

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA  
- CAMPUS PATOS  
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**LUCAS CANDEIA PORTO**

**ANÁLISE DE RISCO CONSIDERANDO MECANISMOS DE INSTABILIDADE  
HUMANA EM TRECHO URBANO DA BACIA DO RIO ESPINHARAS**

**PATOS – PB  
2025**

**LUCAS CANDEIA PORTO**

**ANÁLISE DE RISCO CONSIDERANDO MECANISMOS DE INSTABILIDADE  
HUMANA EM TRECHO URBANO DA BACIA DO RIO ESPINHARAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado em cumprimento às exigências para conclusão do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal da Paraíba, Campus Patos, para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Me. Yuri Tomaz Neves

**PATOS - PB  
2025**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CAMPUS PATOS/IFPB

P853a Porto, Lucas Candeia.  
Análise de risco considerando mecanismos de instabilidade humana em trecho urbano da bacia do rio Espinharas / Lucas Candeia Porto. - Patos, 2025.  
44 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Bacharelado em Engenharia Civil)-Instituto Federal da Paraíba, Campus Patos-PB, 2025.

Orientador(a): Prof. Me. Yuri Tomaz Neves.

1. Inundações urbanas-Patos 2. Crescimento urbano desordenado 3. Modelagem hidrológica I. Título II. Neves, Suelyn Yuri Tomaz III. Instituto Federal da Paraíba.

CDU – 502.58:556.166

**LUCAS CANDEIA PORTO**

**ANÁLISE DE RISCO CONSIDERANDO MECANISMOS DE INSTABILIDADE  
HUMANA EM TRECHO URBANO DA BACIA DO RIO ESPINHARAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado em cumprimento às exigências para conclusão do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal da Paraíba, Campus Patos, para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Me. Yuri Tomaz Neves

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_. Por:

---

Orientador: Me. Yuri Tomaz Neves

---

Examinador Interno: Me. Diego de Paiva Bezerra

---

Examinadora Externa: Me. Lysanne Souza de Moura

**PATOS - PB  
2025**

*“O homem não teria alcançado o possível se, repetidas vezes, não tivesse tentado o impossível.”*  
**(Max Weber)**

Dedico este TCC aos meus pais, que nunca mediram esforços para fazer da educação a base da minha formação. Seu amor e sua fé são meu guia para alcançar tudo na vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, por sempre me guiar em cada passo da minha jornada e me conceder força para enfrentar os desafios ao longo do caminho.

Aos meus familiares, meu mais profundo agradecimento por todo o apoio incondicional e pelo esforço incansável para que eu pudesse chegar até aqui. Em especial, aos meus pais, Adeilton Porto e Ana Lúcia Candeia, que, com dedicação e trabalho árduo, sempre investiram e acreditaram na educação como o melhor caminho para o meu futuro.

Aos meus irmãos, Anderson Candeia e João Luis Candeia, que estiveram ao meu lado nos momentos difíceis, oferecendo apoio, incentivo e companheirismo, sou muito grato por ter vocês ao meu lado.

Aos meus amigos, que foram essenciais para servir de incentivo e apoio para que eu pudesse suportar a jornada com mais leveza e alegria.

Aos professores do Curso de Engenharia Civil, que tiveram um papel essencial na minha formação acadêmica e profissional, e que também contribuíram para meu crescimento pessoal diante das adversidades.

Ao meu orientador, Me. Yuri Tomaz, que é uma grande inspiração para mim, tanto como professor, pelo seu comprometimento e excelência, quanto como ser humano, pela amizade sincera construída ao longo do curso.

Aos amigos que conquistei durante essa jornada acadêmica, a presença e o apoio de vocês foram fundamentais para minha trajetória, tornando esse percurso mais leve e enriquecedor.

## RESUMO

O crescimento urbano desordenado dos últimos anos tem ampliado significativamente as superfícies impermeáveis, uma das consequências é a intensificação de eventos hidrológicos extremos, como enchentes e inundações, representando um risco elevado para populações estabelecidas nas margens do rio. Nesse contexto, a influência da onda de cheia em cenários de inundação, aliada à perda de equilíbrio dos indivíduos em meio ao fluxo, pode resultar em danos irreversíveis para as populações expostas a áreas inundáveis. Diante desse cenário, este estudo tem como objetivo realizar o mapeamento de áreas de risco a tombamento e deslizamento de pessoas em um trecho urbano da bacia do rio Espinharas, localizada em Patos-PB. A metodologia adotada inclui a modelagem hidrológica utilizando o software HEC-HMS 4.12 e a modelagem hidrodinâmica com o HEC-RAS 6.6, permitindo a simulação de eventos extremos e a avaliação dos impactos na população local. O estudo delimitou áreas de risco com potencial de tombamento e deslizamento de pessoas, considerando diferentes perfis etários (adultos e crianças). Os resultados indicaram que até 26,6% das áreas inundáveis apresentam risco de instabilidade para adultos, enquanto 38,8% das áreas representaram riscos para crianças. Esses achados evidenciaram que zonas estratégicas da cidade estão suscetíveis a riscos elevados, ressaltando a necessidade de medidas preventivas para mitigar os impactos das inundações. Além disso, a diferenciação entre os perfis etários demonstra um impacto significativo na definição das zonas de risco, reforçando a importância de abordagens específicas na gestão urbana e na formulação de estratégias de proteção.

**Palavras-chave:** Inundações, Modelagem Computacional, Rio Espinharas, Mapas de Risco, Gestão Urbana.

## ABSTRACT

The unplanned urban growth in recent years has significantly increased impervious surfaces, leading to the intensification of extreme hydrological events such as floods and flash floods, posing a serious threat to populations settled along riverbanks. In this context, the influence of flood waves in inundation scenarios, combined with the loss of balance by individuals within the flow, can result in irreversible damage to exposed communities. This study aims to map risk areas for human instability, specifically topping and sliding, in an urban section of the Espinharas River basin, located in Patos, Paraíba, Brazil. The methodology includes hydrological modeling using HEC-HMS 4.12 and hydrodynamic modeling with HEC-RAS 6.6, enabling the simulation of extreme events and the assessment of impacts on the local population. The study identified risk zones with potential for human instability, considering different age profiles (adults and children). The results indicated that up to 26.6% of the flood-prone areas pose instability risks for adults, while 38.8% of the areas represent risks for children. These findings highlight that strategic zones of the city are exposed to high risks, emphasizing the need for preventive measures to mitigate the impacts of flooding. Furthermore, the differentiation between age groups demonstrates a significant impact on the definition of risk zones, reinforcing the importance of targeted approaches in urban management and the development of protective strategies.

**Keywords:** Floods, Computational Modeling, Espinharas River, Risk Maps, Urban Management.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Fluxograma metodológico.....	18
<b>Figura 2:</b> Localização do município de Patos - PB.....	19
<b>Figura 3:</b> Bacia hidrográfica do rio Espinharas em um trecho urbano de Patos-PB.....	21
<b>Figura 4:</b> Divisão espacial das bacias para aplicação no modelo hidrológico.....	22
<b>Figura 5:</b> Dados de precipitação.....	24
<b>Figura 6:</b> Representação do modelo hidrológico desenvolvido no HEC-HMS.....	25
<b>Figura 7:</b> Levantamento das pontes do rio Espinharas.....	26
<b>Figura 8:</b> Modelo hidrodinâmico desenvolvido no HEC-RAS.....	27
<b>Figura 9:</b> Forças que condicionam a instabilidade,.....	28
<b>Figura 10:</b> Hidrogramas gerados no HEC-HMS para as sub-bacias (1) SB1, (2) SB2, (3) SB3 e (4) SB4.....	30
<b>Figura 11:</b> Área atingida pela inundação.....	34
<b>Figura 12:</b> Profundidade máxima da água nas áreas inundáveis.....	35
<b>Figura 13:</b> Velocidade máxima da água nas áreas inundáveis.....	35
<b>Figura 14:</b> Mapa de risco referente ao tombamento e deslizamento para adultos.....	36
<b>Figura 15:</b> Mapa de risco referente ao tombamento e deslizamento para crianças.....	37
<b>Figura 16:</b> Principais pontos atingidos pelo mapeamento de riscos para adultos.....	38
<b>Figura 17:</b> Principais pontos atingidos pelo mapeamento de riscos para crianças.....	39

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Dados de entrada do modelo para as bacias em análise. ....	23
<b>Tabela 2:</b> Dados das pontes analisadas no trecho de estudo.....	26
<b>Tabela 3:</b> Parâmetros utilizados na elaboração dos mapas de risco para adultos.....	29
<b>Tabela 4:</b> Parâmetros utilizados na elaboração dos mapas de risco para crianças. ....	30
<b>Tabela 5:</b> Valores de precipitação, perdas, vazão de saída e de base de cada sub-bacia. ....	33

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

HEC-HMS - Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System

HEC-RAS - Hydrologic Engineering Center - River Analysis System

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

MDE - Modelo Digital de Elevação

QGIS - Quantum Geographic Information System

SCS - Soil Conservation Service

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

## LISTA DE SÍMBOLOS

B – Altura do corpo exposta ao fluido (m)

$C_D$  – Coeficiente de arrasto (adimensional)

CN - Curve Number (Número de Curva)

g - Aceleração da gravidade ( $m/s^2$ )

h - Desnível do talvegue (m)

$h \cdot v$  - Produto entre profundidade e velocidade da água ( $m^2/s$ )

$h \cdot v^2$  - Produto entre profundidade e quadrado da velocidade da água ( $m^3/s^2$ )

L – Altura total do indivíduo (m)

L - Comprimento do talvegue (km)

m – Massa do indivíduo (kg)

$T_c$  - Tempo de concentração da bacia (min)

$T_p$  - Lag time (min)

$\alpha$  – Ângulo de inclinação da pessoa em relação à direção do fluxo (graus)

$\mu$  – Coeficiente de atrito (adimensional)

$\rho$  – Massa específica do fluido ( $kg/m^3$ )

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2 METODOLOGIA</b> .....	17
<b>2.1 Etapa 01: Caracterização da área de estudo</b> .....	18
2.1.1 Bacia hidrográfica do rio Espinharas.....	20
<b>2.2 Etapa 02: Modelagem Computacional</b> .....	21
2.2.1 Modelagem Hidrológica .....	21
2.2.2 Modelagem Hidrodinâmica .....	25
<b>2.3 Etapa 03: Simulação de cenários</b> .....	27
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	30
<b>3.1 Modelo Hidrológico</b> .....	30
<b>3.2 Modelo Hidrodinâmico</b> .....	34
<b>3.3 Mapeamento de risco</b> .....	36
<b>4 CONCLUSÕES</b> .....	40
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	41

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento desordenado das áreas urbanas tem evidenciado diversos problemas relacionados à drenagem natural das bacias hidrográficas. O processo de urbanização tende a favorecer a ocupação de áreas inapropriadas e a expansão das áreas impermeáveis.

Entre 2010 e 2022, a proporção da população brasileira residente em áreas urbanas aumentou de 84,4% para 87,4%, representando um acréscimo de 3%, enquanto nas áreas rurais houve uma redução proporcional equivalente, passando de 15,6% para 12,6% (IBGE, 2010; 2022). Esse crescimento urbano reflete o avanço do processo de urbanização no país, que resultou na concentração de quase 17 milhões de pessoas adicionais em áreas urbanas ao longo do período, impulsionando o desenvolvimento e a expansão desses territórios.

O aumento da área de superfície impermeável nas cidades leva a maiores volumes de escoamento superficial, o que eleva a vulnerabilidade a inundações (ELMQVIST *et al.*, 2013). Dessa forma, a cobertura vegetal é impactada diretamente pela urbanização, gerando perdas na capacidade de infiltração do solo e aumento do escoamento superficial, ocasionando um acréscimo de vazão maior que o esperado na bacia do rio afetado e conseqüentemente aumentando os riscos de inundação nas áreas do entorno do rio. De acordo com a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE), as inundações são caracterizadas pelo alagamento de áreas que normalmente não são submersas, em razão do transbordamento de cursos d'água. Esse fenômeno ocorre de forma gradual e, geralmente, é provocado por chuvas prolongadas em regiões de planície (BRASIL, 2023).

Assim, cada vez mais os estudos se encaminham para prever os piores cenários possíveis para ocorrências de inundações nas regiões, tendo em vista que essas alterações podem acarretar em um evento inesperado de grande magnitude, acarretando em danos afetando a saúde, renda e vida dos moradores ali presentes.

