e sendo também compatível com dados já utilizados atualmente na calibração de modelos hidrodinâmicos (levantamentos realizados com receptores GNSS de navegação).

Por fim, reafirma-se o caráter heterogêneo da qualidade em dados espaciais colaborativos, considerando as variações do RMSE entre as amostras coletadas, seja em relação ao recurso utilizado (base *Google Maps* ou GNSS e redes), ou até mesmo em função das configurações do dispositivo no posicionamento automático. Por outro lado, os recentes e contínuos avanços tecnológicos apontam um cenário positivo para os aplicativos baseados em localização, sobretudo na ampliação da cobertura de imagens aéreas com alta resolução, e no aprimoramento dos recursos de posicionamento automático em dispositivos móveis (*smartphones* e *tablets*).

4.1.3 Avaliação do aplicativo na perspectiva dos usuários

Em relação ao desempenho do aplicativo entre os usuários, são apresentados os resultados da avaliação realizada pelos estudantes em Jaqueira-PE (oficinas). No universo de 48 usuários não foram relatadas falhas de funcionamento (*bugs*), entretanto 12% dos usuários relataram que o aplicativo demonstrou um pouco de lentidão em seus dispositivos.

Por sua vez, 77% dos participantes mencionaram não terem encontrado nenhuma dificuldade na utilização do aplicativo, enquanto 23% informaram algumas limitações, como a identificação de pontos no mapa interativo (base *Google Maps*). Durante as oficinas observou-se que metade dos participantes relataram dificuldades para localizar as suas residências no mapa. Neste aspecto, foi mencionado que a indicação dos pontos no mapa por GPS foi "muito mais fácil" do que encontrar a localização no mapa disponível no aplicativo.

Ainda sobre limitações do aplicativo identificadas pelos usuários: a *Base Google Maps* e *StreetView* estão desatualizados de acordo com os estudantes; o aplicativo não é compatível com *IPhone* e *Windows Phone*; dificuldades para encontrar a casa no mapa, lembrar a data do evento ocorrido, e recordar o valor exato da altura da inundação, embora fosse mencionado que a figura ilustrativa ajuda a mensurar o valor sem a utilização de trena.

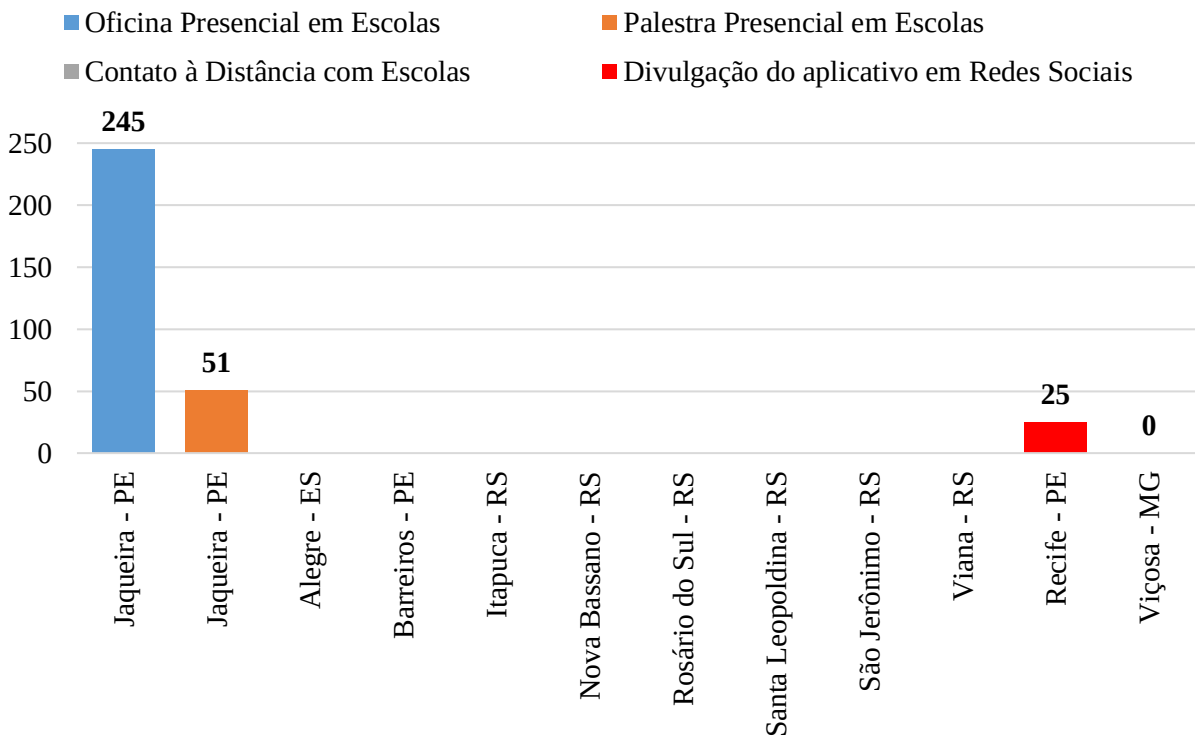
Por fim, embora não tenham sido relatados problemas de funcionamento pelos usuários, durante a pesquisa foram identificadas algumas limitações que podem comprometer a continuidade do aplicativo, ou a sua utilização em grande escala. A principal delas está na utilização de API's *Google* (*Maps, Geocode* e *StreetView*), que desde 2019 migraram para uma plataforma de cobrança, sendo necessário que todos os desenvolvedores vinculem um cartão de crédito para faturamento automático. Por esta razão, tem sido comum acessar mapas interativos em diversos *sites* e receber a seguinte mensagem: *"Esta página não carregou o Google Maps corretamente. Você é o proprietário deste site? For development purposes only"*.

Assim, coloca-se como a principal lacuna do aplicativo, a substituição dos serviços *Google* por API's gratuitas, o que por sua vez inviabiliza a utilização da plataforma *GoogleStreetView*. Além disso, é necessário desenvolver uma versão compatível com smartphones com sistema operacional *IOS (Iphone)* e *Tablets*.

4.2 DESEMPENHO DAS ESTRATÉGIAS DE MOBILIZAÇÃO E ASPECTOS SOBRE A MOTIVAÇÃO DOS COLABORADORES

Entre os mecanismos adotados para a divulgação do aplicativo Hidromapp e, por conseguinte, para a coleta de registros de inundações, foram obtidos resultados relevantes apenas nas campanhas realizadas na cidade de Jaqueira-PE, e em menores proporções em Recife-PE (Divulgação do aplicativo em Redes Sociais). Na Figura 44 é possível observar que as oficinas realizadas em Jaqueira-PE apresentaram desempenho consideravelmente superior em relação às demais campanhas realizadas, e que não houve nenhuma efetividade nos contatos estabelecidos à distância com escolas.

Figura 44 - Número de colaborações obtidas nas campanhas realizadas.



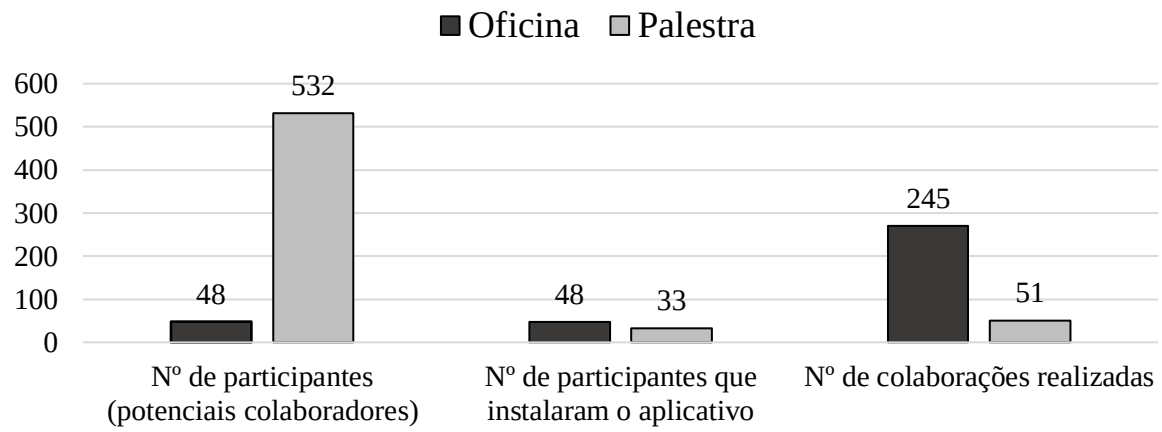
Fonte: Elaborada pelo autor.

Desde já, estes resultados reforçam o aspecto da motivação dos colaboradores como uma limitação em dados espaciais colaborativos e enfatiza a importância de explorar diferentes modalidades de campanhas para a coleta de dados. A seguir, os resultados obtidos para cada uma das campanhas estão apresentados detalhadamente.

4.2.1 Campanhas presenciais em escolas (Oficinas e Palestras)

As campanhas presenciais realizadas na cidade de Jaqueira-PE demonstraram resultados relevantes, principalmente nas oficinas. Como pode ser visualizado na Figura 45, o número de estudantes que participou das oficinas corresponde à 9% em relação ao grupo de participantes das palestras, e, no entanto, foram coletados 245 pontos, que corresponde à aproximadamente 5 vezes o número de informações obtidas a partir das palestras. Nas palestras de curta duração foi identificado que menos de 10% dos participantes instalaram o aplicativo, assim como o número de colaborações foi bastante inferior ao esperado (Figura 45).

Figura 45 - Engajamento dos participantes nas palestras e oficinas.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Como não foram realizadas entrevistas com os participantes das palestras, sobretudo por não ser o foco desta pesquisa, é possível apenas estabelecer hipóteses para o baixo grau de engajamento alcançado nesta abordagem. Algumas observações feitas durante as oficinas podem auxiliar neste aspecto, a partir de elementos de motivação identificados pelos estudantes nas atividades e que não estavam inseridos no contexto das palestras.

O número reduzido de participantes nas oficinas (12 alunos) contribuiu de forma significativa para a comunicação do conteúdo e para a concentração dos estudantes. Nas palestras não foi possível alcançar o diálogo direto com os participantes, uma vez que cada grupo continha em média 100 alunos (capacidade do auditório). Por sua vez, o tempo dedicado à cada uma das atividades demonstrou ser o principal fator de engajamento dos participantes.

Nas oficinas quando perguntado aos estudantes sobre o que eles mais gostaram e o que mais motivou a participação deles na coleta de dados, todas as respostas mencionadas levaram ao entendimento de que os principais elementos de motivação foram o tempo e atenção

disponibilizados pelo pesquisador no desenvolvimento das atividades, como transcrito a seguir: aprender algo novo; experiência nova; ajudar a cidade; ajudar o projeto; se sentir importante e útil; saber que existem aplicativos para ajudar a cidade; a forma como a explicação foi feita; trabalhar com mapas e aprender a utilizar mapa no celular; conhecer a cidade no mapa; ver o funcionamento do aplicativo Hidromapp (banco de dados, código-fonte); ver simulações de inundação no *software* HEC-RAS; aprender sobre o que fazer em caso de inundações, que é algo recorrente na cidade; ter um dia livre para usar o aplicativo e depois poder tirar dúvidas; aprender o que significa política de privacidade e termos de uso em aplicativos; momento descontraído, mesmo estando na escola; a interação com colegas de outras turmas; poder ajudar ao mesmo tempo em que aprendem; aprender algo novo, de forma prática; atividade que descontrai e ajuda ao mesmo tempo; e sair da rotina.

Ou seja, levando em consideração o tempo de duração das oficinas e a comunicação direta com um grupo reduzido de participantes, é possível afirmar que em apenas 01 hora de palestra, e com número elevado de ouvintes, não foi possível alcançar estes elementos de motivação mencionados nas oficinas. Assim, pode-se dizer que o tempo de duração das atividades e o grau de participação do mobilizador foram diretamente proporcionais ao desempenho das campanhas.

Por diante, explorando apenas as informações coletadas a partir das oficinas, foi observado que os estudantes de ensino fundamental apresentaram um desempenho superior em relação aos grupos de ensino médio. Entre o total de 245 colaborações obtidas em todas as oficinas realizadas, 62% destas foram coletadas por estudantes de ensino fundamental. Sobre este aspecto, mesmo durante a realização das oficinas foi percebido um interesse relativamente maior dos estudantes de ensino fundamental, expressado por meio de entusiasmo, curiosidade, concentração e participação no desenvolvimento das atividades. Assim, enquanto em Oliveira (2017) a concepção do aplicativo foi baseada na sua utilização por estudantes de ensino médio, estes resultados ampliam a possibilidade de explorar o aplicativo Hidromapp incluindo também alunos de ensino fundamental.

A realização de atividades presenciais apresentou possibilidades para a mobilização de engajamento de potenciais colaboradores, sobretudo nas oficinas presenciais. No entanto, dado o tempo necessário e os custos relacionados à realização de oficinas em outras cidades, recomenda-se explorar alternativas para a capacitação e engajamento de multiplicadores, como professores, que por sua vez serão responsáveis pela mobilização dos estudantes a partir de atividades realizadas em sala de aula.

4.2.2 Contato à distância com escolas

No contato à distância estabelecido por *e-mail* com 61 escolas não foram obtidas colaborações em nenhumas das cidades. Da mesma forma, não houve resposta de nenhuma das mensagens enviadas, com exceção do IFPE Campus Barreiros (Pernambuco), neste caso o contato foi estabelecido diretamente com um professor da instituição.

Sobre esta última observação, são estabelecidas algumas suposições, como: as mensagens foram enviadas para o *e-mail* institucional das escolas, o qual nem sempre é utilizado como principal meio de comunicação da instituição; a mensagem foi enviada no início de dezembro, que corresponde ao período de finalização das atividades escolares, com cronograma limitado; as mensagens podem ter sido rejeitadas devido ao fato de que a população tem estado em alerta com mensagens de fonte desconhecida, considerando que os crimes cibernéticos têm aumentado exponencialmente; ou, por fim, como o contato por *e-mail* é, a priori, superficial, a proposta do aplicativo não despertou o interesse das instituições.

No entanto, embora possam ser levantadas diversas hipóteses, conclui-se que esta estratégia de mobilização de potenciais colaboradores não demonstrou efetividade. Assim como na comparação entre as oficinas e palestras, observa-se mais uma vez o baixo grau de autonomia de iniciativas como o aplicativo Hidromapp, em que a participação ativa de integrantes do projeto se mostra indispensável na mobilização e engajamento de potenciais colaboradores.

De forma alternativa, avalia-se a possibilidade de explorar esta abordagem de mobilização através de instituições que lidam diretamente com a gestão de riscos e desastres, como prefeituras, secretarias e núcleos de proteção e defesa civil. Algumas destas instituições mantêm páginas ativas em redes sociais (F*acebook, Instagram*), de modo que possam ter interesse na divulgação aplicativo após a ocorrência de eventos (pós-imediato), e assim obter dados para o mapeamento de riscos hidrológicos.

Neste último caso, em comparação com a divulgação por meio de escolas, seria necessário estabelecer contato com um número consideravelmente menor de instituições em cada cidade, e a rede de colaboradores pode ser ampliada para além de estudantes de ensino médio e fundamental. Sobre isso, nos trabalhos correlatos é mencionada a participação de instituições públicas na motivação dos moradores para o fornecimento de informações colaborativas, podendo ser uma nova estratégia abordada na pesquisa.

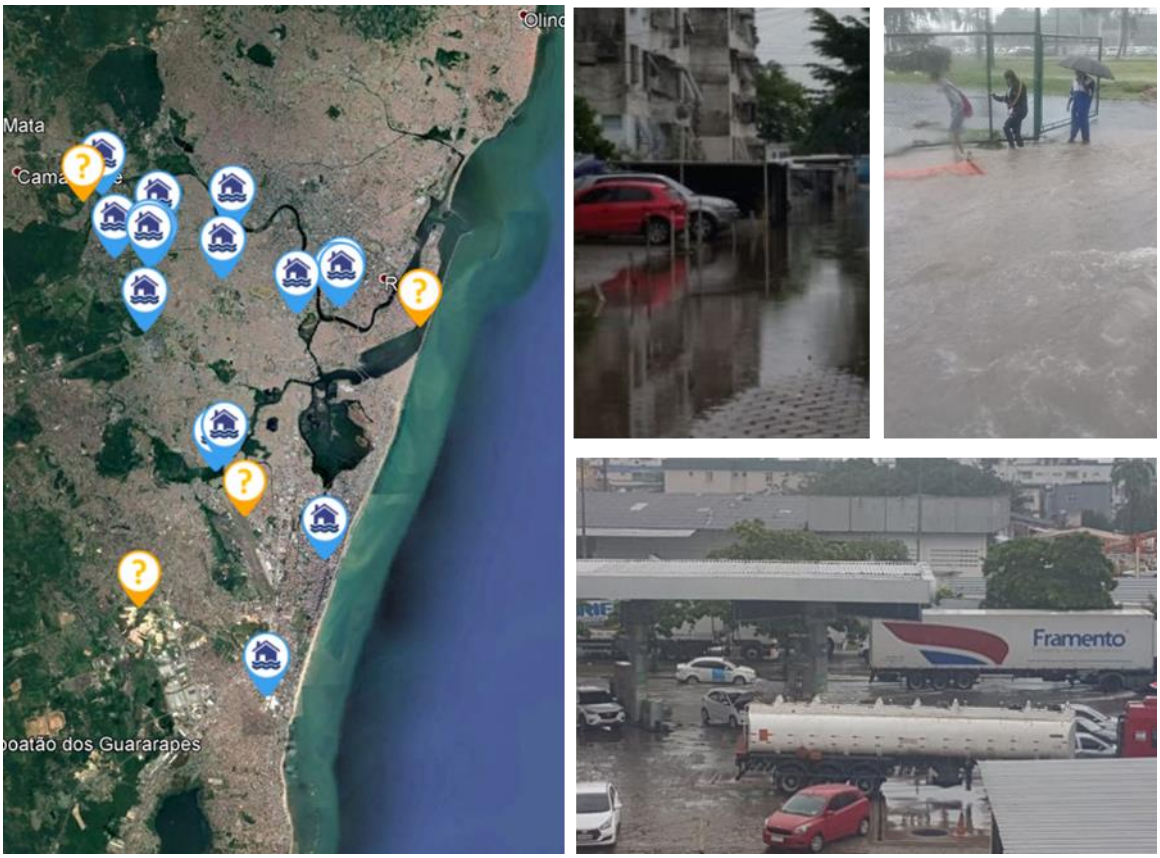
4.2.3 Divulgação do aplicativo por meio de redes sociais

A partir da divulgação do aplicativo em redes sociais (*Facebook*, *Instagram* e *Whatsapp*) foram obtidas informações apenas para Recife-PE, referentes ao evento ocorrido em 13 junho de 2019. Por sua vez, não foram realizadas colaborações para Viçosa-MG (evento ocorrido em dezembro de 2019), em que também foram utilizadas redes sociais como mecanismo de mobilização de potenciais colaboradores.

