



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO  
TOCANTINS  
CAMPUS PALMAS  
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

**LAYSA ALVES SOUZA**

**ANÁLISE DA MORFOMETRIA E DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA  
BACIA DO HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO PERNADA, EM PARAÍSO DO  
TOCANTINS - TO**

**PALMAS**

**2026**

**LAYSA ALVES SOUZA**

**ANÁLISE DA MORFOMETRIA E DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA  
BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO PERNADA, EM PARAÍSO DO  
TOCANTINS - TO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
como requisito parcial para obtenção do título de  
Bacharel no Curso Superior de Engenheiro Civil  
do Instituto Federal do Tocantins, Campus  
Palmas.

Orientadora: Prof. Dra. Michelle Ludmila  
Guedes dos Santos

**PALMAS  
2026**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins**

---

S719a      Souza, Laysa Alves  
              Análise da morfometria e do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do  
              córrego pernada, em Paraíso do Tocantins - TO / Laysa Alves Souza. – Palmas,  
              TO, 2026.  
              52 p. : il.

              Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) –  
              Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - IFTO,  
              Palmas, TO, 2026.

              Orientadora: Dra. Michelle Ludmila Guedes Dos Santos.

              1. Bacia hidrográfica. 2. Análise morfométrica. 3. Ocupação do solo. I.  
              Santos, Michelle Ludmila Guedes Dos. II. Título.

---

**CDD 624**

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

## FOLHA DE APROVAÇÃO

**LAYSA ALVES SOUZA**

### **ANÁLISE DA MORFOMETRIA E DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO PERNADA, EM PARAÍSO DO TOCANTINS - TO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à  
Coordenação do curso de Engenharia Civil Instituto  
Federal do Tocantins - Campus Palmas, como exigência  
à obtenção do grau em Engenheiro Civil.

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

#### **BANCA AVALIADORA**



Documento assinado digitalmente

**MICHELLE LUDMILA GUEDES DOS SANTOS**

Data: 26/05/2026 16:40:49-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Michelle Ludmila Guedes dos Santos  
Instituto Federal do Tocantins



Documento assinado digitalmente

**ADRIANA SORAYA ALEXANDRIA MONTEIRO**

Data: 26/05/2026 16:22:14-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Adriana Soraya Alexandria Monteiro  
Instituto Federal do Tocantins



Documento assinado digitalmente

**ELAINE DA CUNHA SILVA PAZ**

Data: 26/05/2026 15:58:45-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Elaine da Cunha Silva Paz  
Instituto Federal do Tocantins

## RESUMO

A bacia hidrográfica do Córrego Pernada, localizada no município de Paraíso do Tocantins, possui significativa importância ambiental e hidrológica para a região, especialmente diante das transformações relacionadas ao uso e ocupação do solo observadas nos últimos anos. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo realizar a análise morfométrica da bacia hidrográfica e avaliar a influência das mudanças antrópicas sobre sua dinâmica ambiental e hidrológica entre os anos de 2014 e 2024. Para o desenvolvimento da pesquisa, foram utilizadas técnicas de geoprocessamento, sensoriamento remoto e Sistemas de Informação Geográfica, com auxílio do software QGIS, além de dados altimétricos SRTM e imagens LANDSAT obtidas na plataforma USGS. A partir dessas informações, foi realizada a delimitação da bacia hidrográfica e o cálculo dos parâmetros morfométricos, incluindo área, perímetro, fator de forma, índice de circularidade, índice de compactidade, densidade de drenagem, declividade média e tempo de concentração. Também foram elaborados mapas temáticos de hipsometria, declividade, tipos de solos e uso e ocupação do solo referentes aos anos de 2014 e 2024. Os resultados indicaram que a bacia apresenta área aproximada de 18,7 km<sup>2</sup>, formato alongado, baixa tendência natural à ocorrência de enchentes e rede de drenagem bem desenvolvida. A análise do uso e ocupação do solo evidenciou o avanço das áreas urbanizadas e das atividades agropecuárias sobre áreas de vegetação natural, demonstrando aumento das intervenções antrópicas ao longo do período analisado. Em relação aos tipos de solos, observou-se a predominância de Latossolos, Neossolos e Plintossolos, influenciando diretamente os processos de infiltração, drenagem e erosão na bacia. Para avaliação dos impactos hidrológicos dessas transformações, aplicou-se o Método Racional para estimativa da vazão máxima de escoamento superficial, utilizando intensidade pluviométrica de 166,40 mm/h obtida por meio do aplicativo Plúvio. Os resultados demonstraram aumento da vazão máxima de aproximadamente 190,17 m<sup>3</sup>/s em 2014 para 389,03 m<sup>3</sup>/s em 2024, evidenciando que as mudanças antrópicas contribuíram para o aumento do escoamento superficial e alterações no comportamento hidrológico da bacia hidrográfica do Córrego Pernada. Dessa forma, conclui-se que a integração entre análise morfométrica, geoprocessamento e avaliação temporal do uso do solo permitiu compreender de maneira mais ampla a dinâmica ambiental da bacia, contribuindo para o planejamento ambiental e para a gestão sustentável dos recursos hídricos da região.

**Palavras-chave:** Bacia hidrográfica. Análise morfométrica. Uso e ocupação do solo. Geoprocessamento. Recursos hídricos. Método Racional.

## ABSTRACT

The Córrego Pernada watershed, located in the municipality of Paraíso do Tocantins, has significant environmental and hydrological importance for the region, especially considering the transformations related to land use and land cover observed in recent years. In this context, the present study aimed to carry out a morphometric analysis of the watershed and evaluate the influence of anthropogenic changes on its environmental and hydrological dynamics between 2014 and 2024. For the development of the research, geoprocessing, remote sensing, and Geographic Information System techniques were used with the support of QGIS software, in addition to SRTM altimetric data and LANDSAT images obtained from the USGS platform. Based on this information, the watershed was delineated and morphometric parameters were calculated, including area, perimeter, form factor, circularity index, compactness coefficient, drainage density, average slope, and concentration time. Thematic maps of hypsometry, slope, soil types, and land use and land cover for the years 2014 and 2024 were also produced. The results indicated that the watershed has an approximate area of 18.7 km<sup>2</sup>, an elongated shape, low natural susceptibility to flooding, and a well-developed drainage network. The land use and land cover analysis revealed the expansion of urbanized and agricultural areas over natural vegetation areas, demonstrating the increase in anthropogenic interventions throughout the analyzed period. Regarding soil types, the predominance of Oxisols, Entisols, and Plinthosols was observed, directly influencing infiltration, drainage, and erosion processes within the watershed. To evaluate the hydrological impacts of these transformations, the Rational Method was applied to estimate the maximum surface runoff discharge, using a rainfall intensity of 166.40 mm/h obtained through the Plúvio application. The results showed an increase in maximum discharge from approximately 190.17 m<sup>3</sup>/s in 2014 to 389.03 m<sup>3</sup>/s in 2024, demonstrating that anthropogenic changes contributed to increased surface runoff and alterations in the hydrological behavior of the Córrego Pernada watershed. Therefore, it is concluded that the integration of morphometric analysis, geoprocessing, and temporal land use assessment allowed for a broader understanding of the watershed's environmental dynamics, contributing to environmental planning and the sustainable management of regional water resources.

**Keywords:** Watershed. Morphometric analysis. Land use and land cover. Geoprocessing. Water resources. Rational Method.

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 01 – Fator de forma (FF).....                                            | 29 |
| Tabela 02 – Classificação da bacia em relação a densidade de drenagem.....      | 30 |
| Tabela 03 – Classificação do relevo de acordo com a declividade.....            | 31 |
| Tabela 04 - Parâmetros morfométricos.....                                       | 36 |
| Tabela 05 – Coeficiente de Escoamento Superficial / Run-off.....                | 43 |
| Tabela 06 – Coeficiente de Escoamento Superficial / Run-off para aplicação..... | 44 |

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 01 - Representação esquemática da bacia hidrográfica em planta.....        | 15 |
| Figura 02 – Fluxograma metodológico.....                                          | 26 |
| Figura 03 – Caracterização da área de estudo.....                                 | 27 |
| Figura 04 – Mapa do curso principal da Bacia Hidrográfica do Córrego Pernada..... | 37 |
| Figura 05 – Mapa Hipsométrico da Bacia Hidrográfica do Córrego Pernada.....       | 38 |
| Figura 06 – Mapa de Uso e Ocupação da Bacia Hidrográfica do Córrego Pernada.....  | 40 |
| Figura 07 – Mapa de Declividade da Bacia Hidrográfica do Córrego Pernada.....     | 41 |
| Figura 08 – Mapa de Tipos de Solos da Bacia Hidrográfica do Córrego Pernada.....  | 42 |

## **SIGLAS**

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico;  
DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes;  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;  
LANDSAT – Land Remote Sensing Satellite;  
MDE – Modelo Digital de Elevação;  
MMA – Ministério do Meio Ambiente;  
MNT – Modelo Numérico de Terreno;  
NASA – National Aeronautics and Space Administration;  
QGIS – Quantum Geographic Information System;  
SIG – Sistema de Informação Geográfica;  
SRTM – Shuttle Radar Topography Mission;  
USGS – United States Geological Survey;  
UTM – Universal Transversa de Mercator.

## SÍMBOLOS

A – Área da bacia hidrográfica (km<sup>2</sup>);

Dd – Densidade de drenagem (km/km<sup>2</sup>);

$\Delta H$  – Amplitude altimétrica (m);

Ff – Fator de forma (-);

Ic – Índice de circularidade (-);

Kc – Índice de compacidade (-);

L – Comprimento do curso d'água principal (km);

Lt – Comprimento total dos cursos d'água (km);

P – Perímetro da bacia (km);

Tc – Tempo de concentração (min).

## SUMÁRIO

|                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO.....</b>                                               | <b>11</b> |
| <b>2. PROBLEMA DE PESQUISA.....</b>                                     | <b>12</b> |
| <b>3. JUSTIFICATIVA.....</b>                                            | <b>12</b> |
| <b>4. OBJETIVOS.....</b>                                                | <b>13</b> |
| <b>4.1 Objetivo Geral.....</b>                                          | <b>13</b> |
| <b>4.2 Objetivo Específico.....</b>                                     | <b>13</b> |
| <b>5. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>                                      | <b>13</b> |
| <b>5.1 Bacia Hidrográfica.....</b>                                      | <b>13</b> |
| <b>5.2 Características Morfométricas de uma Bacia Hidrográfica.....</b> | <b>15</b> |
| 5.2.1 Área de Drenagem.....                                             | 16        |
| 5.2.2 Perímetro.....                                                    | 16        |
| 5.2.3 Declividade Média da Bacia.....                                   | 16        |
| 5.2.4 Tempo de Concentração.....                                        | 17        |
| 5.2.5 Densidade de Drenagem.....                                        | 17        |
| 5.2.6 Fator de Forma.....                                               | 18        |
| 5.2.7 Índice de Compacidade.....                                        | 18        |
| 5.2.8 Índice de Circularidade.....                                      | 19        |
| <b>5.3 Lei da Água (Lei 9.433/97).....</b>                              | <b>19</b> |
| <b>5.4 Uso e Ocupação do Solo.....</b>                                  | <b>19</b> |
| <b>5.5 Geoprocessamento.....</b>                                        | <b>20</b> |
| 5.5.1 Sistema de Informação Geográfica.....                             | 21        |
| 5.5.2 Sensoriamento Remoto.....                                         | 21        |
| <b>5.6 Vazões.....</b>                                                  | <b>22</b> |
| 5.6.1 Medições Fluviométricas.....                                      | 23        |
| 5.6.2 Método Racional.....                                              | 23        |
| 5.6.3 Balanço Hídrico.....                                              | 24        |
| 5.6.4 Método Racional Modificado.....                                   | 24        |
| <b>6. METODOLOGIA.....</b>                                              | <b>24</b> |
| <b>6.1 Área de Estudo.....</b>                                          | <b>27</b> |
| <b>6.2 Área da Bacia Hidrográfica.....</b>                              | <b>28</b> |
| <b>6.3 Perímetro da Bacia.....</b>                                      | <b>28</b> |
| <b>6.4 Cálculo de Fator de Forma.....</b>                               | <b>29</b> |
| <b>6.5 Cálculo de Densidade de Drenagem.....</b>                        | <b>29</b> |
| <b>6.6 Cálculo de Declividade Média.....</b>                            | <b>30</b> |
| <b>6.7 Cálculo do Índice de Compacidade.....</b>                        | <b>31</b> |
| <b>6.8 Cálculo de Índice de Circularidade.....</b>                      | <b>31</b> |
| <b>6.9 Cálculo de Tempo de Concentração.....</b>                        | <b>32</b> |
| <b>6.10 Uso e Ocupação do Solo.....</b>                                 | <b>32</b> |
| <b>6.11 Escoamento Superficial.....</b>                                 | <b>33</b> |

|                                        |           |
|----------------------------------------|-----------|
| 6.11.1 Método Racional.....            | 34        |
| 6.11.2 Balanço Hídrico.....            | 34        |
| 6.11.3 Método Racional Modificado..... | 35        |
| <b>7. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b> | <b>35</b> |
| <b>7.1 Análise Morfométrica.....</b>   | <b>35</b> |
| <b>7.2 Escoamento Superficial.....</b> | <b>43</b> |
| <b>8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>    | <b>45</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                | <b>48</b> |
| <b>ANEXO.....</b>                      | <b>52</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, as mudanças relacionadas ao uso e à ocupação do solo têm ocorrido de forma cada vez mais intensa em diversas regiões, especialmente em áreas urbanas e periurbanas. Essas transformações provocam impactos importantes sobre os sistemas ambientais, modificando suas características naturais e o equilíbrio ecológico. Nesse contexto, as bacias hidrográficas assumem grande relevância, pois representam unidades essenciais para compreender a relação entre os processos naturais e as intervenções realizadas pelas atividades humanas. Conforme ressaltam Santos et al. (2021), a análise integrada dessas unidades permite identificar comportamento hidrológico e avaliar os impactos decorrentes da ocupação antrópica.