De acordo com a Agência Gov, o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden) registrou, em 2024, um número recorde de 3.620 alertas de desastres, o maior desde o início do monitoramento em 2011. Além disso, o total de desastres registrados nesse mesmo ano chegou a 1.690, o terceiro maior da série histórica. Desse total, 47% estão associados a eventos hidrológicos, como inundações e enchentes, evidenciando ainda mais que os impactos gerados pela urbanização e processos de mudanças climáticas estão agravando cada vez mais os riscos hidrológicos, como enxurradas e transbordamentos de rios e córregos (Cemaden, 2024).

Segundo o Emergency Events Database (EM-DAT, 2024), quando se trata do número de desastres naturais, em 2023 foram registrados 399 a nível mundial, sendo 164 deles desastres hidrológicos, como inundações e enchentes. Quando se trata de eventos de inundações, o ano de 2023 superou a média anual de 2003 a 2022 apresentando número de mortes causadas por eventos de inundações igual a 7763, enquanto a média anual no período mencionado foi de 5518 óbitos (EM-DAT, 2024).

De acordo com o Atlas Digital de Desastres no Brasil, no período de 2000 a 2023, o país registrou um total de 5.735 ocorrências de inundações, com consequências expressivas para a população: 21,74 milhões de pessoas afetadas, 3,76 milhões de desabrigados e desalojados, e 604 óbitos. No estado da Paraíba, o número de ocorrências foi de 93, com 133,14 mil pessoas afetadas e 16,45 mil desabrigados e desalojados. Já na cidade de Patos-PB, apenas uma ocorrência foi registrada nesse período, mas ainda assim resultou em 560 pessoas afetadas e 200 desabrigados e desalojados (BRASIL, 2023).

É importante destacar que os desastres hidrológicos apresentam maior risco em áreas urbanas onde a frequência de inundações é baixa. Isso ocorre porque, em períodos prolongados sem eventos significativos, a população tende a ocupar cada vez mais as margens dos rios, impulsionada por uma falsa sensação de segurança. Esse fenômeno leva à maior densificação dessas áreas e ao aumento dos investimentos em infraestrutura, tornando a região ainda mais vulnerável quando ocorrem eventos extremos.

De acordo com uma nota técnica divulgada pelo Governo Federal, a cidade de Patos está entre os 1.942 municípios mais suscetíveis a deslizamentos, enxurradas e inundações, sendo priorizada nas ações da União voltadas à gestão de risco e desastres naturais. O documento aponta que a cidade possui uma população total de 103.165 habitantes, dos quais 1.656 estão expostos ao risco desses eventos (BRASIL, 2023).

Conforme Arrighi, Oumeraci e Castelli (2017), as perdas de vidas humanas em inundações resultam da interação dinâmica entre o fluxo de água e o indivíduo. Vieira *et al.* (2018) destacam que, durante esses eventos, o aumento do nível da água e a velocidade do escoamento afetam a estabilidade humana, elevando os riscos de tombamento e deslizamento.

Dessa forma, a crescente preocupação com os impactos das inundações em áreas urbanas tem impulsionado o desenvolvimento de metodologias para prever os piores cenários possíveis. O estudo da instabilidade humana permite aprimorar os modelos de perigo, que desconsideram atributos humanos em sua definição, contribuindo para o planejamento urbano e a formulação de estratégias de mitigação. Nesse contexto, Jonkman e Penning-Rowell (2008) foram pioneiros no desenvolvimento de equações de risco ao tombamento e deslizamento de

peessoas, que avaliam a estabilidade de indivíduos em inundações, possibilitando a identificação de zonas de risco com base na vulnerabilidade humana.

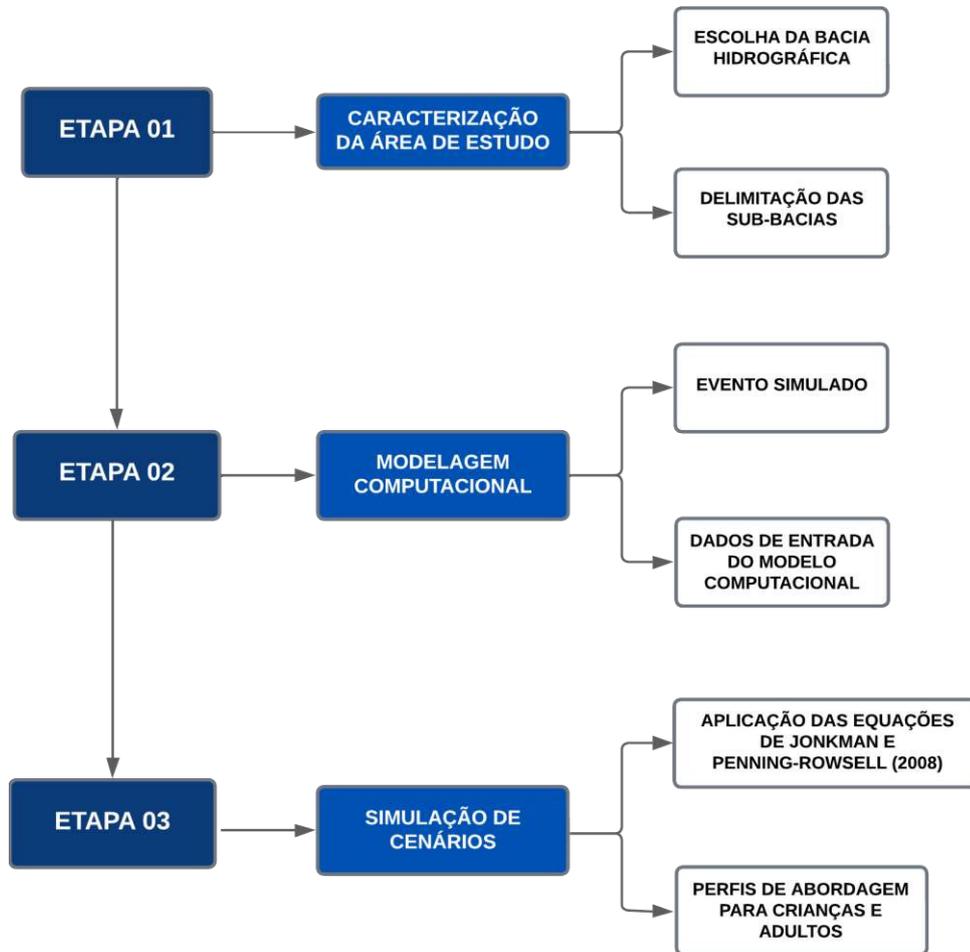
Além disso, é importante ressaltar que estudos como de (LI *et al.*, 2023) e (LI *et al.*, 2024) evidenciam a diferença de resultados quando se faz um comparativo entre crianças e adultos expostos ao cenário de inundação, onde crianças apresentam uma maior susceptibilidade à instabilidade. Isso demonstra a importância de considerar diferentes perfis para a definição de zonas de risco, para que sejam adotadas as estratégias necessárias de evacuação.

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo realizar a análise de risco para adultos e crianças relacionados a inundações durante chuvas intensas em um trecho urbano da bacia do rio Espinharas, localizada em Patos-PB.

## **2 METODOLOGIA**

O processo de análise de instabilidade humana em inundações pode ser estruturado em três etapas principais. A Etapa 01 envolve a caracterização da área de estudo, incluindo a escolha da bacia hidrográfica e a delimitação das sub-bacias. Em seguida, na Etapa 02, é realizada a modelagem computacional através dos programas HEC-HMS 4.12 e HEC-RAS 6.6, considerando o evento simulado e os dados de entrada do modelo. Por fim, a Etapa 03 consiste na simulação de cenários, aplicando as equações de Jonkman e Penning-Rowse (2008) e considerando diferentes perfis populacionais, como crianças, adultos e idosos. O fluxograma a seguir ilustra essas etapas e suas inter-relações.

**Figura 1:** Fluxograma metodológico.



Fonte: Autor, 2025.

## 2.1 Etapa 01: Caracterização da área de estudo

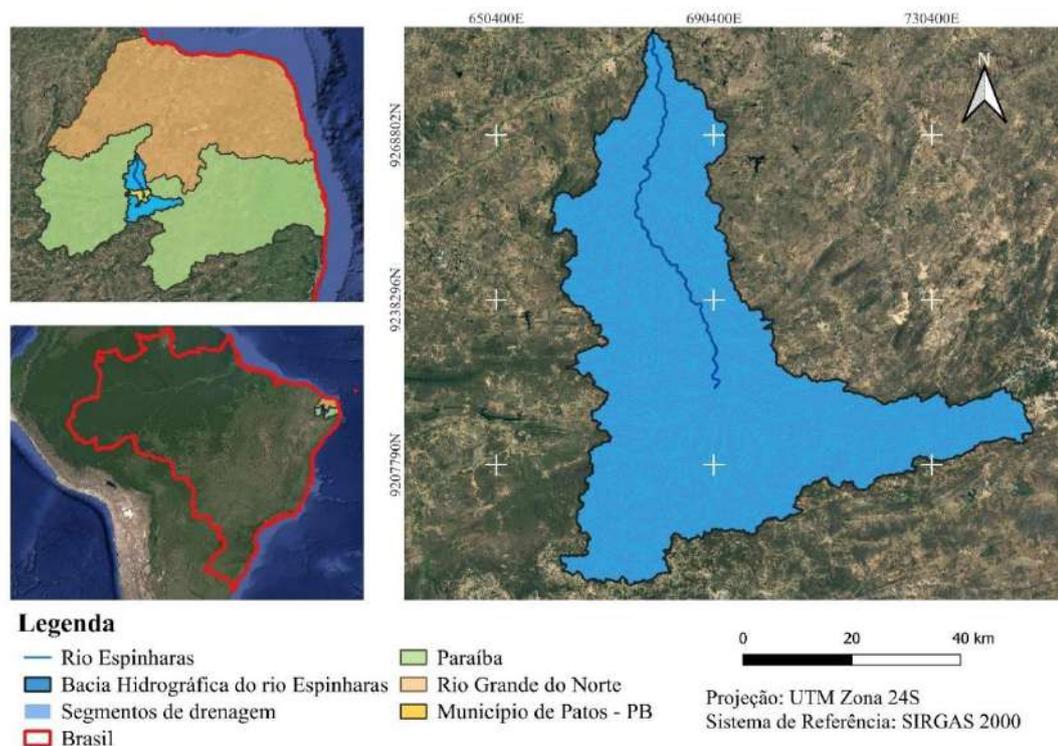
O município de Patos, localizado no sertão da Paraíba, destaca-se como um importante centro urbano e econômico da região. Em 2022, segundo dados do IBGE, o município registrou uma população de 103.165 habitantes, resultando em uma densidade demográfica de 218,16 habitantes por quilômetro quadrado (IBGE, 2022).

Patos, localizada no sertão da Paraíba, apresenta características geográficas e climáticas peculiares que influenciam diretamente sua dinâmica ambiental e os desafios enfrentados pela população. Segundo dados do IBGE (2023), o município possui uma área territorial de 472,892 km<sup>2</sup>, caracterizada por um relevo predominantemente plano a suavemente ondulado, típico do sertão nordestino. O clima semiárido da região resulta em chuvas concentradas em curtos períodos, a cidade de Patos apresenta, em geral, um regime pluviométrico concentrado no período de fevereiro a junho, tornando a distribuição pluviométrica irregular e mal distribuída ao longo do ano (SANTOS; SANTOS; ALVES DE ALMEIDA, 2013).

Conforme destacado por Alves *et al.* (2015), apesar do índice pluviométrico da região ser relativamente elevado quando comparado a outras áreas áridas do planeta, a escassez hídrica que assola o semiárido paraibano está diretamente relacionada às características das precipitações, que ocorrem de forma intermitente e, muitas vezes, intensa em curtos intervalos. Além disso, a análise das precipitações ao longo dos anos indica que apenas em 2009 houve um mês classificado como extremamente úmido, fenômeno atípico para a região e atribuído a modelos de estabilização da atmosfera gerados por eventos meteorológicos que provocaram chuvas fora do período chuvoso tradicional de Patos.

O rio Espinharas é formado a partir do encontro do rio da Cruz com o rio da Farinha, na cidade de Patos- PB, e deságua no rio Piranhas-Açu, no Rio Grande do Norte (ANA, 2024). A área de estudo corresponde a um trecho urbano da bacia hidrográfica do rio Espinharas, abrangendo o segmento monitorado pela estação hidrometeorológica 37.430.000 da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Esse trecho se estende das coordenadas (-7.0227567, -37.2699278) até o ponto (-7.00121617, -37.27067866), que representa o exutório da bacia no centro urbano de Patos-PB (ANA, 2025). Dessa forma, a bacia obtida, que será utilizada para a modelagem hidrológica, possui área de 17,755 km<sup>2</sup>. A Figura 2 ilustra a localização do rio Espinharas no município.