Em Recife-PE, foram coletadas um total de 25 colaborações, realizadas por 14 usuários, incluindo cidades da região metropolitana (Camaragibe, Moreno e Jaboatão dos Guararapes). Entre as informações, 18 se referiam à pontos afetados por alagamento no dia 13 de junho de 2019, enquanto nas demais os usuários informaram locais que não foram atingidos ou que não sabiam responder (Figura 46).

Entre as informações enviadas pelos colaboradores, em algumas destas os usuários adicionaram a altura da lâmina d'água, variando entre 13cm e 70cm. Também foram enviadas algumas fotos e mensagens de texto, que podem contribuir significativamente para a caracterização do evento (Figura 46 e Quadro 2).

Figura 46 - Colaborações obtidas em Recife-PE e RM por meio de divulgação em redes sociais



Fonte: Elaborada pelo autor.

Foi observada a participação de alguns membros do Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da UFPE na coleta de dados, o que pode ser representado pelo nível de detalhamento em algumas mensagens de texto enviadas (Quadro 2). Como já mencionado na literatura, o interesse profissional pelo tema abordado em plataformas colaborativas é considerado como um dos principais fatores de motivação. Isto porque o processo de colaborar gera satisfação pessoal aos usuários, seja enquanto exercício (tarefa, atividade) relacionada à área de atuação, ou também por compreenderem a relevância da coleta de dados.

Quadro 2 - Mensagens de texto enviadas pelos colaboradores em Recife-PE (13/06/2019)

"O alagamento não chega a entrar nos lotes pois os mesmos já são um pouco mais elevados, no entanto o trânsito e a locomoção de pedestres fica bem difícil."
"Esta rua sempre alaga e fica dificil pegar as crianças na escola, acbv. Este problema já vem há mais de 20 anos e nao é resolvido. "
"Rua principal e ruas proximas todas alagadas, bueiros visivelmente entupidos"
"O alagamento estava no trecho entre a Estrada das Ubaias e Praça de Casa Forte"
"A BR 101 estava com alagamento entre a saída da Av. Maurício de Nassau com fim do trecho alagado antes da lombada eletrônica."
"Praticamente a rua toda estava alagada. A profundidade aumentava no sentido para a Av. Caxangá"
"Um trecho de aproximadamente 100m. Na altura do COPE não havia alagamentos."
"O alagamento seguia por 100m a partir do cruzamento da Av. Dom Bosco com a Av. Conde da Boa Vista. Toda a Dom Bosco estava alagada e a Av. Conde da Boa Vista por mais 100m"

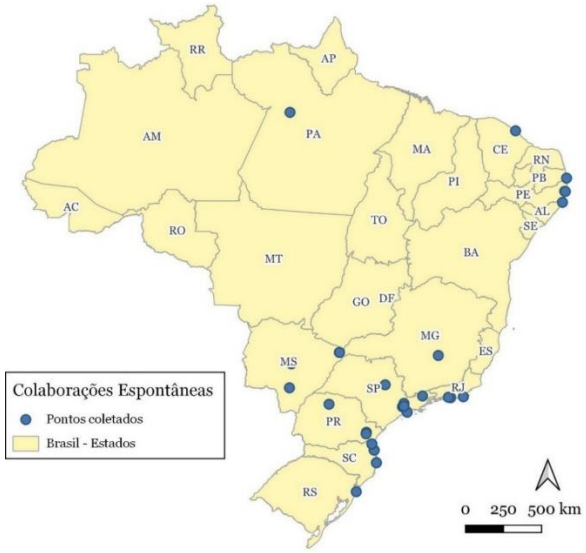
Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesse sentido, grupos de pesquisa relacionados à gestão de riscos hidrológicos podem ser classificados como um público-alvo em novas campanhas de coleta de informações. A escassez de dados observados sobre inundações e alagamentos é uma realidade encontrada em todo o país, e dessa forma, pesquisadores podem apresentar interesse na utilização do aplicativo para o levantamento de informações e realização de pesquisas.

4.2.4 Colaborações espontâneas

Em paralelo às campanhas realizadas, foram identificadas no banco de dados do aplicativo algumas informações classificadas como espontâneas, logo que não estavam atreladas à nenhuma iniciativa da pesquisa. Foram realizadas 35 colaborações espontâneas, distribuídas entre 24 cidades e 11 estados, (Figura 47). Ainda que em número incipiente, este resultado representa potencialidades para uma maior cobertura das informações coletadas em todo o país, sobretudo numa perspectiva de longo prazo, como ilustrado na Figura 47.

Figura 47 - Distribuição espacial das colaborações espontâneas realizadas.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Entre estas colaborações, algumas foram realizadas em momento pós-imediato à ocorrência dos eventos, como nas informações referentes ao Rio de Janeiro (dezembro de 2018), Mairiporã-SP (janeiro de 2019), São Caetano do Sul-SP (março de 2019), e João Pessoa (junho de 2019). Num horizonte de longo prazo, a coleta de dados espontâneos pode contribuir para a consolidação do aplicativo enquanto banco de dados de registros de inundações ocorridas no país. As informações adicionadas em tempo real e em pós-imediato tendem a apresentar maior consistência, e podem contribuir para a calibração e validação de simulações se coletadas para diferentes eventos ocorridos numa mesma localidade.

Por fim, as colaborações espontâneas representam o maior grau de autonomia da proposta do aplicativo, uma vez que possibilita a coleta de dados sem que seja necessária a participação de integrantes do projeto na mobilização e engajamento de colaboradores. No entanto, a sua efetividade depende da continuidade do aplicativo, e sobretudo, da qualidade das informações coletadas.

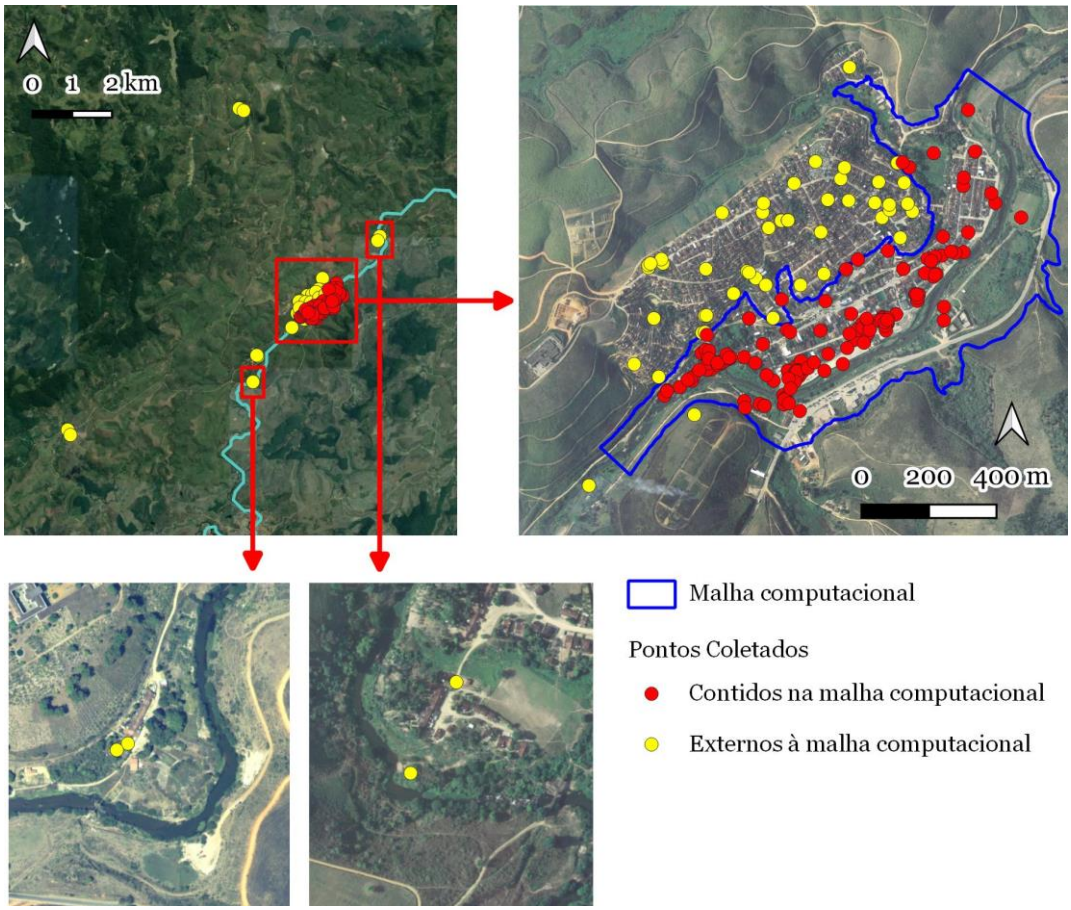
4.3 RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO

4.3.1 Dados colaborativos selecionados para a calibração do modelo hidrodinâmico

Do total de 245 pontos coletados pelos estudantes em Jaqueira-PE, a partir das oficinas, 183 (75%) estavam situados sobre a área de interesse (malha computacional), atendendo ao primeiro critério aplicado para a seleção dos dados colaborativos. Assim, foi identificado que os dados apresentaram qualidade adequada neste critério, em que os participantes das oficinas se concentraram na coleta de informações sobre a área de inundação e imediações (Figura 48).

Além disso, foram identificados pontos situados em áreas de riscos não incluídas na modelagem, externas à malha computacional (Figura 48). Neste sentido, observou-se que em geral os trabalhos relacionados ao mapeamento de áreas de inundação são delimitados na área urbana da sede municipal, desconsiderando vilas e povoados. Assim, este resultado demonstra também o potencial dos dados colaborativos na delimitação da área de simulação, a partir da identificação de áreas de risco hidrológico em toda a área de estudo.

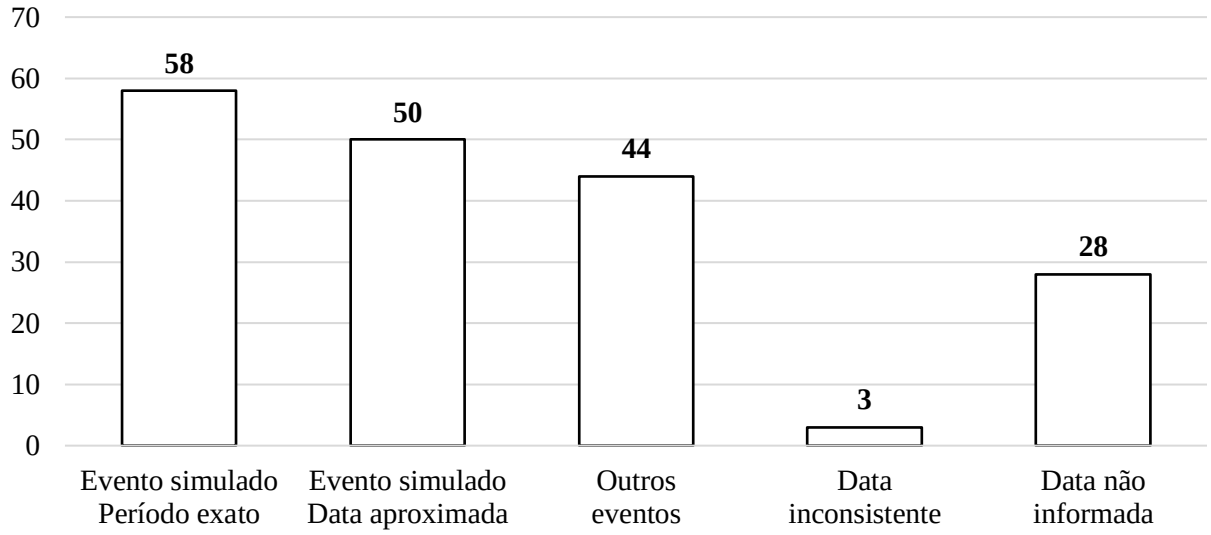
Figura 48 - Distribuição espacial dos pontos coletados em relação à malha computacional



Fonte: Elaborada pelo autor.

Considerando apenas os 183 pontos contidos na malha computacional, foram selecionadas 108 colaborações nas quais os estudantes informaram a data referente ao evento simulado (28/05/2017), correspondendo à 66% do total de dados analisados nesta etapa (Figura 49). Em 58 destas foi identificado o período exato do evento, enquanto para 50 pontos a data evento foi informada de modo aproximado (Figura 49).

Figura 49 - Avalição do atributo “data de ocorrência da inundação”



Fonte: Elaborada pelo autor.

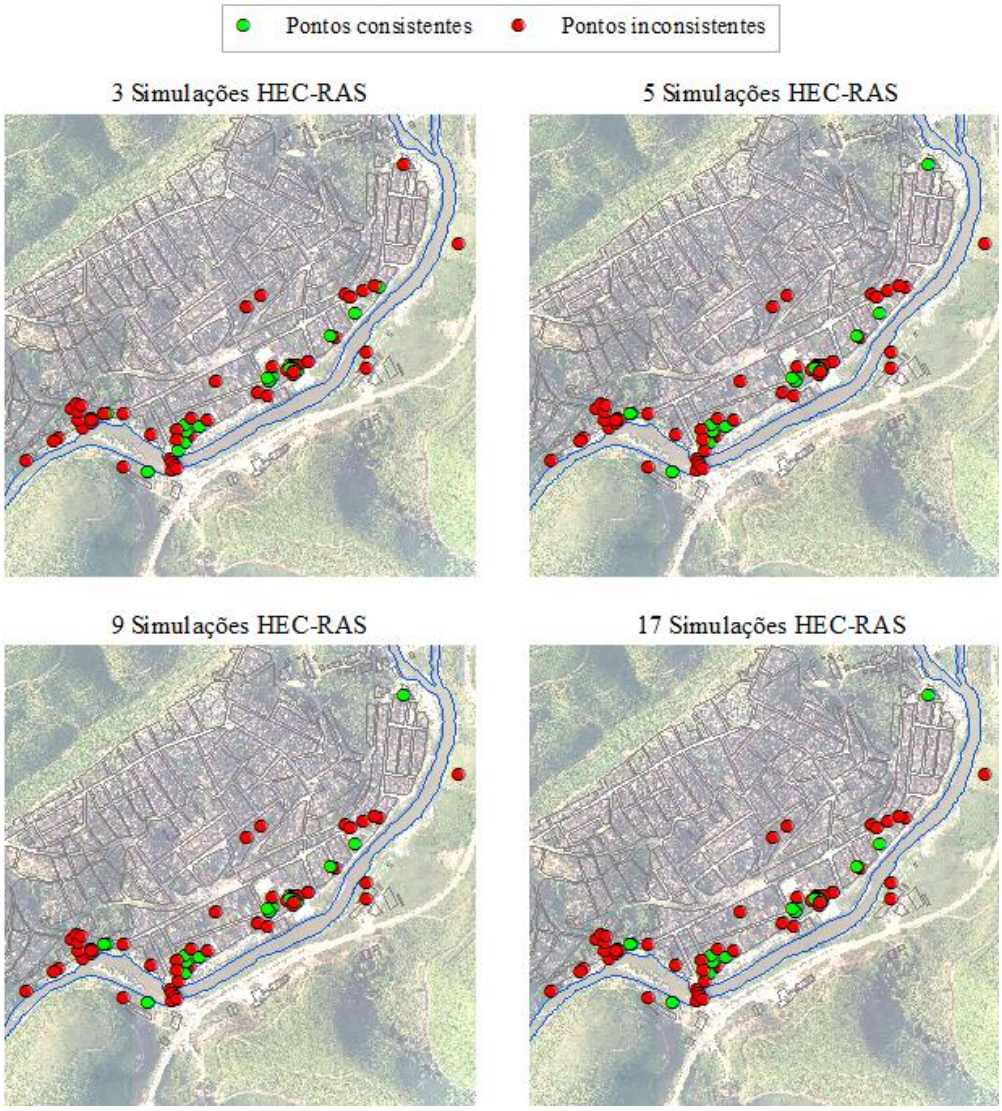
Embora a data aproximada do evento não tenha prejudicado a seleção de informações para o trabalho, o resultado demonstra que eventuais problemas podem ser encontrados quando não for possível situar o evento simulado por aproximação (ex. quando mais de 01 evento ocorrer num mesmo período). Sobre este aspecto, durante as oficinas os estudantes mencionaram dificuldades para lembrar a data exata, principalmente porque a coleta foi realizada 01 ano após a ocorrência da inundação. Assim, resultados melhores podem ser obtidos se as campanhas de coleta de dados forem realizadas em momento pós-imediato, quando as informações ainda estão consistentes na memória da população.

Em relação às informações que não atenderam ao critério, a data do evento não foi informada em 28 colaborações, e nos demais casos as informações tratavam dos eventos ocorridos em junho de 2010 (43 pontos) e em agosto de 2000 (1 ponto), ou apresentaram datas inconsistentes (3 pontos) (Figura 49). Dessa forma, observou-se que os estudantes coletaram informações de outros eventos ocorridos na cidade, demonstrando a possibilidade de obter dados também para a validação dos modelos, numa mesma campanha de coleta.

Para a consistência da altura lâmina d'água informada pelos estudantes, foram identificados 08 pontos em que os valores não foram informados, restando 100 pontos para a classificação de consistência a partir do algoritmo desenvolvido.