A caracterização morfométrica das bacias hidrográficas é uma ferramenta importante para compreender suas características físicas e o comportamento hidrológico da área. A análise de parâmetros como área, perímetro, formato da bacia e rede de drenagem permite entender como ocorre o escoamento superficial da água e identificar a suscetibilidade da bacia à ocorrência de enchentes e outros processos hidrológicos.

Além das características físicas, o uso e a ocupação do solo influenciam diretamente o funcionamento das bacias hidrográficas. A remoção da vegetação natural e o crescimento das áreas impermeabilizadas provocam alterações no ciclo hidrológico, favorecendo o aumento do escoamento superficial e diminuindo a infiltração da água no solo. Segundo Aires et al. (2024), as diversas atividades associadas às condições de uso e ocupação do solo impactam negativamente a qualidade da água e a disponibilidade hídrica, resultando em prejuízos como o assoreamento por sedimentos.

Com o desenvolvimento das tecnologias geoespaciais, passou a ser possível realizar análises mais detalhadas e precisas das bacias hidrográficas. Ferramentas como os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e o sensoriamento remoto vêm sendo amplamente empregadas na delimitação de bacias e na avaliação do uso e ocupação do solo, proporcionando maior precisão e confiabilidade aos resultados obtidos. Conforme destacam Almeida et al. (2022), a aplicação dessas ferramentas contribui significativamente para o planejamento ambiental e para a gestão sustentável dos recursos naturais.

Diante desse contexto, a bacia hidrográfica do Córrego Pernada, situada no município de Paraíso do Tocantins, destaca-se como uma área importante para estudo, principalmente devido às mudanças no uso e ocupação do solo e aos possíveis impactos dessas alterações sobre a dinâmica hidrológica local. Dessa forma, este trabalho propõe uma análise integrada das características morfométricas e do uso e ocupação do solo da bacia e a influência sobre o escoamento superficial,

com o objetivo de compreender seu comportamento ambiental e fornecer informações que possam auxiliar no planejamento e na gestão dos recursos hídricos.

## **2. PROBLEMA DE PESQUISA**

Como a interação entre os parâmetros morfométricos e o uso e ocupação do solo interfere na dinâmica ambiental da bacia hidrográfica do Córrego Pernada?

## **3. JUSTIFICATIVA**

O estudo de bacias hidrográficas é essencial para o entendimento da dinâmica ambiental e para o planejamento adequado dos recursos hídricos. Conforme destaca Tucci (2002), a bacia hidrográfica é a unidade mais apropriada para análises hidrológicas, pois permite integrar os diferentes processos que influenciam o escoamento da água.

A análise morfométrica, nesse contexto, contribui para a compreensão das características físicas da bacia e de seu comportamento hidrológico. Segundo Villela e Mattos (1975), parâmetros como área, forma e densidade de drenagem influenciam diretamente a resposta da bacia a eventos de precipitação.

Além disso, as mudanças no uso e ocupação do solo exercem impacto significativo sobre a dinâmica hidrológica, podendo intensificar o escoamento superficial e favorecer a ocorrência de processos erosivos. Segundo Moura et al. (2022), a análise morfométrica e a caracterização das bacias hidrográficas são ferramentas importantes para compreender o comportamento hidrológico dessas áreas, além de contribuir para o entendimento das dinâmicas ambientais presentes na bacia.

No município de Paraíso do Tocantins, o avanço das atividades urbanas e agropecuárias tem contribuído para alterações na dinâmica ambiental das bacias hidrográficas locais. A bacia do Córrego Pernada apresenta importância para a drenagem e para os recursos hídricos da região, entretanto ainda possui uso considerado limitado e carência de informações técnicas, conforme apontamentos da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), em anexo. Além disso, a ocupação das áreas próximas ao córrego pode favorecer o aumento do escoamento superficial, processos erosivos e assoreamento, tornando necessária a realização de estudos que auxiliem no planejamento ambiental e na gestão adequada desses recursos hídricos.

Nesse sentido, a realização deste estudo na bacia do Córrego Pernada, localizada em Paraíso do Tocantins, torna-se importante para compreender a relação entre as características morfométricas

da bacia e o uso do solo. Além disso, a pesquisa busca contribuir com informações que possam auxiliar no planejamento ambiental e na gestão adequada dos recursos hídricos da região.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo Geral**

Analisar a bacia hidrográfica do Córrego Pernada, em Paraíso do Tocantins – TO, por meio da caracterização de seus aspectos morfométricos e do uso e ocupação do solo, buscando compreender as características físicas, as transformações antrópicas e a influência do escoamento superficial.

### **4.2 Objetivo Específico**

- Delimitar a bacia hidrográfica do Córrego Pernada com o auxílio de ferramentas de geoprocessamento;
- Determinar os parâmetros morfométricos da bacia, como área, perímetro, densidade de drenagem, fator de forma, tempo de concentração, declividade média da bacia, índice de circularidade e índice de compacidade;
- Analisar as características físicas da bacia hidrográfica a partir dos parâmetros obtidos, interpretando seu comportamento hidrológico;
- Mapear e classificar o uso e ocupação do solo na área de estudo;
- Avaliar as alterações no uso e ocupação do solo e suas possíveis influências sobre a dinâmica da bacia, em um período de 10 anos;
- Relacionar os parâmetros morfométricos com o uso do solo e a influência do escoamento dentro o período estudado, através de correlações estatísticas e análise espacial.

## **5. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **5.1 Bacia Hidrográfica**

De acordo com Júnior (2022), a bacia hidrográfica pode ser entendida como uma área naturalmente delimitada, drenada por um curso d'água principal ou por um conjunto de cursos interligados, na qual toda a água escoada converge para um único ponto de saída, denominado exutório, foz ou desembocadura.

O autor também ressalta que a exutória representa a porção mais baixa da bacia, sendo o local onde o curso d'água principal deságua em outro corpo hídrico, como rios de maior porte, lagos, reservatórios ou até mesmo no oceano.

Dentro dessa unidade, é comum a existência de subdivisões conhecidas como sub-bacias, que correspondem a áreas menores de drenagem associadas a cursos d'água secundários. Essas subunidades são delimitadas a jusante por uma seção do curso principal, o que contribui para uma melhor organização e compreensão da rede de drenagem existente.

Além de sua definição física, a bacia hidrográfica pode ser entendida como um sistema dinâmico, em que diversos elementos naturais interagem de maneira contínua. Essa relação entre os componentes ambientais faz com que a bacia se torne uma unidade fundamental para estudos ambientais, permitindo analisar de forma integrada os processos naturais e as mudanças ocorridas ao longo do tempo.

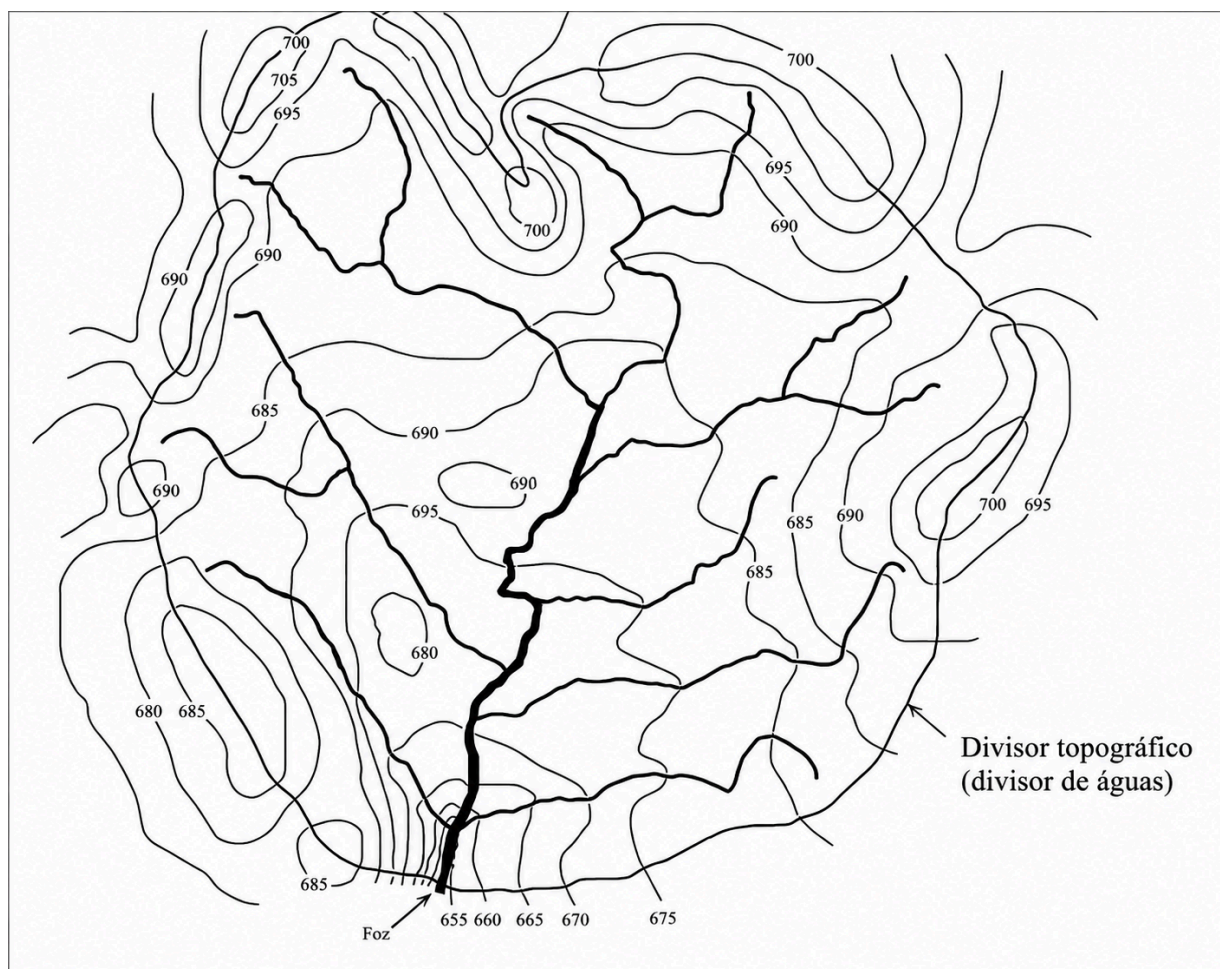
Sob essa perspectiva, Silva et al. (2020) destacam que a análise de bacias hidrográficas é fundamental para a compreensão da dinâmica hidrológica, uma vez que características como a forma da bacia, a declividade do terreno e a organização da rede de drenagem interferem diretamente nos processos de escoamento superficial e infiltração da água no solo.

Conforme Júnior (2022), o divisor de águas, também denominado divisor topográfico, corresponde à linha que delimita o contorno de uma bacia hidrográfica, separando áreas de contribuição hídrica direcionadas a diferentes sistemas de drenagem. Esse elemento é fundamental para a compreensão da dinâmica hidrológica da bacia, uma vez que controla o direcionamento do escoamento superficial e a organização espacial da rede de drenagem.

Nesse sentido, o correto reconhecimento dos divisores topográficos é indispensável para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos, bem como para a mitigação de problemas ambientais, como processos erosivos e eventos de inundação (SILVA *et al.*, 2021).

A Figura 02 apresenta uma representação esquemática da bacia hidrográfica em planta, evidenciando a influência dos divisores topográficos no trajeto das águas e na configuração geométrica da bacia.

**Figura 01** - Representação esquemática da bacia hidrográfica em planta.



Autor: Júnior (2022).

