



## Mapping of flood areas of the Sapucaí River in the municipality of Santa Rita do Sapucaí, MG

Alexandre Germano Marciano<sup>1</sup>, Paula Sayeko Souza Oda<sup>2</sup>, Alexandre Augusto Barbosa<sup>3</sup>, Ana Paula Moni Silva<sup>4</sup>, Hellen Ohana Silva Almeida Candido<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. in Environment and water resources, Meteorology Technician at the Federal University of Itajubá (UNIFEI), Avenida BPS/Pinheirinho, 1.303, ZIP code 37500-903, Itajubá (MG), (35) 3629-1101, [agermano@unifei.edu.br](mailto:agermano@unifei.edu.br) (<https://orcid.org/0000-0002-7906-0457>); Corresponding author: [agermano@unifei.edu.br](mailto:agermano@unifei.edu.br) (<https://orcid.org/0000-0002-7906-0457>); <sup>2</sup>Ph.D's degree in Earth System Science, National Institute for Space Research (INPE), Avenida dos Astronautas/Jardim da Granja, 1.758, ZIP code 12940-000, São José dos Campos/SP, (11) 4411-2958, [paula.oda@inpe.br](mailto:paula.oda@inpe.br) (<https://orcid.org/0000-0001-9842-102X>); <sup>3</sup>Ph.D. in Environmental Engineering, Professor at the Federal University of Itajubá (UNIFEI), Avenida BPS/Pinheirinho, 1.303, ZIP code 37500-903, Itajubá (MG), (35) 3629-1101, [barbosa@unifei.edu.br](mailto:barbosa@unifei.edu.br) (<https://orcid.org/0000-0003-3585-0489>); <sup>4</sup>Ph.D. in Mechanical Engineering, Professor at the Federal University of Itajubá (UNIFEI), Avenida BPS/Pinheirinho, 1.303, ZIP code 37500-903, Itajubá (MG), (35) 3629-1101, [anamoni@unifei.edu.br](mailto:anamoni@unifei.edu.br) (<https://orcid.org/0000-0003-2916-1003>); <sup>5</sup>Graduate degree in Water Engineering, Federal University of Itajubá (UNIFEI), Avenida BPS/Pinheirinho, 1.303, ZIP code 37500-903, Itajubá (MG), (35) 3629-1101, [hellen.ohanacandido@unifei.edu.br](mailto:hellen.ohanacandido@unifei.edu.br) (<https://orcid.org/0009-0004-0033-6417>).

Artigo recebido em 14/11/2023 e aceito em 17/07/2024

### ABSTRACT

Urban development in Brazil often lacks adequate infrastructure, leading to disorderly occupations that result in conflicts with nature, such as urban floods causing significant damages to society. In response, the implementation of control measures to prevent or mitigate this problem becomes imperative. The production of flood area maps constitutes a non-structural measure, a resource of urban planning that utilizes Geographic Information Systems (GIS) tools to extract essential information for decision-making. Flood episodes are part of the history of Santa Rita do Sapucaí municipality, with three major floods occurring in recent decades. Aware of the possibility of these incidents, the population recognizes the importance of the limnimetric gauge as a crucial tool to monitor river levels. Given this scenario, this study aims to apply a methodology for mapping flood-prone areas in the Sapucaí River, especially in the urban area of Santa Rita do Sapucaí, MG. Topographic surveys and river slope analysis were conducted to process flood areas. For comparison and validation of the methodology, historical flood event markers from the years 2000, 2007, and 2011 were used. The flood area mapping methodology demonstrated efficiency in analyzing these events, presenting an average error of 10% in flood height. This positions it as an exceptional tool for municipal urban planning, assisting authorities in decision-making regarding these recurring events.

Keywords: Flood Area; Sapucaí River; Floods; Limnimeter Ruler; Territorial planning.

## Mapeamento de áreas de inundação do rio Sapucaí no município de Santa Rita do Sapucaí -MG

### RESUMO

O desenvolvimento urbano no Brasil frequentemente carece de infraestrutura adequada, levando a ocupações desordenadas que resultam em conflitos com a natureza, como inundações urbanas que acarretam prejuízos e danos significativos à sociedade. Diante disso, torna-se imperativa a implementação de medidas de controle para prevenir ou mitigar este problema. A produção de mapas de áreas inundáveis constitui uma medida não estrutural, um recurso do planejamento urbano que faz uso de ferramentas dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para extrair as informações fundamentais à tomada de decisão. Episódios de inundação fazem parte da história do município de Santa Rita do Sapucaí, somente nas últimas décadas ocorreram 3 grandes inundações. Consciente da possibilidade desses incidentes, a população reconhece a importância da régua limnimétrica como uma ferramenta crucial para monitorar o nível do rio. Diante desse cenário, este estudo tem como objetivo aplicar uma metodologia de mapeamento de áreas inundáveis no rio Sapucaí, especialmente na zona urbana de Santa Rita do Sapucaí, MG. O levantamento topográfico e da declividade do rio Sapucaí foi realizado para processar as áreas de inundação. Para comparação e validação da metodologia, foram utilizadas as marcas históricas dos eventos de inundação nos anos de 2000, 2007 e 2011. A metodologia de mapeamento de áreas inundáveis demonstrou eficiência na análise desses eventos, apresentando um erro médio de 10% na altura atingida durante uma inundação. Isso a posiciona como uma ferramenta excepcional para o planejamento urbano do município, auxiliando as autoridades na tomada de decisão frente a esses eventos recorrentes.

Palavras-chave: Mancha de Inundação; Rio Sapucaí; Enchentes; Régua limnimétrica; Planejamento territorial.

## Introdução

A inundação é um processo natural do ciclo hidrológico que ocorre quando o aumento súbito ou gradual da vazão de água no leito menor causa o transbordamento das águas de um curso d'água, ultrapassando suas margens e invadindo o leito maior (Neves & Tucci, 2008; 2012; Farias & Mendonça, 2022; Maillard et al. 2022). Esse processo resulta de uma combinação de diversas características físicas de determinada localidade (Pessoa et al. 2022). Dentre tais características, destacam-se as mudanças no padrão de precipitação, que incluem a intensidade, quantidade, distribuição e frequência das chuvas (Duarte et al. 2021). A presença ou ausência de cobertura vegetal também desempenham um papel crucial, uma vez que a vegetação pode reduzir o escoamento superficial e aumentar a infiltração de água no solo, levando à sua saturação (Toneli, 2022). Além disso, as características geomorfológicas da bacia de drenagem como a topografia e a composição do solo, influenciam significativamente a dinâmica das inundações (Costa et al. 2022; Prasetyo, 2022).

No entanto, as modificações antropogênicas no ambiente natural têm exacerbado os riscos e a frequência das inundações, especialmente nos núcleos urbanos (Zhou et al. 2019; Handayani et al. 2020; Feng et al. 2021; Farias & Mendonça, 2022). Alterações no uso e ocupação do solo, associadas ao processo de urbanização, manifestam-se por meio de práticas como a canalização e a retificação de cursos d'água, a impermeabilização das áreas circunvizinhas e a ocupação de várzeas ribeirinhas (Basri et al. 2022; Silva et al. 2023). Tais modificações desempenham um papel direto no agravamento dos impactos das inundações urbanas, gerando desafios em diversas áreas de estudo, incluindo a medicina, a hidrologia, a engenharia e o planejamento urbano (Menezes et al. 2023). As inundações contribuem para a transmissão de doenças infecciosas pela água e por vetores, além de provocarem problemas relacionados ao acesso ao saneamento básico e à água potável (Tin et al. 2024).

Cabe também destacar que em um contexto de mudanças climáticas, os eventos meteorológicos extremos têm se tornado mais recorrentes, o que implica também na intensificação dos processos de inundação (Wing et al. 2020; Tabari, 2020; Tabucanon et al. 2021). Nas últimas décadas, têm-se observado uma recorrência destes eventos em curtos períodos de tempo, assim como o aumento de sua severidade (Monteiro & Madureira, 2020). Com isto, a preocupação com eventos desta natureza é tema de debate em todo o mundo. Segundo dados do *Emergency Events Database*

(EM-DAT), de 1995 a 2022 foram registrados 11.360 desastres. Deste total, 43,7% (4.969) eram desastres hidrológicos e dentre os hidrológicos, majoritariamente estavam as inundações (Tin et al. 2024).

O relatório do Escritório das Nações Unidas para a Coordenação de Assuntos Humanitários - UN-OCHA (2020), destaca que o Brasil figura entre os países mais afetados pelos efeitos das inundações. Na América Latina, o país é apontado como o mais suscetível a esse tipo de desastre, estando entre os 15 países com maior incidência de pessoas atingidas por inundações fluviais. Somente entre os anos de 2000 e 2019, cerca de 70 milhões de pessoas foram afetadas por inundações em território brasileiro, de acordo com o UN-OCHA (2020).

A partir dos registros nacionais, o banco de dados do Atlas Digital de Desastres revela números alarmantes. No período de 1991 a 2023, foram computadas 6.183 ocorrências de inundações, que resultaram em 644 óbitos, 3,99 milhões desabrigados e desalojados, e um total de 3,88 milhões de pessoas afetadas. Em termos econômicos, os danos foram estimados em 25,34 bilhões de reais e os prejuízos em 45,25 bilhões de reais (CEPED, 2024). As regiões Norte, Sul e Sudeste geralmente são as mais afetadas por essa tipologia de desastre (CEPED, 2024).

Recentemente, o estado do Rio Grande do Sul está enfrentando enormes desafios em razão das inundações que assolaram mais de 300 municípios (Estadão, 2024). A catástrofe levantou discussões sobre a capacidade do Estado em gerenciar os riscos que se intensificam com as mudanças climáticas. Um planejamento urbano que identifique e considere as áreas de inundação é de suma importância para minimizar os impactos sofridos pela população (Perrut & Brito, 2022).

O gerenciamento dos riscos inerentes às inundações pode ser realizado tanto por meio de medidas estruturais quanto por medidas não estruturais (Decina & Brandão, 2016). As medidas estruturais envolvem obras de engenharia que modificam o sistema fluvial, como diques, barragens e outras infraestruturas físicas (Tucci, 1997; Paixão et al. 2022). Por outro lado, as medidas não estruturais consistem em ações de políticas públicas voltadas ao planejamento e gerenciamento do uso do solo. Essas medidas incluem leis, regulamentos, decretos, operações, zoneamento geoambiental, planos preventivos de defesa civil, sistemas de alerta e monitoramento, educação ambiental e programas voltados à prevenção e convivência com a problemática,

buscando reduzir danos e consequências (Carvalho et al. 2019).