**Figura 2:** Localização do município de Patos - PB.



**Fonte:** Autor, 2025.

### 2.1.1 Bacia hidrográfica do rio Espinharas

No presente estudo, foi utilizado o MDE disponibilizado pelo programa Copernicus, com resolução espacial de 30 metros. Esse modelo tem como base os dados do WorldDEM, gerados pela missão TanDEM-X, reconhecida por sua alta precisão e cobertura global, que foram gerados a partir de dados de satélites. O Copernicus, quando comparado com outros modelos como ASTER, ALOS, SRTM, é o modelo que apresenta maior consistência e maior regularidade de pixels e precisão, apresentando maior suavidade no raster gerado (Purinton; Bookhagen, 2021). O MDE foi obtido através do complemento Open Topography DEM (Versão 3.0) na ferramenta computacional Quantum Geographic Information System (QGIS) 3.30.2.

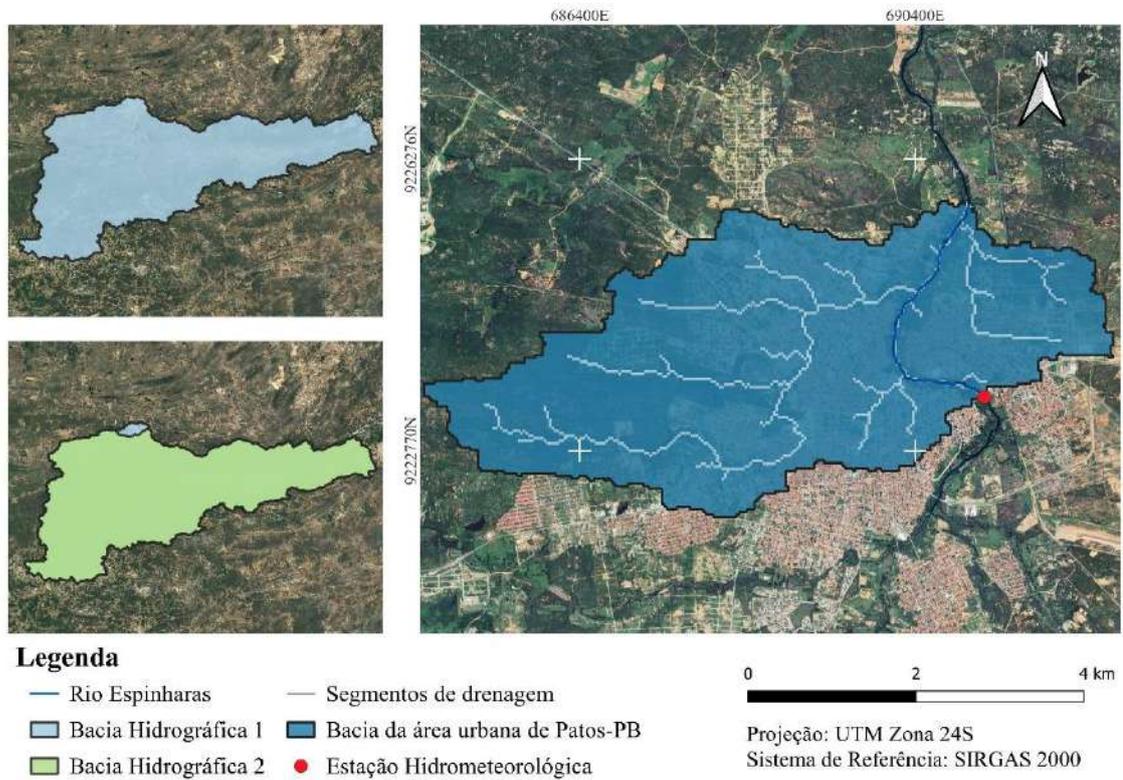
Segundo a classificação climática de Köppen, o município de Patos-PB está inserido na categoria BSh, que corresponde a um clima seco, semiárido, quente, de baixa latitude e altitude (Alvares *et al.*, 2013). Esse tipo climático é caracterizado por temperaturas elevadas ao longo do ano e um regime pluviométrico irregular, com chuvas escassas e concentradas em curtos períodos. Essas condições influenciam diretamente os processos hidrológicos da região, impactando a disponibilidade hídrica e a frequência de eventos extremos, como secas e inundações.

Para a análise da cobertura do solo no presente estudo, foi utilizada a classificação da bacia hidrográfica com base nos dados fornecidos pelo MapBiomass (2023), uma iniciativa que mapeia anualmente o uso e a cobertura da terra no Brasil a partir de imagens de satélite, permitindo a identificação de mudanças no território ao longo do tempo. Além disso, para a determinação do coeficiente de Manning, foi realizada uma correlação entre a classificação da National Land Cover Dataset (NLCD) e os dados do MapBiomass, possibilitando uma reclassificação adequada no software Hydrologic Engineering Center - River Analysis System (HEC-RAS) 6.6. Esse processo assegura que os valores atribuídos ao coeficiente de rugosidade estejam alinhados com as características reais da superfície da bacia, aumentando a precisão das simulações hidráulicas.

Para o estudo e delimitação da bacia, na coleta de dados, foi possível obter os dados da estação hidrometeorológica 37.430.000, com isso foi possível determinar os dados de vazão gerados antes desse local, e para coletar os dados de vazão do restante da bacia, foram utilizados 03 passos, inicialmente foi delimitada a bacia total com exutório localizado a jusante da cidade de Patos, depois foi gerada uma bacia até a estação hidrometeorológica abaixo da ponte

localizada no ponto com coordenadas (-7.0223855,-37.2688779). A Figura 3 mostra a bacia hidrográfica em estudo.

**Figura 3:** Bacia hidrográfica do rio Espinharas em um trecho urbano de Patos-PB.



**Fonte:** Autor, 2025.

## 2.2 Etapa 02: Modelagem Computacional

Neste tópico, será abordado todo o processo para determinação das áreas de risco, considerando os parâmetros necessários para aplicação nos modelos hidrológico, como área da bacia, tempo de concentração, número CN, dados de precipitação, e no modelo hidrodinâmico, como dados de vazão, dados das pontes, dados do terreno, e mecanismos de instabilidade humana relacionados ao tombamento e deslizamento de pessoas.

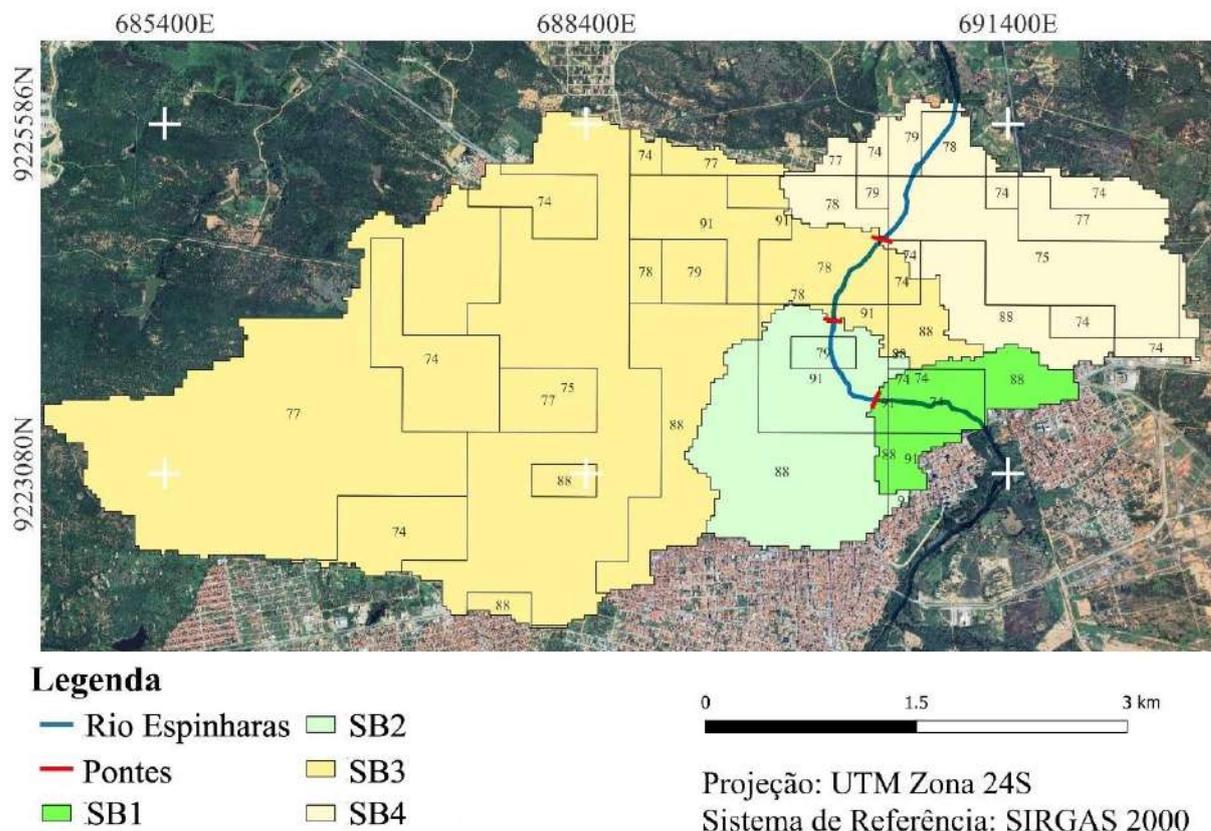
### 2.2.1 Modelagem Hidrológica

A modelagem hidrológica foi realizada através da ferramenta computacional Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) 4.12, utilizando o método Soil Conservation Service (SCS), que depende de dados de entrada como área da bacia, Lag Time e Curve Number (CN). Por meio de técnicas de geoprocessamento no QGIS, foram obtidas as áreas das bacias utilizadas para a modelagem. Para a determinação do número CN,

foram obtidos os dados por meio do artigo de Jaafar e Ahmad (2019), que apresentam dados globais para este coeficiente. Com isso, foi calculada a média ponderada do CN de acordo com a área da bacia. A Figura 04 representa o mapa referente ao número CN.

Após a definição da subdivisão da bacia hidrográfica, cada trecho foi delimitado até a ponte subsequente ao longo do rio. Essa abordagem foi adotada porque, na modelagem hidrológica, é essencial definir os trechos de contribuição lateral de forma precisa, garantindo que o escoamento gerado em cada segmento da bacia seja corretamente representado. Essas delimitações são fundamentais para a próxima etapa do estudo, a modelagem hidrodinâmica, que exige a definição das condições de contorno lateral nos trechos entre as pontes. Nesse contexto, cada ponte atua como um marco de divisão, onde a segmentação desses trechos permite considerar corretamente a contribuição lateral. Portanto, a divisão foi feita conforme ilustrado na Figura 4, para cada bacia o número CN foi determinado através da média ponderada de seus valores.

**Figura 4:** Divisão espacial das bacias para aplicação no modelo hidrológico.



Fonte: Autor, 2025.

Com isso, foi possível obter o Tempo de Concentração (TC) de cada bacia, que foi realizada utilizando a classificação do terreno para determinar a equação que mais se adequa representativa para o estudo, sendo identificado que a bacia é predominantemente rural, considerando que a porcentagem das bacias foi predominantemente desse gênero. Para este tipo de bacia, é utilizada a equação de Kirpich, conforme apresentado abaixo, por apresentar melhor desempenho para a determinação nas condições descritas.

$$T_c = 57 \left( \frac{L^3}{h} \right)^{0,385} \quad (EQ. 1)$$

Sendo:

Tc - Tempo de concentração da bacia (min);

L - Comprimento do talvegue (km);

h - Desnível do talvegue (m).

**Tabela 1:** Dados de entrada do modelo para as bacias em análise.

Bacias	Área (km <sup>2</sup> )	CN médio	Tc (min)
SB1	0,763	83,01	36,88
SB2	1,941	88,42	33,47
SB3	11,896	78,19	28,37
SB4	3,154	77,80	43,43

Fonte: Autor, 2025.