A análise de divisores de água ganha relevância quando aplicada a bacias específicas, como a do Córrego Pernada, no Tocantins. Dessa forma, compreender o contorno topográfico não apenas delimita a bacia, mas também fornece subsídios para a gestão ambiental, o planejamento urbano e a conservação dos recursos hídricos locais.

## 5.2 Características Morfométricas de uma Bacia Hidrográfica

Conforme Christofoletti (1980), as características físicas de uma bacia hidrográfica desempenham papel fundamental na compreensão de seu comportamento hidrológico, uma vez que influenciam diretamente os processos de escoamento, infiltração e armazenamento de água. Nesse sentido, Júnior (2022) destaca que o conhecimento dessas características possibilita a análise da variabilidade espacial das grandezas físicas que condicionam o regime hidrológico da bacia, contribuindo para uma avaliação mais precisa de sua resposta aos eventos de precipitação e às intervenções antrópicas.

### 5.2.1 Área de Drenagem

Segundo Cunha e Guerra (2015), a área de drenagem de uma bacia hidrográfica corresponde à superfície delimitada pelos divisores topográficos, responsável por concentrar e direcionar o escoamento superficial para um ponto comum da rede de drenagem. Essa área é representada como uma projeção horizontal do terreno e pode ser determinada por meio de análises cartográficas e técnicas de geoprocessamento, sendo usualmente expressa em unidades como quilômetros quadrados (km<sup>2</sup>) ou hectares (ha).

### 5.2.2 Perímetro

Na visão de Tucci (2004) e Pimentel (2015) o perímetro da bacia hidrográfica corresponde à extensão total do contorno que delimita a área drenada, ou seja, a soma dos comprimentos das suas margens. Esse parâmetro é fundamental para caracterizar a forma da bacia e, quando relacionado à sua área, permite o cálculo de índices morfométricos importantes, como o fator de forma e o índice de compacidade. Estudos indicam que bacias com perímetros relativamente maiores, em relação à área, tendem a apresentar formas mais alongadas e irregulares, o que pode influenciar o comportamento do escoamento superficial e o tempo de concentração da bacia.

Além disso, Tucci (2004) ressalta que o perímetro está diretamente relacionado à complexidade morfológica da bacia, afetando o processo hidrológico, especialmente na resposta da bacia a eventos de chuva. Bacias com perímetros maiores geralmente apresentam uma maior extensão de áreas marginais, o que pode aumentar a variação espacial do escoamento e a heterogeneidade do fluxo de água na rede de drenagem.

### 5.2.3 Declividade Média da Bacia

A declividade média da bacia hidrográfica é um parâmetro morfométrico que representa a inclinação geral do relevo no interior da área drenada, sendo obtida a partir da relação entre a variação altimétrica e o comprimento característico da bacia, conforme o método adotado. De acordo com Almeida *et al.* (2022), esse índice é fundamental para a compreensão da dinâmica hidrológica, pois controla a velocidade do escoamento superficial e a capacidade de transporte de sedimentos. Bacias com maiores declividades médias tendem a apresentar respostas hidrológicas mais rápidas e maior suscetibilidade a processos erosivos. Valores elevados de declividade estão associados a maior

energia do escoamento, enquanto declividades mais suaves favorecem o acúmulo de sedimentos e a infiltração da água no solo.

Conforme Pimentel (2015), às bacias com declividade média elevada apresentam relevo mais acidentado, resultando em escoamento mais rápido e maior potencial erosivo, enquanto bacias com declividade menor tendem a possuir relevo mais suave e escoamento mais lento, favorecendo a infiltração e o armazenamento de água no solo. Assim, a declividade média da bacia é fundamental para a compreensão da dinâmica hidrológica e para o planejamento do uso e manejo dos recursos naturais da região.

#### 5.2.4 Tempo de Concentração

De acordo com Souza *et al.* (2021), bacias hidrográficas com menor tempo de concentração tendem a responder mais rapidamente aos eventos de precipitação, apresentando picos de vazão mais elevados e maior suscetibilidade a cheias. Em contrapartida, bacias com tempos de concentração mais longos apresentam escoamento superficial mais lento e distribuído ao longo do tempo, reduzindo a intensidade dos picos de vazão. Dessa forma, o tempo de concentração constitui um importante parâmetro para estudos hidrológicos e dimensionamento de obras hidráulicas.

#### 5.2.5 Densidade de Drenagem

Conforme apontam estudos clássicos, como Villela e Mattos (1975), a eficiência do escoamento superficial em uma bacia hidrográfica varia inversamente com a extensão do curso do escoamento. Em outras palavras, quanto mais longo for o percurso da água até o exutório, menor tende a ser a eficiência da drenagem. Os autores sugerem parâmetros de referência que vão de 0,5 km/km<sup>2</sup> para bacias com drenagem mais deficiente até 3,5 km/km<sup>2</sup> para bacias bem drenadas.

Pesquisas mais recentes confirmam essa relação, enfatizando a influência de fatores adicionais, como cobertura vegetal, tipo de solo e uso do solo sobre a eficiência da drenagem (Mansour et al., 2023; Murillo-Bermúdez et al., 2022). Por exemplo, em bacias do Norte do Brasil, a variação do comprimento do escoamento e a permeabilidade do solo podem alterar significativamente o tempo de concentração e o risco de enchentes, impactando diretamente a operação de reservatórios e sistemas de captação (Pereira et al., 2022).

No caso da bacia hidrográfica do Córrego Pernada, esses parâmetros são essenciais para o planejamento de obras hidráulicas e a gestão da Barragem Pernada. A correta avaliação da extensão do escoamento e da eficiência da drenagem permite estimar volumes de pico, otimizar o

armazenamento de água e implementar estratégias de prevenção a inundações. A combinação de análises morfométricas com ferramentas de geoprocessamento, como o QGIS, possibilita ainda mapear áreas críticas e fornecer subsídios para uma gestão hídrica sustentável e alinhada à Política Nacional de Recursos Hídricos (Brasil, 1997).

#### 5.2.6 Fator de Forma

O fator de forma de uma bacia hidrográfica, definido por Júnior (2022), corresponde à relação entre a largura e o comprimento da bacia. Esse parâmetro morfométrico é fundamental para avaliar o comportamento hidrológico da bacia, especialmente em relação ao escoamento superficial e ao risco de enchentes. Bacias hidrográficas com formato mais alongado tendem a apresentar valores reduzidos do fator de forma, o que implica uma menor sincronização do escoamento superficial ao longo da área drenada. Segundo Santos et al. (2021), esse tipo de configuração geométrica dificulta que eventos de precipitação intensa atuem simultaneamente sobre toda a bacia, resultando em uma resposta hidrológica mais distribuída no tempo.

Quando analisado em conjunto com outros parâmetros morfométricos, como densidade de drenagem, declividade e área da bacia, fornece informações importantes sobre a dinâmica do escoamento e a resposta hidrológica a eventos pluviométricos (Murillo-Bermúdez *et al.*, 2022; Mansour *et al.*, 2023). Em bacias da região Norte e Nordeste do Brasil, por exemplo, bacias mais alongadas tendem a apresentar picos de enchentes mais suaves e distribuídos no tempo, enquanto bacias compactas e arredondadas podem gerar respostas rápidas e intensas, aumentando o risco de inundação (Oliveira & Santos, 2019; Pereira *et al.*, 2022).

#### 5.2.7 Índice de Compacidade

O índice de compacidade, expressa a relação entre o perímetro real de uma bacia hidrográfica e o perímetro de um círculo de área equivalente, sendo amplamente utilizado para avaliar o grau de regularidade geométrica da bacia. Segundo Santos e Cunha (2020), esse índice permite identificar o quanto a forma da bacia se afasta de uma configuração circular, considerada hidrológicamente mais eficiente.

Pesquisas atuais reforçam a importância desse índice para o planejamento hidráulico e a gestão de risco em bacias brasileiras. Por exemplo, bacias circulares ou pouco alongadas da região Sudeste, como a Bacia do Rio Jundiaí, apresentaram picos de enchentes mais intensos devido à rápida concentração do escoamento (Mansour *et al.*, 2023). Por outro lado, bacias alongadas e

irregulares, como a Bacia do Rio Tocantins na região Norte, tendem a apresentar uma distribuição mais gradual do escoamento, reduzindo a intensidade dos picos de cheia (Pereira *et al.*, 2022).

#### 5.2.8 Índice de Circularidade

Segundo Christofolletti (1980), o índice de circularidade é um parâmetro morfométrico utilizado para comparar a forma de uma bacia hidrográfica com a de um círculo ideal, sendo obtido a partir da relação entre a área da bacia e o quadrado de seu perímetro. Valores próximos de 1 indicam bacias mais circulares, que tendem a apresentar menor tempo de concentração e respostas hidrológicas mais rápidas, favorecendo a ocorrência de picos de vazão elevados.

Em contrapartida, conforme destaca Santos et al. (2021), bacias com baixos valores de índice de circularidade possuem formas mais alongadas, o que contribui para um escoamento superficial mais distribuído ao longo do tempo, resultando em maior tempo de concentração e menor propensão a cheias repentinas.

### 5.3 Lei da Água (Lei 9.433/97)

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433/97, foi criada com o objetivo de organizar o uso da água no Brasil de maneira sustentável, participativa e eficiente. Essa legislação reconhece a água como um bem de domínio público, de valor econômico, e estabelece que sua gestão deve garantir o uso múltiplo e equilibrado entre os diferentes usuários. Um dos princípios mais relevantes da lei determina que, em períodos de escassez, o fornecimento de água para o consumo humano e a dessedentação de animais deve ser prioridade. Com isso, a lei orienta políticas públicas e estudos técnicos voltados à proteção de fontes hídricas utilizadas para abastecimento (Brasil, 1997).

No caso da bacia hidrográfica do Córrego Pernada, que abriga a Barragem Pernada, essa diretriz ganha ainda mais importância. A análise morfométrica da bacia permite compreender como a água se comporta nesse território, identificando sua capacidade de captação, armazenamento e escoamento superficial.

### 5.4 Uso e Ocupação do Solo

O uso e ocupação do solo refere-se às diferentes formas pelas quais o espaço geográfico é utilizado e transformado pelas atividades humanas, incluindo áreas urbanas, agrícolas, pastagens e

remanescentes de vegetação natural. Em bacias hidrográficas, essas transformações exercem influência direta sobre o comportamento dos recursos hídricos e sobre o equilíbrio ambiental do sistema.

O avanço da urbanização promove modificações significativas no ciclo hidrológico, principalmente em razão da impermeabilização das superfícies. Esse processo reduz a infiltração da água no solo, altera o regime natural de vazões e intensifica a ocorrência de enchentes e enxurradas em períodos de chuva, além de comprometer a recarga hídrica em períodos secos (Tucci, 2009).

No contexto de bacias hidrográficas de menor porte, como a do Córrego Pernada, essas alterações podem ocorrer de forma ainda mais sensível, uma vez que pequenas mudanças no uso do solo já são capazes de provocar impactos significativos na dinâmica local. Assim, o monitoramento e a análise do uso e ocupação tornam-se essenciais para compreender a intensidade dessas transformações e seus efeitos sobre o ambiente.

De acordo com Pereira *et al.* (2022), a análise integrada do uso do solo permite identificar áreas mais vulneráveis à degradação ambiental, auxiliando na definição de estratégias de manejo e conservação. Nesse sentido, o planejamento territorial baseado em informações sobre o uso e ocupação do solo contribui para a redução de impactos negativos e para a promoção de práticas mais sustentáveis.

Além disso, o avanço das geotecnologias, como o sensoriamento remoto e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), tem possibilitado análises mais detalhadas e precisas das mudanças no uso do solo ao longo do tempo. Essas ferramentas permitem a identificação de padrões de ocupação e a avaliação de suas consequências sobre a dinâmica das bacias hidrográficas (Souza *et al.*, 2023).

## **5.5 Geoprocessamento**

O geoprocessamento corresponde ao conjunto de técnicas utilizadas para coletar, analisar, manipular e representar informações espaciais, permitindo transformar dados geográficos em informações importantes para estudos ambientais, hidrológicos e de planejamento territorial (Burrough; Mcdonnell, 1998; Longley *et al.*, 2015). Nesse contexto, o QGIS, um Sistema de Informação Geográfica de código aberto, disponibiliza diversas ferramentas para o processamento de dados vetoriais e matriciais, possibilitando análises detalhadas relacionadas às bacias hidrográficas, uso e ocupação do solo, cobertura vegetal e dinâmica ambiental.

### 5.5.1 Sistema de Informação Geográfica

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) podem ser compreendidos como um conjunto de ferramentas computacionais destinadas à coleta, armazenamento, análise e representação de dados georreferenciados. Esses sistemas permitem integrar diferentes tipos de informações espaciais, possibilitando uma compreensão mais ampla e organizada do espaço geográfico.