De acordo com Sarlas (2010) e Rangel et al. (2021), as medidas não estruturais baseiam-se no estudo do histórico hidrológico da bacia, permitindo a construção de modelos capazes de demonstrar o comportamento hidráulico e hidrológico do curso d'água. Para isso, utiliza-se principalmente a construção de mapas de inundação e as características hidráulicas. O mapeamento das áreas de inundação é uma importante ferramenta tanto para o planejamento do uso e ocupação do solo quanto para o monitoramento das regiões que são propensas as inundações (Silva et al. 2020). Os mapas de inundação podem ser classificados de duas maneiras: mapas de planejamento e mapas de alerta (Marciano, 2019; Borba, 2020). O mapa de planejamento define as áreas atingidas por cheias de tempos de retorno escolhidos. O mapa de alerta é uma ferramenta num processo de tomada de decisão para aplicação de um plano de contingência (Tucci, 2003). Assim, é possível que moradores sigam as diretrizes estabelecidas pelos órgãos oficiais em eventos extremos a fim de evitar perdas humanas e materiais.

Silva et al. (2020) utilizaram modelos digitais de elevação (MDE) e dados de cotas máximas do rio Uruguai para mapear áreas de inundação em Itaquari (RS). A metodologia aplicada foi capaz de representar adequadamente o relevo da região e identificar áreas de risco e tendências de aumento das cotas máximas do rio. Integrando esses dados as previsões de cheias realizadas pela Defesa Civil é possível a adotar medidas preventivas, como a retirada de moradores das áreas afetadas. Ainda no RS, o estudo de Menezes et al. (2020) para a cidade de Alegrete (RS) determinou a probabilidade e espacialização das áreas sob ameaça de inundação, considerando a relação entre as cotas do rio Ibirapuitã e as cotas altimétricas do terreno modelado. O trabalho buscou relacionar tempos de retorno, severidade e graus de perigo, contribuindo para a identificação de áreas suscetíveis e fornecendo subsídios para a gestão de riscos.

No Sudeste, Urbani et al. (2023) delimitaram manchas de inundação para períodos de retorno de 10, 25 e 100 anos, com base em simulações hidrológico-hidráulicas calibradas para a Bacia do Córrego do Ipiranga, em São Paulo (SP). Os autores encontraram que mais da metade das residências afetadas são de padrão construtivo baixo e popular, ou seja, o impacto negativo das inundações é maior nessa parcela da população. As manchas simuladas coincidiram em grande parte com áreas previamente mapeadas como suscetíveis

a inundações, evidenciando a relevância dos dados observados para a calibração dos modelos. Em Minas Gerais, Faria e Barbosa (2020) identificaram as áreas inundáveis da Bacia do Alto Sapucaí no município de Itajubá. Os autores observaram que cerca de 65% da área urbana da cidade está suscetível a inundações. A utilização de tecnologias como softwares de processamento de dados Sistema de Informações Geográficas (SIG) permitiram a geração de mapas de inundação, importantes instrumentos para o planejamento urbano e a prevenção de desastres nível municipal.

Em especial a região sudeste se destaca pela magnitude dos danos e prejuízos (Dias et al. 2021), já que concentra uma das maiores percentagens do PIB nacional (IBGE, 2024). A cidade de Santa Rita do Sapucaí, localizada no Sul do estado de Minas Gerais, se desenvolveu em áreas planas, ocupando o leito maior do rio Sapucaí, sem levar em consideração o planejamento urbano e do uso do solo. A cidade está vivenciando um processo intensivo de urbanização. O aumento populacional desencadeia uma série de elementos, como o aumento das áreas impermeabilizadas e a urbanização de áreas propensas a inundações. Isso traz consequências na hidrodinâmica dos cursos d'água, como o aumento das velocidades de escoamento superficial, reduzindo os tempos de picos de enchentes.

Historicamente, a população do município de Santa Rita do Sapucaí convive com as inundações, que, de tempos em tempos, afetam a cidade. Nas últimas décadas, ocorreram 3 grandes episódios de inundações, que datam nos anos de 2000, 2007 e 2011 (SEMAD 2013; Servidoni et al. 2021; Santos et al. 2021). A população sabe que a inundação do rio Sapucaí pode ocorrer a qualquer momento, e por isso existe uma grande preocupação com o monitoramento do rio, que é observado e acompanhado pela Defesa Civil (Santa Rita do Sapucaí, 2024). Outra ferramenta de monitoramento é a régua limnimétrica, instrumento de medida utilizado com a finalidade de monitorar a variação do volume de água dos reservatórios dos corpos d'água. Instaladas no perímetro urbano do município, as régua limnimétricas de Santa Rita do Sapucaí são utilizadas pela população para um monitoramento individual.

Neste contexto, com o objetivo de gerar informações tanto à população quanto aos órgãos governamentais municipais, este estudo apresenta o mapeamento das áreas inundáveis relacionando a régua limnimétrica para as alturas de extravasamento do rio Sapucaí ocorridas nos episódios de inundação vivenciadas na cidade. Para alcançar esse objetivo, o presente estudo aplicou a metodologia desenvolvida no trabalho de Marciano

(2019) para a delimitação das áreas de inundação e para a validação dessas áreas através da referências das marcas históricas dos eventos de inundações dos anos de 2000, 2007 e 2011.

**Material e métodos**

*Área de estudo*

O município de Santa Rita do Sapucaí encontra-se na mesorregião Sul do estado de Minas Gerais, cobrindo uma extensão total de 352,969 km<sup>2</sup> e abrigando uma população estimada de 40.635 habitantes (IBGE, 2024). A região de análise integra a zona urbana da cidade, construída no entorno do curso do rio Sapucaí (Figura 1).

É justamente essa proximidade que expõe a população às consequências das inundações. De acordo com Sarlas (2010), não há uma organização adequada para a ocupação ordenada do perímetro urbano, visto que há um crescente número de imóveis sendo construídos em locais afetados pelas inundações, mesmo com riscos de prejuízos econômicos e sociais.

De acordo com o Plano de Contingência de Enchentes (Santa Rita do Sapucaí, 2024), elaborado pela Coordenadoria Municipal de Defesa Civil (COMDEC) do município, foram contabilizados até 2007, mais de 14 eventos de transbordamento do Rio Sapucaí nos últimos 122 anos. Os eventos mais relevantes ocorridos foram:

- Evento do ano de 2000, atingiu 70% da área urbana e 15% da área rural,

aproximadamente 10.000 pessoas ficaram desabrigadas;

- Evento do ano de 2007, atingiu 50% da área urbana e 10% da área rural, aproximadamente 4.190 pessoas ficaram desabrigadas e;
- Evento do ano de 2011, atingiu 30% da área urbana e 5% da área rural, aproximadamente 2.600 pessoas ficaram desabrigadas.

O monitoramento do nível do rio Sapucaí é feito através de duas estações fluviométricas que estão instaladas na cidade, e também, pela régua limnimétrica que fornece leitura analógica. A régua limnimétrica está instalada na ponte José de Almeida Neves (Figura 1), e é o principal meio de acesso à informação para a população.

A COMDEC é a responsável por esse monitoramento e definiu 3 níveis de vulnerabilidade de inundação conforme Tabela 1.

Acima de 6 m mais de 50% da cidade fica inundada, obstruindo algumas entradas e saídas de rodovias, fazendo com que alguns pontos da cidade fiquem ilhados. A área central da cidade e os bairros margeados pelo rio Sapucaí ficam inundadas. Além disso, alguns bairros sofrem com problemas de drenagem, aumentando a propensão de sofrerem alagamentos.

**Tabela 1 – Níveis de vulnerabilidade de inundação**

<b>Nível</b>	<b>Altura</b>	<b>Proporção</b>	<b>Bairros atingidos</b>
I	5 a 5,5 m	Pequena	Jardim Beira Rio, Fernandes e Maristela
II	5,5 a 6,0 m	Média	Jardim Beira Rio, Fernandes, Maristela e São João.
III	Acima de 6,0 m	Grande	Jardim Beira Rio, Fernandes, Maristela, São João, Jardim das Palmeiras, Osório Machado, Família Andrade e Centro



Figura 1. Mapa de localização da área de estudo, o município de Santa Rita do Sapucaí (MG). Destaque para o trecho do Rio Sapucaí que atravessa a cidade.

#### *Mapeamento de áreas inundáveis*

O mapeamento das áreas inundáveis foi conduzido seguindo a metodologia de Marciano (2019), que consiste na subtração de imagens para criar *rasters* de manchas de inundação. O processo ocorreu em três etapas, executadas por meio de um

programa de Sistema de Informações Geográficas (SIG).

A Figura 2 ilustra as etapas para a criação das manchas de inundação. Na Etapa 1, foi gerado o Modelo Digital de Elevação (MDE) da área de

estudo; na Etapa 2, foram gerados os *rasters* da declividade do rio Sapucaí; e, finalmente, na Etapa 3, foi aplicado um algoritmo entre o MDE e os

*rasters* da declividade, resultando nas manchas de inundação.

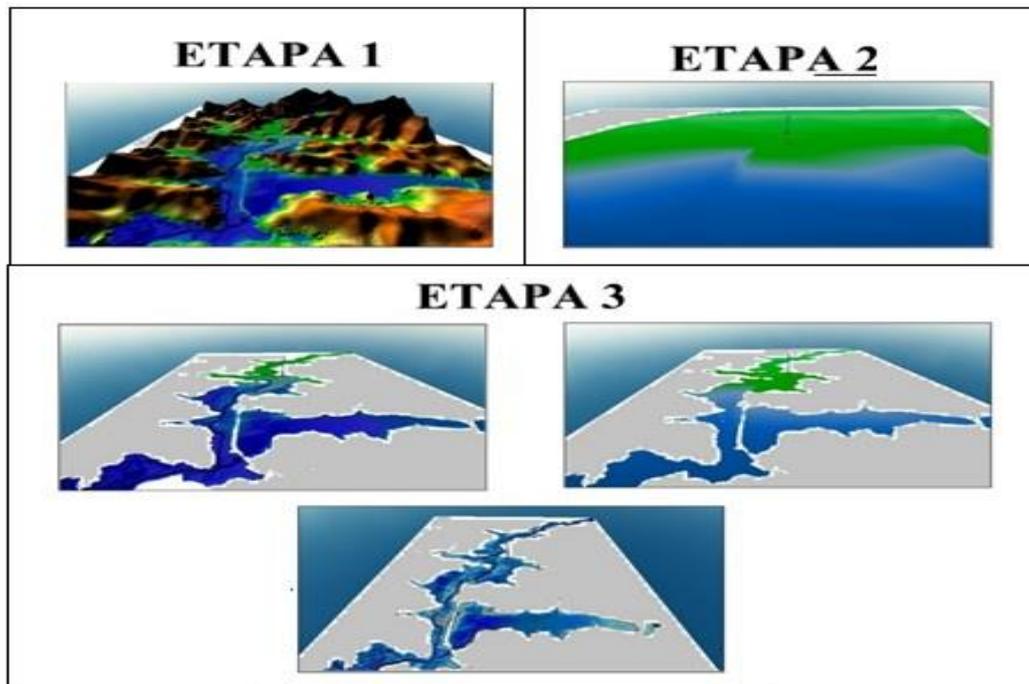


Figura 2. Apresentação das Etapas para geração de mancha de inundação.