Na seleção de pontos aptos para a calibração do modelo hidrodinâmico (consistência da altura da lâmina d'água informada pelos estudantes), 37 pontos (37%) foram classificados como consistentes quando o algoritmo utilizou 3 simulações no HEC-RAS para a obtenção das funções logarítmicas, e 38 pontos (38%) foram selecionados nos demais testes realizados do algoritmo (05, 09 e 17 simulações) (Figura 50). Também foi verificado que a classificação de consistência dos pontos foi idêntica para 05, 09 e 17 simulações, em que os mesmos pontos apresentaram a mesma classe (consistente ou inconsistente), se diferenciando apenas da classificação realizada com 03 simulações (Figura 50).

Figura 50 - Classificação da consistência dos dados realizada pelo algoritmo.



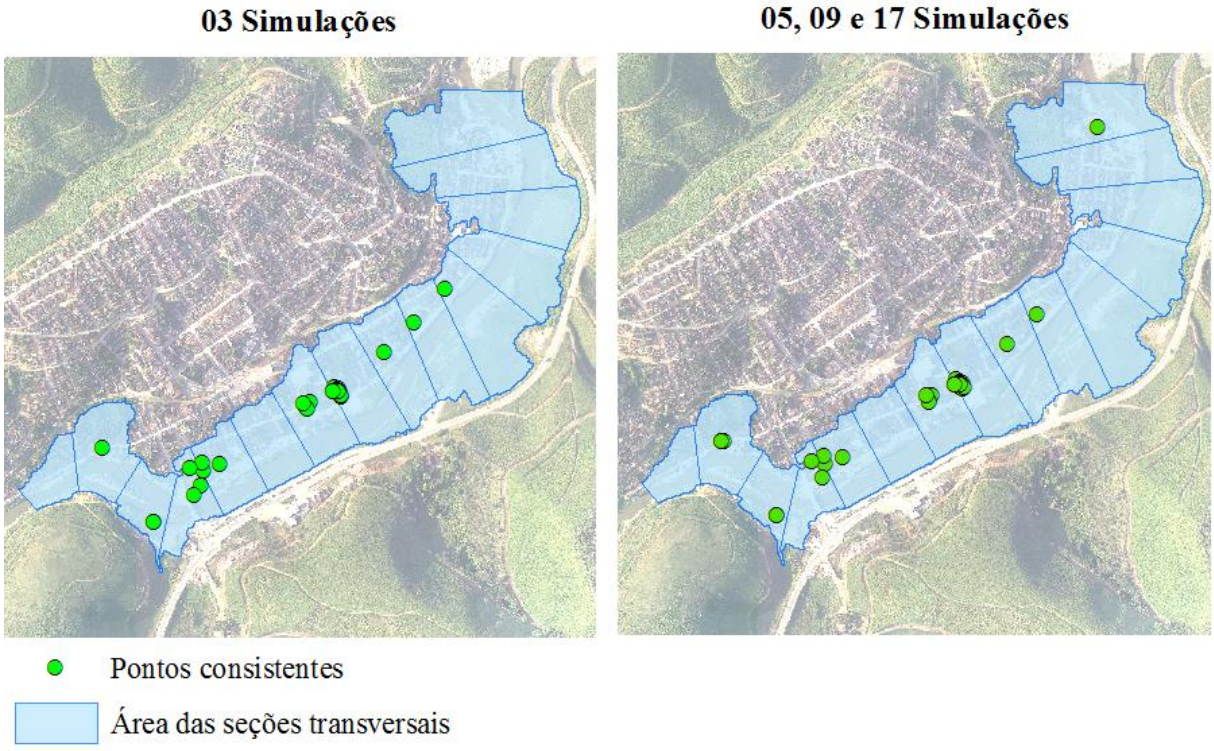
Fonte: Elaborada pelo autor.

Em relação às inconsistências, deve-se mencionar o fato de que as coletas foram realizadas 01 ano após a ocorrência do evento, e que os estudantes desde o princípio sinalizaram dificuldades para recordar as informações exatas sobre a data do evento e a altura da lâmina d'água. Este resultado demonstra que um melhor desempenho na coleta de dados pode ser obtido para coletas realizadas em momento pós-imediato à ocorrência de inundações.

Por fim, como último aspecto de avaliação, a completude do levantamento foi analisada com base na distribuição dos pontos coletados ao longo da área modelada, sendo identificado que entre 15 seções transversais, foram obtidas informações em 09 destas (Figura 51). Este resultado representa o percentual de 60% de completude no levantamento, indicando desempenho mediano dos dados coletados.

Como resultado, não foram obtidas informações em algumas áreas de média/alta vulnerabilidade existentes na cidade. Neste sentido, em campanhas futuras podem ser definidas áreas prioritárias para o levantamento de dados pelos estudantes, buscando assim atingir um maior percentual de completude, sobretudo nas áreas em que os danos e prejuízos podem ser elevados.

Figura 51 - Cobertura espacial dos dados coletados (Completude).



Fonte: Elaborada pelo autor.

4.3.2 Desempenho da calibração do modelo hidrodinâmico com dados colaborativos

Em comparação com a simulação de referência, todas as simulações calibradas com dados colaborativos obtiveram êxito nos resultados. Como pode ser observado na Tabela 7, o RMSE calculado foi abaixo de 10cm em todos os testes realizados, demonstrando elevado grau de similaridade entre a profundidade na lâmina d'água na simulação de referência e nas simulações calibradas a partir de dados espaciais colaborativos. Da mesma forma, o Índice C foi superior à 0,98 em todos os cenários, indicando alta correlação entre a área inundada estimada na simulação de referência e nos demais testes realizados (Tabela 7).

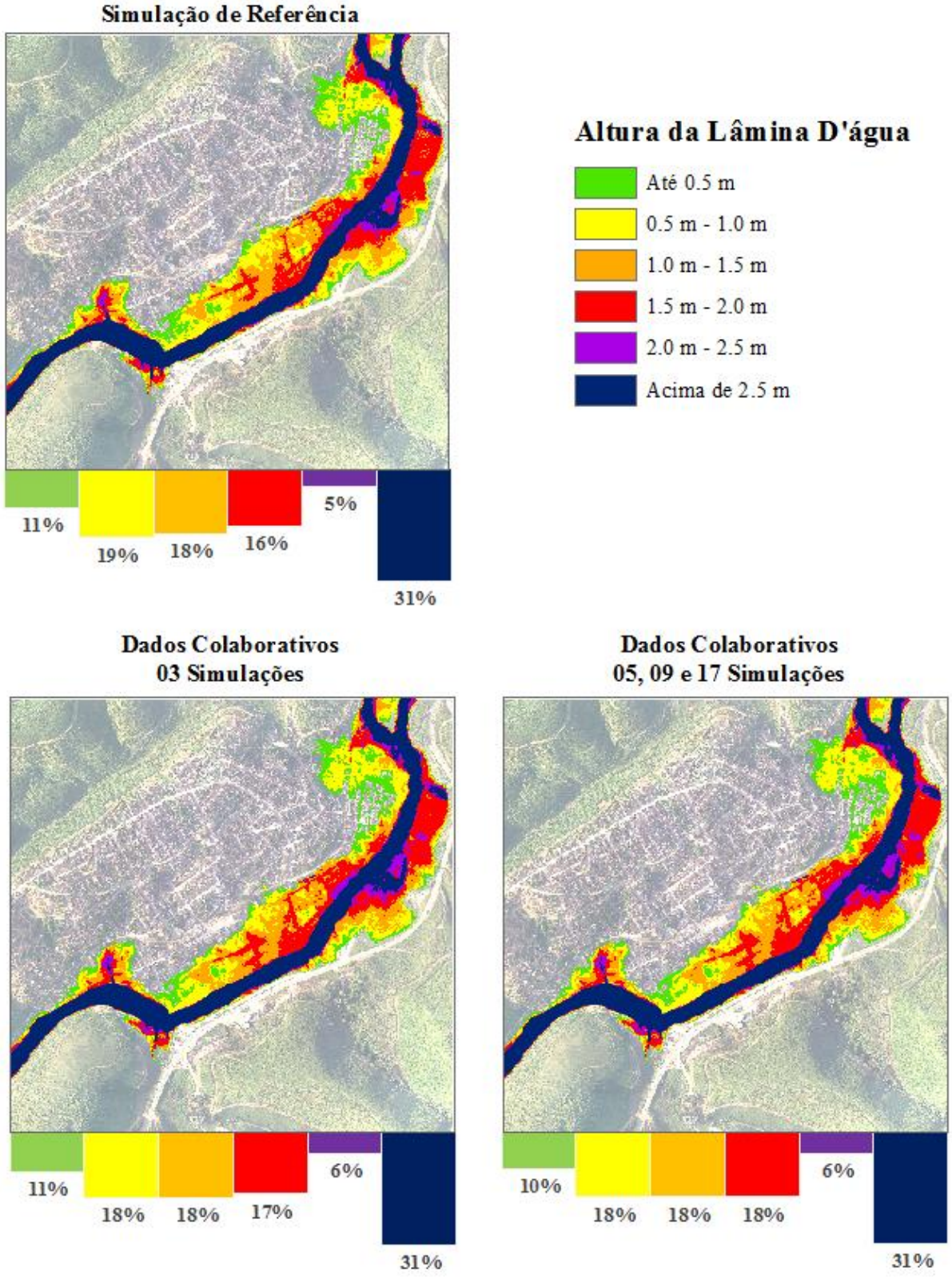
Tabela 7 - Desempenho da calibração (dados colaborativos) em relação à simulação de referência

Modelo	**Manning**	**RMSE**	**Índice C**
Simulação de Referência	0,061	-	-
Dados Colaborativos 3 Simulações	0,064	6 cm	0,986
Dados Colaborativos 5 Simulações	0,065	9 cm	0,982
Dados Colaborativos 9 Simulações	0,065	9 cm	0,982
Dados Colaborativos 17 Simulações	0,065	9 cm	0,982

Fonte: Elaborada pelo autor.

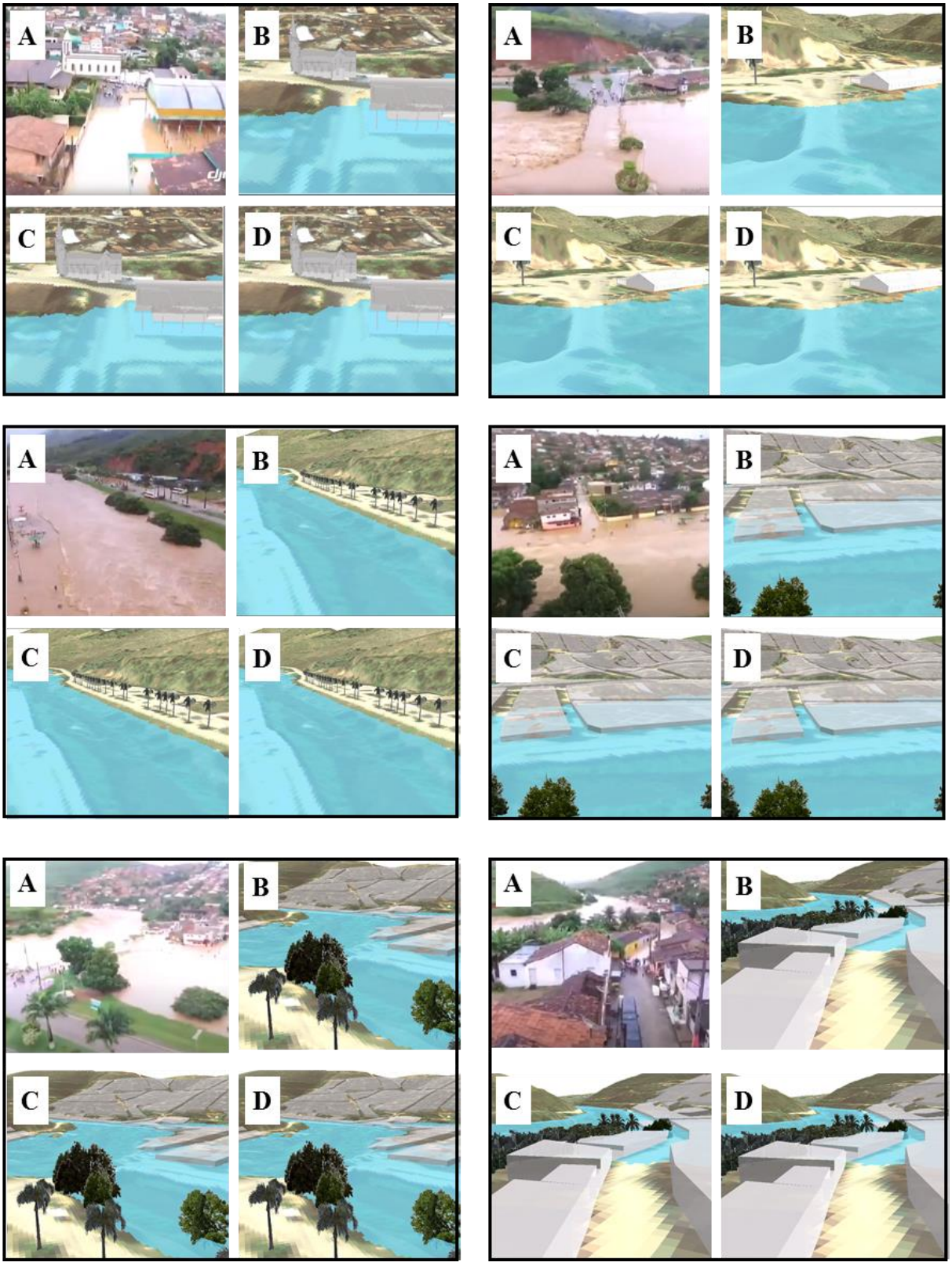
Nas Figuras 52 e 53 é possível visualizar a similaridade entre as manchas de inundação simuladas, incluindo a distribuição de frequência dos valores obtidos para a altura da lâmina d'água. Foi possível validar as simulações a partir de vídeos disponíveis na plataforma *Youtube*, referentes ao evento simulado. No *site* foram encontradas imagens aéreas do evento, obtidas por drone, permitindo assim a validação da modelo em alguns pontos da área simulada. Este resultado demonstra também o potencial de plataformas como o *Youtube* enquanto fonte alternativa de dados observados para a calibração e validação de modelos hidrodinâmicos (Figura 53).

Figura 52 - Resultado das simulações no modelo hidrodinâmico.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 53 - Validação da simulação a partir de vídeos disponíveis no *Youtube:* Youtube (A); Simulação de Referência (B); Dados Colaborativos - 03 Simulações (C); Dados Colaborativos - 05, 09 e 17 Simulações (C)



Fonte: Elaborada pelo autor [1].

[1] Imagens aéreas: https://www.youtube.com/watch?v=6WbmL0kc9G4

Enquanto inicialmente o RMSE foi calculado a partir da comparação entre os resultados das simulações (simulação x simulação) (Tabela 8), o RMSE em relação às discrepâncias observadas entre a simulação de referência e os valores informados pelos estudantes (simulação x pontos) foi de 0,18m para o modelo baseado em 03 simulações e de 0,19m para os demais testes realizados (05, 09 e 17 simulações). Em comparação com outros trabalhos, o RMSE calculado esteve abaixo ou equivalente aos valores identificados na literatura, reforçando o desempenho dos dados colaborativos na calibração do modelo hidrodinâmico, como pode ser visualizado na Tabela 8.

Tabela 8 - Desempenho da calibração de modelos hidrodinâmicos identificados na literatura.

Referência	**RMSE (m)**
Shustikova et al. (2019)	0,61
Mokhtar et al. (2018)	0,36
Rollason et al (2018)	0,19 – 0,44
Scorzini, Radice e Molinari (2018)	0,50
Poser e Dransch (2010)	0,76
Apel et al. (2009)	0,82

Fonte: Elaborada pelo autor.

Assim, os resultados comprovam a hipótese testada no trabalho, sendo verificado que dados espaciais colaborativos podem ser considerados como uma fonte alternativa de dados observados para a calibração de modelos hidrodinâmicos. Ainda que o número de colaborações classificadas como consistentes tenha sido baixo (37%), os dados possibilitaram a calibração de modo satisfatório.

Por fim, em relação à estrutura do modelo hidrodinâmico, as simulações não apresentaram instabilidades e não foram identificadas fugas de fluxo na malha computacional. Neste último aspecto, os resultados demonstram que a abordagem adotada para a delimitação da malha computacional, a partir das curvas de nível 20m acima do nível do canal, possibilitou a redução no número de células e não impactou de forma negativa o desempenho das simulações.

4.3.3 Desempenho do algoritmo de classificação de consistência e calibração do modelo

O algoritmo desenvolvido apresentou alto desempenho em todos os testes realizados (03, 05, 09 e 17 Simulações), uma vez que apresentou diferenças mínimas quando os resultados foram comparados com a simulação de referência, conforme avaliado por meio do RMSE e Índice C (Tabela 9). Este resultado demonstra que o algoritmo foi capaz de avaliar a consistência dos dados, possibilitando selecionar informações consistentes para a calibração do modelo hidrodinâmico.

O método proposto para a otimização do algoritmo, em qual a altura da lâmina d'água é estimada por meio de funções logarítmicas, foi capaz de reduzir consideravelmente o tempo de processamento em comparação com a sua forma não otimizada (aproximadamente 20 horas) (Tabela 9). Após a realização das simulações, o tempo de processamento do algoritmo foi de aproximadamente 01 minuto, demonstrando que maior parte do processamento corresponde à execução de simulações do modelo hidrodinâmico HEC-RAS, e reafirmando assim a importância do método de otimização implementado.