De acordo com Longley *et al.* (2015), o SIG vai além da simples elaboração de mapas, sendo uma tecnologia capaz de analisar relações espaciais e identificar padrões que contribuem para a tomada de decisões em diversas áreas do conhecimento. Essa capacidade analítica torna o SIG uma ferramenta essencial em estudos ambientais e territoriais.

Nesse contexto, Câmara e Davis (2001) destacam que o SIG pode ser entendido como um sistema que integra dados, métodos e usuários, permitindo a manipulação de informações espaciais de forma eficiente. Essa integração favorece a análise de fenômenos complexos, especialmente quando há a necessidade de relacionar diferentes variáveis ambientais.

Uma das principais características dos SIG é a organização das informações em camadas temáticas, também conhecidas como layers. Segundo Bolstad (2016), essa estrutura permite que diferentes tipos de dados, como relevo, hidrografia, uso do solo e cobertura vegetal, sejam analisados de forma individual ou combinada, facilitando a interpretação das dinâmicas espaciais.

No âmbito dos estudos de bacias hidrográficas, o uso do SIG se torna ainda mais relevante, pois possibilita a integração de variáveis físicas e ambientais em uma única plataforma de análise. De acordo com Fitz (2008), essa tecnologia permite realizar operações como delimitação de bacias, análise de rede de drenagem e geração de modelos digitais de elevação, contribuindo diretamente para estudos morfométricos e hidrológicos.

### 5.5.2 Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto pode ser compreendido como uma tecnologia que possibilita a obtenção de informações da superfície terrestre sem a necessidade de contato direto com o objeto de estudo. De acordo com Florenzano (2011), essa técnica baseia-se na captação da energia refletida ou emitida pelos alvos terrestres por meio de sensores instalados em plataformas como satélites, aeronaves e outros dispositivos. Dessa forma, o termo “remoto” refere-se justamente à coleta de dados à distância, permitindo a análise de diferentes elementos da paisagem de maneira eficiente.

Nos últimos anos, o avanço das tecnologias espaciais tem ampliado significativamente o uso do sensoriamento remoto em estudos ambientais. Segundo Jensen (2016), essa ferramenta possibilita

a observação contínua da superfície terrestre, contribuindo para a análise de mudanças no uso e ocupação do solo, bem como para o monitoramento de processos ambientais em diferentes escalas espaciais e temporais.

Nesse contexto, o sensoriamento remoto tem se mostrado essencial na análise de bacias hidrográficas, pois permite identificar padrões de cobertura vegetal, alterações na paisagem e impactos decorrentes das atividades antrópicas. Para o desenvolvimento de estudos dessa natureza, destaca-se o programa de satélites LANDSAT, desenvolvido pela National Aeronautics and Space Administration (NASA), que oferece uma das mais longas séries históricas de imagens da superfície terrestre. De acordo com Wulder *et al.* (2019), os dados do programa LANDSAT são amplamente utilizados em pesquisas ambientais devido à sua consistência temporal, cobertura global e acesso gratuito.

Além disso, dados altimétricos provenientes de missões como o Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) são frequentemente empregados na caracterização do relevo e na análise de variáveis como altitude e declividade. Segundo Farr *et al.* (2007), esses dados apresentam grande relevância para estudos geomorfológicos e hidrológicos, sendo amplamente utilizados na delimitação de bacias hidrográficas e na extração de parâmetros morfométricos.

As imagens geradas por sensores remotos são compostas por diferentes bandas espectrais, que correspondem a intervalos específicos do espectro eletromagnético. A combinação dessas bandas em composições coloridas, como no sistema RGB (vermelho, verde e azul), permite a visualização e interpretação dos elementos presentes na superfície terrestre. Conforme destacam Richards e Jia (2006), a escolha adequada das bandas é fundamental para realçar determinadas características da paisagem, como corpos d'água, áreas urbanas ou cobertura vegetal.

Nesse sentido, o uso de bandas do infravermelho próximo, por exemplo, é amplamente empregado para destacar a vegetação, uma vez que esse tipo de cobertura apresenta alta reflectância nesse comprimento de onda. Essa técnica facilita a identificação de áreas preservadas ou degradadas, contribuindo para análises ambientais mais detalhadas.

## 5.6 Vazões

Como destaca Tucci (2004), a vazão é um dos principais parâmetros hidrológicos que expressa o volume de água que passa por uma seção de um curso d'água em um determinado intervalo de tempo. Ela é fundamental para a análise do comportamento dos rios e para o planejamento de obras hidráulicas e sistemas de controle de enchentes.

Além disso, o autor Tucci (2004), continua a destacar que o estudo da vazão permite entender as respostas hidrológicas de uma bacia, avaliando como diferentes fatores, como uso do solo e precipitação, influenciam o escoamento superficial e subterrâneo. Esse conhecimento é vital para o desenvolvimento sustentável das regiões, especialmente na prevenção de desastres naturais e na otimização do uso da água.

#### 5.6.1 Medições Fluviométricas

Para Tucci (2004) as medições fluviométricas apresentam maior complexidade em razão das dificuldades inerentes à coleta dos dados e às variações dos fluxos dos rios. O escoamento fluvial integra o sistema hidrológico como um de seus componentes essenciais, sendo influenciado por diversos fatores naturais e antrópicos. Em geral, o comportamento de um curso d'água pode ser caracterizado pela análise das vazões mínimas, médias e máximas. Contudo, a variabilidade espacial do canal e a dinâmica temporal de seu regime, acrescidas das interferências humanas sobre a bacia hidrográfica, tornam esse monitoramento desafiador. O regime hidrológico, portanto, corresponde às oscilações na descarga do rio ao longo do tempo, variando conforme o período de análise, que pode ir de horas até anos.

A medição fluviométrica é o processo de monitoramento e quantificação das características hidrológicas de um curso d'água, especialmente voltada à determinação do nível (cota) e da vazão de rios, córregos e canais. A instalação de estações fluviométricas é realizada em locais estratégicos, onde são feitas leituras periódicas do nível da água por réguas milimétricas ou sensores automáticos, a partir desses dados, estima-se a vazão por meio de curvas-chave, que relacionam nível e descarga. Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA), esses registros são essenciais para a gestão integrada das águas, pois permitem o controle de usos, a prevenção de eventos extremos e o suporte à tomada de decisões no setor hídrico.

#### 5.6.2 Método Racional

Como destaca Chow (1988), o Método Racional apresenta melhor aplicação em pequenas bacias hidrográficas, normalmente com até 200 hectares, pois considera que a chuva ocorre de maneira uniforme sobre toda a área e que a resposta do escoamento acontece de forma rápida e simultânea. Ainda assim, quando corretamente calibrado, oferece bons resultados para projetos de engenharia civil. Sua principal aplicação é na estimativa da vazão de pico, fundamental para o dimensionamento de calhas, bueiros e sistemas de controle de cheias.

### 5.6.3 Balanço Hídrico

Segundo Oliveira e Silva (2010), o balanço hídrico é uma técnica que permite calcular a disponibilidade de água em uma bacia a partir da análise de entradas e saídas de água no sistema. A fórmula básica considera a precipitação como entrada e a evapotranspiração, a infiltração e a vazão como saídas, somando-se ainda a variação no armazenamento de água no solo e nos corpos hídricos. Essa abordagem é útil para estudos de gestão hídrica, irrigação e conservação de recursos naturais. O método é aplicável em escalas variadas, desde pequenas sub-bacias até grandes sistemas hidrográficos. Sua maior limitação está na necessidade de dados climáticos e hidrológicos confiáveis, além de conhecimento detalhado da bacia. Ainda assim, é uma ferramenta poderosa para avaliar o comportamento hidrológico em contextos de escassez hídrica ou sobrecarga dos recursos.

### 5.6.4 Método Racional Modificado

O Método Racional Modificado consiste em uma adaptação do Método Racional tradicional, sendo utilizado para estimar a vazão máxima de escoamento superficial em bacias hidrográficas urbanizadas ou em processo de urbanização. Essa adaptação busca representar de forma mais adequada os efeitos da impermeabilização do solo e das alterações provocadas pelo uso e ocupação da terra sobre a dinâmica hidrológica da bacia. De acordo com Tucci (2004), o crescimento urbano provoca alterações significativas no ciclo hidrológico, aumentando o escoamento superficial e elevando os riscos associados à drenagem urbana.

## 6. METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso, tendo como área de análise a bacia hidrográfica do Córrego Pernada, situada no município de Paraíso do Tocantins – TO. Essa abordagem permite examinar de forma detalhada as características físicas, morfométricas e hidrológicas da área, contribuindo para uma melhor compreensão de sua dinâmica ambiental.

Como etapa inicial, foi realizado um levantamento bibliográfico, contemplando estudos voltados à hidrologia de bacias hidrográficas, análise morfométrica, uso e ocupação do solo e geoprocessamento. Esse procedimento teve como finalidade fornecer base teórica para a pesquisa, assegurando maior confiabilidade aos métodos adotados (Tucci, 2004; Villela e Mattos, 1975).

Para a obtenção dos dados necessários, foram utilizadas imagens dos satélites LANDSAT, acessadas por meio da plataforma Earth Explorer, disponibilizada pelo Serviço Geológico dos

Estados Unidos (USGS, 2023). As informações relacionadas ao relevo, como altitude e declividade, foram obtidas a partir de dados da missão Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), desenvolvida pela National Aeronautics and Space Administration (NASA), também disponíveis na mesma plataforma.

Após a coleta, os dados foram organizados em um banco geográfico no software QGIS, onde foram realizadas as etapas de processamento e análise das informações. Para isso, foram utilizadas ferramentas voltadas ao tratamento de dados temáticos, à geração de Modelos Numéricos de Terreno (MNT) e à edição de dados vetoriais e matriciais, possibilitando a extração das informações relevantes e a elaboração de mapas temáticos.

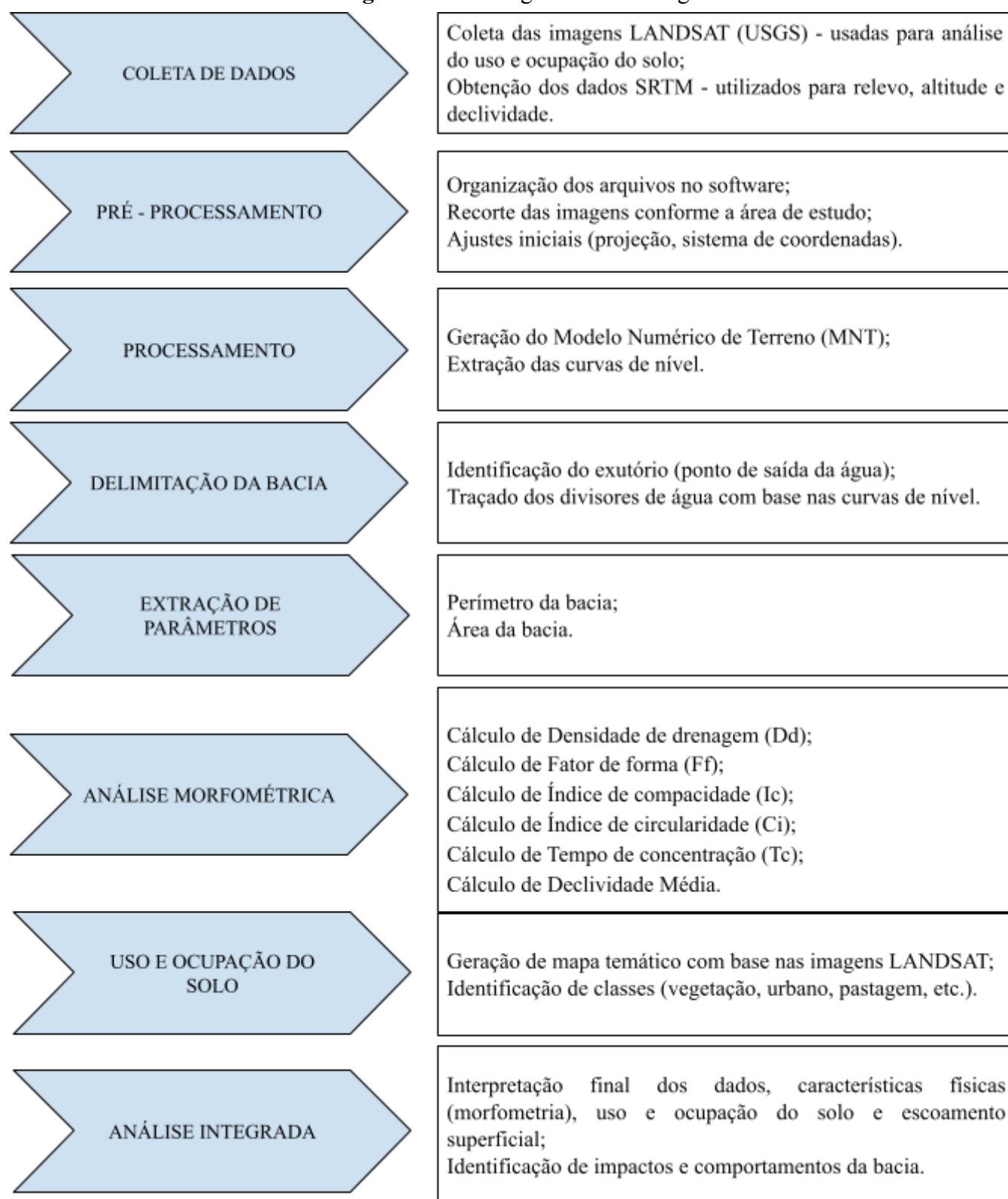
A obtenção dos parâmetros morfométricos teve início com a extração das curvas de nível da área de estudo, etapa essencial para a caracterização do relevo. Com base nessas informações, foi possível realizar a delimitação da bacia hidrográfica, utilizando como referência a interpretação de cartas topográficas.