Fonte: Marciano, 2019

#### *Etapa 1 – Modelo Digital de Elevação (MDE)*

Para criar o Modelo Digital de Elevação (MDE), foi necessário realizar o levantamento topográfico no período de 2011 a 2020, utilizando a Estação Total modelo Leica TS02 e Receptores GNSS modelo Leica CS09. Esses equipamentos foram utilizados para a coletas de pontos na área de estudo. Mais de 8.000 pontos foram coletados e referenciados ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB).

Os pontos coletados nos levantamentos das seções topobatimétricas seguiram critérios estabelecidos pela Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG (1997), priorizando trechos retilíneos com margens simétricas e evitando alargamentos ou estreitamentos bruscos da seção.

Após coleta, os pontos foram processados no programa *Leica Geo Office 7.0* e corrigidos ortometricamente no programa *MapGeo 2015*. Que uma correção do elipsoide considerando as irregularidades existentes na superfície da Terra, a altitude ortométrica está relacionada ao geoide, que é uma superfície equipotencial gravitacional que coincide com o nível médio dos mares e, por isso, tem uma forma mais acidentada que acompanha o potencial gravitacional do planeta (Severo et al. 2013).

Em seguida, esses pontos foram importados para um programa de SIG, no formato de grade de elevação, resultando na criação do MDE para a cidade de Santa Rita do Sapucaí – MG.

Para preencher as áreas com elevação mais alta, utilizou-se o Modelo Digital de Terreno (MDT) proveniente do satélite ALOS PALSAR (*Advanced Land Observing Satellite, Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar*), que são imagens altimétricas com resolução espacial de 12,5 m, no formato GEO TIFF (*Georeferenced Tagged Image File*), disponibilizados gratuitamente pelo site ASF/NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) (Sabino et al. 2020; Marciano, 2024).

#### *Etapa 2 – Rasters da declividade do rio Sapucaí*

A coleta dos pontos da declividade do trecho do rio Sapucaí foi feita por meio de bote inflável, navegando da estação de captação de água (22° 16' 00.8703" S, 45° 41' 38.9097" W) até a estação de tratamento de esgoto (22° 14' 37.9054" S, 45° 43' 34.1291" W), com o receptor GNSS ligado no modo de coleta cinemática, programado para medir um ponto a cada 10 metros para traçar o trajeto do rio. A Figura 3 mostra o bote inflável coletando o ponto no rio Sapucaí.

O processamento dos pontos seguiu os procedimentos da etapa 1. Os pontos coletados foram importados para um programa SIG como vetor de linha. Com a ferramenta “*Buffer*” foram geradas mais duas linhas em ambos os lados, respeitando os limites da curva de nível de 823 m do MDE, altura considerada não inundada na simulação. Após a criação dessas linhas, foi salvo em arquivo de texto no formato de ENZ (*East, North, Z-elevation*).

Para criação dos *rasters* de declividade foi necessário conhecer as cotas históricas das

inundações, sendo encontradas evidências dos eventos de inundação dos anos 2000, 2007 e 2011. Essas evidências foram encontradas com auxílio da COMDEC e referenciadas ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), estão mostradas na Tabela 2. A Figura 4 mostra a evidência do nível de água atingida na inundação de 2000.

Em seguida foi importado para um programa de SIG, com grade de elevação, criando os *rasters* das declividades das inundações dos anos de 2000, 2007 e 2011.



Figura 3. Coleta dos pontos da declividade do trecho do rio Sapucaí.

**Tabela 2:** Locais com Evidências Históricas

Latitude (m)	Longitude (m)	Altura (m)	Cota (m)	Ano da Inundação	Bairro
22° 15' 49.6125" S	45° 42' 02.7352" W	820,28	2,13	2000	Jardim Santo Antônio
22° 14' 47.0033" S	45° 42' 47.1636" W	820,00	2,37	2000	Fernandes
22° 14' 41.2463" S	45° 42' 29.8725" W	820,00	2,08	2000	Maristela
22° 14' 38.4665" S	45° 42' 38.1777" W	818,96	0,99	2007	Maristela
22° 14' 41.1262" S	45° 42' 30.0025" W	819,09	1,17	2007	Maristela
22° 14' 40.9795" S	45° 42' 30.1703" W	818,15	0,23	2011	Maristela



Figura 4. Marca do nível de água que atingiu na inundação de 2000.

### *Etapa 3 – Algoritmo entre o mapa de declividade e o MDE*

Com a inserção do MDE e do *raster* da declividade em um programa de SIG, procedeu-se aos cálculos para a criação da mancha de inundação. Essa operação envolveu a utilização da ferramenta de cálculo de terreno, dividida em duas etapas, conforme descrito a seguir:

1. Filtragem da altura mínima sobre MDE e o *raster* da declividade;
2. Filtragem da altura máxima sobre o *raster* da declividade e o MDE.

A partir dos resultados dessas filtrações, realizou-se a subtração do resultado da parte 1 com o da parte 2, resultando na mancha de inundação para cada evento simulado. Com a mancha de inundação, foram então calculados a área e o volume inundado para cada evento.

### *Comparação e avaliação das manchas de inundação*

Para avaliar as manchas de inundação foram utilizados: os locais georreferenciados das marcas preservadas das inundações de 2000, 2007 e 2011 (Tabela 2); os resultados encontrados do trabalho de Sarlas (2010) e do Fortes (2012); e o plano de contingência de inundação 2000/2021 (Santa Rita do Sapucaí, 2024). Foi feita comparações do resultado da metodologia do Marciano (2019), que aplicou na cidade de Itajubá,

que está em torno de 50 km do município de Santa Rita do Sapucaí.

Além disso, foi feita análise estatística. As Equações I, II e III expressam a comparação entre as diferenças encontradas das alturas das marcas históricas com as alturas simuladas. A Equação III calcula a proporção da variação dos valores observados em comparação com a variável simulada (Rangel, 2021; Marciano et al. 2024).

$$\begin{aligned}
 SSE &= \sum (y - \hat{y})^2 & \text{I} \\
 SST &= \sum (y - \bar{y})^2 & \text{II} \\
 r^2 &= 1 - \frac{SSE}{SST} & \text{III}
 \end{aligned}$$

Onde, SSE é a soma quadrática do erro; SST é a soma total dos quadrados;  $y$  é o valor observado;  $\bar{y}$  é a média dos valores observados; e  $\hat{y}$  é o valor calculado/simulado.

## **Resultados e discussão**

### *Etapa 1 – Modelo Digital de Elevação*

A Figura 5 mostra o resultado da criação do MDE da área de estudo, com resolução espacial de 1 m. O MDE da área de estudo foi feito a partir dos dados topográficos, dos dados das seções topobatimétricas e dos dados da declividade do rio Sapucaí. Buscou-se representar os detalhes da topografia da cidade, pois eles são importantes no estudo do escoamento. As áreas que possuem

altitudes menores são as áreas de vegetação densa e a calha do rio Sapucaí (Figura 1). Essas áreas vêm sendo aterradas nos últimos anos para novos empreendimentos, devido ao aumento populacional, que na última década aumentou em 10 % (Sarlas, 2010). Percebe-se que a cidade se desenvolveu nas margens do rio Sapucaí. O

crescimento da cidade aconteceu de maneira acelerada e essas áreas urbanas não estavam preparadas para receberem a demanda decorrente dessa urbanização e as consequências foram consideráveis, uma vez que esse desenvolvimento não foi realizado de forma sustentável (Sucupira et al. 2022).

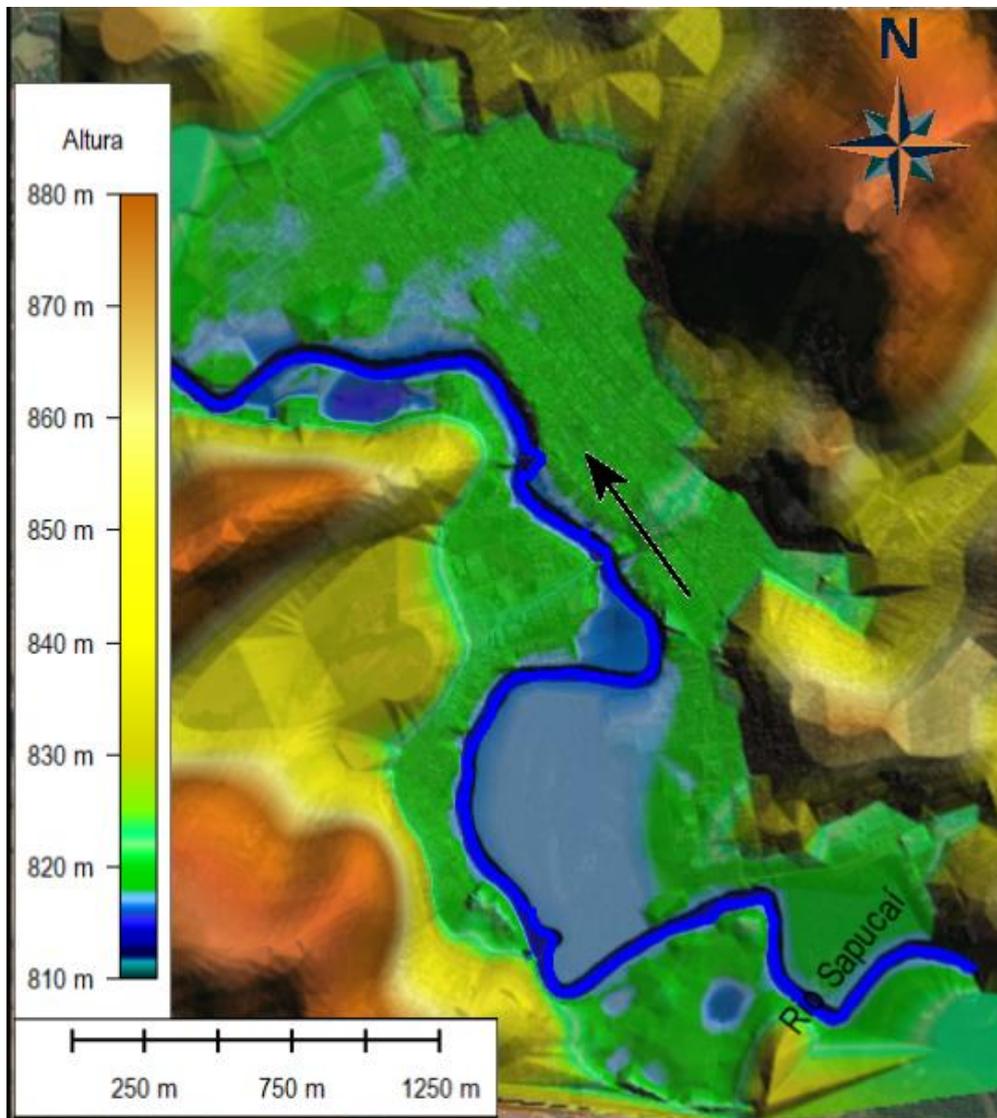


Figura 5 – MDE da área de estudo

**Etapa 2 – Rasters da declividade do rio Sapucaí**

Em termos médios, o rio possui 30 m de largura, podendo ter locais com valores maiores quando está margeado por áreas não urbanizadas. O nível das águas do rio varia de 813,98 m a montante e 812,53 m a jusante, tendo uma declividade média 0,23 m/km, em uma distância de 6.220 m.