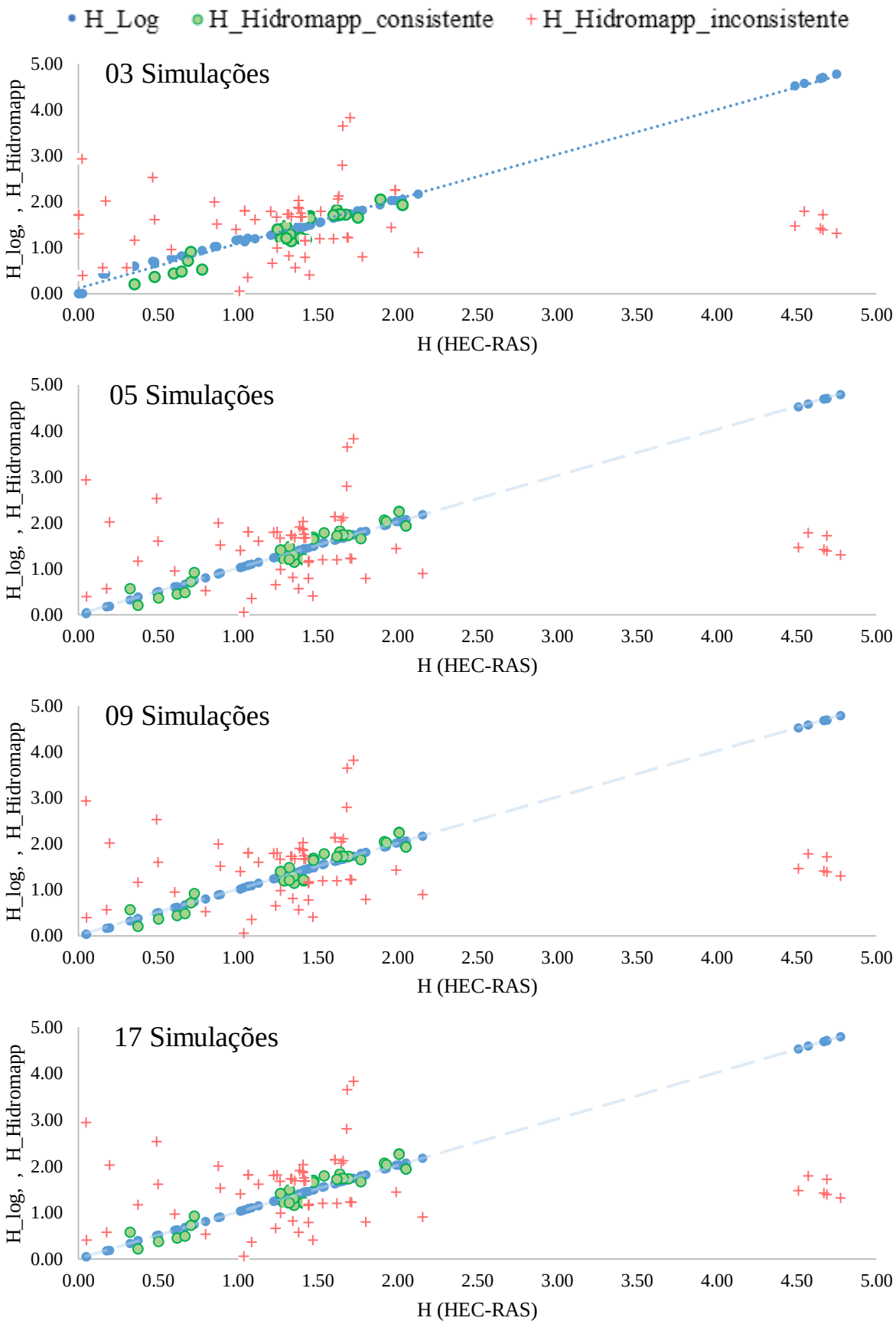
Da mesma forma, a redução no número de simulações no HEC-RAS (de 81 para 03, 05, 09 e 17 simulações) não afetou a performance do algoritmo, apresentando alto grau de associação (coeficiente de determinação R^2) entre a altura da lâmina d'água simulada no HEC-RAS e seus respectivos valores estimados por meio de funções logarítmicas (H_log), como pode ser visto na Tabela 9 e Figura 54. Também é possível visualizar na Figura 54 que apenas o modelo baseado em 03 simulações apresentou diferenças na classificação dos dados (Figura 54), indicando maior estabilidade do algoritmo para os testes realizados a partir de 05 simulações.

Tabela 9 - Desempenho do algoritmo nos testes realizados

Nº de simulações	**RMSE**	**Índice C**	**Tempo de processamento**	**R^2 H HEC-RAS x H_Log**
03 Simulações	6 cm	0,986	46 minutos	0,996
05 Simulações	9 cm	0,982	1 hora e 16 minutos	0,999
09 Simulações	9 cm	0,982	2 horas e 16 minutos	0,999
17 Simulações	9 cm	0,982	4 horas e 16 minutos	1,000

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 54 - Classificação de consistência dos dados realizada pelo algoritmo.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Os resultados obtidos por meio de matrizes de confusão demonstram que o algoritmo apresentou bom desempenho na classificação de consistência dos dados analisados. É possível observar na Tabela 10 que a performance do algoritmo foi satisfatória em todos os indicadores analisados, considerando a sua a capacidade de classificar pontos consistentes e inconsistentes em relação à toda a amostra (Acurácia) e taxas de acertos para valores consistentes verdadeiros (Sensibilidade) e inconsistentes verdadeiros (Especificidade).

Em comparação com outros trabalhos que propuseram classificadores para dados espaciais colaborativos, pode-se adotar como desempenho ideal dos indicadores a faixa acima de 0,7, como em Olteanu-Raimond et al. (2020), Herfort et al. (2019), Mohammadi e Sedaghat (2019), Zahra, Ostermann e Purves (2017), Yan, Feng e Wang (2017) e Jilani, Corcoran e Bertolotto (2016). Dessa forma, o desempenho do algoritmo se enquadrou na faixa ideal para todos os indicadores e testes avaliados, demonstrando capacidade de classificar a consistência dos dados colaborativos do aplicativo Hidromapp.

Tabela 10 - Desempenho do algoritmo para a matriz de confusão.

03 Simulações

Desempenho		**Matriz de Confusão**		Classe Predita	
Acurácia	0,89			Consistente	Inconsistente
Sensibilidade	0,91	Classe Verdadeira	Consistente	29	4
Especificidade	0,88		Inconsistente	7	60

05, 09 e 17 Simulações

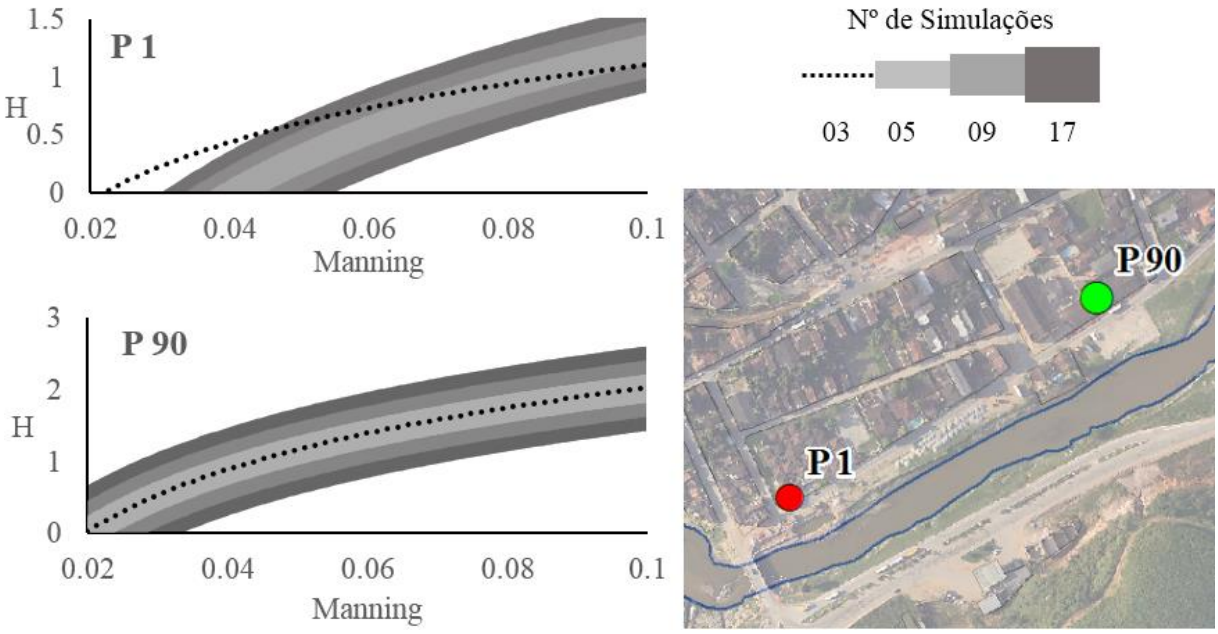
Desempenho		**Matriz de Confusão**		Classe Predita	
Acurácia	0,82			Consistente	Inconsistente
Sensibilidade	0,81	Classe Verdadeira	Consistente	26	6
Especificidade	0,82		Inconsistente	12	56

Fonte: Elaborada pelo autor.

Em relação ao desempenho de cada um dos testes realizados, o algoritmo apresentou melhor desempenho para o modelo baseado em 03 simulações HEC-RAS, enquanto os demais modelos (05, 09 e 17 Simulações) obtiveram a mesma performance. No entanto, foi observado que o modelo de 03 simulações apresentou instabilidades na obtenção das funções logarítmicas em alguns pontos.

Como pode ser visualizado na Figura 55, o modelo baseado em 03 simulações não apresentou desempenho satisfatório na obtenção da função logarítmica para o ponto P1, em função da sensibilidade do coeficiente de Manning na localização do ponto. Como a sensibilidade do coeficiente de Manning é nula no ponto P1 até o Manning 0,04, o modelo baseado em 03 simulações não foi capaz de estimar a função logarítmica de modo esperado. No ponto P90, o modelo de 03 simulações estimou a função logarítmica de modo adequado, uma vez que o ponto apresenta sensibilidade do coeficiente de Manning a partir do valor inicial (Manning = 0,02). Este mesmo aspecto foi identificado em outros pontos, indicando instabilidades no modelo baseado em 03 simulações.

Figura 55 - Instabilidades identificadas no modelo do algoritmo baseado em 03 simulações.

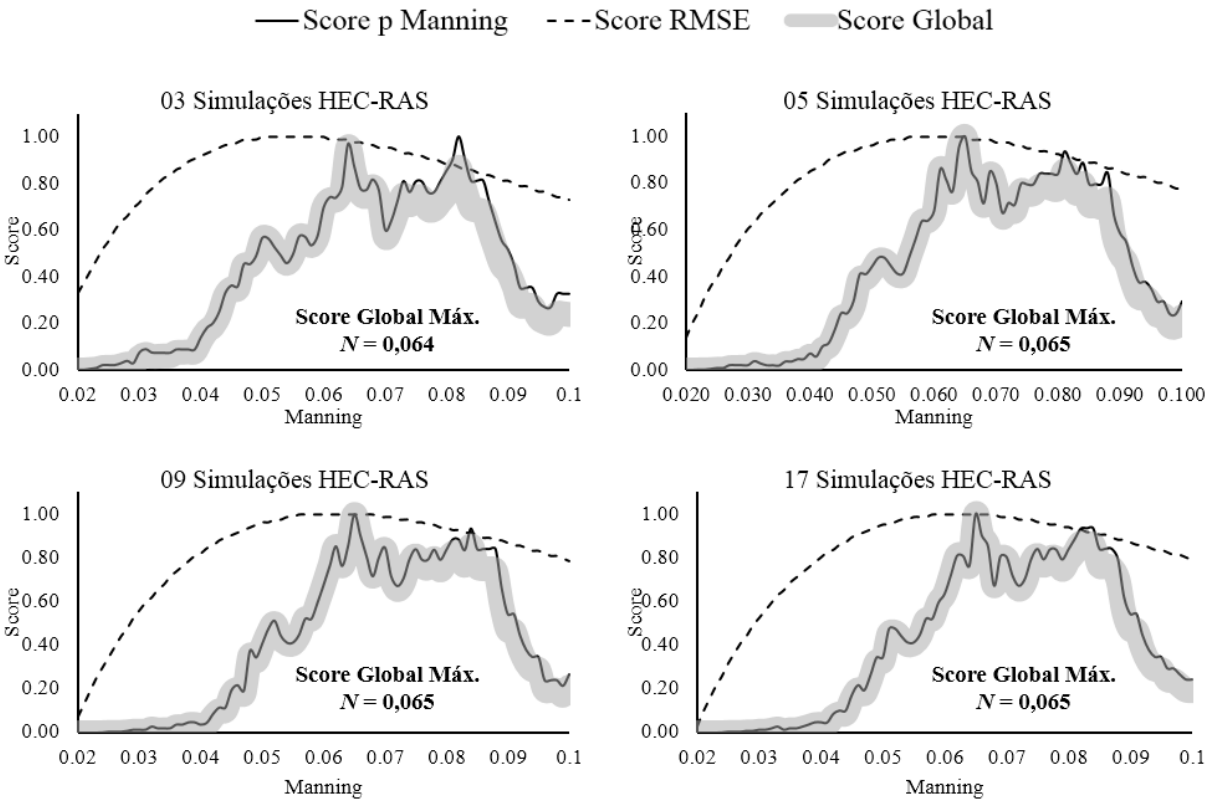


Fonte: Elaborada pelo autor.

Enquanto o modelo de 03 simulações apresentou as instabilidades mencionadas (Figura 55), os modelos baseados em 05 e 09 e 17 simulações obtiveram a mesma função logarítmica para os pontos P1 e P90. Da mesma forma, os modelos 05, 09 e 17 simulações apresentaram estabilidade na obtenção das funções logarítmicas em todos os pontos analisados. Assim, os resultados apontam que o algoritmo pode ser otimizado com um número mínimo de 05 simulações realizadas do modelo hidrodinâmico HEC-RAS, de forma estável, desde que a análise de sensibilidade do coeficiente do Manning identifique que todos os pontos possam ser processados.

O desempenho do algoritmo reafirma a hipótese de que dados colaborativos tendem a se concentrar em torno da informação consistente, reforçando a eficiência do método baseado na redundância de dados para a avaliação de consistência. No entanto, em todos os testes realizados (03, 05, 09 e 17 simulações) foram identificados 02 picos de probabilidade de consistência (Score p Manning), indicando que houve também concentração de dados em torno de valores inconsistentes, entretanto em menor proporção (Figura 56 e Tabela 11).

Figura 56 - Gráfico de desempenho dos indicadores de consistência calculados pelo algoritmo.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 11 - Picos de desempenho identificados no processamento do algoritmo.

Nº de Simulações	Manning		Score p Manning		Score RMSE		Score Global	
	Pico 01	Pico 02	Pico 01	Pico 02	Pico 01	Pico 02	Pico 01	Pico 02
03	0,082	0,064	1,00	0,97	0,87	0,99	0,87	0,96
05	0,065	0,081	1,00	0,94	1,00	0,91	1,00	0,85
09	0,065	0,084	1,00	0,94	1,00	0,92	1,00	0,86
17	0,065	0,084	1,00	0,94	1,00	0,92	1,00	0,86

Fonte: Elaborada pelo autor.

É possível observar na Figura 56 e Tabela 11, que a utilização do Score RMSE e o cálculo do Score Global foram decisivos na análise de consistência dos dados e calibração do modelo hidrodinâmico. Considerando apenas o cálculo das probabilidades (Score p Manning), o modelo de 03 simulações seria calibrado com o Manning 0,082, resultando num RMSE de 0,41m em comparação com a simulação de referência. Embora os demais modelos (05, 09 e 17 simulações) tenham apresentado estabilidade neste aspecto, os resultados indicam que pode haver situações em que apenas o cálculo das probabilidades e do RMSE não sejam suficientes para a análise de consistência dos dados.

Neste trabalho buscou-se implementar uma árvore de decisão para análise de consistência dos dados a partir dos metadados e da reputação dos usuários, mas não foram obtidos resultados satisfatórios uma vez que as variáveis não apresentaram Ganho de Informação necessário para a implementação do algoritmo (Tabela 12). Dessa forma, recomenda-se o aprimoramento do algoritmo a partir da sua combinação com outros métodos para análise de consistência dos dados. Visto isso, outros métodos podem ser explorados, como redes neurais, encerrando assim a análise dos resultados relacionados ao desempenho do algoritmo.

Tabela 12 - Ganho de informação de metadados e de informações dos usuários.

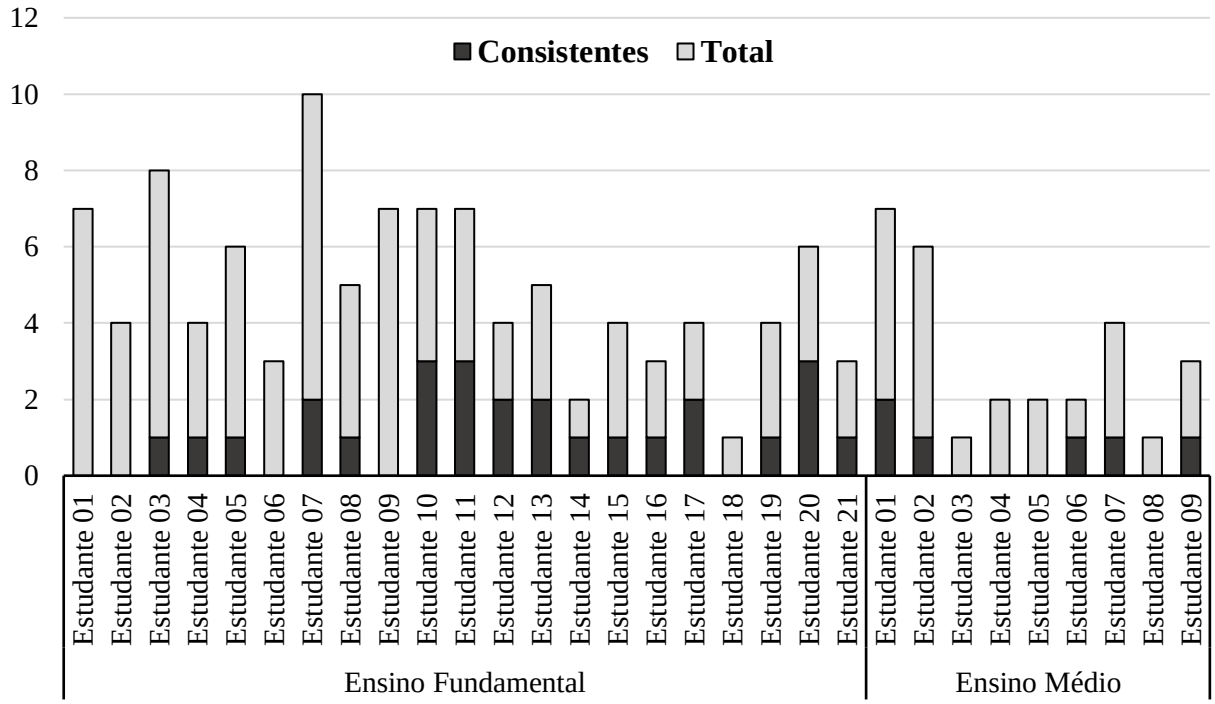
Variável	**Ganho de Informação**
Tempo de duração entre o início e fim da colaboração	0,123
Se a colaboração foi realizada online ou offline	0,000
Recurso de posicionamento utilizado na colaboração (GPS ou Mapa)	0,026
Se o usuário informou ter utilizado trena para medir a altura da lâmina d'água	0,003
Figura ilustrativa utilizada para informar a altura da lâmina d'água (casa, ponte ou carro)	0,017
Se a data do evento informada foi aproximada ou exata	0,009
Se o usuário inseriu informações adicionais na colaboração	0,000
Nº de colaborações realizadas pelo usuário	0,102
Ordem da Colaboração (1a, 2a, 3a colaboração do usuário)	0,084

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.3.4 Desempenho dos estudantes na coleta de dados

Em relação ao desempenho individual dos grupos das oficinas, os estudantes de ensino fundamental demonstraram desempenho superior no total de colaborações realizadas e no número de informações consistentes (Figura 57). De modo geral, observou-se uma maior participação entre os estudantes de ensino fundamental considerando que 87% dos estudantes (21 entre 24 do mesmo grupo) realizaram colaborações no aplicativo, enquanto somente 37% dos estudantes do grupo ensino médio realizaram colaborações no aplicativo (09 estudantes). Da mesma forma, entre o total de 32 colaborações consistentes, 81% destas (26 pontos) foram coletados por estudantes de ensino fundamental e apenas 19% (6 pontos) foram adicionadas por estudantes de ensino médio (Figura 57).