O processo de delimitação foi iniciado com a identificação do exutório, localizado na porção mais baixa do curso d'água principal, sendo adotado como ponto de partida para a definição dos limites da bacia. Em seguida, foi realizado o mapeamento do curso principal e de seus afluentes, permitindo compreender a configuração da rede de drenagem.

A partir dessas informações, os limites da bacia foram definidos conectando-se os pontos de maior altitude do terreno, acompanhando o traçado das curvas de nível até o fechamento do perímetro no ponto inicial. Esse procedimento permitiu delimitar toda a área contribuinte, incluindo as nascentes e os divisores naturais do relevo.

Durante a delimitação, foi necessário observar a direção da inclinação do terreno, verificando se o escoamento superficial converge para a rede de drenagem, o que indica que a área faz parte da bacia analisada. Também foi essencial diferenciar corretamente os elementos do relevo, como os talwegues, que correspondem às áreas mais baixas onde ocorre a concentração do fluxo de água, e os divisores de água, que representam as regiões mais elevadas responsáveis por separar bacias vizinhas.

Com a delimitação concluída, foram obtidos os valores de área e perímetro da bacia. A partir desses dados, procedeu-se ao cálculo dos demais parâmetros morfométricos, conforme os procedimentos adotados na pesquisa. A Figura 02, apresenta o fluxograma com as etapas metodológicas desenvolvidas nesta pesquisa.

**Figura 02** – Fluxograma metodológico.

Fonte: Autor (2026).

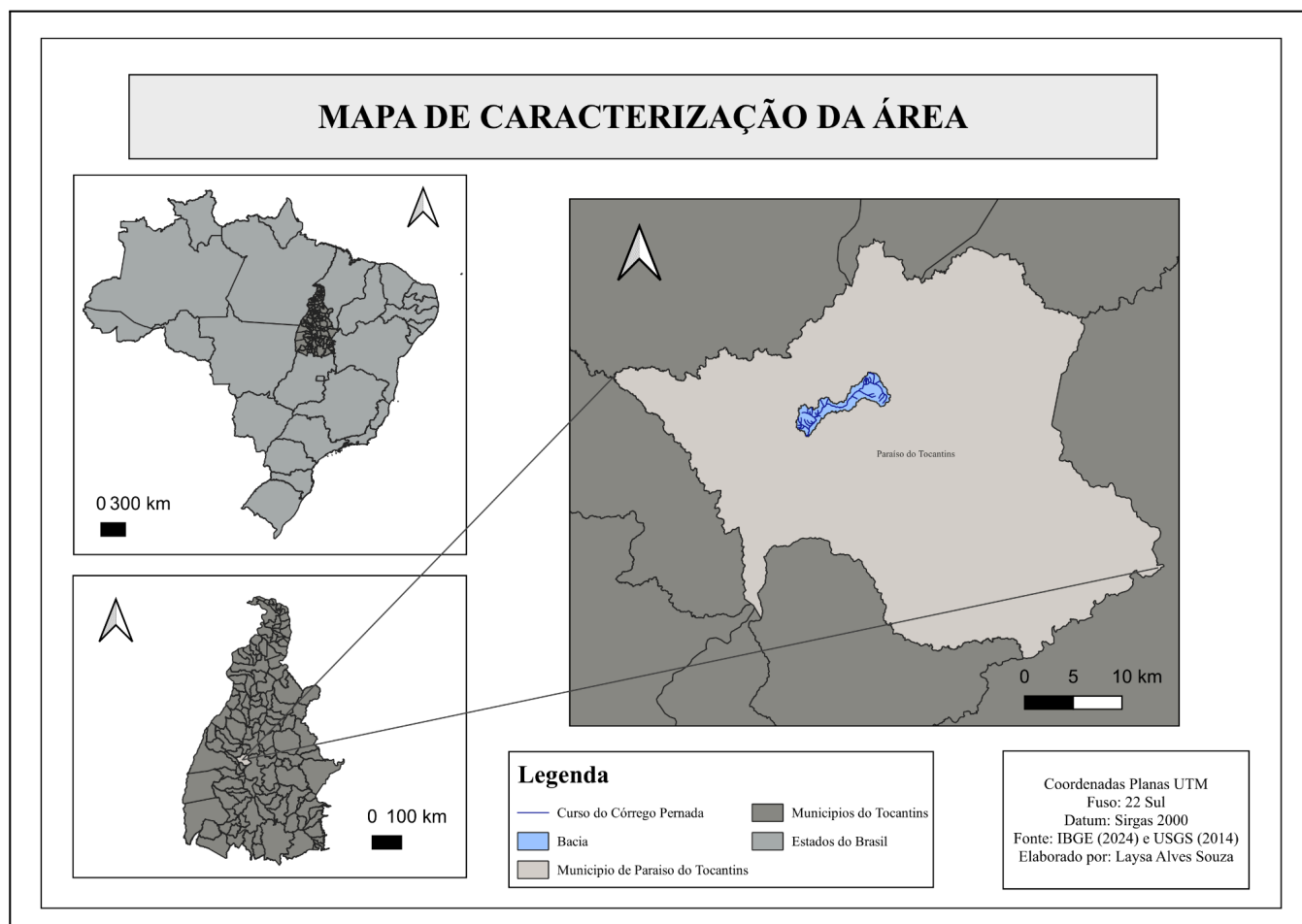
## 6.1 Área de Estudo

A bacia do Córrego Pernada está localizada no município de Paraíso do Tocantins, na região central do estado do Tocantins. Conforme aponta o IBGE (2022), a cidade de Paraíso do Tocantins possui uma população de aproximadamente 52.000 habitantes, e apresenta crescimento urbano visivelmente acelerado nos últimos anos.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2018), a bacia faz parte do bioma Cerrado, que possui vegetação típica de savana, clima tropical com estação seca nos meses de maio a setembro e chuvosa de outubro a abril, e possui relevo predominantemente ondulado. Essas características influenciam diretamente o escoamento da água da chuva e o comportamento hidrológico da bacia.

De acordo com o Atlas de Abastecimento de Água da Agência Nacional de Águas (2010) em anexo, é delimitado o abastecimento na cidade de Paraíso do Tocantins em duas modalidades, captação superficial e subterrânea. O principal corpo é o Rio do Coco, o Córrego Pernada é listado como corpo limitado. Na Figura 03, é apresentado o mapa de caracterização do Paraíso do Tocantins.

**Figura 03 – Caracterização da área de estudo.**



Fonte: Autor (2026).

## 6.2 Área da Bacia Hidrográfica

A área da bacia hidrográfica foi calculada automaticamente no software QGIS, a partir das informações geométricas da camada vetorial que representa o limite da bacia, a qual foi gerada na etapa de delimitação. Para isso, inicialmente acessando a tabela de atributos dessa camada por meio do comando Abrir Tabela de Atributos, disponíveis ao clicar com o botão direito sobre a camada correspondente.

Em seguida, será utilizada a ferramenta Calculadora de Campos, responsável pela criação e edição de atributos na tabela. Nessa etapa, será criado um novo campo, denominado Área, configurado como um campo numérico do tipo decimal (real), permitindo o armazenamento de valores contínuos com precisão adequada às análises hidrológicas.

Na janela da Calculadora de Campos, será inserida uma expressão baseada na geometria da feição, utilizando a função \$area, que realiza o cálculo automático da área do polígono correspondente à bacia hidrográfica, considerando o Sistema de Referência de Coordenadas adotado no projeto. Essa função pode ser acessada diretamente pela aba de expressões ou por meio do menu Geometria, dentro da própria calculadora.

Como o valor de área obtido pelo QGIS é inicialmente expresso em metros quadrados ( $m^2$ ), será realizada a conversão de unidades para quilômetros quadrados ( $km^2$ ), dividindo-se o resultado da expressão \$area por 1.000.000. Dessa forma, o valor final da área da bacia será obtido diretamente na unidade desejada, garantindo padronização e confiabilidade nos resultados apresentados.

## 6.3 Perímetro da Bacia

O perímetro da bacia hidrográfica foi obtido por meio das ferramentas de cálculo geométrico disponíveis no software QGIS, utilizando a camada vetorial que representa o limite da bacia hidrográfica, gerada durante o processo de delimitação. Esse procedimento permite a extração automática das dimensões lineares do polígono que define a área de contribuição da bacia.

Para a obtenção desse parâmetro, foi empregada a funcionalidade de edição da tabela de atributos da camada, por meio da ferramenta Calculadora de Campos. Nessa etapa, foi criado um campo específico denominado Perímetro, definido como um atributo numérico do tipo decimal (real), destinado ao armazenamento do valor calculado.

O cálculo será realizado a partir da aplicação da função geométrica \$perimeter, responsável por determinar o comprimento total do contorno do polígono da bacia, considerando o sistema de

coordenadas adotado no projeto. Essa função foi inserida diretamente na expressão de cálculo ou selecionada a partir do grupo Geometria disponível na calculadora do QGIS.

Como os valores gerados pelo software são expressos inicialmente em metros (m), foi realizada a conversão para quilômetros (km), dividindo-se o resultado obtido por 1.000. Dessa forma, o perímetro da bacia hidrográfica será determinado de maneira automática, padronizada e compatível com as análises morfométricas propostas neste estudo.

#### 6.4 Cálculo de Fator de Forma

O fator de forma (Ff) é um parâmetro morfométrico calculado pela razão entre a área da bacia hidrográfica e o quadrado do seu comprimento, conforme a Equação 01, seguindo a metodologia clássica proposta por Villela e Mattos (1975). Esse índice é amplamente utilizado na caracterização de bacias por indicarem tendências fundamentais no comportamento hidrológico: bacias com valores mais próximos de 1 tendem a ser mais circulares e associadas a picos de escoamento mais rápidos, enquanto valores menores indicam formas mais alongadas com respostas hidrológicas mais lentas e menor potencial de enchentes, assim como classificado na Tabela 01.

(Equação 01)

$$Ff = \frac{A}{La^2}$$

Onde:

Ff = fator de forma;

A = área da bacia (km<sup>2</sup>);

La = comprimento (km).

**Tabela 01 – Fator de forma (FF).**

| <b>Fator de Forma (FF)</b> | <b>Característica</b>   |
|----------------------------|-------------------------|
| 1,00 - 0,75                | Sujeito a enchentes     |
| 0,75 - 0,50                | Tendência mediana       |
| < 0,50                     | Não sujeito a enchentes |

Fonte: Adaptado de Villela e Mattos (1975).

#### 6.5 Cálculo de Densidade de Drenagem

A densidade de drenagem (Dd), apresentada na Equação 02, é um parâmetro morfométrico definido por Villela e Mattos (1975) e corresponde à razão entre o comprimento total de todos os

cursos d'água existentes na bacia hidrográfica e a sua área. Esse índice expressa o grau de desenvolvimento da rede de drenagem e é normalmente representado em km/km<sup>2</sup>. O valor obtido permite avaliar a eficiência do sistema de drenagem da bacia, possibilitando sua classificação em drenagem pobre, regular, boa, muito boa ou excepcional, conforme os intervalos apresentados no Tabela 02.

(Equação 02)

$$Dd = \frac{Lt}{A}$$

Onde:

Dd = densidade de drenagem (km/km<sup>2</sup>);

Lt = comprimento total dos cursos d'água (km);

A = área da bacia (km<sup>2</sup>).

**Tabela 02** – Classificação da bacia em relação a densidade de drenagem.

| <b>Parâmetro de Classificação da Bacia em relação a Dd</b> |                      |
|------------------------------------------------------------|----------------------|
| Dd < 0,5                                                   | Drenagem pobre       |
| 0,5 ≤ Dd < 1,5                                             | Drenagem regular     |
| 1,5 ≤ Dd < 2,5                                             | Drenagem boa         |
| 2,5 ≤ Dd < 3,5                                             | Drenagem muito boa   |
| Dd ≥ 3,5                                                   | Drenagem excepcional |

Fonte: Adaptado de Villela e Mattos (1975).