Com o Tempo de Concentração, é possível calcular o Lag Time, que é o tempo entre o centro de massa da chuva excedente e o pico do hidrograma, este parâmetro também é exigido pelo HEC-HMS para gerar os resultados de vazão. O Lag Time é calculado segundo a Equação 2.

$$T_p = 0,6 * T_c \quad (EQ. 2)$$

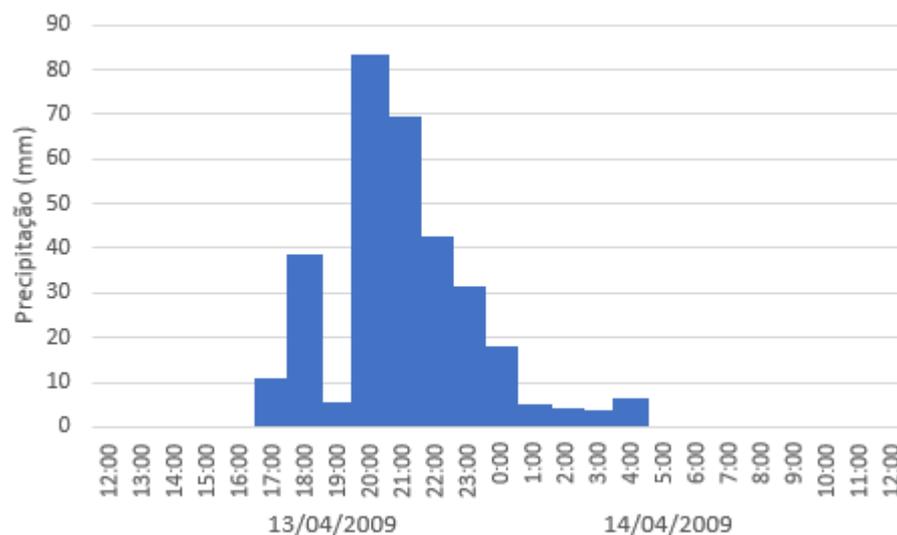
Sendo:

Tc - Tempo de concentração da bacia (min);

Tp - Lag time (min).

Para a simulação do evento, considerou-se a ocorrência de uma chuva intensa. Nesse caso foi utilizado como referência um grande evento que ocorreu no município de Patos-PB, no ano de 2009. A cidade registrou, nesse mesmo ano, uma vazão máxima de 773,88 m<sup>3</sup>/s no rio Espinharas, de acordo com dados fluviométricos obtidos a partir da estação 37.430.000, localizada no mesmo município, pertencente à ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico) (ANA, 2025). Para a simulação foram utilizados os dados do hietograma gerado no pluviômetro, para isso fez-se o uso de dados meteorológicos do dia 13 de abril a 14 de abril de 2009 para Patos-PB obtidos através do INMET (2009). O hietograma abaixo representa os dados gerados no pluviômetro.

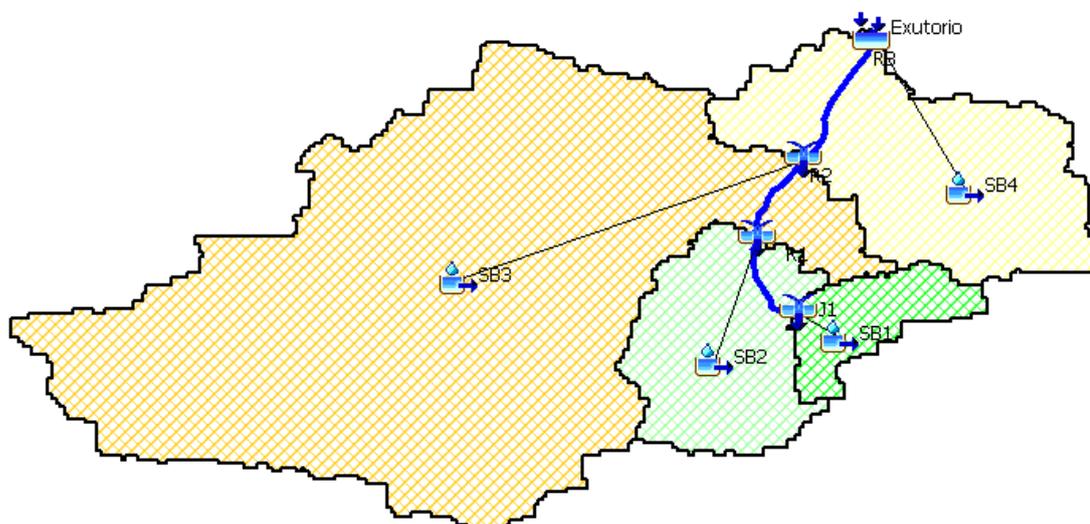
**Figura 5:** Dados de precipitação.



**Fonte:** INMET, 2009.

Com isso, foram realizadas as simulações no programa HEC-HMS para obter os valores do hidrograma gerado em cada bacia. A Figura 6 apresenta o modelo desenvolvido no HEC-HMS.

**Figura 6:** Representação do modelo hidrológico desenvolvido no HEC-HMS.



Fonte: Autor, 2025.

### 2.2.2 Modelagem Hidrodinâmica

Utilizou-se o software HEC-RAS 6.6 para realização da modelagem hidrodinâmica, que permite a simulação da onda de cheia. Os dados de entrada foram obtidos por meio dos softwares QGIS 3.30.2 e HEC-HMS 4.12, em função dos dados de topografia, vazão, e também levantamento de pontes realizadas em campo.

Inicialmente, foi realizada a importação do Modelo Digital de Elevação (MDE), seguida pela delimitação do perímetro da região para gerar a malha computacional utilizada no estudo em questão. Para as áreas que demandam uma maior atenção no modelo (rio e pontes), foi realizado o refinamento da malha computacional, que serve para melhorar a precisão dos cálculos nos locais onde há grande variação de profundidade, velocidade ou mudanças abruptas no terreno. Dessa forma, o estudo utilizou células de 5 m x 5 m para a bacia, e 1 m x 1 m para as áreas refinadas.

Para o estudo, foram utilizadas as condições de contorno *Flow Hydrograph*, que é dado através da contribuição das bacias, e a *Normal Depth*, que é dada pela inclinação do rio. A contribuição das bacias SB1, SB2, SB3 e SB4 foram dadas ao longo do rio Espinharas, enquanto a condição de contorno da entrada, foi dada através dos dados obtidos a partir da estação 37.430.000, conforme fornecido pela ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico) (ANA, 2025).

Para a melhor representatividade hidráulica do modelo, foram realizados levantamentos em campo das pontes presentes na bacia hidrográfica do estudo, tendo em vista que as pontes podem gerar grandes impactos no escoamento devido ao estreitamento do rio, causando também possível extravasamento e formação de remanso em eventos de cheia. Os instrumentos de medição do levantamento foram trena a laser e trena convencional, conforme mostra a Figura 7.

**Figura 7:** Levantamento das pontes do rio Espinharas com o auxílio de trena a laser.



Fonte: Autor, 2025.

A tabela 2 apresenta os dados coletados referente à cada ponte inserida no modelo.

**Tabela 2:** Dados das pontes analisadas no trecho de estudo.

<b>Ponte</b>	<b>Largura (m)</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Distância de aterro (m)</b>	<b>Deck (m)</b>	<b>Comprimento (m)</b>
P1	12,28	8,80	5,57	0,30	120
P2	12,60	9,58	0,00	0,35	100
P3	9,72	9,73	4,50	0,17	100

Fonte: Autor, 2025.

A simulação consistiu em simular a propagação da onda de inundação no rio Espinharas causada pela simulação de uma chuva intensa que ocorreu nos dias 13 e 14 de abril de 2009, na cidade de Patos-PB. O intervalo de cálculo para o modelo foi de 1 minuto e o intervalo de saída

de 1 hora, para garantir a estabilidade numérica da simulação hidrodinâmica, os critérios baseados na condição de Courant foram adotados. O valor máximo do número de Courant foi estabelecido em 1,0, enquanto o mínimo foi fixado em 0,45. Caso o valor mínimo seja atingido por cinco passos de tempo consecutivos, o tempo de cálculo é dobrado, sendo permitido um máximo de duas duplicações, limitando-se a 240 segundos. Da mesma forma, o tempo pode ser reduzido pela metade até duas vezes, com um limite mínimo de 15 segundos.

A Figura 8 apresenta o modelo desenvolvido no HEC-RAS com todos os elementos representados.

**Figura 8:** Modelo hidrodinâmico desenvolvido no HEC-RAS.

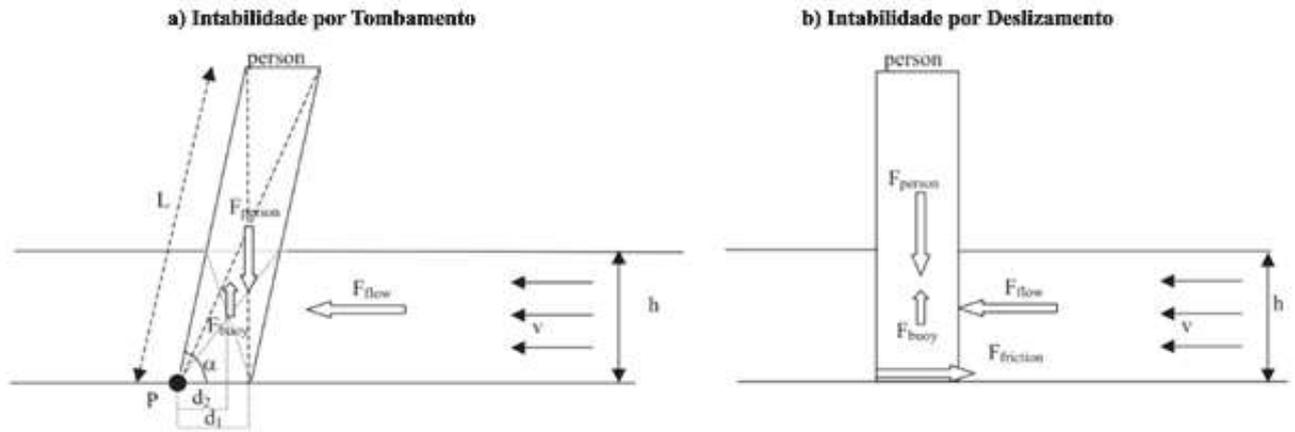


Fonte: Autor, 2025.

### 2.3 Etapa 03: Simulação de cenários

Para a elaboração de mapas de risco, foi realizada a aplicação das equações propostas por Jonkman e Penning-Rowse (2008), referentes ao tombamento e deslizamento de pessoas. A Figura 9 representa o detalhe esquemático das forças que condicionam a instabilidade.

**Figura 9:** Forças que condicionam a instabilidade.



**Fonte:** Jonkman e Penning-Rowse (2008).

Sendo:  $d_1$  é a distância do ponto de pivô da pessoa (ponto P) até seu centro de massa [m] (igual a  $\cos(\alpha) \cdot L$ );  $d_2$  é a distância do ponto de pivô da pessoa (ponto P) até o centro da força de empuxo vertical [m];  $F_{buoy}$  é a força de empuxo vertical [N];  $F_{flow}$  é a força horizontal do escoamento sobre um objeto [N];  $F_{friction}$  é a força de atrito entre a pessoa e a lâmina do curso d'água [N];  $F_{person}$  é o peso da pessoa [N];  $h$  é a profundidade da água [m];  $L$  é a altura da pessoa [m];  $P$  é o ponto ao redor do qual a pessoa gira ao inclinar-se contra o escoamento;  $v$  é a velocidade do escoamento da água [m/s];  $\alpha$  é o ângulo de inclinação da pessoa em relação ao escoamento [graus].

Segundo a análise realizada pelos autores, o detalhe esquemático que condiciona essas duas situações pode ser representado pelas equações EQ.3 e EQ.4 a seguir, que reproduzem as condições de instabilidade por tombamento e deslizamento, respectivamente.

$$h \cdot v = \left( \frac{2 \cdot m \cdot g \cdot \cos(\alpha) \cdot L}{C_D \cdot B \cdot \rho} \right)^{0,5} \quad (EQ. 3)$$

$$h \cdot v^2 = \left( \frac{2 \cdot \mu \cdot g}{C_D \cdot B \cdot \rho} \right) \cdot m \quad (EQ. 4)$$

Onde:

$m$  – Massa do indivíduo (kg);

$B$  – Largura média do corpo exposta ao fluido (m);

$\mu$  – Coeficiente de atrito (adimensional);

$\rho$  – Massa específica do fluido ( $\text{kg/m}^3$ );

$C_D$  – Coeficiente de arrasto (adimensional);

$g$  – Aceleração da gravidade ( $\text{m/s}^2$ );

$\alpha$  – Ângulo de inclinação da pessoa em relação à direção do fluxo (graus);

L – Altura total do indivíduo (m).