Figura 57 - Desempenho dos estudantes na coleta de dados (Nº de colaborações realizadas).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Assim, enquanto em Oliveira (2017) o público-alvo do aplicativo era composto por estudantes de ensino médio, os resultados do estudo de caso demonstram a necessidade de incluir outros grupos escolares no contexto da pesquisa. Por fim, embora os fatores subjetivos relacionados ao desempenho dos estudantes não tenham sido explorados, recomenda-se para trabalhos futuros o desenvolvimento de oficinas com turmas de 8º e 9º ano do ensino fundamental.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A pesquisa buscou verificar a hipótese de que dados espaciais colaborativos podem ser considerados como uma fonte alternativa de dados observados para a calibração de modelos hidrodinâmicos, tendo em vista a presença de incertezas associadas à modelagem hidrodinâmica e as limitações existentes na sua calibração, especificamente no que diz respeito à escassez de registros de marcas de cheia. Sendo assim, com base nos experimentos realizados e resultados obtidos, são ressaltadas as seguintes conclusões:

- As informações colaborativas coletadas durante a pesquisa, referentes às marcas de cheia na cidade de Jaqueira-PE, possibilitaram a calibração do modelo hidrodinâmico de forma condizente quando comparado com uma simulação de referência. Este resultado valida a hipótese testada na pesquisa, reafirmando a relevância das informações espaciais colaborativas como uma fonte alternativa de dados para a calibração de modelos hidrodinâmicos.
- Embora a calibração do modelo hidrodinâmico com dados colaborativos tenha sido satisfatória, a consistência das informações foi heterogênea, havendo uma proporção considerável de informações inconsistentes, assim como já mencionado na literatura correlata. Neste aspecto, o algoritmo desenvolvido na pesquisa demonstra um bom desempenho na análise e seleção de informações consistentes para a calibração do modelo hidrodinâmico, e na exclusão de inconsistências. Isso demonstra que os dados colaborativos se constituem como uma opção adequada enquanto fonte alternativa de dados espaciais, desde que sejam estabelecidos mecanismos para análise de consistência, uma vez que a sua qualidade é heterogênea.
- O aplicativo desenvolvido para a coleta de dados colaborativos, denominado Hidromapp, teve avaliação positiva pelos usuários, sobretudo no que diz respeito à facilidade de uso, e demonstrou também estabilidade no seu funcionamento. Neste sentido, ferramentas (aplicativos móveis ou programas de computadores) desenvolvidas para a coleta de dados colaborativos devem adequar-se ao público-alvo para que sejam obtidos melhores resultados.
- Na avaliação do aplicativo Hidromapp pelos usuários os colaboradores (estudantes) mencionaram dificuldades para lembrar a data exata da inundação e a altura da lâmina d’água, alegando que a coleta de dados foi realizada um ano após a ocorrência da inundação. Assim, pode-se concluir que a qualidade temporal das informações está

diretamente associada à sua respectiva qualidade temática, quando se trata do mapeamento de ocorrências, como registros de marcas de cheia.

- A motivação e engajamento de potenciais colaboradores é um dos principais aspectos relacionados à coleta e consistência dos dados. Estando o número de colaborações obtidas variando em função do tipo de estratégia adotada para a mobilização e engajamento de potenciais colaboradores, assim como também em relação ao público-alvo (colaboradores primários). A atuação direta e intensiva na pesquisa por meio das oficinas realizadas, resulta em desempenho superior em relação às demais estratégias adotadas, com. os estudantes de ensino fundamental participantes das oficinas apresentando o melhor desempenho em comparação aos estudantes de ensino médio.
- Ainda sobre a motivação e engajamento de potenciais colaboradores, os resultados apontam para o potencial do aplicativo Hidromapp na coleta de marcas de cheia em longo prazo, de forma espontânea. Nesse aspecto, foi observado um número considerável de colaborações obtidas em diferentes estados e regiões do país, em momento pós-imediato à ocorrência de eventos extremos, as quais não estavam associadas a ações de motivação e engajamento realizadas na pesquisa.

5.1 RECOMENDAÇÕES

Por fim, são estabelecidas as seguintes recomendações para trabalhos futuros, obtidas em função de sugestões identificadas para o aprimoramento dos procedimentos metodológicos e dos resultados, ou de lacunas que não puderam ser exploradas no decorrer da pesquisa:

- Aprimorar o aplicativo Hidromapp, sobretudo no que diz respeito à substituição dos recursos Google Maps, Google Geocode e Google StreetView por tecnologias gratuitas. Além disso, o banco de dados do aplicativo pode ser aprimorado para um formato mais robusto em comparação ao banco de dados utilizado na pesquisa, podendo ser desenvolvido um Plugin compatível com o software QGIS para a visualização e download dos dados coletados. Por fim, a plataforma Hidromapp pode ser aprimorada reunido informações de outras fontes, a partir de técnicas de mineração de dados, possibilitando assim reunir também vídeos do Youtube, notícias em meio digital e publicações em redes sociais.
- Realizar outros estudos de caso considerando a coletas de dados a partir de oficinas com estudantes de ensino fundamental, em momento pós-imediato à ocorrência de eventos extremos, abrangendo também procedimentos metodológicos para avaliar de forma aprofundada fatores relacionados à motivação de estudantes e consistência dos dados.

- Explorar outras estratégias de mobilização e engajamento de potenciais colaboradores para a realização de coleta de dados com o aplicativo Hidromapp, abrangendo também procedimentos metodológicos para avaliar de forma aprofundada fatores relacionados à motivação de colaboradores.
- Buscar o envolvimento de setores como a Defesa Civil dos municípios na estratégia de coleta de dados de inundações, inclusive como medida de evacuação, concomitante à ocorrência dos eventos de inundações.
- Ampliar o conjunto de informações geradas no aplicativo, como aspectos de qualidade da água, lançamentos de rejeitos sólidos e líquidos nos corpos d'água.
- Realizar a validação do algoritmo desenvolvido para análise de consistência dos dados, a partir de outros estudos de caso, incluindo o seu aprimoramento. O algoritmo pode ser aprimorado a partir da implementação métodos para análise de distribuição de probabilidades, como também, ser avaliada a possibilidade de aplicação na calibração de modelos hidrodinâmicos em situações em que o coeficiente de Manning é adotado de forma espacialmente distribuída.

REFERÊNCIAS

ADUSEI, I. K.; KYAMAKYA, K.; JOBMANN, K. Mobile positioning technologies in cellular networks: An evaluation of their performance metrics. In: MILITARY COMMUNICATIONS CONFERENCE, 21, 2002, Anaheim. **Anais…** Anaheim: MILCOM, 2002.

AKGUL, F. O.; PAHLAVAN, K. Location awareness for everyday smart computing. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON TELECOMMUNICATIONS, 10, 200, Zagreb. **Anais...** Zagreb: ICT, 2009.

ALCOFORADO, R.; CIRILO, J. A. Sistema de Suporte à Decisão para Análise, Previsão e Controle de Inundações. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 6, 2001.

ALFONSO, L.; LOBBRECHT, A.; PRICE, R. Using mobile phones to validate models of extreme events. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HYDROINFORMATICS, 9, 2010, Tianjin. **Anais...** Tianjin: HIC, 2010.

ALMEIDA, L. V. Q.; ELEUTÉRIO, J. C. Estado da arte de curvas de danos potenciais de inundações para o setor habitacional. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 23, 2019, Foz do Iguaçu. **Anais....** Foz do Iguaçu: ABRH/SBRH, 2019.

ALVES, F.; CIRILO, J. A.; ASFORA, M. C.; MELO, C. R. Comparativo das precipitações dos eventos extremos de 2010 e 2017 ocorridos na bacia do rio una em Pernambuco e estimativa dos efeitos de barragem de contenção de cheias. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22, 2017, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: - ABRH/SBRH, 2017.

ANDROID DEVELOPERS. Site. disponível em: <https://developer.android.com/reference/android/location/Location.html>, acessado em 03 de abril de 2019.

ANNIS, A.; NARDI, F. Integrating VGI and 2D hydraulic models into a data assimilation framework for real time flood forecasting and mapping. **Geo-Spatial Information Science**, v. 22, n. 4, 2019.

ANTONIOU, V.; SKOPELITI, A. Measures and indicators of VGI quality: An overview. In: ISPRS GEOSPATIAL WEEK, 2015, La Grande Motte. **Anais…** La Grande Motte: ISPRS, 2015.

ARCEMENT, G. J.; SCHNEIDER, V. R. **Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains**. Washington: US Government Printing Office, 1989.

ARDIÇLIOĞLU, M.; KURIQI, A. Calibration of channel roughness in intermittent rivers using HEC-RAS model: case of Sarimsakli creek, Turkey. **Springer Nature Applied Sciences**, v. 1, n. 1080, 2019.

AYVAZ, M. T. A linked simulation–optimization model for simultaneously estimating the Manning's surface roughness values and their parameter structures in shallow water flows. **Journal of Hydrology**, v. 500, 2013.

BALLATORE, A. Defacing the Map: Cartographic Vandalism in the Digital Common. **The Cartographic Journal**, v. 51, n. 3, 2014.

BERETTA, R.; RAVAZZANI, G.; MAIORANO, C.; MANCINI, M. Simulating the Influence of Buildings on Flood Inundation in Urban Areas. **Geosciences**, v. 8, n. 77, 2018.

BORGES, K. A. V.; DAVIS, C. A. J.; LAENDER, A. H. F. Modelagem Conceitual de Dados Geográficos. In: CASANOVA, M. A.; CÂMARA, G.; DAVIS, C. A. J.; VINHAS, L.; QUEIROZ, G. R. (Eds.) **Bancos de Dados Geográficos**. Curitiba: EspaçoGeo, 2005.

BRABHAM, D. C. Crowdsourcing as a Model for Problem Solving: An Introduction and Cases. **The International Journal of Research into New Media Technologies**, v. 14, n. 1, 2008.

BRASIL. **Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas**. Brasília: Ministério das Cidades/Cities Alliance, 2006.

BRAVO, J. V. M.; SLUTER, C. R. O Mapeamento Colaborativo: seu surgimento, suas características e o funcionamento das plataformas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 5, 2018.

BRAVO, J. V. M.; SLUTER, C. R. O problema da qualidade de dados espaciais na era das Informações Geográficas Voluntárias. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 21, 2015.

BRISBANE CITY COUNCIL. **Natural Channel Design Guidelines**. Brisbane: Brisbane City Council, 2003.

BRISCOE, G.; MULLIGAN, C. Digital Innovation: The Hackathon Phenomenon. **Creativeworks London Working Paper**, n. 6, 2014.

BRITO, P. L.; JESUS, E. G. V.; SANT'ANA, R. M. S.; MARTINS, C.; DELGADO, J. P. M.; FERNANDES, V. O. Official crime data versus collaborative crime mapping at a Brazilian city. In: ISPRS TECHNICAL COMMISSION II SYMPOSIUM, 2014, Toronto. **Anais…** Toronto: ISPRS, 2014.

BROUWER, T.; EILANDER, D.; LOENEN, A. V.; BOOIJ, M. J.; WIJNBERG, K. M.; VERKADE, J. S.; WAGEMAKER, J. Probabilistic flood extent estimates from social media flood observations. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 17, 2017.

BROWN, M.; SHARPLES, S.; HARDING, J.; PARKER, C.J.; BEARMAN, N.; MAGUIRE, M.; FORREST, D.; HAKLAY, M.; JACKSON, M. Usability of geographic information: Current challenges and future directions. **Applied Ergonomics**, v. 44, 2013.

BURKARD, S.; FUCHS-KITTOWSKI, F.; MÜLLER, R.; PFÜTZNER, B. Flood Management Platform for Small Catchments with Crowd Sourcing. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES FOR DISASTER MANAGEMENT, 5, 2018, Kagoshima. **Anais…** Kagoshima: ICT-DM, 2018.

CALIXTO, K. G.; WENDLAND, E. C.; MELO, D. C. D. Hydrologic performance assessment of regulated and alternative strategies for flood mitigation: a case study in São Paulo, Brazil. **Urban Water Journal**, v. 17, n. 5, 2020.

CASAS, A.; BENITO, G.; THORNDYCRAFT, V. R.; RICO, M. The topographic data source of digital terrain models as a key element in the accuracy of hydraulic flood modelling. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 31, 2006.

CASTELEIN, W. T.; GRUS, L.; CROMPVOETS, J. W. H. C.; BREGT, A. K. A Characterization of Volunteered Geographic Information. In: AGILE INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOGRAPHIC INFORMATION SCIENCE, 13, 2010, Guimarães. **Anais…** Guimarães: AGILE/GIScience, 2010.

CASTRO, A. L. C. **Glossário de Defesa Civil, estudos de risco e medicina dos desastres**. 5ª Edição. Brasília: SEDEC/MI, 2009.

CEXCHUV. Comissão Externa das Chuvas em Alagoas e Pernambuco. Relatório final da Comissão Externa das Chuvas em Alagoas e Pernambuco. Recife: Comissão Externa das Chuvas em Alagoas e Pernambuco, 2017.

CHAUDHARY, P.; D'ARONCO, S.; MOY DE VITRY, M.; LEITÃO, J. P.; WEGNER, J. D. Flood-water level estimation from social media images. In: ISPRS GEOSPATIAL WEEK, 2019, Enschede. **Anais…** Enschede: ISPRS, 2019.

CHAUDHRY, M. H. **Open-Channel Flow**. New York: Springer, 2008.

CHOW, V. T. **Hidráulica de canales abiertos**. Colombia: McGraw-Hill, 1994.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgar Blüncher, 1999.

COBRADE. **Classificação e Codificação Brasileira de Desastres**.

COMBER, A.; SEE, L.; FRITZ, S.; VAN DER VELDE, M.; PERGER, C.; FOODY, G. Using control data to determine the reliability of volunteered geographic information about land cover. **International Journal of Applied Earth Observation & Geoinformation**, v. 23, 2013.

CORUM, Z. P.; BALL, T. D.; HUBBARD, M. J. Synthetic Bathymetry Method Development, Validation and Application to five Pacific Northwest Rivers. In: FEDERAL INTERAGENCY CONFERENCE ON SEDIMENTATION AND HYDROLOGIC MODELING, 2015, Reno. **Anais....** Reno: SEDHYD,2015.

DE TRÉ, G.; DE MOL, R.; HETEREN, S.; STAFLEU, J.; CHADEMENOS, V.; MISSIAEN, T.; KINT, L.; TERSELEER, N.; LANCKER, V. V. Data Quality Assessment in Volunteered Geographic Decision Support. In: BORDOGNA, G. (ed.); CARRARA, P. (ed.). **Mobile Information Systems Leveraging Volunteered Geographic Information for Earth Observation**. Springer International Publishing, 2017.

DEGROSSI, L. C.; ALBUQUERQUE, J. P.; FAVA, M. C.; MENDIONDO, E. M. Flood Citizen Observatory: a crowdsourcing-based approach for flood risk management in Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOFTWARE ENGINEERING AND KNOWLEDGE ENGINEERING, 26, 2014, Vancouver. **Anais...** Vancouver: SEKE, 2014.

DEGROSSI, L. C.; ALBUQUERQUE, J. P.; SANTOS R. R.; ZIPF, A. A taxonomy of quality assessment methods for volunteered and crowdsourced geographic information. **Transactions in GIS**, v. 22, 2018.

DI BALDASSARRE, G. **Floods in a Changing Climate: Inundation Modelling**. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.

DING, Y.; JIA, Y.; WANG, S. S. Y. Identification of Manning's Roughness Coefficients in Shallow Water Flows. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 130, n. 6, 2004.

DORN, H.; VETTER, M.; HÖFLE, B. GIS-Based Roughness Derivation for Flood Simulations: A Comparison of Orthophotos, LiDAR and Crowdsourced Geodata. **Remote Sensing**, v.6, n.2, 2014.

EILANDER, D.; TRAMBAUER, P.; WAGEMAKER, J.; LOENEN, A. V. Harvesting social media for generation of near real-time flood maps. **Procedia Engineering**, v. 154, 2016.

ELWOOD, S. Volunteered geographic information: key questions, concepts and methods to guide emerging research and practice. **Geojournal**, v. 72, 2008.

ESMAIL, R.; NAESERI F.; ESMAIL, A. Quality assessment of Volunteered Geographic Information. **American Journal for Geographic Information System**, v. 2, n. 2, 2013.

ET-CQDG. **Norma da Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG)**. Brasília: Ministério da Defesa / Exército Brasileiro / Departamento de Ciência e Tecnologia, 2016.