## 6.6 Cálculo de Declividade Média

De acordo com Villela e Mattos (1975), a declividade do terreno em uma bacia hidrográfica exerce influência direta sobre a velocidade do escoamento superficial, de modo que valores mais elevados estão associados a maiores velocidades de fluxo e, conseqüentemente, a uma maior suscetibilidade à erosão do solo. A declividade pode ser determinada pela razão entre a diferença das cotas máxima e mínima e o comprimento correspondente, sendo o resultado expresso em porcentagem. A classificação do relevo em função dos intervalos de declividade é instituída na Tabela 03.

(Equação 03)

$$Dm = \frac{C_{max} - C_{min}}{Lt}$$

Onde:

Dd = densidade de drenagem (km/km<sup>2</sup>);

Lt = comprimento total dos cursos d'água (km);

Cmax = cota máxima (m);

Cmin = cota mínima (m).

**Tabela 03** – Classificação do relevo de acordo com a declividade.

| <b>Classificação do Relevo de acordo com a Declividade</b> |                       |
|------------------------------------------------------------|-----------------------|
| <b>Declividade</b>                                         | <b>Tipo de Relevo</b> |
| < 3%                                                       | Plano                 |
| 3 a 8%                                                     | Suavemente ondulado   |
| 8 a 20 %                                                   | Ondulado              |
| 20 a 45%                                                   | Forte ondulado        |
| 45 a 75%                                                   | Montanhoso            |
| > 75%                                                      | Escarpado             |

Fonte: Adaptado de Villela e Mattos (1975).

### 6.7 Cálculo do Índice de Compacidade

De acordo com Silva (2022), o índice de compacidade é um parâmetro utilizado na análise morfométrica de bacias hidrográficas que permite avaliar sua forma, indicando o grau de aproximação em relação a um formato circular e sua influência na concentração do escoamento superficial.

(Equação 04)

$$Kc = 0,282x \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Onde:

Kc = Índice de Compacidade;

P = Perímetro (km);

A = Área da Bacia (km<sup>2</sup>).

### 6.8 Cálculo de Índice de Circularidade

De acordo com Oliveira *et al.* (2021), o índice de circularidade é um parâmetro morfométrico que expressa a forma da bacia hidrográfica a partir da relação entre sua área e perímetro, sendo utilizado para avaliar sua tendência à concentração do escoamento superficial e sua resposta a eventos de precipitação.

(Equação 05)

$$Ic = \frac{12,57 \cdot A}{P^2}$$

Onde:

IC = Índice de circularidade;

P = Perímetro (km);

A = Área da Bacia (km<sup>2</sup>).

### 6.9 Cálculo de Tempo de Concentração

De acordo com Tucci (2004), o tempo de concentração corresponde ao período necessário para que a água precipitada no ponto mais distante da bacia alcance o exutório, sendo um parâmetro fundamental para a compreensão da resposta hidrológica da bacia.

(Equação 06)

$$Tc = 57 \times \left( \frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0,385}$$

Onde:

Tc = Tempo de concentração (min);

L = Comprimento do curso d'água principal (km);

ΔH = Amplitude altimétrica (m).

### 6.10 Uso e Ocupação do Solo

A análise do histórico de uso e ocupação do solo foi realizada em intervalos decadais, abrangendo o período de 2014 a 2024. Na elaboração dos mapas finais de uso e ocupação do solo, foram utilizadas imagens em falsa cor (infravermelho) como principal fonte de dados, enquanto as imagens em cores naturais serviram como suporte para a identificação dos elementos presentes na paisagem.

Para criar o mapa de uso e ocupação do solo, inicialmente deve-se adicionar a camada do mapa fornecida pela plataforma MAPBIOMAS. Em seguida, é necessário converter o arquivo matricial em vetor, utilizando o caminho: Raster → Converter → Raster para vetor (Poligonizar).

A próxima etapa consiste em remover as feições de fundo que não pertencem ao mapa. Para isso, deve-se acessar a tabela de atributos da camada "Vetorizado", abrir a janela de atributos e

selecionar as feições usando uma expressão. Na caixa de texto, insira "DN" = 0 e, com o botão Delete, remova essas feições, salvando as alterações feitas.

Após essa remoção, é necessário corrigir as geometrias da camada. Essa ação pode ser realizada através da ferramenta Corrigir Geometrias, localizada na caixa de ferramentas do QGIS, para a camada "Vetorizado".

A terceira etapa envolve a união das feições semelhantes. Para isso, é preciso ir até a aba Vetor → Geoprocessamento → Dissolver, selecione a camada "Vetorizado", escolha o campo "DN" na opção Dissolver campo(s) [opcional], e clique em Executar. Após a dissolução, uma nova camada chamada "Dissolvido" será criada. Em seguida, exporte essa camada para salvar e projetar no sistema de coordenadas UTM fuso 22 sul, SIRGAS 2000. Para isso, clique com o botão direito sobre a camada, selecione Exportar → Salvar feições com, renomeie a camada, escolha o local de armazenamento e defina o SRC, buscando pelo código EPSG:31982.

Por último, é necessário calcular as áreas. Repita o processo descrito para o processo de área da bacia (A) e crie um campo de texto denominado CLASSE. Para isso, siga o mesmo procedimento, mas selecione o tipo de campo como "Texto" e configure para 50 caracteres. Após criar a coluna CLASSE, com base na tabela fornecida pelo MAPBIOMAS, preencha as categorias dos biomas, assegurando que os valores de "DN" no QGIS correspondam aos valores da tabela. Na aba Propriedades, abra a janela de Simbologia, selecione a opção Categorizado no menu de simbologia e, na aba Coluna, escolha CLASSE. Clique em Classificar, remova os valores desnecessários clicando no símbolo de menos vermelho ao lado de classificar, e, por fim, configure as cores da simbologia conforme desejado.

## 6.11 Escoamento Superficial

O escoamento superficial corresponde ao movimento da água da chuva sobre a superfície do terreno quando o solo não consegue absorver toda a água precipitada. Esse processo ocorre de acordo com diferentes fatores naturais, como o tipo de solo, a cobertura vegetal, a declividade do relevo e a intensidade das chuvas. Conforme destaca o autor, o escoamento superficial faz parte da dinâmica do ciclo hidrológico e exerce influência direta no comportamento das bacias hidrográficas (Tucci, 2009).

Em áreas onde há pouca vegetação ou maior impermeabilização do solo, a infiltração da água tende a ser reduzida, favorecendo o aumento do escoamento superficial. Situações como desmatamento, expansão urbana e uso inadequado do solo contribuem para intensificar esse processo, podendo provocar erosão, transporte de sedimentos e assoreamento dos cursos d'água.

Dessa maneira, as ações humanas modificam significativamente a dinâmica natural das bacias hidrográficas e interferem no equilíbrio ambiental da região.

Outro fator importante relacionado ao escoamento superficial é o relevo. Em áreas com maiores declividades, a água escoar com mais velocidade, aumentando o potencial erosivo e a remoção de partículas do solo. Já em terrenos mais planos, a água tende a permanecer por mais tempo na superfície, favorecendo a infiltração e reduzindo os impactos erosivos. Assim, compreender o comportamento do escoamento superficial é fundamental para estudos ambientais, planejamento territorial e gestão dos recursos hídricos.

#### 6.11.1 Método Racional

A metodologia parte da premissa de que a vazão máxima ocorre quando toda a área da bacia contribui simultaneamente com o escoamento superficial. Para isso, utiliza-se um coeficiente de escoamento superficial, a intensidade da precipitação e a área da bacia. É uma técnica prática e eficiente para estimativas rápidas, especialmente em áreas impermeabilizadas onde o escoamento superficial é dominante.

(Equação 07)

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{360}$$

Onde:

Q: vazão (m<sup>3</sup>/s);

C: coeficiente de escoamento que depende das características da bacia, como tipo de solo, cobertura vegetal e declividade (adimensional);

I: intensidade da chuva (mm/h ou mm/s);

A: área da bacia (ha ou km<sup>2</sup>, convertido para m<sup>2</sup>).

#### 6.11.2 Balanço Hídrico

Como destacam Tucci (2009), essa metodologia é particularmente útil para avaliações hidrológicas em bacias sem dados fluviométricos contínuos, permitindo uma estimativa indireta da vazão a partir de informações climáticas e de uso do solo. No entanto, sua precisão depende

fortemente da qualidade e da resolução temporal dos dados utilizados, exigindo cuidados na obtenção e validação das variáveis envolvidas.

(Equação 08)

$$Q = P - ET - I - \Delta S$$

Onde:

Q: vazão (mm ou m<sup>3</sup>);

P: precipitação total (mm);

ET: evapotranspiração real (mm);

I: infiltração e recarga subterrânea (mm);

$\Delta S$ : variação de armazenamento de água no solo ou nos corpos d'água (mm).

### 6.11.3 Método Racional Modificado

De acordo com Canholi (2014), métodos hidrológicos modificados são importantes para estudos de drenagem urbana porque permitem análises mais próximas das condições reais de escoamento, principalmente em áreas sujeitas à intensa impermeabilização e expansão urbana.

(Equação 09)

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A \cdot D}{360}$$

Onde:

Q : vazão máxima de escoamento superficial (m<sup>3</sup>/s);

C : coeficiente de escoamento superficial;

i : intensidade da chuva (mm/h);

A : área da bacia (ha);

D : fator de retardamento ou fator de distribuição do escoamento.

## 7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 7.1 Análise Morfométrica

Com os dados gerados pelo software QGIS, foi possível identificar as características da bacia hidrográfica do Córrego Pernada. Esses dados estão apresentados na Tabela 04, como valores do estudo morfométrico.

**Tabela 04 - Parâmetros morfométricos.**

| <b>Parâmetros</b>                   | <b>Coefficiente</b> | <b>Resultado</b> | <b>Unidade</b>     |
|-------------------------------------|---------------------|------------------|--------------------|
| Área                                | A                   | 18,70            | km <sup>2</sup>    |
| Perímetro                           | P                   | 43,30            | km                 |
| Fator de Forma                      | Ff                  | 0,10             | -                  |
| Comprimento do Curso Principal      | L                   | 13,92            | km                 |
| Comprimento Total dos Cursos d'Água | Lt                  | 35,20            | km                 |
| Densidade de Drenagem               | Dd                  | 1,88             | km/km <sup>2</sup> |
| Índice de Compacidade               | Kc                  | 2,82             | -                  |
| Índice de Circularidade             | Ic                  | 0,12             | -                  |
| Tempo de Concentração               | Tc                  | 119,20           | min                |

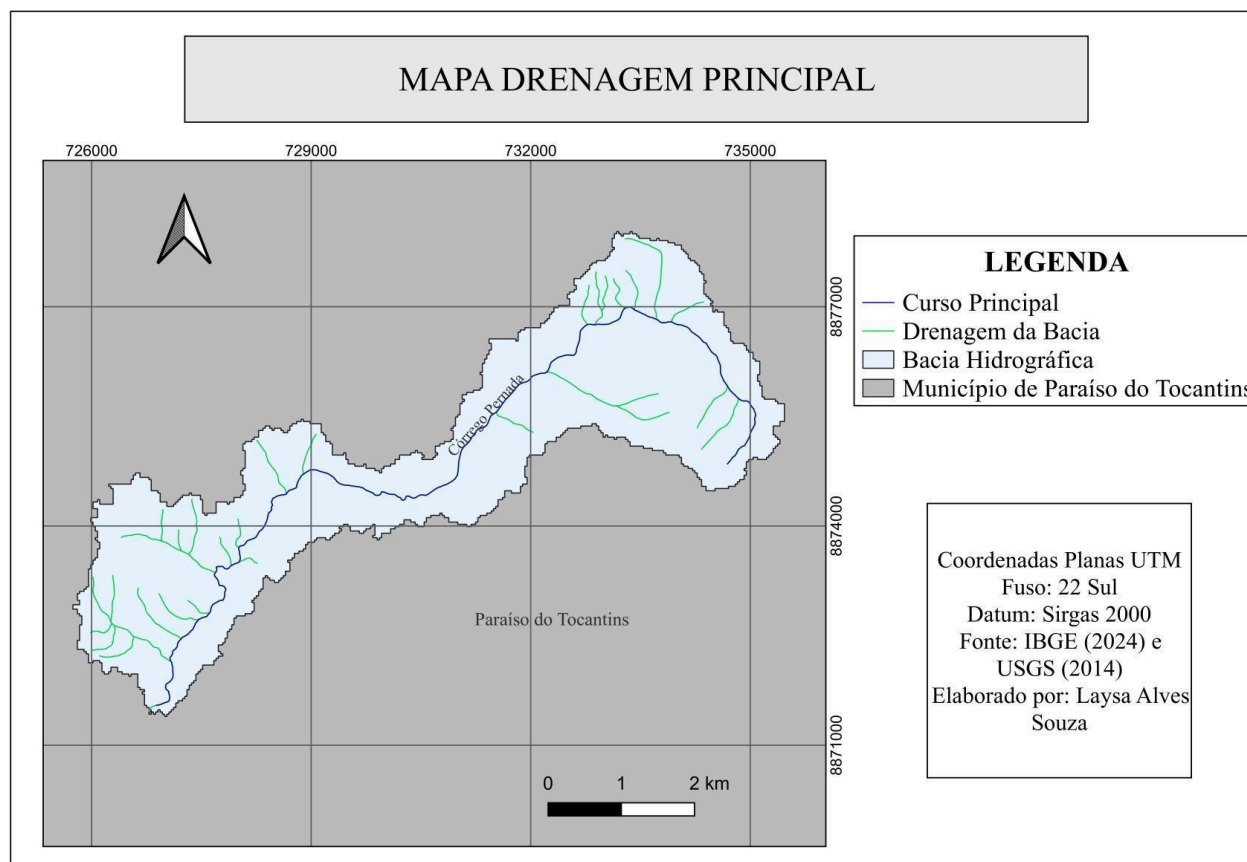
Fonte: Autor (2026).