Os valores da declividade do rio, dentro da área de estudo, mostram que as maiores declividades se encontram próximas às pontes da cidade (Figura 6). Entre as pontes, a declividade média é de 0,46 m/km, fazendo com que o escoamento seja mais rápido em relação aos outros locais, tornando o rio Sapucaí mais crítico com relação aos impactos relacionados à inundação.

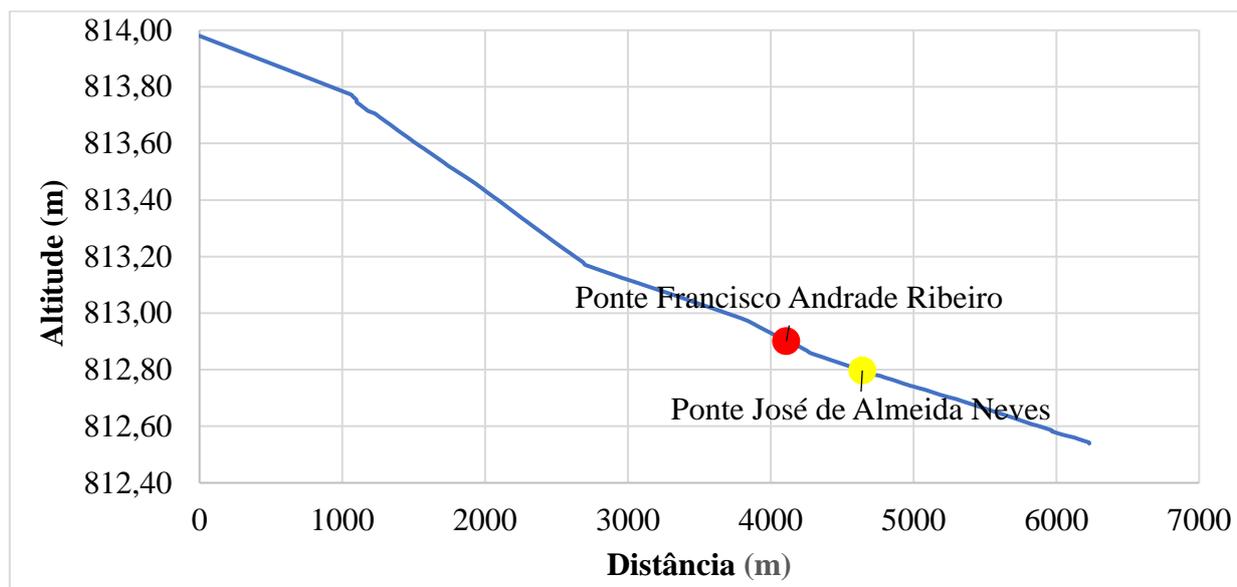


Figura 6 – Declividade do rio Sapucaí na área de estudo.

A Figura 7, mostra o resultado do processo do “*Buffer*” do traçado do rio Sapucaí em ambos os lados, respeitando os limites da curva de nível de 823 m do MDE, que é o limite máximo das inundações, o qual nunca foi atingido.

As seções transversais foram traçadas para acompanhar os pontos das evidências históricas. Esse procedimento foi repetido para os anos de 2000, 2007 e 2011, para a geração dos 3 *rasters* de declividade.

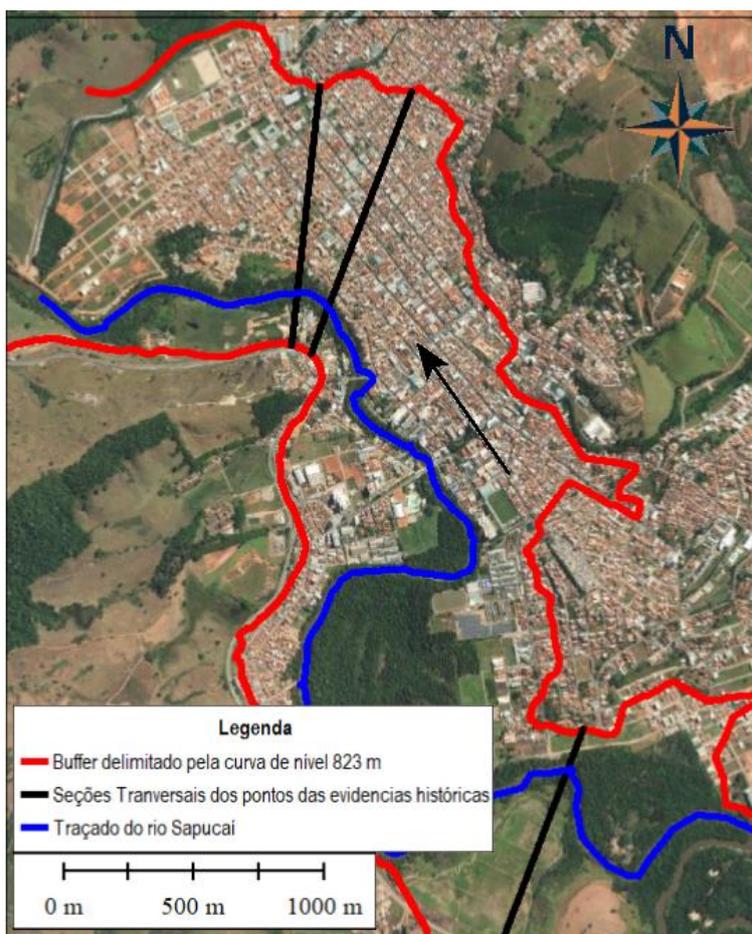


Figura 7 – *Buffer* com delimitação da curva de nível 823m com os traçados das seções transversais da área de estudo.

Após os procedimentos do “*Buffer*”, os dados foram importados para um programa de SIG em formato de grade de elevação, gerando os *rasters* das declividades das inundações dos anos 2000, 2007 e 2011 (Figura 8).

O nível da água na inundação do ano 2000 foi 1,08 m, mais alta do que a inundação do ano 2007, e 2,01 m, mais alta do que a inundação do ano 2011. O evento do ano 2000   uns dos mais

extremos que já houve em Santa Rita do Sapucaí – MG (Martins et al. 2019).

Sarlas (2010), calculou a vazão desse evento de inundação de 2000 em 3200 m<sup>3</sup>/s, com um Tempo de Retorno (TR) de 16.266 anos. O rio Sapucaí subiu 9,70 m em comparação da vazante habitual.

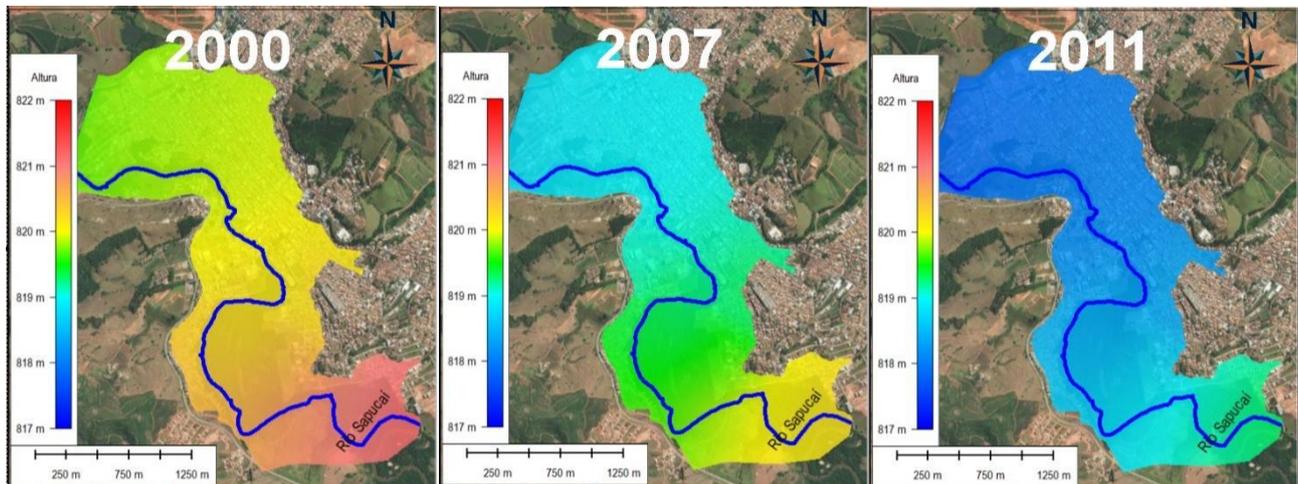


Figura 8 – *Rasters* da declividade dos eventos de inundação ocorridos nos anos de 2000, 2007 e 2011 na cidade de Santa Rita do Sapucaí, MG.

### Etapa 3 – Algoritmo entre os *rasters* de declividade e o MDE

Por meio do cáculo de terreno do programa de SIG, foram feitos os seguintes procedimentos:

I – Com o MDE e com os *rasters* das declividades dos eventos de inundação dos anos de 2000, 2007 e 2011, foram feitas as filtraens da altura mínima, gerando *rasters* com as menores alturas entres eles;

II – Com os *rasters* das declividades dos eventos de inundação dos anos de 2000, 2007 e 2011 e com o MDE foi feita a filtraeng da altura máxima, gerando *rasters* com as maiores alturas entres eles.

Os resultados das partes I e II foram subtraídos, gerando as manchas de inundação. A Figura 9 mostram os resultados das manchas de inundação dos anos 2000, 2007 e 2011.