FAVA, M. C.; ABE, N.; RESTREPO-ESTRADA, C.; KIMURA, B. Y. K.; MENDIONDO, E. M. Flood modelling using synthesised citizen science urban streamflow observations. **Journal of Flood Risk Management**, v. 1, n. 13, 2018.

FAVA, M. C.; ABE, N.; RESTREPO-ESTRADA, C.; MENDIONDO, E. M. Redução de incertezas na previsão de enchentes com uso de dados colaborativos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21, 2015, Brasília. **Anais...** Brasília: ABRH/SBRH, 2015.

FAVA, M. C.; MENDIONDO, E. M.; SOUZA, V. C.; ALBUQUERQUE, J. P.; UEYAMA, J. Proposta metodológica para previsões de enchentes com uso de sistemas colaborativos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20, 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: ABRH/SBRH, 2013.

FAZELI, H. R.; SAID, M. N.; AMERUDIN, S.; RAHMAN, M. Z. A study of Volunteered Geographic Information (VGI) assessment methods for flood hazard Mapping: a review. **Jurnal Teknologi (Sciences e Engineering)**, v. 75, n. 10, 2015.

FLANAGIN, A. J.; METZGER, M. J. The credibility of volunteered geographic information. **GeoJournal**, v. 72, n. 3-4, 2008.

FLORIANO, D.; SCOZ, D. P.; MELO, D. K. R.; SEVEGNANI, J. A.; SANTOS, F. SIGMAOn –Sistema de Informação Geográfica para Monitoramento de Alagamentos On-line. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO, 34, 2014, Brasília. **Anais….** Brasília: CSBC, 2014.

FOHRINGER, J.; DRANSCH, D.; KREIBICH, H.; SCHRÖTER, K. Social media as an information source for rapid flood inundation mapping. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 15, 2015.

FONTE, C. C.; ANTONIOU, V.; BASTIN, L.; ESTIMA, J.; ARSANJANI, J. J.; BAYAS, J-C. L.; SEE, L.; VATSEVA, R. Assessing VGI Data Quality. In: FOODY, G. (ed.); SEE, L. (ed.); FRITZ, S. (ed.); MOONEY, P. (ed.); OLTEANU-RAIMOND, A-M. (ed.); FONTE, C. C. (ed.); ANTONIOU, V (ed.). **Mapping and the Citizen Sensor**. Ubiquity Press, 2017.

FOODY, G. M. Rating crowdsourced annotations: Evaluating contributions of variable quality and completeness. **International Journal of Digital Earth**, v. 7, n. 8, 2014.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M. Considerações sobre as Inundações no Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16, 2005, João Pessoa. **Anais…** João Pessoa: ABRH/SBRH, 2005.

GOODCHILD, M. F. Citizens as sensors: the world of volunteered geography. **Geojournal**, v.69, 2007.

GOODCHILD, M. F.; GLENNON, J. A. Crowdsourcing geographic information for disaster response: a research frontier. **International Journal of Digital Earth**, v. 3, 2010.

GOODCHILD, M. F.; LI, L. Assuring the quality of volunteered geographic information. **Spatial Statistics**, v. 1, 2012.

GRIRA, J.; BÉDARD, Y.; ROCHE, S. Spatial data uncertainty in the VGI world: Going from consumer to producer. **Geomatica**, v. 64, n. 1, 2010.

GUIMARÃES, A.; GRIVET, M. A. Radiolocalização de Terminais de Comunicações Móveis. **Revista Científica Periódica – Telecomunicações**, v. 6, n. 1, 2003.

GUIMARÃES, R. B.; GUERREIRO J. A. S.; PEIXOTO, J. A. S. Considerações sobre os riscos ambientais e urbanos no tocante aos desastres e emergências. **VERACIDADE**, v. 4, n. 7, 2008.

HABERT, J.; RICCIB, S.; LE PAPEC, E.; THUALD, O.; PIACENTINIB, A.; GOUTALE, N.; ROCHOUX, M. Reduction of the uncertainties in the water level-discharge relation of a 1D hydraulic model in the context of operational flood forecasting. **Journal of Hydrology**, v. 532, 2016.

HAKLAY, M. How good is volunteered geographical information? A comparative study of OpenStreetMap and Ordnance Survey datasets. **Environment and Planning B**, v. 37, n. 4, 2010.

HAKLAY, M.; BASIOUKA, S.; ANTONIOU, V.; ATHER, A. How Many Volunteers does it Take to Map na Area Well? The Validity of Linus' Law to Volunteered Geographic Information. **The Cartographic Journal**, v. 47, n. 4, 2010.

HALL, J. W.; TARANTOLA, S.; BATES, P. D.; HORRITT, M. S. Distributed sensitivity analysis of flood inundation model calibration. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 131, n. 2, 2005.

HALTAS, I.; TAYFUR, G.; ELCI, S. Two-dimensional numerical modeling of flood wave propagation in an urban area due to Urkmez dam-break, Izmir, Turkey. **Natural Hazards**, v. 81, 2016.

HARRISON, S. E.; JOHNSON, P. A. Crowdsourcing the Disaster Management Cycle. **International Journal of Information Systems for Crisis Response and Management**, v. 8, n. 4, 2016.

HECHT, R.; KUNZE, C.; HAHMANN, S. Measuring completeness of building footprints in OpenStreetMap over space and time. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 2, n. 4, 2013.

HEC-USACE. HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER (HEC) – UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS (USACE). **HEC-RAS: User's Manual, version 5.0**. Davis, CA: United States Army Corps of Engineers (USACE) / Hydrologic Engineering Center (HEC), 2016.

HEIPKE, C. Crowdsourcing geospatial data. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 65, n. 6, 2010.

HELBICH, M.; AMELUNXEN, C.; NEIS, P. Comparative Spatial Analysis of Positional Accuracy of OpenStreetMap and Proprietary Geodata. In: GEOINFORMATICS FORUM, 2012, Salzburg. **Anais...** Salzburg: GI_Forum, 2012.

HERFORT, B.; LI, H.; FENDRICH, S.; LAUTENBACH, S.; ZIPF, A. Mapping Human Settlements with Higher Accuracy and Less Volunteer Efforts by Combining Crowdsourcing and Deep Learning. **Remote Sensing**, v. 11, n. 15, 2019.

HIRATA, E.; GIANNOTTI, M. A.; LAROCCA, A. P. C.; QUINTANILHA, J. A. Mapeamento dinâmico e colaborativo de alagamentos na cidade de São Paulo. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v.19, 2013.

HIRATA, E.; GIANNOTTI, M. A.; LAROCCA, A. P. C.; QUINTANILHA, J. A. Flooding and inundation collaborative mapping – use of the Crowdmap/Ushahidi platform in the city of Sao Paulo, Brazil. **Journal of Flood Risk Management**, 2015.

HOMAN, J.; TONIOLO, H. **Developing Guidelines for Two-Dimensional Model Review and Acceptance. Final Report**. University of Alaska Fairbanks, Water and Environmental Research Center, Fairbanks, AK, Report INE/AUTC, 2018.

HORITA, F. E. A.; DEGROSSI, L. C.; ASSIS, L. F. F. G.; ZIPF, A.; ALBUQUERQUE, J. P. The use of Volunteered Geographic Information and Crowdsourcing in Disaster Management: a Systematic Literature Review. In: AMERICAS CONFERENCE ON INFORMATION SYSTEMS, 19, 2013, Atlanta. **Anais…** Atlanta: AMCIS, 2013.

HRACHOWITZ, M.; SAVENIJE, H. H. G.; BLÖSCHL, G.; MCDONNELL, J. J.; SIVAPALAN, M.; POMEROY, J. W.; ARHEIMER, B.; BLUME, T.; CLARK, M. P.; EHRET, U.; FENICIA, F.; FREER, J. E.; GELFAN, A.; GUPTA, H. V.; HUGHES, D. A.; HUT, R. W.; MONTANARI, A.; PANDE, S.; TETZLAFF, D.; TROCH, P. A.; UHLENBROOK, S.; WAGENER, T.; WINSEMIUS, H. C.; WOODS, R. A.; ZEHE, E.; CUDENNEC, C. A decade of Predictions in Ungauged Basins (PUB)—a review. **Hydrological Sciences Journal**, v. 58, n. 6, 2013.

HUIZINGA, J.; MOEL, H.; SZEWCZYK, W. **Global flood depth-damage functions. Methodology and the database with guidelines**. EUR, Joint Research Center, 2017.

HUMANITARIAN OSM TEAM. **Progress of Openstreetmap Haïti coverage after 2010 earthquake**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=OF-JuFxhDT8>. Acesso em: 05 dez. 2019.

HUNG, K.; KALANTARI, M.; RAJABIFARD, A. Methods for assessing the credibility of volunteered geographic information in flood response: A case study in Brisbane, Australia. **Applied Geography**, v. 68, 2016.

ISO 19157. **International Standard: Geographic information — Data quality**. International Organization for Standardization, 2013.

JILANI, M.; CORCORAN, P.; BERTOLOTTO, M. Probabilistic Graphical Modelling for Semantic Labelling of Crowdsourced Map Data. **Advances in Intelligent Systems and Computing**, v. 385, 2016.

KAMEL BOULOS, M. N. Web GIS in practice III: creating a simple interactive map of England's Strategic Health Authorities using Google Maps API, Google Earth KML, and MSN Virtual Earth Map Control. **International Journal of Health Geographics**, v.4, n.22, 2005.

KUTIJA, V.; BERTSCH, R.; GLENIS, V.; ALDERSON, D.; PARKIN, G.; WALSH, C. L.; ROBINSON, J.; KILSBY, C. Model validation using crowd-sourced data from a large pluvial flood. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HYDROINFORMATICS, 11, 2014, New York. **Anais…** New York: HIC, 2014.

LE BOURSICAUD, R.; PÉNARD, L.; HAUET, A.; THOLLET, F.; LE COZ, J. Gauging extreme floods on YouTube: Application of LSPIV to home movies for the post-event determination of stream discharges. **Hydrological Processes**, v. 30, n. 1, 2016.

LE COZ, J.; PATALANO, A.; COLLINS, D. B.; GUILLÉN, N. F.; GARCÍA, C. M.; SMART, G. M.; BIND, J.; CHIAVERINI, A.; BOURSICAUD, R. L.; DRAMAIS, G.; BRAUD, I. Crowdsourced data for flood hydrology: Feedback from recent citizen science projects in Argentina, France and New Zealand. **Journal of Hydrology**, v. 541, part B, 2016.

LI, Z.; CHEN, M.; GAO, S.; LUO, X.; GOURLEY, J. J.; KIRSTETTER, P.; YANG, T.; KOLAR, R.; McGovern, A.; Wen, Y.; Rao, B.; Yami, T.; Hong, Y. REST-iMAP v1.0: A fully coupled hydrologic-hydraulic modeling framework dedicated to flood inundation mapping and prediction. **Environmental Modelling and Software**, v. 141, 2021.

LI, Z.; WANG, C.; EMRICH, C. T.; GUO, D. A novel approach to leveraging social media for rapid flood mapping: a case study of the 2015 South Carolina floods. **Cartography and Geographic Information Science**, v. 45, n. 2, 2018.

LIU, S. B. Crisis Crowdsourcing Framework: Designing Strategic Configurations of Crowdsourcing for the Emergency Management Domain. In: ACM CONFERENCE ON COMPUTER SUPPORTED COOPERATIVE WORK, 17, 2014, Baltimore. **Anais...** Baltimore: ACM/CSCW, 2014.

LONDE, L. R.; MARCHEZINI, V.; CONCEIÇÃO, R. S.; BORTOLETTO, K. C.; SILVA, A. E. P.; SANTOS, E. V.; REANI, R. T. Impactos de desastres socioambientais em saúde pública: estudos dos casos dos Estados de Santa Catarina em 2008 e Pernambuco em 2010. **Revista Brasileira de Estudos da População**, v. 32, n. 3, 2005.

LUPPICHINI, M.; FAVALLI, M.; ISOLA, I.; NANNIPIERI, L.; GIANNECCHINI, R.; BINI, M. Influence of Topographic Resolution and Accuracy on Hydraulic Channel Flow Simulations: Case Study of the Versilia River (Italy). **Remote Sensing**, v. 11, 2019.

MANSILLA, E. **Riesgo y Ciudad**. Cidade do México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2000.

MAZZOLENI, M.; VERLAAN, M.; ALFONSO, L.; MONEGO, M.; NORBIATO, D.; FERRI, M.; SOLOMATINE, D. P. Can assimilation of crowdsourced data in hydrological modelling improve flood prediction? **Hydrology and Earth System Sciences**, V. 21, 2017.

MCDOUGALL, K.; TEMPLE-WATTS, P. The use of LiDAR and volunteered geographic information to map flood extents and inundation. In: PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES CONGRESS, 22, 2012, Melbourne. **Anais…** Melbourne: ISPRS, 2012.

MERKURYEVA, G.; MERKURYEV, Y.; SOKOLOV, B. V.; POTRYASAEV S.; ZELENTSOV, V. A.; LEKTAUERS, A. Advanced river flood monitoring, modelling and forecasting. **Journal of Computational Science**, v.10, 2015.

MERWADE, V.; OLIVERA, F.; ARABI, M.; EDLEMAN, S. Uncertainty in flood inundation mapping current issues and future directions. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 13, n. 7, 2008.

MICHELSEN, N.; DIRKS, H.; SCHULZ, S.; KEMPE, S.; AL-SAUD, M.; SCHÜTH, C. YouTube as a crowd-generated water level archive. **Science of the Total Environment**, v. 568, 2016.

MOHAMMADI, N.; SEDAGHAT, A. A framework for classification of volunteered geographic data based on user's need. **Geocarto International**, 2019.

MOKHTAR, E. S.; PRADHAN, B.; GHAZALI, A. H.; SHAFRI, H. Z. M. Assessing flood inundation mapping through estimated discharge using GIS and HEC-RAS model. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 11, 2018.

MOLINARI, D.; DE BRUIJN, K, M.; CASTILLO-RODRÍGUEZ, J. T.; ARONICA, G. T.; BOUWER, L. M. Validation of flood risk models: Current practice and possible improvements. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 33, 2019

MONICO, J. F. G.; PÓZ, A. P. D.; GALO, M.; SANTOS, M. C.; OLIVEIRA, L. C. Acurácia e precisão: revendo os conceitos de forma acurada. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 15, n. 3. 2009.

MONTE, B. E. M.; COSTA, D. D.; CHAVES, M. B.; MAGALHÃES, L. O.; UVO, C. B. Hydrological and hydraulic modelling applied to the mapping of flood-prone areas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 1, 2016.

MORETON BAY REGIONAL COUNCIL. **Regional Floodplain Database.** Moreton Bay Regional Council, 2012. disponível em: < https://www.moretonbay.qld.gov.au/files/assets/public/services/publications/flood-reports/regional-floodplain-database-methodology-floodplain-parameterisation-main-report.pdf >. acesso em: 14 jul. 2019.

MUÑOZ, D. F.; MUÑOZ, P.; MOFTAKHARI, H.; MORADKHANI, H. From local to regional compound flood mapping with deep learning and data fusion techniques. Science of the Total Environment, v. 782, 2021.

OLIVEIRA, G. A. **Desastres Hidrológicos e Informações Geográficas Voluntárias: concepção de sistema colaborativo para o mapeamento de áreas de riscos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2017.

OLIVEIRA, G. A.; BRITO, P. L. Caracterização de aplicações de Informações Geográficas Voluntárias na gestão de riscos hidrológicos. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.69, n.1, 2017.

OLTEANU-RAIMOND, A. M.; SEE, L.; SCHULTZ, M.; FOODY, G.; RIFFLER, M.; GASBER, T.; JOLIVET, L.; LE BRIS, A.; MENEROUX, Y.; LIU, L.; POUPÉE, M.; GOMBERT, M. Use of Automated Change Detection and VGI Sources for Identifying and Validating Urban Land Use Change. **Remote Sensing**, v. 12, n. 7, 2020.

OUBENNACEUR, K.; CHOKMANI, K.; NASTEV, M.; TANGUY, M.; RAYMOND, S. Uncertainty Analysis of a Two-Dimensional Hydraulic Model. **Water**, v. 10, 2018.

PAPPENBERGER, F.; BEVEN, K.; HORRITT, M.; BLAZKOVA, S. Uncertainty in the calibration of effective roughness parameters in HEC-RAS using inundation and downstream level observations. **Journal of Hydrology**, v. 302, pp. 46–69, 2005.

PARHI, P. K. Flood Management in Mahanadi Basin using HEC-RAS and Gumbel's Extreme Value Distribution. **Journal of The Institution of Engineers (India): Series A**, v. 99, n. 4, 2018.

PARHI, P.; SANKHUA, R.; ROY, G. Calibration of Channel Roughness for Mahanadi River, (India) Using HEC-RAS Model. **Journal of Water Resource and Protection**, v. 4, n. 10, 2012.

PEIXOTO, M; SOUSA, R. A. F.; ODON, T. I. **Combate ao Trote Telefônico: uma questão de emergência**. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/ CONLEG/Senado, Boletim Legislativo, n. 36, 2015.

PINHEIRO, V. B.; NAGHETTINI, M.; PALMIER, L. R. Uncertainty estimation in hydrodynamic modeling using Bayesian techniques. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 24, n. 38, 2019.

POPESCU, I. Theoretical background: unsteady flow. In: DI BALDASSARRE, G. (ed.) **Floods in a Changing Climate: Inundation Modelling**. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.

POSER, K; DRANSCH, D. Volunteered geographic information for disaster management with application to rapid flood damage estimation. **Geomatica**, v. 64, n. 1, 2010.

RESTREPO-ESTRADA, C; ANDRADE, S. C.; ABE, N.; FAVA, M. C.; MENDIONDO, E. M.; ALBUQUERQUE, J. P. Geo-social media as a proxy for hydrometeorological data for streamflow estimation and to improve flood monitoring. **Computers & Geosciences**, v. 111, 2018.

RIBEIRO NETO, A.; CIRILO, J. A.; DANTAS, C. E. O.; SILVA, E. R. Caracterização da formação de cheias na bacia do rio Una em Pernambuco: simulação hidrológica-hidrodinâmica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, 2015.