Os dados foram obtidos e processados automaticamente por meio da tabela de atributos do QGIS, o que garantiu maior precisão e agilidade nas análises. A bacia hidrográfica do Córrego Pernada apresenta área aproximada de 18,7 km<sup>2</sup>, perímetro de 43,30 km e comprimento axial de 13,92 km, tendo o comprimento total de todos os cursos d'água em 35,20 km.

Em relação ao fator de forma (Ff), obteve-se um valor aproximado de 0,10, indicando que a bacia possui formato alongado, de acordo com a Tabela 01. Além disso, por apresentar valor abaixo de 0,5, a bacia demonstra menor propensão à ocorrência de enchentes, o que está em consonância com os resultados observados para o coeficiente de compacidade (Kc), que se obteve 2,82. Para a densidade de drenagem (Dd), indicou valor de 1,88 km/km<sup>2</sup>, esse resultado indica que a rede de drenagem é boa, conforme a Tabela 02.

O curso principal da Bacia Hidrográfica possui uma extensão de 13,92 km, de acordo com a Figura 04.

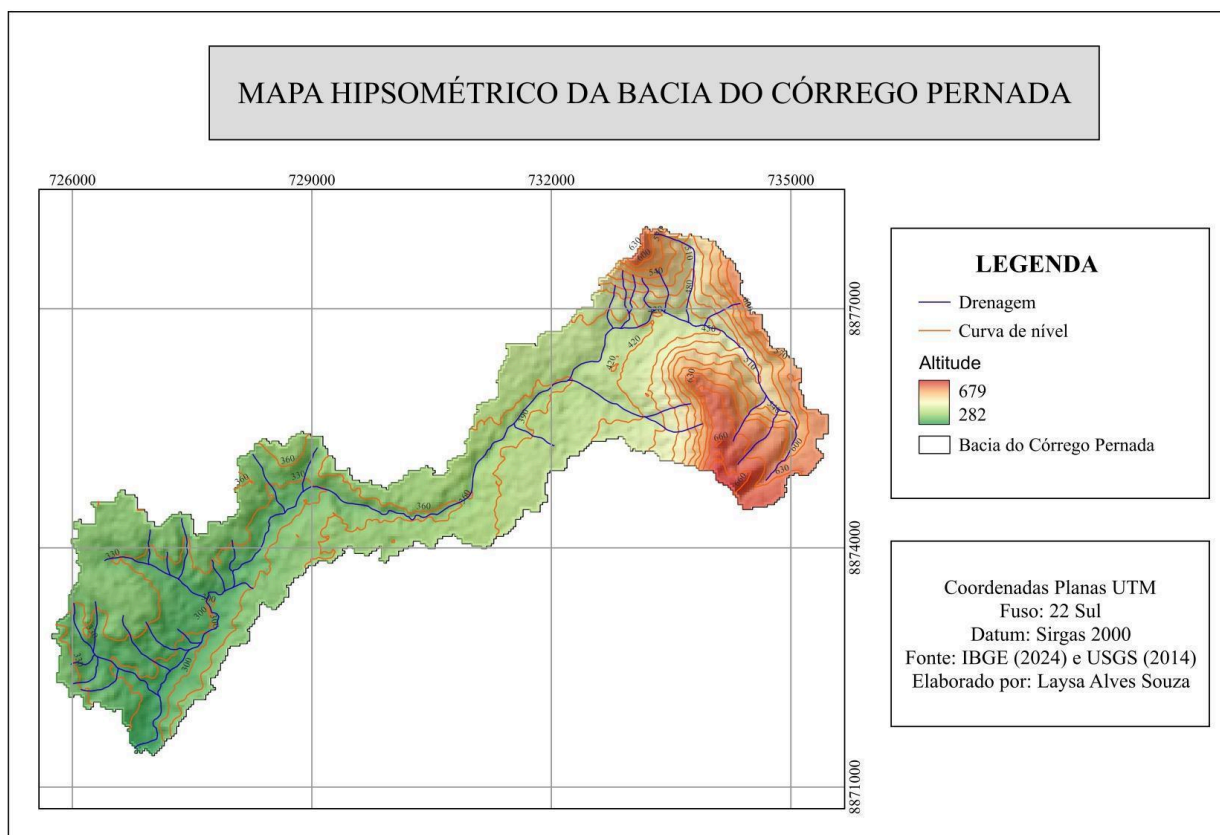
**Figura 04** – Mapa do curso principal da Bacia Hidrográfica do Córrego Pernada.



Fonte: Autor (2026).

De acordo com o geoprocessamento realizado da Bacia Hidrográfica do Córrego Pernada, foi possível obter uma variação de altimetria, com uma cota máxima de 679m e uma cota mínima de 282m, conforme indicado na Figura 05.

**Figura 05** – Mapa Hipsométrico da Bacia Hidrográfica do Córrego Pernada.



Fonte: Autor (2026).

A análise das transições de cobertura e uso do solo entre os anos de 2014 e 2024 permitiu identificar mudanças importantes na dinâmica espacial da bacia hidrográfica do Córrego Pernada. De maneira geral, observa-se que a paisagem da bacia passou por transformações associadas principalmente ao avanço das atividades humanas, especialmente da expansão urbana e das áreas destinadas às atividades agropecuárias. Apesar da permanência de áreas de vegetação natural, nota-se uma intensificação das intervenções antrópicas ao longo do período analisado.

As formações savânicas e florestais continuam ocupando parte significativa da bacia, refletindo características típicas do bioma Cerrado predominante na região. Entretanto, ao comparar os dois cenários, percebe-se o aumento das áreas urbanizadas, principalmente na porção central da bacia, indicando o crescimento da ocupação urbana ao longo dos últimos anos. Esse avanço urbano ocorre, em muitos casos, sobre áreas anteriormente ocupadas por vegetação natural ou por usos agropecuários, promovendo alterações na organização da paisagem e nas condições ambientais da bacia hidrográfica.

Além da expansão urbana, as áreas de pastagem e mosaico de usos também apresentam destaque nos dois períodos analisados, demonstrando a presença consolidada das atividades

agropecuárias na região. O mosaico de usos representa áreas com diferentes formas de ocupação do solo, evidenciando a diversidade de atividades desenvolvidas dentro da bacia. Essas transformações contribuem para mudanças nas características naturais do ambiente, podendo influenciar diretamente processos como infiltração da água no solo, escoamento superficial e suscetibilidade à erosão.

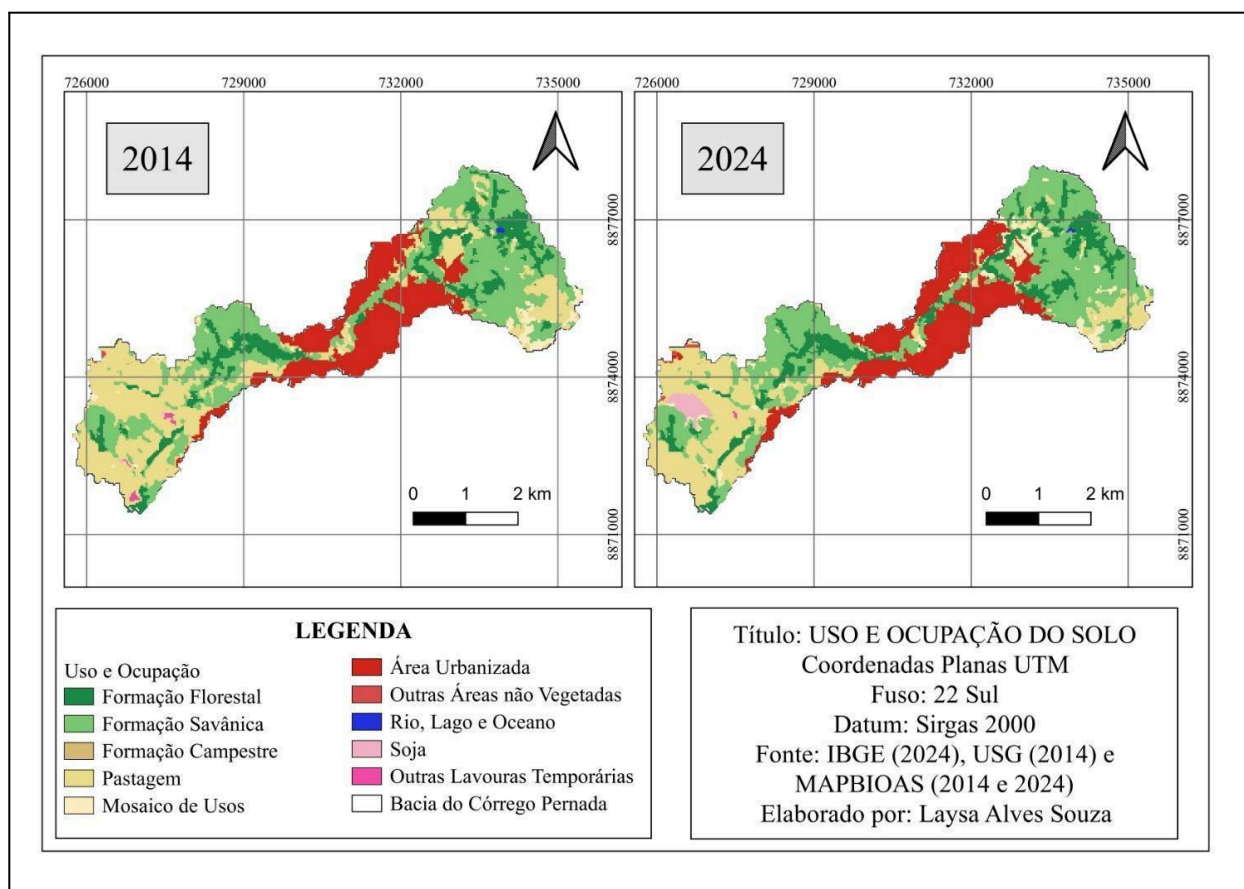
Os dados de transição de cobertura e uso do solo reforçam as alterações observadas nos mapas temáticos. Das mudanças identificadas entre 2014 e 2024 correspondem à conversão de áreas naturais para usos antrópicos, como pastagens, agricultura e superfícies não vegetadas. Esse resultado demonstra a intensificação da ocupação humana e a substituição gradual da vegetação nativa por atividades relacionadas ao uso econômico do solo.

Por outro lado, as transações registradas indicam a conversão de áreas anteriormente ocupadas por pastagens, agricultura ou superfícies expostas para cobertura vegetal natural. Esse comportamento pode estar associado a processos de regeneração natural da vegetação ou à recuperação de determinadas áreas ao longo do período estudado. Embora em menor proporção, esse dado demonstra que parte da bacia ainda apresenta capacidade de recomposição ambiental.

As alterações relacionadas às superfícies de água e às áreas de silvicultura apresentaram percentuais pouco expressivos, representando menos mudanças totais observadas. Ainda assim, essas modificações demonstram que a dinâmica de uso e ocupação do solo ocorre de forma contínua e envolve diferentes tipos de cobertura dentro da bacia hidrográfica.

Diante dos resultados obtidos, verificou-se que a bacia do Córrego Pernada vem passando por um processo gradual de transformação da paisagem, marcado pelo aumento das áreas antropizadas e pela redução parcial da cobertura vegetal natural. Essas mudanças reforçam a importância do planejamento territorial e da adoção de práticas voltadas à conservação ambiental, visando reduzir os impactos sobre os recursos hídricos e garantir maior equilíbrio ambiental para a bacia hidrográfica, assim como observado na Figura 06.