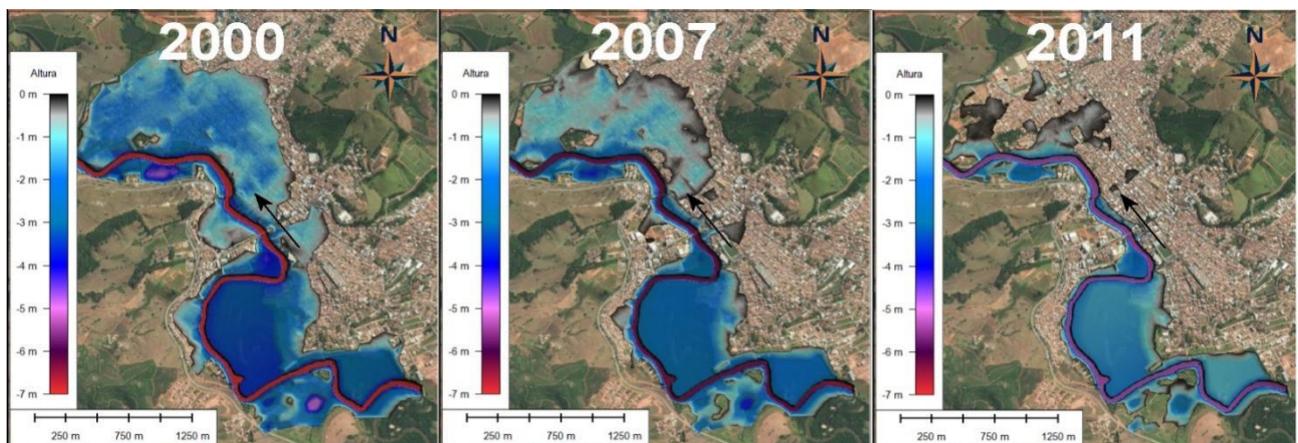


Figura 9 – Mancha de inundação do evento de inundação dos anos 2000, 2007 e 2011 na cidade de Santa Rita do Sapucaí, MG.

A Tabela 3 apresenta as áreas inundáveis e os volumes ocupados pelas águas de cada evento. O evento do ano 2000 teve a maior área inundada. Os eventos dos anos de 2007 e 2011 tiveram respectivamente 17% e 46% menos áreas inundadas do que o evento do ano 2000.

O volume ocupado pelas águas da inundação, nos eventos dos anos de 2007 e 2011 foram 37% e 63 % menores do que o evento do ano de 2000.

A relação entre a área inundada e o volume preenchido pelas águas das inundações do evento do ano 2000, foi delimitado pela topografia encaixada nas partes mais altas da cidade (Figura 5).

A inundação do ano 2000 teve uma relação Área / Volume de 2,06 m, que média a cada 1 m<sup>2</sup> tinha uma altura de 2,06 m de água da inundação. O evento do ano 2011 gerou menos impactos (prejuízos sociais), enquanto os eventos de 2000 e 2007 foram maiores em áreas inundadas e volumes.

**Tabela 3** – Áreas inundáveis e os volumes ocupados pelas águas nas inundações dos eventos dos anos de 2000, 2007 e 2011.

Inundação	Área inundada (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Volume /Área (m)
2000	3.695.485	7.624.750	2,06
2007	3.053.601	4.780.283	1,57
2011	1.998.518	2.795.919	1,40

#### **Etapa 4 – Comparação e avaliação.**

A Tabela 4 apresenta a comparação das altitudes das evidências históricas, com os locais georreferenciados.

Nota-se que a análise estatística teve uma diferença média, menor que 10%, sendo considerada pequena e adequada para a representação das inundações. Porém vale ressaltar que há poucos locais com evidências históricas para comparação, seriam necessários mais locais para uma análise mais qualificada.

A maior diferença (21%) foi no bairro Jardim Santo Antônio, que está localizado próximo a uma curva do rio Sapucaí (Figura 10), o que aumenta a complexibilidade da simulação da inundação pela hidrodinâmica da curva (Luz & Rodrigues, 2020; Paiva & Lima, 2023).

A metodologia de criação de mancha de inundação de Marciano (2019) se mostrou adequadas para o uso no mapeamento de áreas inundáveis.

**Tabela 4** – Comparação das alturas das manchas de inundação com os locais das evidências históricas dos eventos dos 2000, 2007 e 2011.

Latitude (m)	Longitude (m)	Bairro	Altura da evidência histórica (m)	Altura da Simulação (m)	Evento da Inundação
22° 15' 49.6125" S	45° 42' 02.7352" W	Santo Antônio	2,13	2,72	2000
22° 14' 47.0033" S	45° 42' 47.1636" W	Fernandes	2,37	2,23	2000
22° 14' 41.2463" S	45° 42' 29.8725" W	Maristela	2,08	1,98	2000
22° 14' 38.4665" S	45° 42' 38.1777" W	Maristela	0,99	0,93	2007
22° 14' 41.1262" S	45° 42' 30.0025" W	Maristela	1,17	1,11	2007
22° 14' 40.9795" S	45° 42' 30.1703" W	Maristela	0,23	0,27	2011

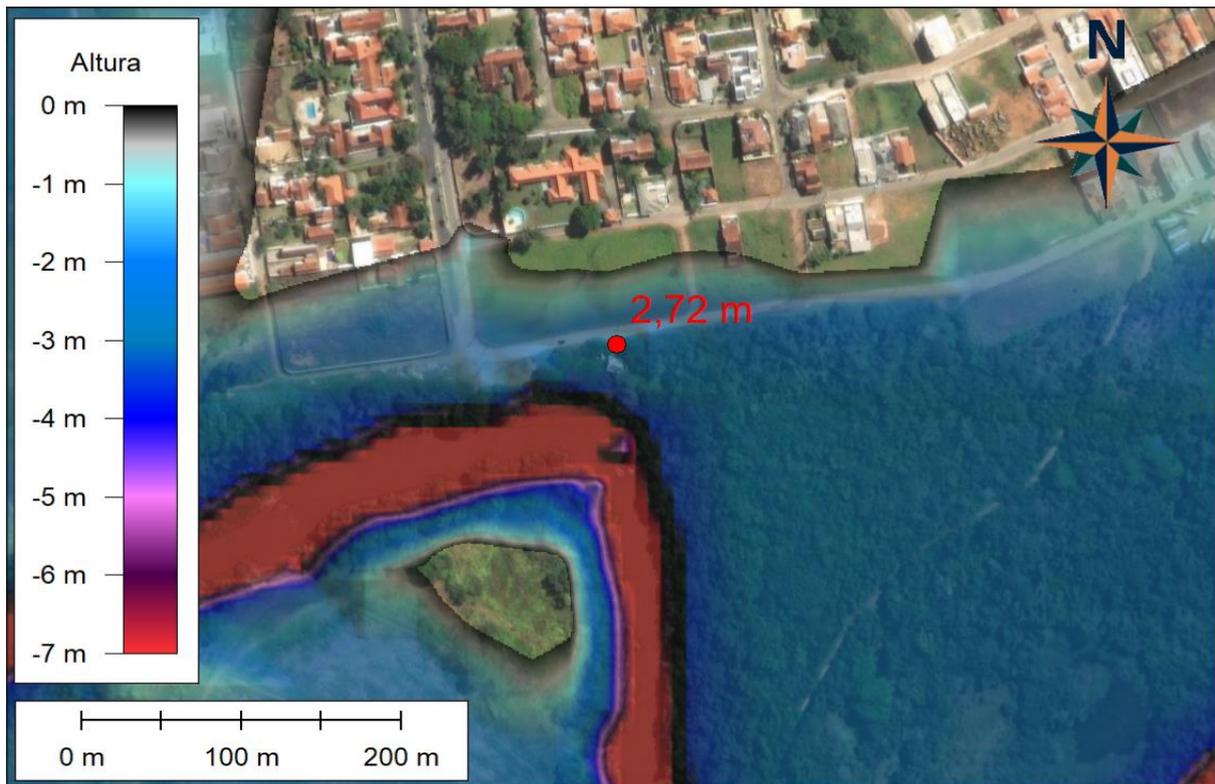


Figura 10 – Mancha de inundação do evento ocorrido em 2000 com a marcação da evidência histórica.

A Tabela 5 apresenta a comparação dos resultados encontrados no trabalho de Sarlas (2010). O autor calculou a vazão da cheia do evento do ano 2000 de 3200 m<sup>3</sup>/s, considerando um tempo de retorno de 16.266 anos, uma área inundável de 4.612.827 m<sup>2</sup> e altitude de inundação de 820,28 m.

A mancha de inundação do trabalho do Sarlas (2010) ocupa a praça da matriz da cidade, porém segundo relato dos moradores, que presenciaram a inundação de 2000, esse local não foi inundado. É possível que a mancha de

inundação do trabalho de Sarlas (2010) esteja superestimando a inundação do ano de 2000.

A explicação das diferenças das áreas, é que o evento simulado do ano 2000, desse estudo, apresenta uma melhor representação da topografia da cidade, visto que buscou representar todos os detalhes e utilizou ferramentas atualizadas para a geração da mancha de inundação. Essa diferença foi considerada alta, pois é 20% maior do que a área simulada nesse trabalho.

**Tabela 5** – Comparação com os resultados do trabalho de Sarlas (2010).

Sarlas (2010)		Simulado		Comparações	
Área (m <sup>2</sup> )	Altitude da inundação (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Altitude da inundação (m)	Diferença das áreas (m <sup>2</sup> )	Diferença das Altitudes (m)
4.612.827	820,28	3.695.485	819,95	917.342	0,33

A Tabela 6 mostra a comparação entre os resultados obtidos nesta pesquisa com os do trabalho de Fortes (2012). O objetivo de Fortes (2012) foi determinar os terrenos marginais na cidade de Santa Rita do Sapucaí de acordo com os tempos de retorno de 2, 3 e 5. Utilizou as altitudes para traçar as manchas de inundação, que foram feitas a partir da seção topobatimétrica da captação de água, localizada na coordenada de latitude 22° 15' 50.7462" S, e longitude 45° 42' 02.9522" W.

A diferença encontrada nas áreas de inundação, pode ser justificada pelo detalhamento da topografia desse trabalho, visto que no trabalho de Fortes (2012) não foi feita a topografia das margens do rio Sapucaí. A diferença encontrada nas altitudes: 817m foi de 2%; 818 m de 13%; e, 818,7 de 15%.

**Tabela 6** – Comparação com os resultados encontrados no trabalho de Fortes (2012).

Altitude (m)	Área inundada (Fortes, 2012) (m <sup>2</sup> )	Área inundada simulada (m <sup>2</sup> )	Diferença (m)
817	1.350.000	1.380.000	30.000
818	1.620.000	1.830.000	210.000
818,70	2.100.000	2.410.000	310.000

No município de Itajubá, que está em torno de 50 km a montante do município de Santa Rita do Sapucaí, Marciano (2019), calculou que o evento de inundação de 2000, atingiu uma cota altimétrica de 847,42 m. Em torno de 8,40 m do nível da vazante habitual do rio Sapucaí, com uma vazão máxima de 390 m<sup>3</sup>/s.

A Tabela 6 mostra a comparação entre os resultados obtidos nesta pesquisa com os do trabalho de Marciano (2019). A área inundada na cidade de Itajubá foi 65 % maior do a área inundada

em Santa Rita do Sapucaí, porém as alturas médias desse evento foram semelhantes, com uma diferença de 0,10 m.