RIBEIRO, A. A. S.; OLIVEIRA, G. A.; CIRILO, J. A.; ALVES, F. H. B.; BATISTA, L. F. D. R.; MELO, V. B. Floodplain reconstitution based on data collected via smartphones: a methodological approach to hydrological risk mapping. **Brazilian Journal of Water Resources**, v. 25, 2020.

RIBEIRO, A. A. S. **Aplicação de smartphones na engenharia: levantamento de manchas de inundação utilizando o aplicativo Hidromapp**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2019.

RIBEIRO, J. C.; LIMA, L. B. Mapas colaborativos digitais e (novas) representações sociais do território: uma relação possível. **Ciberlegenda**, v.25, 2011.

ROCHE, S.; MERICSKAY, B.; BATITA, W.; BACH, M.; RONDEAU, M. WikiGIS Basic Concepts: Web 2.0 for Geospatial Collaboration. **Future Internet**, v.4, 2012.

SAKSENA, S.; DEY, S.; MERWADE, V.; SINGHOFEN, P. J. A computationally efficient and physically based approach for urban flood modeling using a flexible spatiotemporal structure. **Water Resources Research**, v. 56, 2020.

SANTOS, A. P. **Controle de qualidade cartográfica: metodologias para avaliação da acurácia posicional em dados espaciais**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Viçosa, 2015. 172 p.

SCHAFER, W. A.; GANOE, C. H.; CARROLL, J. M. Supporting Community Emergency Management Planning through a Geocollaboration Software Architecture. **Computer Supported Cooperative Work (CSCW)**, v.16, p.501-537, 2007.

SCHENK, E.; GUITTARD, C. Towards a characterization of crowdsourcing practices. **Journal of Innovation Economics & Management**, v. 7, n. 1, 2011.

SCHNEBELE, E.; CERVONE, G. Improving remote sensing flood assessment using volunteered geographical data. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 13, 2013.

SCHNEBELE, E.; CERVONE, G.; WATERS, N. Road assessment after flood events using non-authoritative data. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 14, 2014.

SEE, L.; COMBER, A.; SALK, C.; FRITZ, S.; VAN DER VELDE, M.; PERGER, C.; OBERSTEINER, M. Comparing the quality of crowdsourced data contributed by expert and non-experts. **PLoS One**, v. 8, n. 7, 2013.

SEE, L.; FRITZ, S.; PERGER, C.; SCHILL, C.; MCCALLUM, I.; SCHEPASCHENKO, D.; DUERAUER, M.; STURN, T.; KARNER, M.; KRAXNER, F.; OBERSTEINER, M. Harnessing the power of volunteers, the internet and Google Earth to collect and validate global spatial information using Geo-Wiki. **Technological Forecasting and Social Change**, v.98, 2015.

SEGARAN, T. **Programando a inteligência coletiva: desenvolvendo aplicativos inteligentes Web 2.0**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2008.

SEIBERT, J.; STROBL, B.; ETTER, S.; HUMMER, P.; MEERVELD, H. J. Virtual Staff Gauges for Crowd-Based Stream Level Observations. **Frontiers in Earth Science**. v. 7, n. 70, 2019.

SENARATNE, H.; MOBASHERI, A.; ALI, A. L.; CAPINERI, C.; HAKLAY. M. A review of volunteered geographic information quality assessment methods. **International Journal of Geographical Information Science**, 2017.

SHUSTIKOVA, I.; DOMENEGHETTI, A.; NEAL, J. C.; BATES, P.; CASTELLARIN, A. Comparing 2D capabilities of HEC-RAS and LISFLOOD-FP on complex topography. **Hydrological Sciences Journal**, v. 64, n. 14, 2019.

SIGALA, M. Investigating the role and impact of geovisualisation and geocollaborative portals on collaborative e-learning in tourism education. **Journal of Hospitality, Leisure, Sport e Tourism Education**, n.11, 2012.

SILVA; E. R.; OFICIALDEGUI, E. O.; CIRILO, J. A.; NETO, A. R.; DANTAS, C. E.; ALMEIDA, K. Monitor Avançado de Enchentes (MAVEN): A hydroclimatologic computational framework for early flood alert systems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FLOOD MANAGEMENT, 6, 2014, São Paulo. **Anais…** São Paulo: ICFM, 2014.

SMITH, L.; LIANG, Q.; JAMES, P.; LIN, W. Assessing the utility of social media as a data source for flood risk management using a real-time modelling framework. **Journal of Flood Risk Management**, v. 10, 2017.

TALISAY, B. A. M.; PUNO, G. R.; AMPER, R. A. L. Flood hazard mapping in an urban area using combined hydrologic-hydraulic models and geospatial technologies. **Global Journal of Environmental Science and Management**, v. 5, n. 2, 2019.

TEIXEIRA, E. K. C.; COELHO, M. M. L. P.; PINTO, E. J. A.; DINIZ, J. G.; SALIBA, A. P. M. Manning's roughness coefficient for the Doce River. **Brazilian Journal of Water Resources**, v. 23, n. 52, 2018.

TENG J.; JAKEMAN, A. J.; VAZE, J.; CROKE, B. F. W.; DUTTA, D.; KIM, S. Flood inundation modelling: a review of methods, recent advances and uncertainty analysis. **Environmental Modelling & Software**, v. 90, 2017.

TRIGLAV-CEKADA, M.; RADOVA, D. Using volunteered geographical information to map the November 2012 floods in Slovenia. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 13, 2013.

TUCCI, C. E. M. **Inundações Urbanas**. Porto Alegre: ABRH / RHAMA, 2007.

VERÇOSA, L. F. M. **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica aplicada à avaliação da ocorrência de inundações na cidade de Recife, PE**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

VIEIRA, L. M. S.; FONTES, A. S.; SIMÕES, A. L. A. Analysis of physical mechanisms of human body instability for the definition of hazard zones present in emergency action plans of dams. Case study: Santa Helena Dam, Bahia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 24, n. 43, 2019.

WILLIAMS, J. J.; ESTEVES, L. S. Guidance on Setup, Calibration, and Validation of Hydrodynamic, Wave, and Sediment Models for Shelf Seas and Estuaries. **Advances in Civil Engineering**, v. 2017, 2017.

WING, O. E. J.; BATES, P. D.; SAMPSON, C. C.; SMITH, A. M.; JOHNSON, K. A.; ERICKSON, T. A. Validation of a 30 m resolution flood hazard model of the conterminous United States. **Water Resources Research**, v. 53, 2017.

WOLSKI, K.; TYMINSKI, T.; DABEK, P. B. Assessment of the effect of vegetation on the transition of the flood wave using hydraulic 2D models. In: CONFERENCE ON INTERDISCIPLINARY PROBLEMS IN ENVIRONMENTAL PROTECTION AND ENGINEERING, 10, 2018, Polanica Zdrój. **Anais…** Polanica Zdrój: EKO-DOK, 2018.

WOOD, M.; HOSTACHE, R.; NEAL, J. C.; WAGENER, T.; GIUSTARINI, L.; CHINI, M.; CORATO, G.; MATGEN, P.; BATES, P. D. Calibration of channel depth and friction parameters in the LISFLOOD-FP hydraulic model using medium-resolution SAR data and identifiability techniques. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 20, 2016.

YAN, Y.; FENG, C.; WANG, Y. Utilizing fuzzy set theory to assure the quality of volunteered geographic information. **Geojournal**, v. 82, 2017.

YU, D.; YIN; J.; LIU, M. Validating city-scale surface water flood modelling using crowdsourced data. **Environmental Research Letters**, v. 11, 2016.

ZAHRA, K.; OSTERMANN, F. O.; PURVES, R. S. Geographic variability of Twitter usage characteristics during disaster events. **Geo-spatial Information Science**, v. 20, n. 3, 2017.

ZANDBERGEN, P.A. Accuracy of iPhone locations: A comparison of assisted-GPS, WiFi and cellular positioning. **Transactions in GIS**, v. 13, n. 1, 2009.

ZEIMPEKIS, V.; GIAGLIS, G. M.; LEK, G. A taxonomy of indoor and outdoor positioning techniques for mobile location services. **SIGecom Exchange**, v. 3, n.4, 2003.

ZIELSTRA, D.; ZIPF, A. A comparative study of proprietary geodata and volunteered geographic information for Germany. In: AGILE INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOGRAPHIC INFORMATION SCIENCE, 13, 2010, Guimarães. **Anais…** Guimarães: AGILE/GIScience, 2010.

ZOOK, M; GRAHAM, M.; SHELTON, T.; GORMAN, S. Volunteered Geographic Information and Crowdsourcing Disaster Relief: A Case Study of the Haitian Earthquake. **World Medical & Health Policy**, v. 2, n. 2, 2010.

ANEXO A – CÓDIGO FONTE DO ALGORITMO

```
################################################################################

# IMPORTA AS BIBLIOTECAS NECESSÁRIAS

################################################################################

import numpy as np
import pandas as pd
import os, csv, math
import win32com.client
import scipy.optimize
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.ndimage.filters import gaussian_filter1d
from datetime import datetime


################################################################################

# CONFIGURAÇÃO DO PROJETO
ÚNICO LOCAL EM QUE O USUÁRIO REALIZA ALTERAÇÕES

################################################################################

Projeto_Nome = "Jaqueira_Maio_2017_2D"
Resultados_URL = "C:"

HEC_RAS_versao = 503
HEC_RAS_projeto_URL = "D:/JaqueiraRAS_Maio2017/Jaqueira.prj"
HEC_RAS_geometria_URL = "D:/JaqueiraRAS_Maio2017/Jaqueira.g01"
HEC_RAS_DepthMax_URL = "D:/JaqueiraRAS_Maio2017/Plan_03/Depth (Max).vrt"

SHP_pontos_avaliados_URL =
"D:/OneDrive/Doutorado/Script_consistencia_hidromapp/Pontos_Oficinas_Seleca
o3_AlturaInformada.shp"

Simulacoes = 3
ErroAceitavel = 0.25

################################################################################

# CRIA OS DIRETÓRIOS E ARQUIVOS ONDE SERÃO SALVOS OS RESULTADOS

################################################################################

DataHora = datetime.now().strftime('%d_%m_%Y_%H_%M_%S')

Output_processamento_CSV_URL = Resultados_URL + "/Hidromapp/" +
str(Projeto_Nome) + "_" + str(DataHora) + "/CSV"
os.makedirs(Output_processamento_CSV_URL)

Output_processamento_simulacoes_URL = Resultados_URL + "/Hidromapp/" +
str(Projeto_Nome) + "_" + str(DataHora) + "/Simulacoes_HEC_RAS"
os.makedirs(Output_processamento_simulacoes_URL)

Output_Shp_URL = Resultados_URL + "/Hidromapp/" + str(Projeto_Nome) + "_" +
str(DataHora) + "/Shp"
os.makedirs(Output_Shp_URL)
```

```
Simu_03 = [0.02, 0.06, 0.1]
Simu_05 = [0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.1]
Simu_09 = [0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09, 0.1]
Simu_17 = [0.02, 0.025, 0.03, 0.035, 0.04, 0.045, 0.05, 0.055, 0.06, 0.065,
0.07, 0.075, 0.08, 0.085, 0.09, 0.095, 0.1]

if Simulacoes == 3:
    Lista_Manning = Simu_03

if Simulacoes == 5:
    Lista_Manning = Simu_05

if Simulacoes == 9:
    Lista_Manning = Simu_09

if Simulacoes == 17:
    Lista_Manning = Simu_17

with open(Output_processamento_CSV_URL + "/" + "1_Alturas_RAS.csv", "a") as
file:
    Header_CSV = ["InfoID", "UserID", "InfoAltura"]
    for a in Lista_Manning:
        Header_CSV.append(a)
    writer = csv.writer(file)
    writer.writerow(Header_CSV)
    file.close()

with open(Output_processamento_CSV_URL + "/" + '2_dados_equacao_Log.csv',
'a') as file:
    Header_CSV_Equacao = ["InfoID", "UserID", "Hobs", "a", "b"]
    writer = csv.writer(file)
    writer.writerow(Header_CSV_Equacao)
    file.close()

with open(Output_processamento_CSV_URL + "/" + "3_p_Manning_e_RMSE.csv",
'a') as file:
    Header_CSV_ScoreBrutos = ["Manning", "p_Manning", "RMSE"]
    writer = csv.writer(file)
    writer.writerow(Header_CSV_ScoreBrutos)
    file.close()

with open(Output_processamento_CSV_URL + "/" + "4_Scores.csv", 'a') as
file:
    Header_CSV_ScoreBrutos = ["Manning", "p_Manning", "RMSE",
"Score_p_Manning", "Score_RMSE", "Score_Global"]
    writer = csv.writer(file)
    writer.writerow(Header_CSV_ScoreBrutos)
    file.close()

Resultados_txt = Resultados_URL + "/Hidromapp/" + str(Projeto_Nome) + "_" +
str(DataHora) + "/Resultados.txt"
with open(Resultados_txt, "a") as file:
    Linha1 = "Aplicativo Hidromapp - Relatório de Consistência dos dados"
    file.writelines(Linha1)
```

```
##############################################################################

# REALIZA AS SIMULAÇÕES NO HEC-RAS
03, 05, 09 OU 17 SIMULAÇÕES

##############################################################################

for N in Lista_Manning:
    smallFile = open(HEC_RAS_geometria_URL)
    lines = smallFile.readlines()
    for i in range(0, len(lines)):
        if "Storage Area Mannings" in lines[i]:
            ManningAnterior = str(lines[i])
            NovoManning = str("Storage Area Mannings=" + str(N) + "\n")
            file2 = HEC_RAS_geometria_URL
            s = open(file2).read()
            s = s.replace(ManningAnterior, NovoManning)
            f = open(file2, 'w')
            f.write(s)
            f.close()
        smallFile.close()

    hec = win32com.client.Dispatch("RAS" + str(HEC_RAS_versao) +
".HECRASController")
    hec.ShowRas()

    RASProject = os.path.join(os.getcwd(), HEC_RAS_projeto_URL)
    hec.Project_Open(RASProject)

    NMsg, TabMsg, block = None, None, True
    v1, NMsg, TabMsg, v2 = hec.Compute_CurrentPlan(NMsg, TabMsg, block)

    hec.QuitRas()
    del hec

    ResultRas = HEC_RAS_DepthMax_URL

    Nsimulacao = str(N)

    processing.run("grass7:r.null", {
        '-f': False,
        '-c': False,
        '-i': False,
        '-n': False,
        '-r': False,
        'GRASS_RASTER_FORMAT_META': '',
        'GRASS_RASTER_FORMAT_OPT': '',
        'GRASS_REGION_CELLSIZE_PARAMETER': 0.1,
        'GRASS_REGION_PARAMETER': None,
        'map': ResultRas, 'null': 0,
        'output': Output_processamento_simulacoes_URL + "/" + Nsimulacao +
'.tif',
        'setnull': ''
    })

    project = QgsProject.instance()
    project.removeAllMapLayers()
```

```
##############################################################################

# OBTEM AS ALTURAS SIMULADAS PARA A CONSTRUCAO DAS FUNCOES
LOGARITMICAS

##############################################################################

LayerPontos = QgsVectorLayer(SHP_pontos_avaliados_URL)
FeaturesPontos = LayerPontos.getFeatures()
for feature in FeaturesPontos:
    selected_fid = feature.id()
    LayerPontos.select(selected_fid)

    InfoAltura = feature['Altura']
    InfoID = feature['Info_ID']
    UserID = feature['User_ID']

    x = feature.geometry().asPoint().x()
    y = feature.geometry().asPoint().y()

    Alturas = []

    for N in Lista_Manning:
        SimulacaoRaster = Output_processamento_simulacoes_URL + "/" +
str(N) + ".tif"
        SimulacaoRasterLayer = QgsRasterLayer(SimulacaoRaster)

        val, res = SimulacaoRasterLayer.dataProvider().sample(QgsPointXY(x,
y), 1)
        Alturas.append(round(val, 2))

    Resultado = [str(InfoID), str(UserID), str(InfoAltura)]
    for a in Alturas:
        Resultado.append(a)

    with open(Output_processamento_CSV_URL + "/" + "1_Alturas_RAS.csv",
"a") as file:
        writer = csv.writer(file)
        writer.writerow(Resultado)
        file.close()

    LayerPontos.removeSelection()


##############################################################################

# OBTÉM AS FUNÇÕES LOGARÍTMICAS

##############################################################################

CSV_Alturas_RAS = Output_processamento_CSV_URL + "/" + "1_Alturas_RAS.csv"
Alturas_RAS = pd.read_csv(CSV_Alturas_RAS)

for index, row in Alturas_RAS.iterrows():

    X_Lista = []  # X = Manning
    Y_Lista = []  # Y = Depth
    InfoID = row['InfoID']
    UserID = row['UserID']
    Hobs = row['InfoAltura']
```

```
    for N in Lista_Manning:

        Hs = row[str(N)]

        if Hs == 0:

            for index_Y, value in enumerate(Y_Lista):
                if value == 0.0:
                    del (X_Lista[index_Y])
                    del (Y_Lista[index_Y])

        X_Lista.append(N)
        Y_Lista.append(Hs)

    if len(X_Lista) >= 3:
        X = np.array(X_Lista)
        Y = np.array(Y_Lista)
        # Plot the data :
        plt.scatter(X, Y)
        plt.xlabel("Mannning")
        plt.ylabel("Depth")

        n = len(X)
        x_bias = np.ones((n, 1))

        X = np.reshape(X, (n, 1))
        X_log = np.log(X)

        x_new = np.append(x_bias, X_log, axis=1)

        x_new_transpose = np.transpose(x_new)

        x_new_transpose_dot_x_new = x_new_transpose.dot(x_new)

        temp_1 = np.linalg.inv(x_new_transpose_dot_x_new)

        temp_2 = x_new_transpose.dot(Y)

        theta = temp_1.dot(temp_2)

        a = theta[0]
        b = theta[1]

        listaEquacao = [str(InfoID), str(UserID), Hobs, round(a, 5),
round(b, 5)]

    else:
        listaEquacao = [str(InfoID), str(UserID), Hobs, -9999999, -9999999]

    with open(Output_processamento_CSV_URL + "/" +
"2_dados_equacao_Log.csv", 'a') as file:
        writer = csv.writer(file)
        writer.writerow(listaEquacao)
        file.close()
```

```
################################################################################

# CALCULA O P_MANNING E RMSE

################################################################################

CSV_Equacao = Output_processamento_CSV_URL + "/" +
"2_dados_equacao_Log.csv"
Pontos_Equacao = pd.read_csv(CSV_Equacao)

Manning = 0.02

while Manning < 0.10001:

    P_Manning = []
    Dif_RMSE = []

    for index, row in Pontos_Equacao.iterrows():

        UserID = row['UserID']
        Hobs = row['Hobs']
        a = row['a']
        b = row['b']

        if a != -9999999:

            Hlog = a + b * np.log(Manning)
            dif = Hlog - Hobs

            Dif_RMSE.append(dif)

            if abs(dif) <= ErroAceitavel:

                Pontos_Convergentes = []
                Pontos_Comparados = []

                Pontos_Equacao_2 = pd.read_csv(CSV_Equacao)

                for index_2, row_2 in Pontos_Equacao_2.iterrows():

                    UserID_2 = row_2['UserID']
                    Hobs_2 = row_2['Hobs']
                    a_2 = row_2['a']
                    b_2 = row_2['b']

                    if UserID != UserID_2:

                        if a_2 != -9999999:

                            Pontos_Comparados.append(1.00)

                            Hlog_2 = a_2 + b_2 * np.log(Manning)
                            dif_2 = Hlog_2 - Hobs_2

                            if abs(dif_2) <= ErroAceitavel:
                                Pontos_Convergentes.append(1.00)

                P_Ponto = sum(Pontos_Convergentes) / sum(Pontos_Comparados)
                P_Manning.append(P_Ponto)
```

```
    MSE = np.square(Dif_RMSE).mean()
    RMSE = math.sqrt(MSE)

    Resultados = [str(Manning), round(sum(P_Manning), 2), round(RMSE, 2)]

    with open(Output_processamento_CSV_URL + "/" +
"3_p_Manning_e_RMSE.csv", "a") as file:
        writer = csv.writer(file)
        writer.writerow(Resultados)
        file.close()

    Manning += 0.001


##############################################################################

# NORMALIZA OS DADOS (p_Manning E RMSE) E CALCULA OS SCORES
(Score_P_Manning, Score_RMSE e Score_Global)

##############################################################################

CSV_p_Manning_e_RMSE = Output_processamento_CSV_URL + "/" +
"3_p_Manning_e_RMSE.csv"
p_Manning_e_RMSE = pd.read_csv(CSV_p_Manning_e_RMSE)

p_Manning_Max = 0
RMSE_Min = 100
RMSE_Max = 0

for index, row in p_Manning_e_RMSE.iterrows():

    p_Manning = row['p_Manning']
    RMSE = row['RMSE']

    if p_Manning > p_Manning_Max:
        p_Manning_Max = p_Manning

    if RMSE > RMSE_Max:
        RMSE_Max = RMSE

    if RMSE < RMSE_Min:
        RMSE_Min = RMSE

for index, row in p_Manning_e_RMSE.iterrows():
    Manning = row['Manning']
    p_Manning = row['p_Manning']
    RMSE = row['RMSE']

    Score_p_Manning = p_Manning / p_Manning_Max
    Score_RMSE = (RMSE_Max - RMSE) / (RMSE_Max - RMSE_Min)
    Score_Global = Score_p_Manning * Score_RMSE

    Resultado = [Manning, p_Manning, RMSE, round(Score_p_Manning, 3),
round(Score_RMSE, 3), round(Score_Global, 3)]

    with open(Output_processamento_CSV_URL + "/" + "4_Scores.csv", 'a') as
file:
        writer = csv.writer(file)
        writer.writerow(Resultado)
        file.close()
```