Na instabilidade por tombamento, conforme descrito pelos autores, considera-se que a pessoa se inclina para frente na tentativa de resistir ao movimento da água. Nesse cenário, o corpo tende a girar ao redor do ponto de apoio, que, teoricamente, corresponde ao calcanhar, resultando na perda de equilíbrio e conseqüente tombamento. Já o deslizamento ocorre quando a força de arrasto excede a força de atrito entre os pés e a superfície.

Os dados físicos para adultos utilizados na aplicação foram utilizados com base em informações fornecidas pelo IBGE, especificamente a partir dos dados antropométricos disponíveis no Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). Para garantir representatividade, foram utilizados os dados da Pesquisa Nacional de Saúde de 2019, considerando a altura e o peso médios da população adulta, mais precisamente os dados em percentil 50 (IBGE, 2019). Esses valores foram obtidos por meio de uma média ponderada, abrangendo os seguintes intervalos etários: 18 a 24 anos, 25 a 39 anos, 40 a 59 anos e 60 anos ou mais. Os demais parâmetros, como largura do corpo exposta ao fluido, coeficientes de atrito e arrasto, foram utilizados segundo os estudos originais desenvolvidos pelos autores. Tais parâmetros estão representados na Tabela 4.

**Tabela 3:** Parâmetros utilizados na elaboração dos mapas de risco para adultos.

<b>Massa Corporal (kg)</b>	<b>Aceleração da gravidade (m<sup>2</sup>/s)</b>	<b>Altura Média (m)</b>	<b>Coefficiente de arrasto</b>	<b>Coefficiente de atrito</b>	<b>Massa específica (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Largura do corpo exposta ao fluido (m)</b>
71,26	9,806	1,6461	1,10	0,50	1000,00	0,40

**Fonte:** Autor, 2025.

Também foram consideradas para o estudo, a elaboração de mapas de risco para crianças, com a finalidade de avaliar os efeitos e comparar os resultados do impacto gerado nas áreas geradas, dessa forma, parâmetros como a largura do corpo exposta ao fluido (B) foi utilizada segundo os estudos de Milanesi, Pilotti and Ranzi (2015), tendo em vista que o estudo original de Jonkman e Penning-Rowell (2009), não possui abordagem para crianças. Os demais parâmetros físicos foram calibrados segundo dados do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA), para uma criança de 07 anos, que é presumido a idade em que as crianças

podem ocasionalmente se envolver em uma enchente sem o apoio de adultos (Milanesi; Pilotti; Ranzi, 2015). Portanto, os parâmetros utilizados se deram segundo a Tabela 4.

**Tabela 4:** Parâmetros utilizados na elaboração dos mapas de risco para crianças.

<b>Massa Corporal (kg)</b>	<b>Aceleração da gravidade (m<sup>2</sup>/s)</b>	<b>Altura Média (m)</b>	<b>Coefficiente de arrasto</b>	<b>Coefficiente de atrito</b>	<b>Massa específica (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Largura do corpo exposta ao fluido (m)</b>
23,65	9,806	1,23	1,10	0,50	1000,00	0,255

Fonte: Autor, 2025.

A metodologia adotada buscou avaliar e representar espacialmente os níveis de risco associados a chuvas intensas, considerando parâmetros como profundidade, velocidade do escoamento e características físicas de pessoas nas áreas afetadas.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

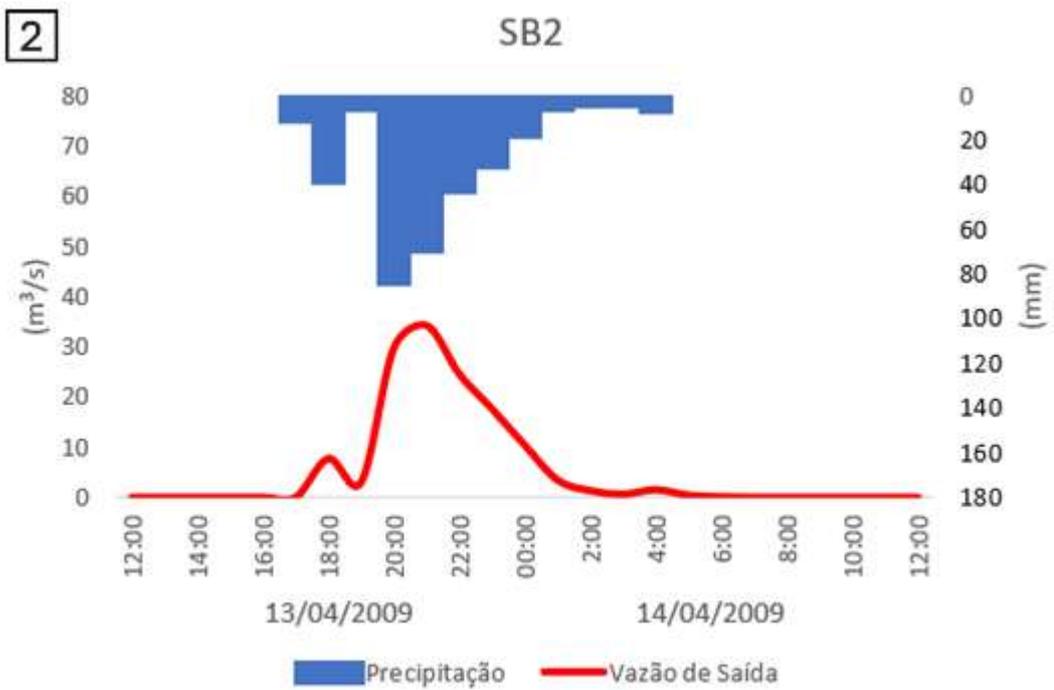
Nesta seção, serão abordados os resultados gerados, sendo evidenciado que a mancha de inundação e o mapa de risco foram simulados para uma chuva intensa.

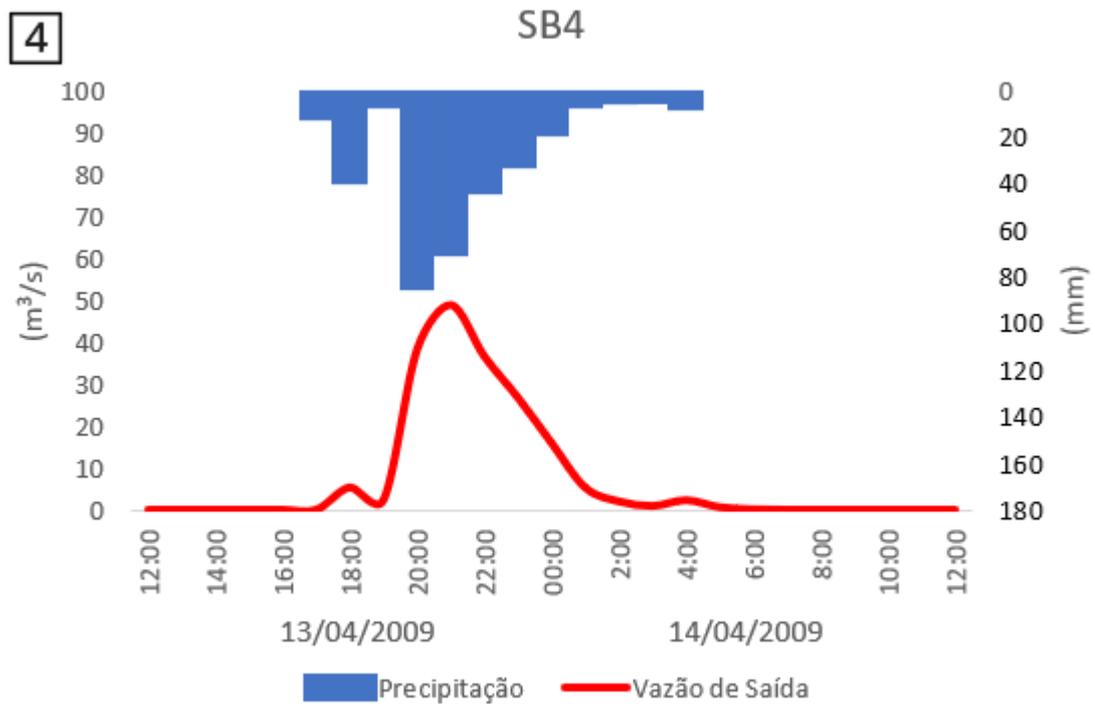
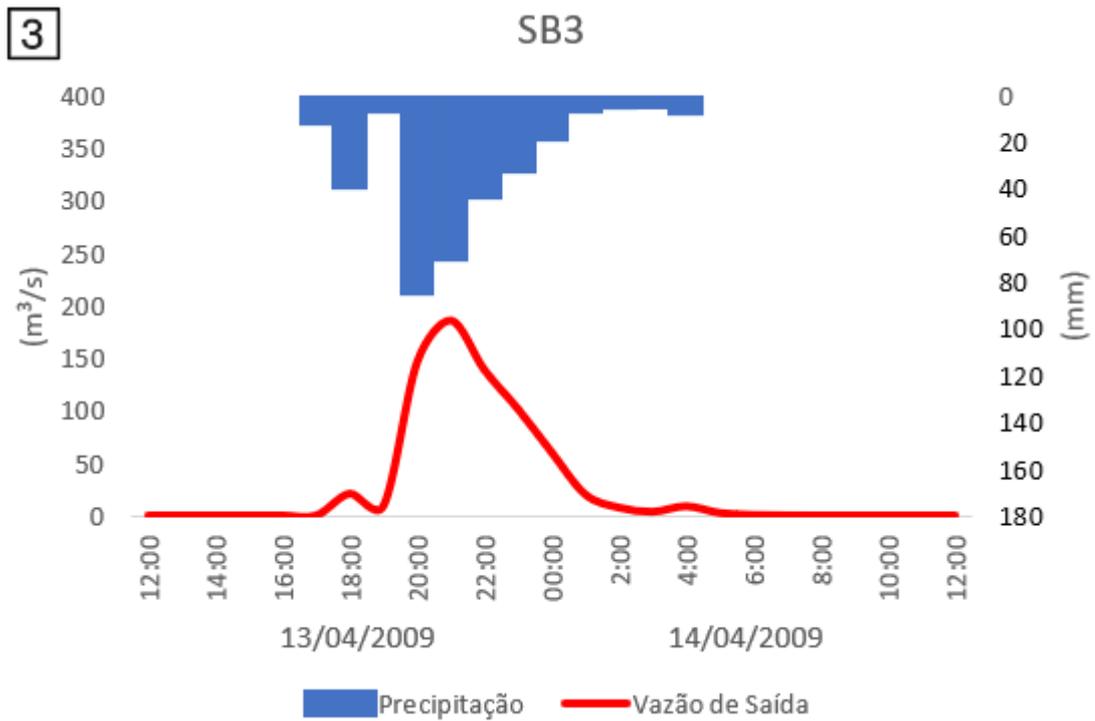
#### 3.1 Modelo Hidrológico

Nesta seção, são apresentados e analisados os resultados obtidos por meio da modelagem hidrológica realizada na ferramenta computacional HEC-HMS 4.12. A modelagem teve como objetivo simular a resposta hidrológica das sub-bacias que compõem um trecho urbano da bacia do rio Espinharas, permitindo a obtenção dos hidrogramas para o cenário de chuvas intensas.

A partir disso, foi analisado o comportamento hidrológico da região em função das características físicas da bacia e da precipitação adotadas no modelo. Dessa forma, as Figuras a seguir apresentam os hidrogramas gerados nas sub-bacias SB1, SB2, SB3 e SB4.

**Figura 10:** Hidrogramas gerados no HEC-HMS para as sub-bacias (1) SB1, (2) SB2, (3) SB3 e (4) SB4.





Fonte: Autor, 2025.

Os hidrogramas gerados serão responsáveis pela contribuição para o rio em cada condição de contorno aplicada. Ao todo serão 04 condições de contorno laterais, que correspondem à contribuição das bacias apresentadas.

Em termos quantitativos, é possível analisar os dados de volume precipitado, escoado e perdas de cada bacia, conforme apresentado na Tabela 4.

**Tabela 5:** Valores de precipitação, perdas, vazão de saída e de base de cada sub-bacia.

<b>Bacia</b>	<b>Área Total (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Total Precipitado (1000 m<sup>3</sup>)</b>	<b>Perdas (1000 m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume escoado (1000 m<sup>3</sup>)</b>
SB1	0,763	217,100	41,300	175,900
SB2	1,941	552,400	70,600	481,800
SB3	11,896	3385,600	836,400	2549,200
SB4	3,154	897,600	226,000	671,700

**Fonte:** Autor, 2025.

Diante do resumo apresentado, é possível observar que a SB3 contribui significativamente para o volume total escoado, representando 65,72% do escoamento total. Esse valor pode estar associado à sua grande área de drenagem (11,896 km<sup>2</sup>), o que favorece uma maior captação de precipitação e consequente volume escoado.