A diferença encontrada nas áreas de inundação, pode ser justificada pelo tamanho da malha urbana de Itajubá, que possui uma população 56% maior do que a população de Santa Rita do Sapucaí. Além disso, a cidade de Itajubá é cortada por 4 rios (rios Sapucaí, José Pereira, Anhumas e Piranguçu) que amplifica a área inundada.

**Tabela 6** – Comparação com os resultados encontrados no trabalho de Marciano (2019).

Inundação evento de 2000	Área inundada (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Volume /Area (m)
Santa Rita do Sapucaí	3.695.485	7.624.750	2,06
Itajubá	10.636.217	20.867.843	1,96

**Régua limnimétrica**

De acordo com o plano de contingência de inundação 2000/2021 (Santa Rita do Sapucaí, 2024), o nível I, iniciaria a uma altura de 5 m, inundando alguns bairros da cidade. Nesse trabalho, a inundação se iniciaria com 7 m, nos bairros Família Andrade, Jardim Beira Rio e Ozório Machado. Essa diferença na altura de início da inundação pode ser explicada pela problemática da drenagem urbana do município, que não consegue suportar o volume de precipitação alagando algumas ruas dos bairros (Fernandes e

Maristela). Esse alagamento não ocorre pelas águas do rio Sapucaí, mas pelas águas das precipitações que não foram drenadas ou por outro curso d’água urbano.

A Figura 11 mostra a representação gráfica da régua limnimétrica na ponte José de Almeida Neves, a foto foi tirada em 11 de novembro de 2020. A partir da altura 7 m da régua, as águas já ocupam a calha secundária da seção topobatimétrica da ponte José de Almeida Neves. A inundação do evento do ano 2000, atingiu a altura de 9,98 m, encobrendo parcialmente a ponte.

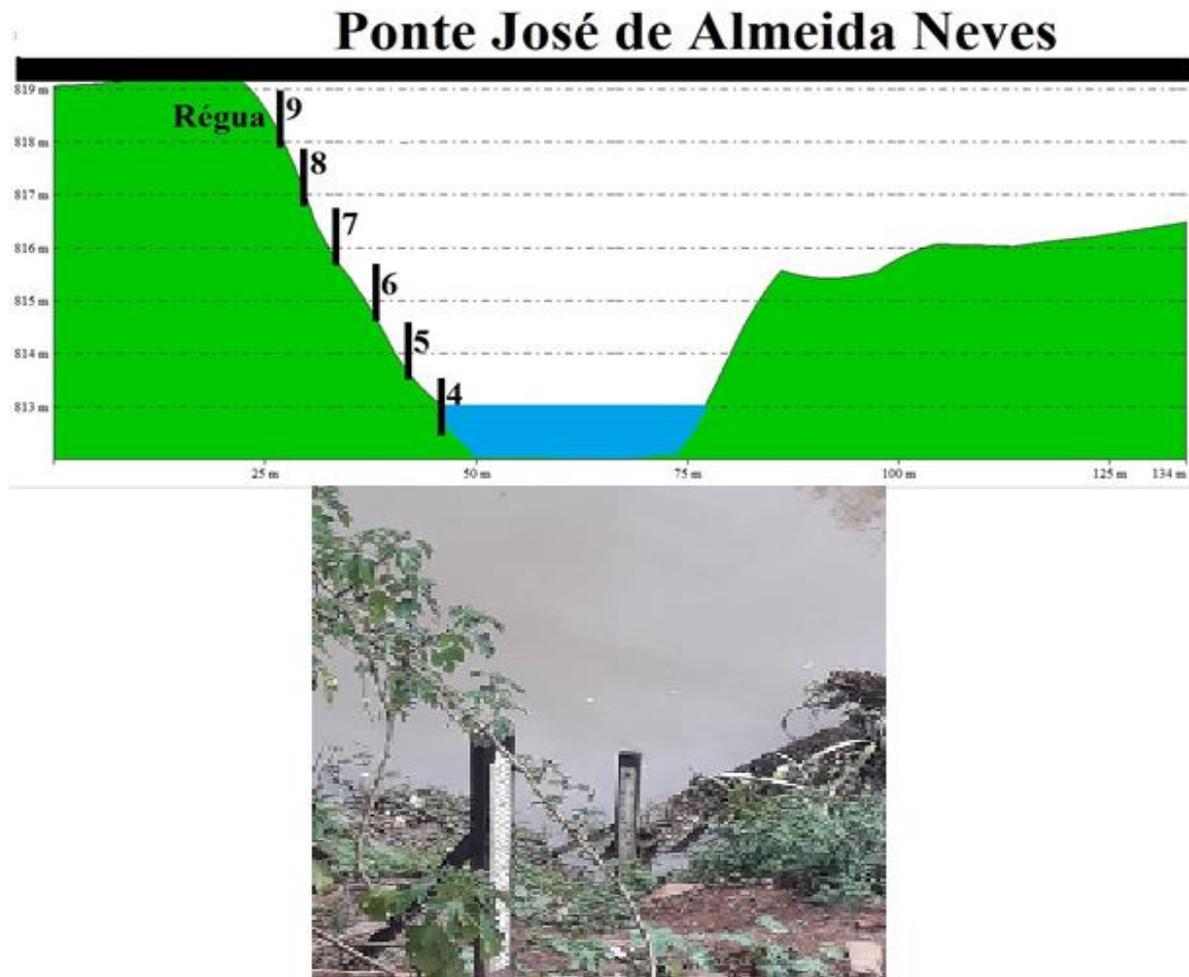


Figura 11 – Gráfico e imagem da seção topobatimétrica da régua limnimétrica.

As Figuras 12, 13 e 14 mostram os resultados das manchas de inundação e das alturas em metros da régua limnimétrica.

A Figura 12 mostra a localização da régua e a mancha de inundação na altura da régua limnimétrica de 7 m. A inundação não atinge as casas, em alguns trechos do rio Sapucaí há transbordamento, a cidade fica em estado de atenção e alerta em caso de haver aumento da vazão do rio Sapucaí

A Figura 13 mostra a localização da régua e a mancha de inundação na altura da régua

limnimétrica de 8 m. A inundação atinge algumas casas próximas ao rio Sapucaí, a cidade está em estado de emergência para o evento de inundação. Essa área inundada corresponde a um tempo de retorno de 3 anos.

A Figura 14 mostra a localização da régua e a mancha de inundação na altura da régua limnimétrica de 9 m. A inundação atinge cerca de 30% da zona urbana da área de estudo. A altura dessa mancha de inundação está 0,98 m abaixo da altura registrada pelo evento de inundação do ano de 2000.

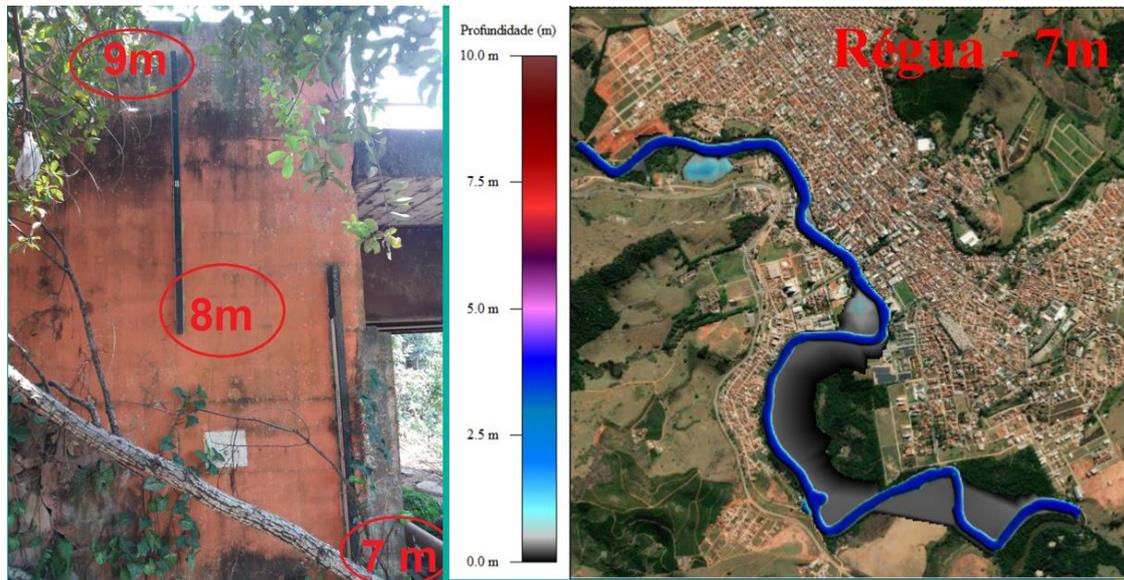


Figura 12 – Foto da régua limnimétrica com a mancha de inundação na altura de 7 m.

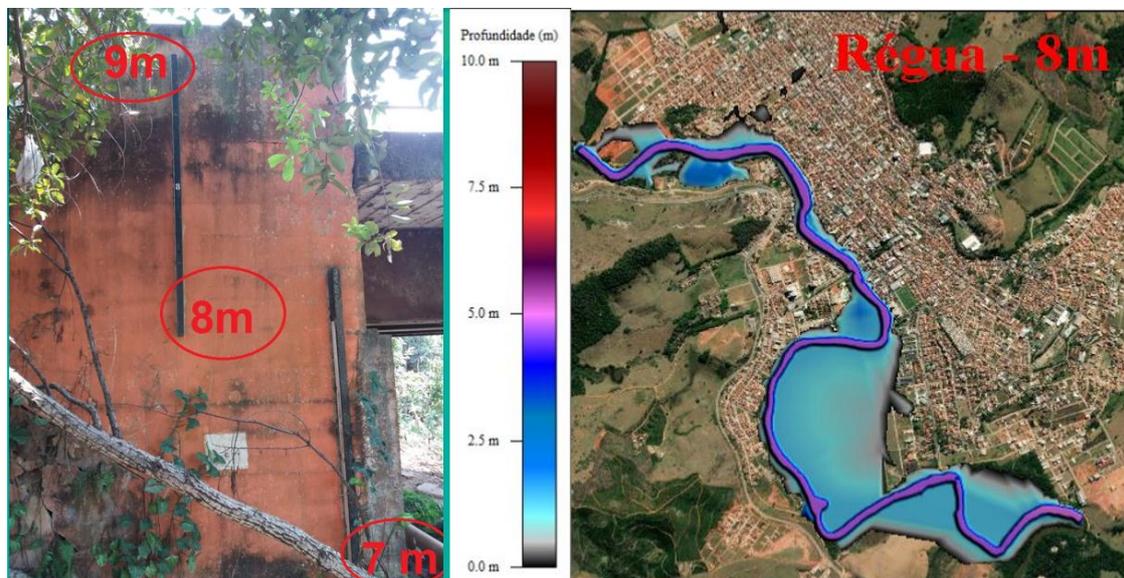


Figura 13 – Foto da régua limnimétrica com a mancha de inundação na altura de 8 m.