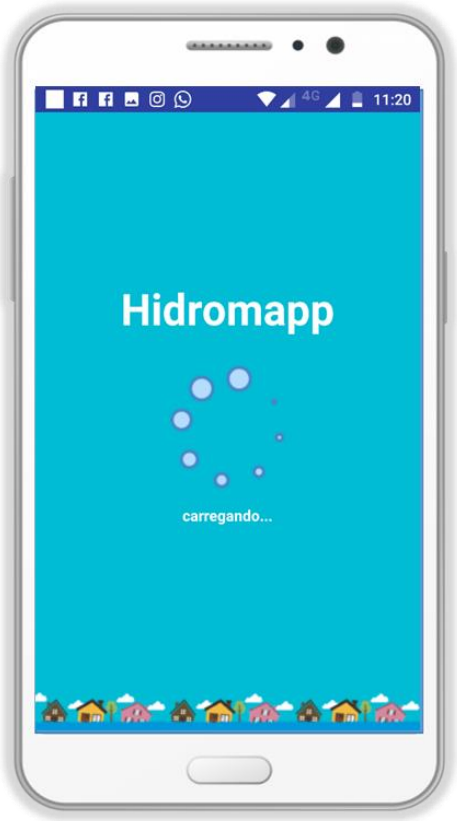
```
##############################################################################

# EXECUTA A SIMULAÇÃO CALIBRADA NO HEC-RAS E CLASSIFICA A
CONSISTÊNCIA DOS DADOS

##############################################################################

CSV_Scores = Output_processamento_CSV_URL + "/" + "4_Scores.csv"
Scores = pd.read_csv(CSV_Scores)

N_Score_Global_Max = 0
Score_p_Manning_Max = 0
Score_RMSE_Max = 0
Score_Global_Max = 0

for index, row in Scores.iterrows():

    Manning = row['Manning']
    Score_p_Manning = row['Score_p_Manning']
    Score_RMSE = row['Score_RMSE']
    Score_Global = row['Score_Global']

    if Score_Global > Score_Global_Max:
        N_Score_Global_Max = Manning
        Score_p_Manning_Max = Score_p_Manning
        Score_RMSE_Max = Score_RMSE
        Score_Global_Max = Score_Global


smallFile = open(HEC_RAS_geometria_URL)
lines = smallFile.readlines()
for i in range(0, len(lines)):
    if "Storage Area Mannings" in lines[i]:
        ManningAnterior = str(lines[i])
        NovoManning = str("Storage Area Mannings=" +
str(round(N_Score_Global_Max, 3)) + "\n")
        file2 = HEC_RAS_geometria_URL
        s = open(file2).read()
        s = s.replace(ManningAnterior, NovoManning)
        f = open(file2, 'w')
        f.write(s)
        f.close()
    smallFile.close()

hec = win32com.client.Dispatch("RAS" + str(HEC_RAS_versao) +
".HECRASController")
hec.ShowRas()

RASProject = os.path.join(os.getcwd(), HEC_RAS_projeto_URL)
hec.Project_Open(RASProject)

NMsg, TabMsg, block = None, None, True
v1, NMsg, TabMsg, v2 = hec.Compute_CurrentPlan(NMsg, TabMsg, block)

hec.QuitRas()
del hec

ResultRas = HEC_RAS_DepthMax_URL
```

```
processing.run("grass7:r.null", {
    '-f': False,
    '-c': False,
    '-i': False,
    '-n': False,
    '-r': False,
    'GRASS_RASTER_FORMAT_META': '',
    'GRASS_RASTER_FORMAT_OPT': '',
    'GRASS_REGION_CELLSIZE_PARAMETER': 0.1,
    'GRASS_REGION_PARAMETER': None,
    'map': ResultRas, 'null': 0,
    'output': Output_processamento_simulacoes_URL + "/" +
str(round(N_Score_Global_Max, 3)) + '_ScoreGlobal_Max.tif',
    'setnull': ''
})

project = QgsProject.instance()
project.removeAllMapLayers()

Pontos_Consistencia_URL = Output_Shp_URL + "/pontos_consistencia_N_" +
str(round(N_Score_Global_Max, 3)) + ".shp"

save_options = QgsVectorFileWriter.SaveVectorOptions()
save_options.driverName = "ESRI Shapefile"
save_options.fileEncoding = "UTF-8"
transform_context = QgsProject.instance().transformContext()
QgsVectorFileWriter.writeAsVectorFormatV2(LayerPontos,
Pontos_Consistencia_URL, transform_context, save_options)

LayerPontos_consistencia = QgsVectorLayer(Pontos_Consistencia_URL)

layer_provider = LayerPontos_consistencia.dataProvider()
layer_provider.addAttributes([QgsField("Consist", QVariant.String)])
LayerPontos_consistencia.updateFields()
LayerPontos_consistencia.startEditing()

fields = LayerPontos_consistencia.fields()
Campo_consist_id = fields.indexFromName('Consist')

FeaturesPontos_consistencia = LayerPontos_consistencia.getFeatures()

conta_consistentes = 0
conta_inconsistentes = 0
Erros_sem_outliers = []

for feature in FeaturesPontos_consistencia:

    selected_fid = feature.id()
    LayerPontos_consistencia.select(selected_fid)

    InfoAltura = float(feature['Altura'])

    x = feature.geometry().asPoint().x()
    y = feature.geometry().asPoint().y()

    SimulacaoRaster = Output_processamento_simulacoes_URL + "/" +
str(round(N_Score_Global_Max, 3)) + "_ScoreGlobal_Max.tif"
    SimulacaoRasterLayer = QgsRasterLayer(SimulacaoRaster)
    val, res = SimulacaoRasterLayer.dataProvider().sample(QgsPointXY(x, y),
1)
```

```
    Consistencia = "null"

    if abs(val - InfoAltura) <= 0.25:
        Consistencia = "consistente"
        conta_consistentes += 1
        Erros_sem_outliers.append(val - InfoAltura)
    else:
        Consistencia = "inconsistente"
        conta_inconsistentes += 1

    ConsistenciaPonto = {Campo_consist_id: Consistencia}
    layer_provider = LayerPontos_consistencia.dataProvider()
    layer_provider.changeAttributeValues({selected_fid: ConsistenciaPonto})
    LayerPontos_consistencia.commitChanges()
    LayerPontos_consistencia.removeSelection()

MSE_sem_outliers = np.square(Erros_sem_outliers).mean()
RMSE_sem_outliers = math.sqrt(MSE_sem_outliers)


################################################################################

# GERA O RELATÓRIO COM OS RESULTADOS DO ALGORITMO

################################################################################

with open(Resultados_txt, 'a') as file:

    Tab = str(
    "\n"
    "\n"
    "\n"

"********************************************************************************
***"
    "\n"
    "\n"
    "\n"
    )

    Relatorio = str (
    Tab +
    "Pontos Avaliados (shp): " + str(SHP_pontos_avaliados_URL) +
    "\n"
    "\n"
    "Resultados (diretório): " + str(Resultados_URL + "/Hidromapp/" +
str(Projeto_Nome) + "_" + str(DataHora)) +
    Tab +
    "N° de simulações realizadas: " + str(Simulacoes) + " simulações"
    "\n"
    "\n"
    "Tolerância: " + str(ErroAceitavel) + " m"
    + Tab +
    "Score Global Máximo para o Manning: " +
str(round(N_Score_Global_Max,2)) +
    Tab +
    "RMSE (sem outliers): " + str(round(RMSE_sem_outliers, 2)) + " m"
    "\n"
    "\n"
    "Score p Manning: " + str(Score_p_Manning_Max) +
    "\n"
```

```
    "\n"
    "Score RMSE: " + str(Score_RMSE_Max) +
    "\n"
    "\n"
    "Score Global: " + str(Score_Global_Max) +
    Tab +
    "Pontos consistentes: " + str(conta_consistentes) + " (" +
str(round(conta_consistentes/conta_consistentes+conta_inconsistentes, 2)) +
"%)"
    "\n"
    "\n"
    "Pontos inconsistentes: " + str(conta_inconsistentes) + " (" +
str(round(conta_inconsistentes/conta_consistentes+conta_inconsistentes, 2))
+ "%)"
    + Tab +
    "HEC-RAS Projeto = " + str(HEC_RAS_projeto_URL) +
    "\n"
    "\n"
    "HEC-RAS Geometria = " + str(HEC_RAS_geometria_URL) +
    "\n"
    "\n"
    "HEC-RAS DepthMax = " + str(HEC_RAS_DepthMax_URL)
    )
    print(Relatorio)
        file.writelines(Relatorio)
```

ANEXO B – INTERFACE DO APLICATIVO HIDROMAPP

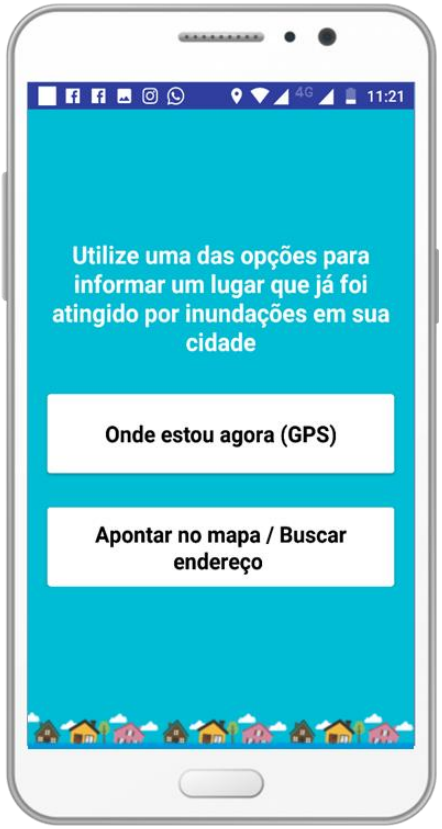


11:20
Vamos lá!
O que você deseja fazer?
Começar a colaborar
Ver colaborações já realizadas
O que fazer em caso de inundações

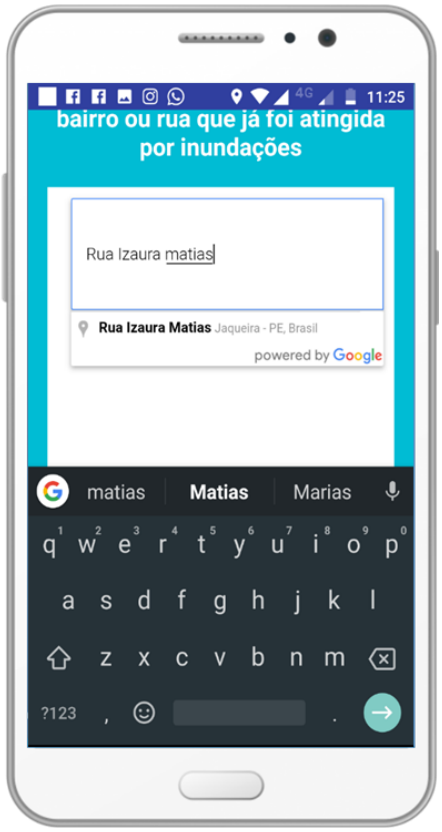
19:45
No mapa você pode visualizar as colaborações que já foram realizadas no aplicativo
Jaqueira - PE / Brasil
Mapa
Satélite
PE-126
Posto Pirang
Google
Dados do mapa
Termos de Uso

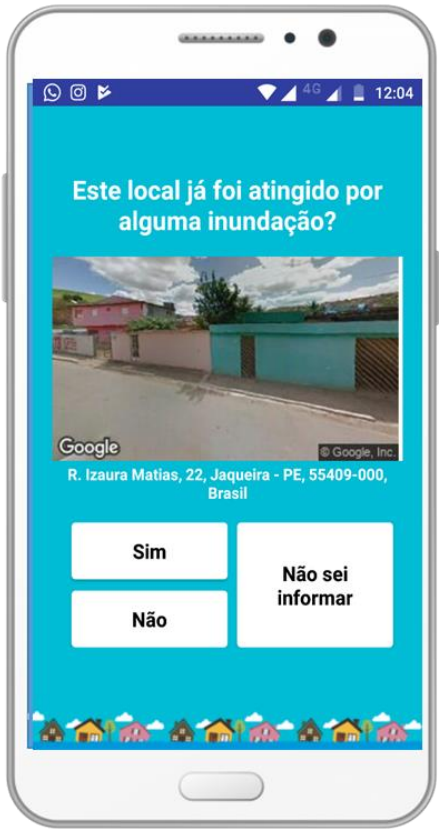
11:20
Aqui você encontra informações sobre o que deve ser feito em caso de inundações
Vídeos
INUNDAÇÕES EM RESIDÊNCIAS
- DESLIGUE A CORRENTE ELÉTRICA DA RESIDÊNCIA
2:03
DESASTRES NATURAIS
Como se preparar

Vamos lá!
Atenção!
Só utilize o aplicativo quando estiver em lugares seguros. Nunca se aproxime de rios e de lugares que apresentem riscos.
CONTINUAR
CANCELAR
O que fazer em caso de inundações


11:21
Utilize uma das opções para informar um lugar que já foi atingido por inundações em sua cidade
Onde estou agora (GPS)
Apontar no mapa / Buscar endereço

11:24
Clique no mapa para identificar pontos atingidos por inundações
Praça Professor Coelho de Almeida
Google
Mapa de Ruas
Pesquisar Endereço
Continuar


11:25
bairro ou rua que já foi atingida por inundações
Rua Izaura matias
Rua Izaura Matias Jaqueira - PE, Brasil
powered by Google
matias
Matias
Marias


12:04
Este local já foi atingido por alguma inundação?
Google
© Google, Inc.
R. Izaura Matias, 22, Jaqueira - PE, 55409-000, Brasil
Sim
Não
Não sei informar

11:21
Toque ou deslize seu dedo na imagem para informar a altura atingida pela inundação
Trocar imagem - Casa
Altura: 1.45 metros
Não sei informar
Enviar

Toque ou deslize seu dedo na imagem para informar a altura atingida pela inundação
Trocar imagem - Casa
Você usou trena ou fita métrica para medir a altura informada?
NÃO
SIM
Altura: 1.75 metros
Não sei informar
Enviar

11:22
Se desejar, envie uma foto indicando a altura da inundação
Exemplo:
Foto: G1.com
Enviar Foto
Pular esta etapa

11:22
Quando ocorreu esta inundação?
Informe o Ano da inundação, e em seguida selecione o Mês e o Dia.
Ano
Mês
Dia
Continuar
Não sei informar

11:23
Se desejar, escreva abaixo outras informações importantes sobre a inundação ocorrida neste local.
Detalhes sobre a inundação ocorrida no ponto
Continuar

11:23
Obrigado!
Colaboração realizada com sucesso!
Continuar colaborando
Compartilhar o Hidromapp
Informar problemas e sugestões
Encerrar