A SB4, apesar de ter uma área consideravelmente menor (3,154 km<sup>2</sup>), contribui com 17,32% do volume escoado, indicando que pode apresentar características favoráveis ao escoamento, como menor infiltração no solo ou maior inclinação do terreno. Já a SB2 e SB1 possuem contribuições mais modestas (12,42% e 4,54%, respectivamente), o que pode estar relacionado a fatores como menor área de drenagem, maior infiltração ou presença de cobertura vegetal que reduz o escoamento superficial.

Outro ponto relevante é a taxa de perdas hídricas, onde a SB3 apresenta o maior valor absoluto (836,4 mil m<sup>3</sup>), representando 72,23% do total de perdas. Isso sugere que a sub-bacia pode ter solos mais permeáveis, vegetação densa ou outras condições que favorecem a infiltração e a evapotranspiração. A SB4, com perdas de 226 mil m<sup>3</sup> (19,51% do total), também indica uma absorção significativa da precipitação. Em contrapartida, a SB2 e a SB1 possuem menores perdas absolutas, porém seus percentuais em relação ao total precipitado podem ser analisados para verificar a eficiência do escoamento em cada sub-bacia.

### 3.2 Modelo Hidrodinâmico

Por meio das simulações, foi possível gerar o resultado do evento simulado na modelagem hidrodinâmica, em que observou-se extravasamento da calha na maior parte dos pontos, afetando 11 bairros da cidade de Patos, sendo eles: Bela Vista, Belo Horizonte, Brasília, Jardim Brasil, Jardim Colonial, Jardim Europa, Jardim Magnólia, Jardim Queiroz, Juá Doce, São Sebastião e Vitória, com uma área inundável de 2,522 km<sup>2</sup>, que inclui áreas com edificações chegando na ordem de 1,191 km<sup>2</sup>, demonstrando grande potencial de risco para a população, conforme pode ser observado na Figura 11.

**Figura 11:** Área atingida pela inundação.



#### Legenda

- Área atingida pela inundação
- Áreas com edificações

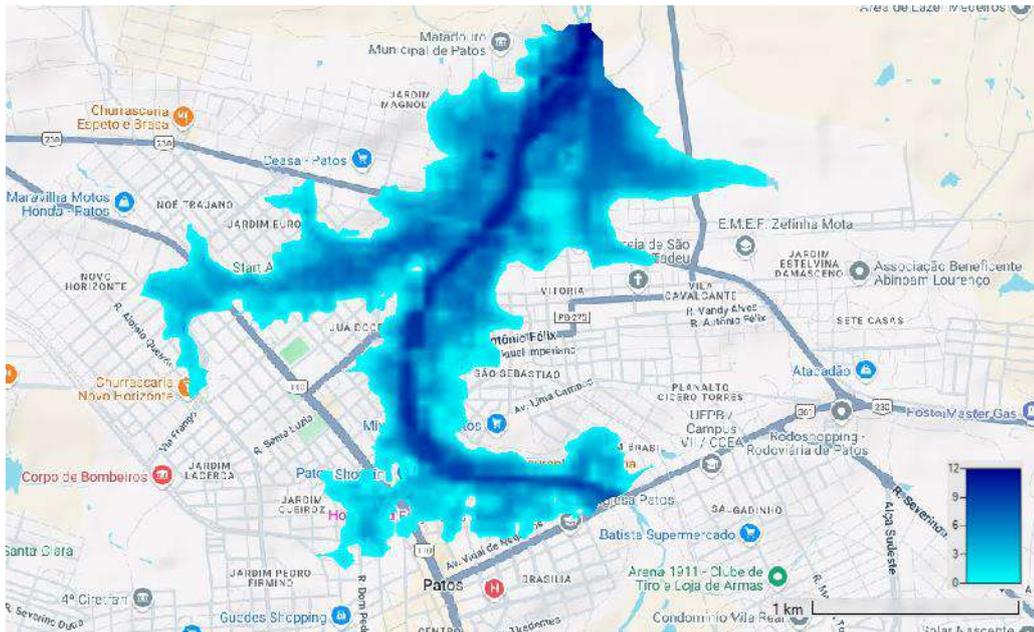
0 1 2 km

Projeção: UTM Zona 24S  
Sistema de Referência: SIRGAS 2000

**Fonte:** Autor, 2025.

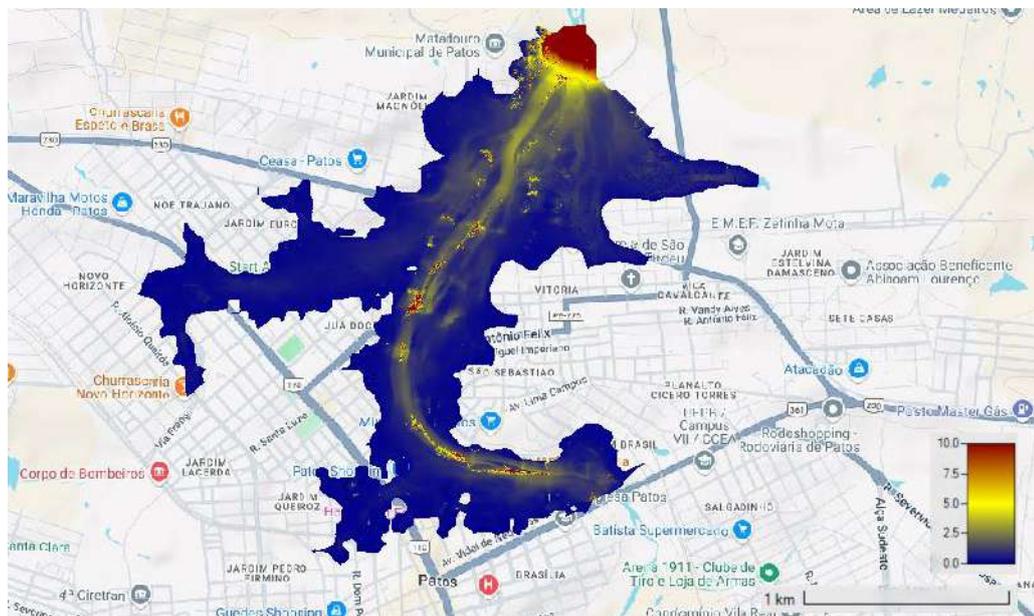
Ao analisar os indicadores de profundidade da água e velocidade da água máximos atingidos pela área inundável, a Figura 12 e a Figura 13 mostram, respectivamente, esses parâmetros em toda a extensão da bacia.

**Figura 12:** Profundidade máxima da água nas áreas inundáveis.



Fonte: Autor, 2025.

**Figura 13:** Velocidade máxima da água nas áreas inundáveis.



Fonte: Autor, 2025.

É possível analisar que os valores médios para os parâmetros analisados permanecem em torno de 9 m de profundidade, e 5 m/s ao longo a calha.

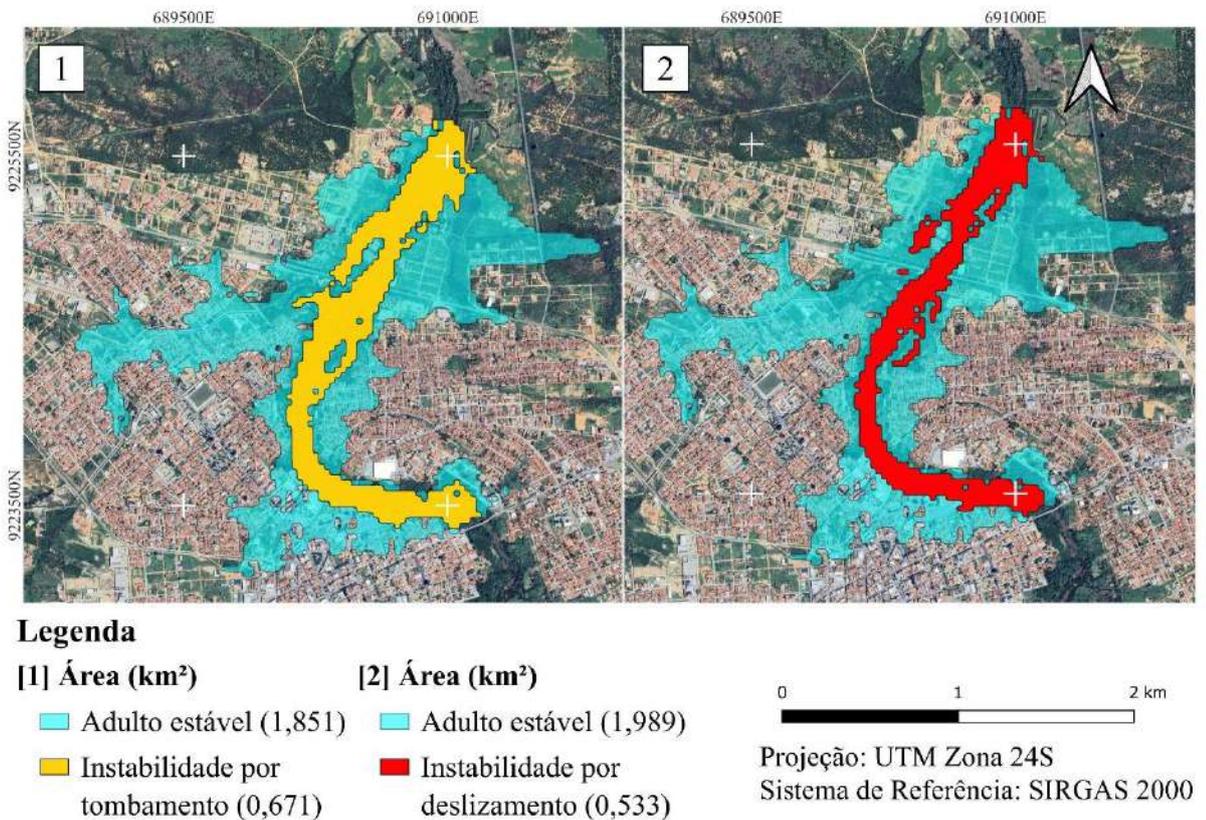
### 3.3 Mapeamento de risco

Por meio da análise do *raster* gerado para a profundidade e velocidade máximas, foi possível delimitar as áreas de risco associadas ao tombamento e ao deslizamento, com base na equação de Jonkman e Penning-Rowell (2008). A avaliação foi realizada considerando os valores dos parâmetros analisados, que atingiram valores de aproximadamente 11,74 m para a profundidade da água e aproximadamente 10 m/s para a velocidade ao longo do trecho.

A aplicação dos parâmetros físicos permitiu determinar as constantes de resistência ao escoamento, sendo 1,16 m<sup>2</sup>/s para o tombamento (EQ.3) e 1,59 m<sup>3</sup>/s<sup>2</sup> para o deslizamento (EQ.4) para a instabilidade em adultos, e 0,73 m<sup>2</sup>/s para o tombamento e 0,83 m<sup>3</sup>/s<sup>2</sup> para o deslizamento para a instabilidade em crianças. Esses valores fornecem uma base quantitativa para caracterizar a instabilidade humana baseado nos valores de profundidade e velocidade obtidos na modelagem hidrodinâmica.

Com isso, foi possível gerar os mapas de risco referentes à instabilidade por tombamento e por deslizamento para adultos (Figura 14). Onde as zonas em amarelo e vermelho demonstram os locais suscetíveis ao risco.