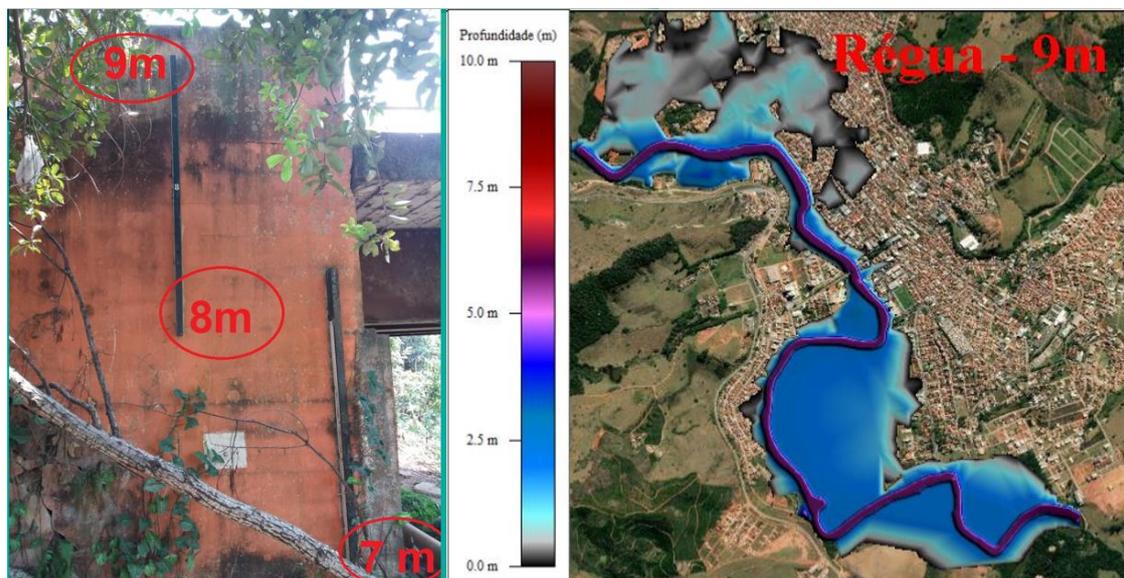


Figura 14 – Foto da régua limnimétrica com a mancha de inundação na altura de 9 m

## Conclusões

As manchas de inundação geradas por um SIG, necessitam de dois tipos de informações para serem construídas, a topografia e a declividade do curso d'água. Esses dados são onerosos e demandam tempo para serem coletados, e são os responsáveis pela maior parte dos erros na simulação. Os atuais SIGs possuem alta capacidade para geração de superfície topográfica, porém necessita de dados de entrada de qualidade e um conhecimento amplo do usuário para se ter bons resultados.

A metodologia de mapeamento das áreas inundáveis proposta por Marciano (2019), se mostrou eficiente para análise de eventos de inundação, principalmente em partes retilíneas do curso d'água. Já para trechos, caracterizados por curvas, a imprecisão aumenta devido à complexibilidade hidrodinâmica do curso d'água. O erro médio foi de 10% da altura atingida por um evento de inundação, sendo considerado adequado pelo tamanho da área de estudo.

Em comparação com outros métodos de mapeamento das áreas inundáveis, se mostrou coerente, pois as áreas inundadas foram geradas com maiores números de dados topográficos, sendo semelhantes em alguns aspectos com as encontradas na literatura. Pelas comparações com as marcas das evidências históricas das inundações dos eventos dos anos de 2000, 2007 e 2011, foram consideradas semelhantes, devido ao erro médio ser de apenas 0,10 m, propiciando maior credibilidade na simulação.

Os mapas de inundações gerados revelam que os impactos causados por uma eventual inundação, semelhante à inundação do ano de 2000, teriam impactos maiores. Teoricamente atingiria mais de vinte mil edificações, devido aos aterramentos nos últimos anos para novos empreendimentos em áreas suscetíveis de inundação. Isso é amplificado pela baixa frequência das inundações, fazendo com que a população supere os traumas, ganhe confiança e despreze a ameaça.

A régua limnimétrica é um importante instrumento para o monitoramento do rio para a população, mesmo sendo uma ferramenta ultrapassada. Nos dias atuais, já existem monitoramentos mais precisos e de fácil acesso para a população, como monitoramento automático. Porém, na maioria das vezes essa informação não é passada para a população, fazendo com que as pessoas recorram às velhas ferramentas, como a régua limnimétrica.

Esse estudo traz um complemento da régua limnimétrica para a população usar em um evento

de inundação. Contudo o objetivo desse estudo de gerar informações tanto à população quanto aos órgãos governamentais municipais, foi atingido. Com esses mapas de inundações relacionando a régua limnimétrica, a população do município de Santa Rita do Sapucaí, podem antever o desastre em um determinado evento de inundação.

Os resultados apresentados têm o potencial de indicar trechos de rio com maiores probabilidade de inundações. Estes trechos merecem atenções e alguma intervenção da engenharia hidráulica, a fim de evitar que há aumento dos impactos em uma eventual inundação.

## Agradecimentos

Os autores agradecem aos técnicos da Defesa Civil do município de Santa Rita do Sapucaí - MG, pela assistência e apoio durante o trabalho de campo, especialmente à Engenheira Thais Oliveira Ribeiro, e ao Instituto de Recursos Naturais da Universidade Federal de Itajubá. A segunda autora agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de doutorado.

## Referências

- Basri, H. Syakur, S. Azmeri, A. & Fatimah, E. (2022). Floods and their problems: Land uses and soil types perspectives. In IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science* (Vol. 951, No. 1, p. 012111). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/951/1/012111>.
- Borba, E. A. (2020). *Análise das áreas de inundação na região sudeste da cidade de Pato Branco-PR*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2020. <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/27488>.
- Carvalho Gama, K. N., de Barros, A. J., Laudares, S., Totaro, J. H. R., & de Paula, G. A. (2019). Processos de urbanização: Avaliação dos ricos de inundação de áreas ribeirinhas do rio piracicaba em área do bairro Santa Cruz e centro industrial, município de João Monlevade-mg. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, (7), 21. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8930050.pdf>.
- CEMIG. Companhia Energetica de Minas Gerais. (1997). Departamento de Planejamento Energético. Especificações técnicas para levantamentos topobatimétricos e cadastro de marcas de cheias. *Potamos Engenharia e*

- Hidrologia Ltda*, 18 p, 1997. <https://www.potamos.com.br/>.
- CEPED - UFSC. (2024). *Atlas Digital de Desastres no Brasil*. <http://atlasdigital.mdr.gov.br/#>.
- Costa, A. M., de Oliveira, N. E. G., de Barros Leal, V. F., Molena, C., Melillo, R. C. S., & Soares, E. R. (2022). Análise das áreas com risco de inundações urbanas e escorregamentos de terra em três bairros do município de Jundiá/SP. *South American Sciences*, 3(1), e22158-e22158. <https://doi.org/10.52755/sas.v3i1.158>.
- Decina, T. G. T., & Brandão, J. L. B. (2016). Análise de desempenho de medidas estruturais e não estruturais de controle de inundações em uma bacia urbana. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 21, 207-217. <https://doi.org/10.1590/S1413-41520201600100116134>.
- Dias, M. B., Galina, N. R., & Alves, C. N. (2021). Mapeamento da suscetibilidade a inundações em áreas urbanas: estudo de caso no município de Marabá, Sudeste do estado do Pará, Região Norte do Brasil. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 12(6), 347-359. <https://www.sustenere.co/index.php/rica/article/view/5684>.
- Duarte, T. L. S., Santos, G. C., & Castelhana, F. J. (2021). Eventos de chuvas extremas associados aos riscos de inundações e de alagamentos em Aracaju, Sergipe. *GEOSABERES: Revista de estudos geoeeducacionais*, 12, 256-273. <https://doi.org/10.26895/geosaberes.v12i0.1089>.
- Estadão. (2024). *Chuvas no RS: entenda a maior tragédia climática do Estado em 5 pontos*. <https://www.estadao.com.br/sustentabilidade/chuvas-no-rs-a-maior-tragedia-climatica-do-estado-em-5-pontos-nprm/>.
- Faria, C. E. T., & Barbosa, A. A. (2020). Machas de inundações no município de Itajubá-MG. *ForScience*, 8(2), e00594-e00594. <https://doi.org/10.29069/forscience.2020v8n2.e594>.
- Farias, A., & Mendonça, F. (2022). The Urban Environmental System perspective on socio-environmental risks of urban flooding. *Sociedade & Natureza*, 34, e63717. <https://doi.org/10.14393/SN-v34-2022-63717>.
- Feng, B., Zhang, Y., & Bourke, R. (2021). Urbanization impacts on flood risks based on urban growth data and coupled flood models. *Natural Hazards*, 106(1), 613-627. <https://doi.org/10.14393/SN-v34-2022-63717>.
- Fortes, L. R. (2014). *Delimitação da linha média das enchentes ordinárias e linha limite dos terrenos marginais (Decreto-lei Nº 9760) para a área urbana de Santa Rita do Sapucaí - MG*. Trabalho Final de Graduação do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Itajubá. <https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/handle/123456789/63>.
- Handayani, W., Chigbu, U. E., Rudiarto, I., & Putri, I. H. S. (2020). Urbanization and Increasing flood risk in the Northern Coast of Central Java—Indonesia: *An assessment towards better land use policy and flood management*. *Land*, 9(10), 343. <https://doi.org/10.3390/land9100343>.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2024). *Santa Rita do Sapucaí*. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/santa-rita-do-sapucaí/panorama>.
- Luz, R. A., & Rodrigues, C. (2020). O processo histórico de ocupação e de ocorrência de enchentes na planície fluvial do rio Pinheiros de 1930 até os dias atuais. *GEOUSP Espaço e Tempo (Online)*, 24(2), 340-360. <https://doi.org/10.11606/ISSN.2179-0892.GEOUSP.2020.164499>.
- Maillard, P., Gomes, M. F., Pôssa, É. M., & Paula, R. S. D. (2022). Desafios na delimitação de planície de inundações usando o conceito de “linha média de enchentes ordinárias” usando sensoriamento remoto no Brasil: um estudo de caso no Rio São Francisco. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 27, e5. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.272220210110>.
- Marciano, A. G. (2019). *Modelagem Hidrodinâmica com a integração do mapeamento das inundações do rio Sapucaí do município de Itajubá/MG*. Dissertação de mestrado, Engenharia Hídrica, Universidade Federal de Itajubá. 2019. <https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/handle/123456789/1968>.
- Marciano, A. G., Assireu, A. T., Azevedo, S. C. D., Silva, B. C. D., Abreu, A. T. D., & Nalini Júnior, H. A. (2024). Mudanças intensas na morfologia da confluência impulsional por um pulso hidrológico extremo: impactos na restauração do Rio Doce. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 29, e9. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.292420230139>.
- Martins, C. M. S., Silva, B. C., & Pons, N. A. D. (2019). Estimativa de cheias em bacias hidrográficas com base em previsões de precipitação por conjunto. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12(5), 1713-1729. <https://www.academia.edu/download/69859795/34018.pdf>.
- Menezes, D. J., de Souza Robaina, L. E., & Trentin, R. (2020). Estudo das inundações na cidade de