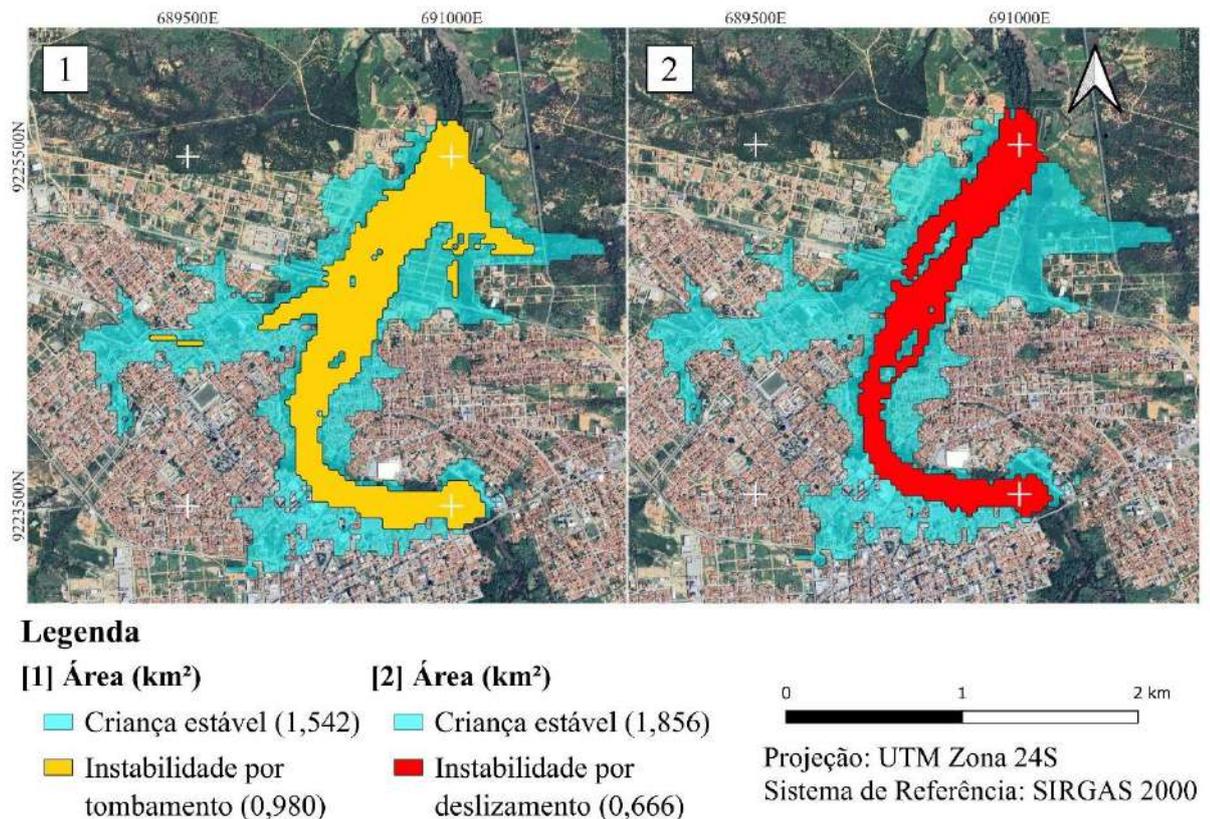
**Figura 14:** Mapa de risco referente ao tombamento e deslizamento para adultos.



Fonte: Autor, 2025.

Diante da análise sobre a área gerada, é possível estabelecer uma área sujeita ao risco, de 0,671 km<sup>2</sup> quando se refere ao tombamento de pessoas, e de 0,533 km<sup>2</sup> relacionado ao deslizamento de pessoas. O mapa de risco para instabilidade em crianças é apresentado na Figura 15.

**Figura 15:** Mapa de risco referente ao tombamento e deslizamento para crianças.

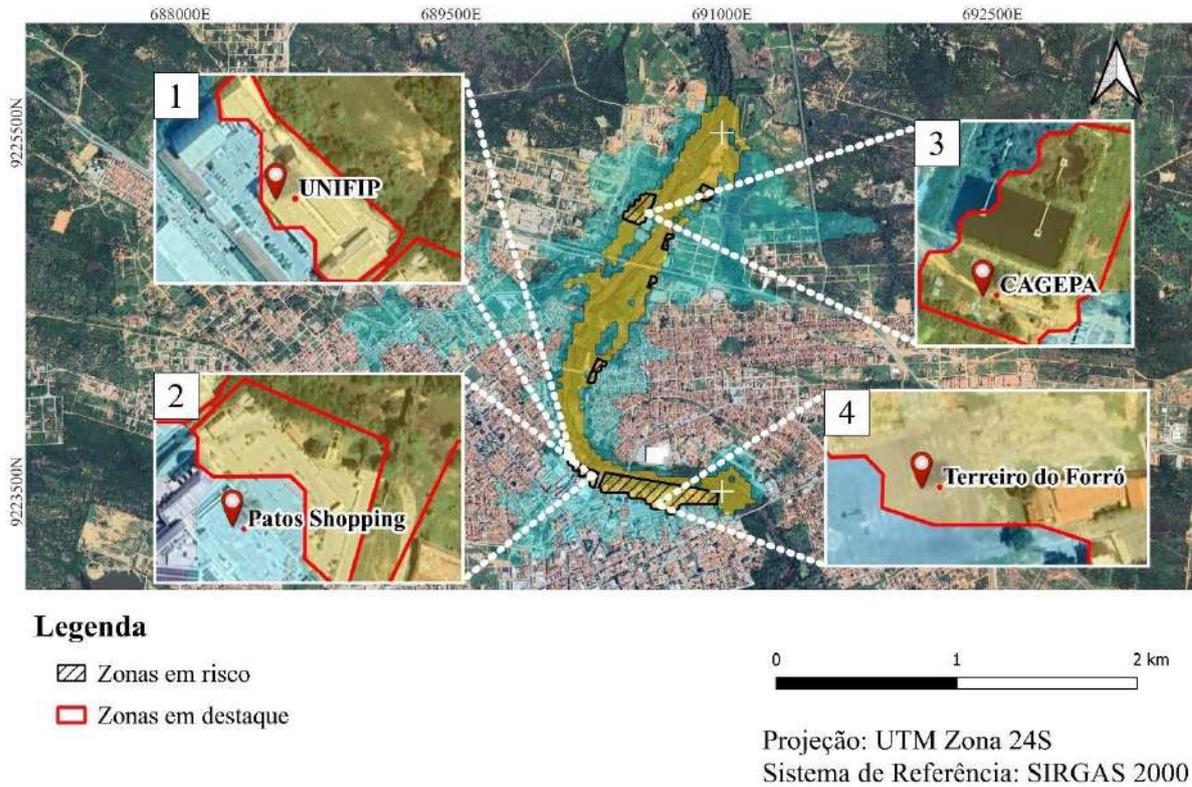


**Fonte:** Autor, 2025.

Diante do Figura 15, é possível analisar que as áreas, quando considerados os parâmetros de aplicação para crianças, aumentam de forma significativa as áreas de risco, demonstrando áreas de 0,980 km<sup>2</sup> quando se refere ao tombamento de pessoas, e de 0,666 km<sup>2</sup> relacionado ao deslizamento, reforçando a necessidade e a importância de considerar diferentes perfis que podem estar sujeitos às áreas inundáveis para a abordagem.

A Figura 14 e a Figura 15 indicam que áreas com grande circulação de pessoas da cidade de Patos-PB estão inseridas em zonas de risco, o que pode representar uma ameaça significativa à segurança das pessoas e às atividades locais. Diante disso, os principais pontos afetados, para o risco em adultos, podem ser destacados conforme a Figura 16.

**Figura 16:** Principais pontos atingidos pelo mapeamento de riscos para adultos.



**Fonte:** Autor, 2025.

Os destaques foram baseados em polos de atração do público adulto, tendo em vista que as crianças geralmente não frequentam esses locais isoladamente, com isso, é possível destacar alguns pontos importantes:

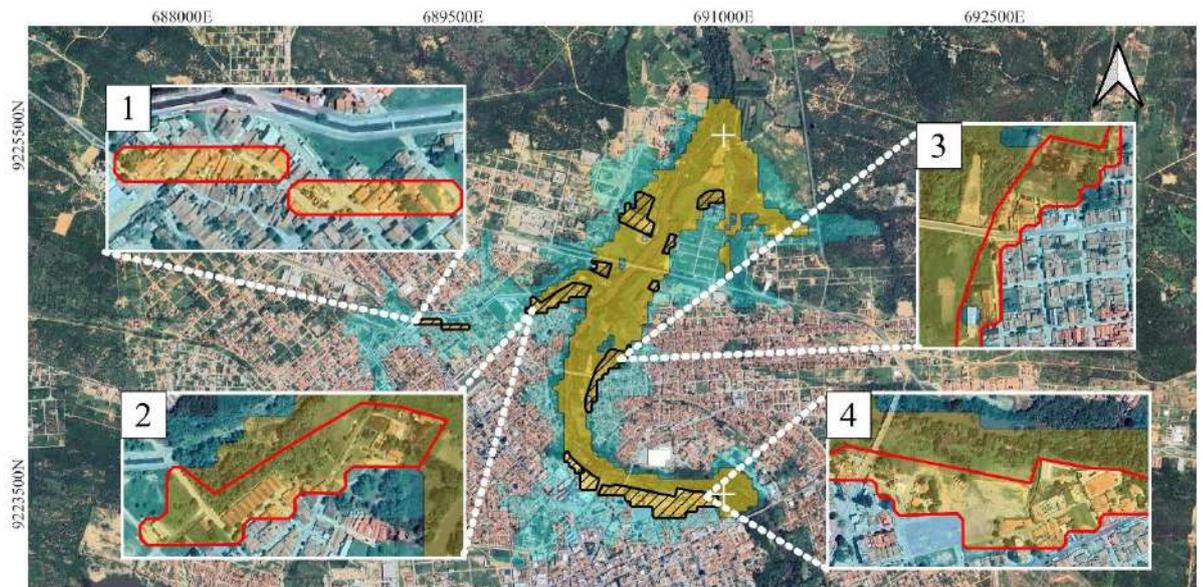
- **Terreiro do Furró** – Principal espaço para eventos de grande porte na cidade, que recebe um alto fluxo de pessoas, especialmente durante época de festividades, como é o caso do tradicional São João de Patos, onde a expectativa, em 2023, era atingir um público de 150 mil pessoas por noite (Prefeitura de Patos, 2023). Dessa forma, o risco de instabilidade pode comprometer a segurança do público e a realização dos eventos, que geralmente compreendem o regime de chuvas da cidade de Patos.
- **Unidade de Almojarifado da CAGEPA** – Local que concentra um fluxo constante de trabalhadores, podendo expô-los a situações de risco;
- **UNIFIP** – A UNIFIP é registrada no e-MEC com a qualificação de Centro Universitário, conforme informações disponibilizadas pelo Ministério da Educação (MEC), e conta com 29 cursos de graduação no campus (BRASIL, 2025). A sede do campus atingido pela inundação conta com circulação aproximada de 5.000 alunos

matriculados e 420 docentes, demonstrando intensa circulação de estudantes, professores e funcionários (QUEROBOLSA, 2025). A inclusão dessa área na zona de risco levanta preocupações quanto à segurança da comunidade acadêmica.

- **Patos Shopping** – O empreendimento conta com mais de 40.000 m<sup>2</sup> de área construída e 18.600 m<sup>2</sup> de Área Bruta Locável (ABL), além de planejar a acomodação de 147 unidades comerciais (PATOS SHOPPING, 2025). O impacto nesse estabelecimento se concentra principalmente na área de estacionamento, o que pode comprometer a mobilidade e a integridade das pessoas que frequentam o local.

Também é possível extrair, para o mapeamento de risco para crianças, os principais bairros atingidos, tendo em vista que nesses locais é presumido que as crianças possuem maior probabilidade de frequentarem sozinhas. Esses bairros estão destacados na Figura 17.

**Figura 17:** Principais pontos atingidos pelo mapeamento de riscos para crianças.



#### Legenda

- |  |                          |  |                                     |
|--|--------------------------|--|-------------------------------------|
|  | Zonas urbanas em risco   |  | [3] Bairros Vitória e São Sebastião |
|  | [1] Bairro Jardim Europa |  | [4] Bairro Brasília                 |
|  | [2] Bairro Bela Vista    |  |                                     |

0 1 2 km

Projeção: UTM Zona 24S  
Sistema de Referência: SIRGAS 2000

**Fonte:** Autor, 2025.

A diferenciação das áreas de risco para adultos e crianças justifica-se principalmente pelas variações nas condições físicas e fisiológicas entre esses dois grupos. Crianças apresentam menor estatura, peso corporal reduzido e menor estabilidade postural, fatores que

as tornam mais suscetíveis aos efeitos da lâmina de água e da força do escoamento durante eventos de inundação. Estudos como (LI *et al.*, 2023) e (LI *et al.*, 2024) mostram que lâminas d'água que não oferecem risco de tombamento a adultos podem representar instabilidade crítica para crianças, devido à menor resistência à flutuação e à menor capacidade de reação diante de fluxos repentinos. Assim, a delimitação das zonas de risco precisa considerar essas particularidades, permitindo um planejamento urbano mais sensível às diferenças de vulnerabilidade entre os grupos populacionais.

A presença dessas áreas em zonas de risco destacadas na Figura 17 demonstram a necessidade urgente de ações preventivas e estratégias de mitigação, uma vez que a exposição a condições adversas pode comprometer tanto a integridade física das pessoas quanto a continuidade das atividades essenciais nesses locais. Áreas de risco, especialmente aquelas que recebem um grande fluxo de indivíduos, como espaços para eventos, centros universitários, estabelecimentos comerciais e unidades operacionais, possuem um elevado potencial para gerar danos humanos e materiais em caso de inundações.

Diante desse cenário, torna-se indispensável a adoção de medidas não estruturais, como a capacitação de equipes técnicas, a elaboração de planos de emergência e a sensibilização da comunidade quanto aos protocolos de segurança. No entanto, essas ações devem ser acompanhadas por estratégias estruturais e urbanísticas, como a inclusão de diretrizes específicas nos Planos Diretores Municipais, a implementação de técnicas compensatórias de drenagem urbana (tais como telhado verde, pavimentos permeáveis e reservatórios de detenção), e o uso de infraestruturas verdes, tendo em vista que a integração entre gestão territorial e drenagem urbana sustentável é essencial para o enfrentamento de desastres hidrológicos em centros urbanos. Somente por meio de uma abordagem integrada, interdisciplinar e preventiva, que envolva ações técnicas, políticas públicas e participação social, será possível minimizar riscos, proteger vidas e garantir a resiliência desses territórios frente a potenciais ameaças.

#### **4 CONCLUSÕES**

A análise realizada demonstra que determinadas regiões estratégicas da cidade apresentam significativa vulnerabilidade a inundações, ressaltando a necessidade de ações preventivas e mitigatórias para reduzir seus impactos. O mapeamento de risco evidenciou que bairros como Bela Vista, Belo Horizonte e Jardim Brasil, além de pontos de interesse como o Terreiro do Forró e o Patos Shopping, encontram-se em zonas críticas de inundação, expondo pessoas a riscos como tombamento e deslizamento.

Além disso, a avaliação baseada em diferentes perfis de abordagem mostrou-se eficaz para o planejamento e controle urbano. Quando a simulação considerou os parâmetros físicos de crianças, verificou-se um aumento expressivo das áreas suscetíveis a tombamentos de aproximadamente 46% e deslizamentos próximos a 25%, fornecendo informações valiosas para a gestão do território e a formulação de estratégias mais precisas.

Este estudo se destacou por sua contribuição à gestão urbana e ao planejamento de emergências, oferecendo subsídios técnicos para a formulação de políticas públicas voltadas à segurança das populações vulneráveis a chuvas intensas. Adicionalmente, reforça a importância da modelagem computacional como ferramenta essencial na análise dos impactos ambientais e urbanos, possibilitando a implementação de medidas preventivas de forma mais eficiente e eficaz.

Dessa forma, espera-se que esta pesquisa sirva de referência para estudos futuros, auxiliando no aprimoramento das técnicas de monitoramento e previsão de desastres naturais, bem como sensibilizando gestores públicos para a adoção de medidas que minimizem os danos à população em eventos de inundação. Com isso, este estudo contribui diretamente para a formulação de estratégias preventivas, o planejamento de emergências e a construção de ações conjuntas entre a comunidade e o poder público, promovendo uma defesa permanente contra inundações.

## REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 10520: citações: elaboração**. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro, 2023.

ALVARES, Clayton Alcarde *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 1 dez. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Acesso em: 14 maio 2025.

ANA. Agência Nacional de Águas. Uso múltiplos – Prevenção de inundações. Disponível em: Acesso em: 7 mar. 2024.

ARRIGHI, Chiara; OUMERACI, Hocine; CASTELLI, Fabio. Hydrodynamics of pedestrians' instability in floodwaters. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 21, n. 1, p. 515-531, 26 jan. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/hess-21-515-2017>. Acesso em: 16 maio 2025.

AZEVEDO, Flavio Souza *et al.* Simulação hidrológica de biorretenção: análise de eficiência de técnicas compensatórias para mitigar impactos da urbanização. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, 28 out. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1413-415220200349>. Acesso em: 16 maio 2025.

BANCO MUNDIAL. **Urban population (% of total population) - Brazil**. Disponível em: <<https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS?locations=BR>>.

BRASIL. Ministério da Educação. **e-MEC - Consulta ao Cadastro Institucional**. Disponível em: <https://emec.mec.gov.br>. Acesso em: 10 mar. 2025.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Atlas Digital de Desastres no Brasil**. Brasília, 2025. Disponível em: <https://atlasdigital.mdr.gov.br/paginas/mapa-interativo.xhtml>. Acesso em: 6 mar. 2025.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Classificação e Codificação Brasileira de Desastres – COBRADE**. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/protecao-e-defesa-civil-sedec>. Acesso em: 6 mar. 2025.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Secretaria Especial de Articulação e Monitoramento. Secretaria Adjunta VI - Recursos Hídricos. **Nota Técnica nº 1/2023/SADJ-VI/SAM/CC/PR. Atualização dos critérios e indicadores para a identificação dos municípios mais suscetíveis à ocorrência de deslizamentos, enxurradas e inundações**. Brasília: Presidência da República, 2023. Disponível em: [https://www.gov.br/mdr/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/protecao-e-defesa-civil-sedec/copy\\_of\\_NotaTcnica12023SADJVISAMCCPR\\_SEI\\_00042.000497\\_2023\\_74.pdf](https://www.gov.br/mdr/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/protecao-e-defesa-civil-sedec/copy_of_NotaTcnica12023SADJVISAMCCPR_SEI_00042.000497_2023_74.pdf). Acesso em: 14 fev. 2025.

CEMADEN. **Cemaden registra recorde de alertas e mais de 1,6 mil ocorrências de desastre em 2024**. 10 jan. 2025. Disponível em: <https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202501/cemaden-registra-recorde-de-alertas-e-mais-de-1-6-mil-ocorrencias-de-desastre-no-brasil-em-2024>. Acesso em: 16 maio 2025.

CEMADEN. **Inundação**. Disponível em: <<http://www2.cemaden.gov.br/inundacao/>>. Acesso em 27 fev. 2024.

IBGE. CENSO 2022 | IBGE. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-demografico-2022.html?edicao=41851&t=resultados>. Acesso em: 16 maio 2025.

**CRED**. 2023: Disasters in Numbers. Brussels: Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), 2024. Disponível em: [https://files.emdat.be/reports/2023\\_EMDAT\\_report.pdf](https://files.emdat.be/reports/2023_EMDAT_report.pdf). Acesso em: 6 mar. 2025.

FRANÇA, J. V. B. **Análise dos mecanismos de instabilidade humana em inundações na bacia do Riacho do Frango, em Patos-PB**. 2022. 46 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - UNIFIP, Universidade da Paraíba, Patos.

GÓMEZ-BAGGETHUN, Erik. *et al.* Urban Ecosystem Services. In: ELMQVIST, T. *et al.* (EDS.). **Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2013. cap. 11, p. 182-183.

HASSAN, Bassma Taher; YASSINE, Mohamad; AMIN, Doaa. Comparison of Urbanization, Climate Change, and Drainage Design Impacts on Urban Flashfloods in an Arid Region: Case

Study, New Cairo, Egypt. **Water**, v. 14, n. 15, p. 2430, 5 ago. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w14152430>. Acesso em: 19 maio 2025.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2022: população e domicílios por situação do domicílio – urbana e rural**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-demografico-2022.html?edicao=41851&t=resultados>. Acesso em: 11 mar. 2025.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados**. Rio de Janeiro, 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Climatologia**. Rio de Janeiro, 2002.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Tabela 2399**: Estimativas dos percentis das medidas antropométricas de crianças e adolescentes com até 19 anos de idade, por situação do domicílio e sexo - Brasil. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/2399>. Acesso em: 11 mar. 2025.

IBGE. **Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pns/pns-2019>.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Tabelas de Dados das Estações**. Estação de Patos-PB. 2022.

JONKMAN, S. N.; PENNING-ROUSELL, E. Human Instability in Flood Flows<sup>1</sup>. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 44, n. 5, p. 1208–1218, out. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2008.00217.x>. Acesso em: 7 mar. 2024.

LI, Qijie *et al.* Risk assessment of individuals exposed to urban floods. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, p. 103599, fev. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.103599>. Acesso em: 19 maio 2025.

LI, Qijie *et al.* Risk assessment of metro tunnel evacuation in devastating urban flooding events. **Tunnelling and Underground Space Technology**, v. 144, p. 105540, fev. 2024b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2023.105540>. Acesso em: 19 maio 2025.

DE LIMA, Gabriela Narcizo; FONSECA-SALAZAR, Ma Alejandra; CAMPO, Julio. Urban growth and loss of green spaces in the metropolitan areas of São Paulo and Mexico City: effects of land-cover changes on climate and water flow regulation. **Urban Ecosystems**, 10 ago. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11252-023-01394-0>. Acesso em: 19 maio 2025.

ALVES, M. F. A. *et al.* Análise do regime hídrico de Patos-PB por meio do Índice de Anomalia de Chuvas (IAC). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 2, p. 42, 7 dez. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.18378/rvads.v10i4.3805>. Acesso em: 19 maio 2025.

MILANESI, Luca; PILOTTI, Marco; RANZI, Roberto. A conceptual model of people's vulnerability to floods. **Water Resources Research**, v. 51, n. 1, p. 182-197, jan. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/2014wr016172>. Acesso em: 19 maio 2025.

MOKHOV, I. I. Climate Change: Causes, Risks, Consequences, and Problems of Adaptation and Regulation. **Herald of the Russian Academy of Sciences**, v. 92, n. 1, p. 1-11, fev. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1134/s101933162201004x>. Acesso em: 19 maio 2025.

NETO, ALFREDO; BATISTA, Larissa; COUTINHO, Roberto. Methodologies for generation of hazard indicator maps and flood prone areas: municipality of Ipojuca/PE. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 2, p. 377-390, 1 abr. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.21168/rbrh.v21n2.p377-390>. Acesso em: 19 maio 2025.

OSORIO, P. Brasil registrou mais de mil desastres naturais em 2023, segundo o Cemaden. **CNN Brasil**. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/brasil-registrou-mais-de-mil-desastres-naturais-em-2023-segundo-o-cemaden/>. Acesso em: 28 fev. 2024.

PATOS. **Prefeitura Municipal de Patos. São João de Patos: História e Cultura**. Patos, 2025. Disponível em: [https://patos.pb.gov.br/noticias/p2\\_articleid/14694](https://patos.pb.gov.br/noticias/p2_articleid/14694). Acesso em: 10 mar. 2025.

PURINTON, Benjamin; BOOKHAGEN, Bodo. **Frontiers | Beyond Vertical Point Accuracy: Assessing Inter-pixel Consistency in 30 m Global DEMs for the Arid Central Andes**. 8 out. 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/earth-science/articles/10.3389/feart.2021.758606/full>. Acesso em: 19 maio 2025.

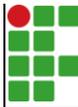
QUEROBOLSA. **UNIFIP - Centro Universitário de Patos**. Disponível em: <https://querobolsa.com.br/fip-patos>. Acesso em: 10 mar. 2025.

STEPHENSON, David. Integrated flood plain management strategy for the Vaal. **Urban Water**, v. 4, n. 4, p. 423-428, dez. 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/s1462-0758\(02\)00032-8](https://doi.org/10.1016/s1462-0758(02)00032-8). Acesso em: 19 maio 2025.

UFSC. **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012 (volume Paraíba)**. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. 2. ed. Florianópolis: CEPED UFSC, 2013.

UNDP.; **Reducing Disaster Risk, A Challenge for Development**. United Nations Development Programme. 2004.

VIEIRA, L. M. S. *et al.* Análise da ocorrência de deslizamento de corpos humanos na planície de inundação a jusante da barragem de Santa Helena-BA decorrente de sua ruptura hipotética. **XII ENAU - ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS**. 12., 2018, Maceió.

	<b>INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA</b>
	Campus Patos - Código INEP: 25281925
	Br 110, S/N, Alto da Tubiba, CEP 58700-000, Patos (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0006-80 - Telefone: None

## Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

### Trabalho de Conclusão de Curso

<b>Assunto:</b>	Trabalho de Conclusão de Curso
<b>Assinado por:</b>	Lucas Candeia
<b>Tipo do Documento:</b>	Anexo
<b>Situação:</b>	Finalizado
<b>Nível de Acesso:</b>	Ostensivo (Público)
<b>Tipo do Conferência:</b>	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- **Lucas Candeia Porto, ALUNO (202016550013) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL - PATOS**, em 19/05/2025 12:22:26.

Este documento foi armazenado no SUAP em 19/05/2025. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1494416

Código de Autenticação: 2ee7d438f0