- Alegrete, Rio Grande do Sul: Probabilidade e espacialização do perigo. *Caminhos de Geografia*, 21(74), 213-225. <https://doi.org/10.14393/RCG217450113>.
- Menezes, R. N., Teixeira, V. A. P., & Schröder, L. G. (2023). *Relação entre saneamento básico e saúde pública*. Rede de Ensino Doctum-Dom Orione. Graduação em Engenharia Civil. Unidade Itamar Franco JF. <http://hdl.handle.net/123456789/4608>.
- Monteiro, A., & Madureira, H. (2020). Ventos fortes e temperaturas excepcionais: riscos para a sociedade. *Catástrofes Naturais: Uma abordagem global*. <https://hdl.handle.net/10216/126175>.
- Neves, M. G. F. P. & Tucci, C. E. M. (2008). Resíduos sólidos e drenagem urbana: estudo de caso. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 13, n.4, p 43-54. <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/230265/000714947.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Paiva, R. C. D. D., & Lima, S. G. (2023). Modelo simplificado de atenuação de ondas de cheia. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (25.: 2023: Aracaju). Anais (recurso eletrônico). Porto Alegre: *ABRHidro*, 2023. <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/270810/001189532.pdf?sequence=1>.
- Paixão, C. C., Vieira, A. P. D. S. D., & Malutta, S. (2022). Medidas estruturais e não estruturais de drenagem urbana em Paranaguá/PR Structural and not structural methods implanted to contain floods in Paranaguá/PR. *Brazilian Journal of Development*, 8(4), 28728-28748. <https://scholar.archive.org/work/djp5yt76vjd5dbyvqeqm6tlvhq/access/wayback/https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/download/46798/pdf>.
- Perrut, R. H. P., & Brito, L. A. T. (2022). Cartografia Rápida: uma Abordagem das Principais Variáveis nos Desastres de Inundação e Modelagem Conceitual da Consciência Situacional. *Revista Brasileira de Cartografia*, 74(2). <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/download/63303/33935>.
- Pessôa, V. M. M., Cecagno, C. F., Camargo, D. M. D., & Marques, M. L. (2022). Contribuição de Aspectos Naturais e Antropogênicos para Análise do Perigo à Inundação em Campinas-SP. *Revista Brasileira de Cartografia*, 74(1), 100-121. <https://doi.org/10.14393/revbrascartogr>.
- Prasetyo, K. (2022). Flash Flood Disaster Mitigation Through Environmental Education. *Geomatics and Environmental Engineering*, 16(4), 119-134. <https://doi.org/10.7494/geom.2022.16.4.119>.
- Rangel, L. C., Junior, J. L., Telles, W. R., Silva, S. V., & da Silva Neto, A. J. (2021). Levantamento das abordagens de modelagem matemática ou modelagem computacional para o estudo e avaliação de mitigação de inundações em áreas urbanas. *Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego*, 15(2), 03-18. <https://doi.org/10.19180/2177-4560.v15n22021p03-18>.
- Rangel, B. D. Á. (2021). *Comportamento morfológico no delta do rio Magdalena (Colômbia) devido as variações da vazão em escala intra e interanual*. Tese de doutorado. Programa de engenharia oceânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. [https://w1files.solucaoatrio.net.br/atrio/ufrj-peno\\_upl/THESIS/10002785/doutorado\\_borisa\\_vila\\_20220304081600403.pdf](https://w1files.solucaoatrio.net.br/atrio/ufrj-peno_upl/THESIS/10002785/doutorado_borisa_vila_20220304081600403.pdf).
- Sabino, H., Vasques, G. M., Hermani, L. C., & Dart, R. O. (2020). Morfometria de bacias hidrográficas de primeira ordem em áreas agrícolas sob sistema plantio direto: delimitação e propensão à erosão e inundação. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 21(3). <https://doi.org/10.20502/rbg.v21i3.1770>.
- Santa Rita do Sapucaí. (2024). *Plano de Contingência de Enchentes*, Coordenadoria Municipal de Defesa Civil do município de Santa Rita do Sapucaí -MG. <https://pmsrs.mg.gov.br/category/noticias/obras/defesa-civil/>.
- Santos, C. A. Adorno, C. F. D. C. B. & Araujo, R. A. (2021). Análise do Meio Físico como subsídio à definição de diretrizes em Planos Diretores Municipais no Sul de Minas Gerais. *Caderno de Geografia*, v. 31, n. 2, p. 313-313. <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2021v31nesp2p313>.
- Sarlas, T. L. B. (2010). *Elaboração de Manchas de Inundação para o Município de Santa Rita do Sapucaí / MG, Utilizando SIG*. Dissertação de Mestrado em Engenharia da Energia, Universidade Federal de Itajubá. <https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/handle/123456789/1499>.
- SEMAD. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. (2013). *Atlas de Vulnerabilidade a Inundações*. Belo Horizonte, P. 34. 2013. <http://www.meioambiente.mg.gov.br/noticias/13-informativo/2284-atlas-de-vulnerabilidade-a-inundacoes>.
- Servidoni, L. E. Ayer, J. E. B. Estella, P. V. M. Oliveira, G. H. & Mincato, R. L. (2021). Atributos morfométricos e hidrológicos da

- Bacia Hidrográfica do Alto Sapucaí, Minas Gerais. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 41, p. e169817-e169817. <https://doi.org/10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2021.169817>
- Severo, T. C., Souza, S. F. D., Matsuoka, M. T., & Gehlen, A. K. (2013). Estudo das correções gravimétricas para altitudes físicas aplicadas aos desníveis da RAAP. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 19, 472-497. <https://doi.org/10.1590/S1982-21702013000300008>.
- Silva, R. M, Moreira, V. S, Lopes, A. B., Araújo, P. V. N., & Cortes, A. F. (2020). Proposta Metodológica de Alta Acurácia para Delimitação de Áreas de Inundação Urbana: Um Estudo de Caso em Itaqui-RS, Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências*, 43(2). [https://www.researchgate.net/profile/Paulo-Araujo-30/publication/343806628\\_Proposta\\_Metodologica\\_de\\_Alta\\_Acuracia\\_para\\_Delimitacao\\_de\\_Areas\\_de\\_Inundacao\\_Urbana\\_Um\\_Estudo\\_de\\_Caso\\_em\\_Itaqui-RS\\_Brasil/links/5f469fa3a6fdcc14c5c5e120/Proposta-Metodologica-de-Alta-Acuracia-para-Delimitacao-de-Areas-de-Inundacao-Urbana-Um-Estudo-de-Caso-em-Itaqui-RS-Brasil.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Paulo-Araujo-30/publication/343806628_Proposta_Metodologica_de_Alta_Acuracia_para_Delimitacao_de_Areas_de_Inundacao_Urbana_Um_Estudo_de_Caso_em_Itaqui-RS_Brasil/links/5f469fa3a6fdcc14c5c5e120/Proposta-Metodologica-de-Alta-Acuracia-para-Delimitacao-de-Areas-de-Inundacao-Urbana-Um-Estudo-de-Caso-em-Itaqui-RS-Brasil.pdf).
- Silva, A. M., Pereira, C. E. R. F., & Alves, R. M. (2023). Impacto das inundações nas cidades: Caso do município de Duque de Caxias. *Simpósio Nacional de Gestão e Engenharia Urbana*, v. 4, n. 00. <https://doi.org/10.46421/singurb.v4i00.3619>.
- Sucupira, A. A. M., de Andrea, T. R. L., & Okawa, C. M. P. (2022). Renaturalização de rios: um caminho à sustentabilidade Urbana. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 11, 306-322. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v11e02022306-322>.
- Tabari, H. (2020). Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. *Scientific reports*, v. 10, n. 1, p. 13768. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70816-2>.
- Tabucanon, A. Kurisu, K. & Hanaki, K. (2021). Assessment and mitigation of tangible flood damages driven by climate change in a tropical city: Hat Yai Municipality, southern Thailand. *Science of The Total Environment*, v. 789, p. 147983. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147983>.
- Tin, D., Cheng, L., Le, D., Hata, R., & Ciottone, G. (2024). Natural disasters: A comprehensive study using EMDAT database 1995–2022. *Public health*, 226, 255-260. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2023.11.017>.
- Toneli, C. Z. (2022). Mapa de áreas prioritárias para florestas urbanas. In *9º Congresso Florestal Brasileiro*, Vol. 1, No. 1, pp. 675-678. <https://doi.org/10.55592/CFB.2022.1981875>.
- Tucci, C. E. (1997). *Água no meio urbano. Águas Doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação*, v. 2, p. 475-508. [https://www.academia.edu/download/57731503/aguano meio\\_urbano.pdf](https://www.academia.edu/download/57731503/aguano meio_urbano.pdf).
- Tucci, C. E. (2003). Drenagem Urbana. *Ciência e Cultura*. São Paulo, v. 55, n. 4. [http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=s0009-67252003000400020](http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0009-67252003000400020).
- Tucci, C.E. (2012). Hidrologia: Ciência e Aplicação. *Editora da Universidade/UFGRS* Porto Alegre-RS, 943 p. <https://scholar.google.com/scholar?cluster=17158111481932112747&hl=en&oi=scholar>.
- UN OCHA. (2020). *Data Responsibility in Public-Private Partnerships*. United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs. <https://centre.humdata.org/guidance-note-data-responsibility-in-public-private-partnerships>.
- Urbani, G. L., Graciosa, M. C. P., & Brambila, M. C. V. (2023). Delimitação de manchas de inundação na bacia do Corrego do Ipiranga, São Paulo - SP, Brasil, com modelagem hidrologico-hidraulica utilizando HEC-HMS/HEC-RAS. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 20. <https://dx.doi.org/10.21168/rega.v20e13>.
- Wing, O. E. J. Pinter, N. Bates, P. D. & Kousky, C. (2020). New insights into US flood vulnerability revealed from flood insurance big data. *Nature communications*, v. 11, n. 1, p. 1444. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15264-2>.
- Zhou, Q. Leng, G. Su, J. & Ren, Y. (2019). Comparison of urbanization and climate change impacts on urban flood volumes: Importance of urban planning and drainage adaptation. *Science of the Total Environment*, v. 658, p. 24-33. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.184>