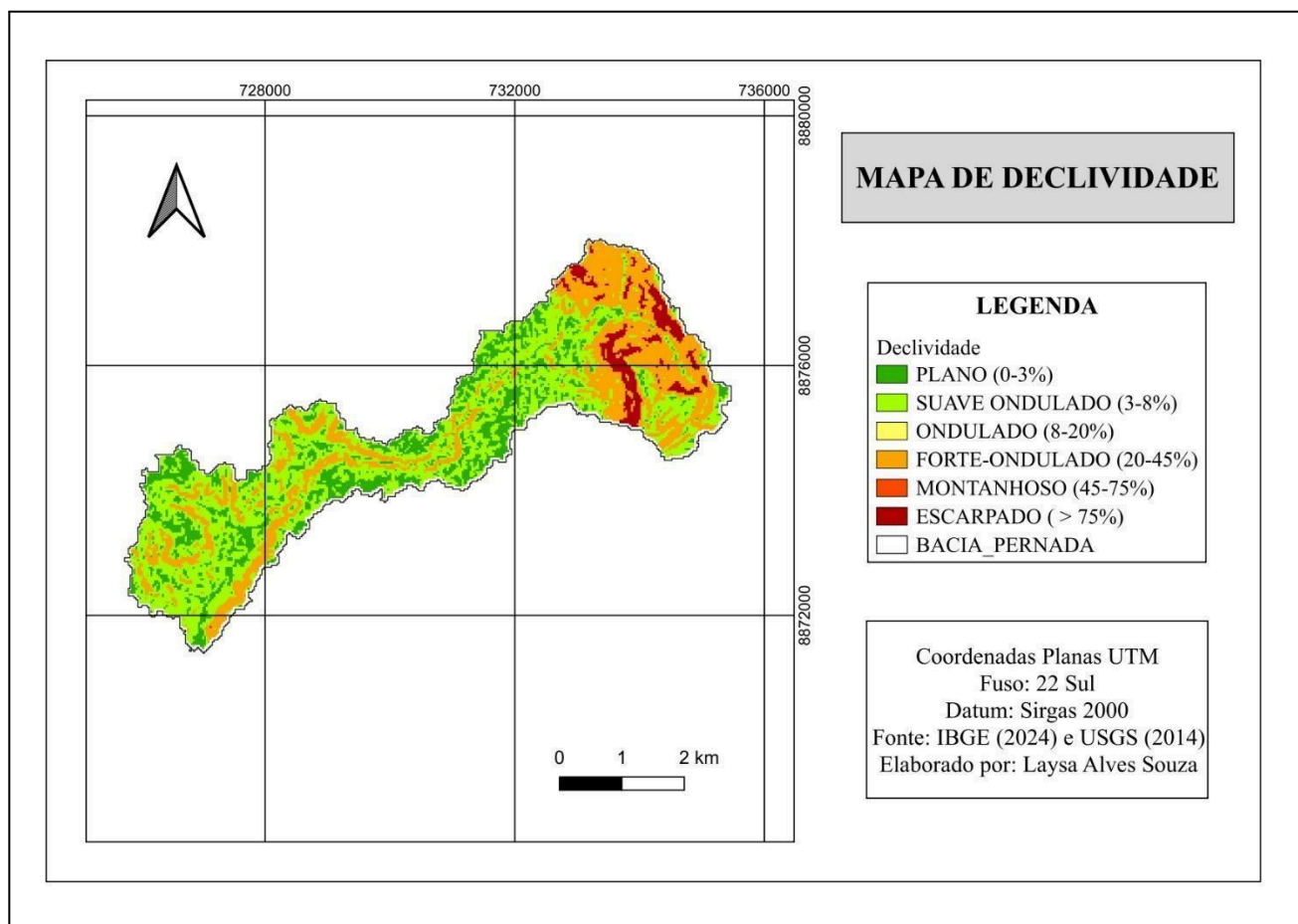
**Figura 06 – Mapa de Uso e Ocupação da Bacia Hidrográfica do Córrego Pernada.**



Fonte: Autor (2026).

A maior parte da bacia está entre as declividades de 0-3% e 3-8%, dessa forma é permitido classificar como uma área suavemente ondulada, de acordo com a Tabela 03 que apresenta a classificação do relevo de acordo com a declividade e a Figura 07, que mostra o mapa de declividade da bacia hidrográfica do Córrego Pernada.

**Figura 07 – Mapa de Declividade da Bacia Hidrográfica do Córrego Pernada.**



Fonte: Autor (2026).

A análise do mapa de solos da bacia hidrográfica do Córrego Pernada permite compreender a diversidade das características naturais presentes na área estudada. Foram identificadas diferentes classes de solos, entre elas os Latossolos, Neossolos e Plintossolos, que desempenham papel importante no comportamento hidrológico da bacia, influenciando processos como infiltração da água, escoamento superficial, erosão e ocupação do solo.

Os Plintossolos ocupam áreas expressivas da bacia, principalmente nas porções oeste e leste. Esses solos apresentam elevada concentração de ferro e estão associados a ambientes sujeitos à deficiência de drenagem em determinados períodos do ano. Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, os Plintossolos podem apresentar limitações para algumas atividades agrícolas devido à tendência ao encharcamento e às restrições relacionadas à drenagem do solo (EMBRAPA, 2018).

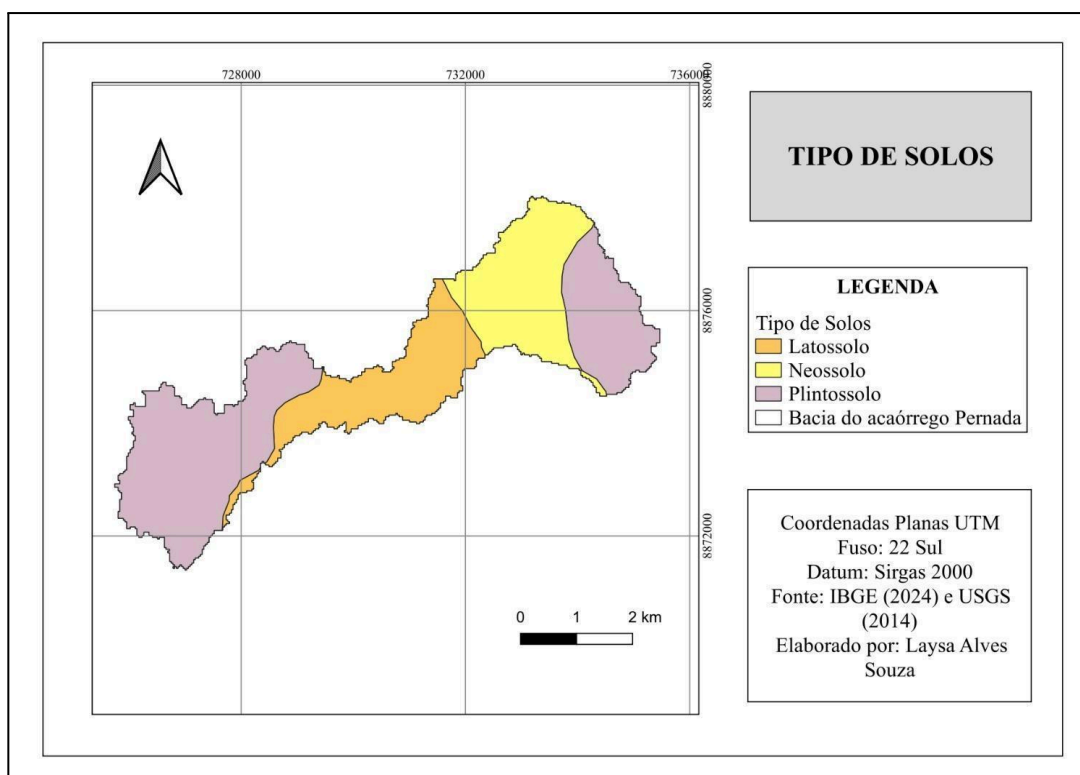
Na região central da bacia predominam os Latossolos, que se destacam por serem profundos, bem drenados e bastante intemperizados. Esses solos apresentam boa capacidade de infiltração da água, contribuindo para a redução do escoamento superficial. Conforme descrito pela Empresa

Brasileira de Pesquisa Agropecuária, os Latossolos possuem ampla ocorrência no Cerrado e são frequentemente utilizados em atividades agropecuárias devido às suas condições físicas favoráveis, embora muitas vezes necessitem de correções químicas para melhorar sua fertilidade (EMBRAPA, 2018).

Os Neossolos foram identificados principalmente na porção nordeste da bacia hidrográfica. Esses solos apresentam baixo grau de desenvolvimento pedológico, sendo geralmente mais rasos e vulneráveis aos processos erosivos quando ocorre uso inadequado do terreno. De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, a ausência de cobertura vegetal e a ocorrência de declividades mais acentuadas podem intensificar o escoamento superficial e favorecer a perda de sedimentos nessas áreas (EMBRAPA, 2018).

A distribuição dos diferentes tipos de solos na bacia do Córrego Pernada está relacionada às condições naturais e aos processos geomorfológicos da região. Essas características influenciam diretamente a dinâmica ambiental da bacia, interferindo tanto no comportamento hídrico quanto nas formas de uso e ocupação do território ao longo do tempo. Dessa forma, o conhecimento das classes de solos é fundamental para a redução de impactos ambientais na bacia hidrográfica, apresentado na Figura 08.

**Figura 08** – Mapa de Tipos de Solos da Bacia Hidrográfica do Córrego Pernada.



Fonte: Autor (2026).

## 7.2 Escoamento Superficial

A comparação temporal entre os anos de 2014 e 2024 permitiu identificar mudanças significativas no uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Córrego Pernada. De acordo com Tucci (2009), a urbanização promove alterações importantes no ciclo hidrológico, aumentando o escoamento superficial e reduzindo a infiltração da água no solo. Nesse contexto, o Método Racional possibilitou avaliar a influência dessas mudanças antrópicas por meio da variação do coeficiente de escoamento superficial.

Para definir o coeficiente de escoamento superficial (C) da bacia do Córrego Pernada pelo Método Racional, foi considerado o tipo de uso e ocupação do solo predominante em cada período analisado. O DNIT recomenda utilizar valores tabelados conforme as características da superfície da bacia. Como a bacia do Córrego Pernada possui características mistas, como áreas urbanizadas, vegetação de Cerrado, solos expostos e áreas parcialmente impermeabilizadas, o método aplicado tecnicamente foi a utilização de um coeficiente ponderado, de acordo com a Tabela 05.

**Tabela 05 – Coeficiente de Escoamento Superficial / Run-off.**

| <b>Coeficiente de Escoamento Superficial / Run-off</b> |                               |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------|
| <b>Tipo de Superfície</b>                              | <b>Coeficiente de Defluxo</b> |
| Asfalto                                                | 0,70 a 0,95                   |
| Concreto                                               | 0,80 a 0,95                   |
| Tijolos                                                | 0,70 a 0,85                   |
| Trajetos de acesso a calçadas                          | 0,75 a 0,85                   |
| Telhados                                               | 0,75 a 0,95                   |
| Gramados e solos arenosos: Plano 2%                    | 0,05 a 0,10                   |
| Gramados e solos arenosos: Médio 2 a 7%                | 0,10 a 0,15                   |
| Gramados e solos arenosos: Íngreme 7%                  | 0,15 a 0,20                   |
| Gramados e solos compactos: Plano 2%                   | 0,13 a 0,17                   |
| Gramados e solos compactos: Médio 2 a 7%               | 0,18 a 0,22                   |
| Gramados e solos compactos: Íngreme 7 %                | 0,15 a 0,35                   |

Fonte: Adaptado de DNIT (2005).

Com base nos mapas de uso e ocupação do solo de 2014 e 2024 da bacia hidrográfica do Córrego Pernada, justifica-se tecnicamente o aumento do coeficiente de escoamento superficial ao longo do período analisado.

Observa-se que, em 2024, ocorreu expansão das áreas urbanizadas e aumento das áreas alteradas pela ação antrópica, especialmente ao longo da porção central da bacia. Ao mesmo tempo, percebe-se redução de algumas áreas vegetadas e maior presença de superfícies com menor

capacidade de infiltração da água. Essas mudanças influenciam diretamente o comportamento hidrológico da bacia, favorecendo o aumento do escoamento superficial.

As áreas classificadas como vegetação natural, pastagem e formação savânica apresentam maior capacidade de infiltração, estando associadas a coeficientes de escoamento mais baixos. Em contrapartida, áreas urbanizadas, solos expostos e superfícies compactas apresentam menor permeabilidade, aumentando a velocidade do escoamento e elevando os valores de vazão durante os eventos de precipitação.

Dessa forma, considerando os parâmetros do Manual de Hidrologia Básica do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes e as características observadas nos mapas de uso e ocupação do solo, os coeficientes mais coerentes para aplicação no Método Racional seriam conforme a Tabela 06.

**Tabela 06** – Coeficiente de Escoamento Superficial / Run-off para aplicação.

| <b>Ano</b> | <b>Característica predominante</b>                | <b>Coeficiente C sugerido</b> |
|------------|---------------------------------------------------|-------------------------------|
| 2014       | Maior cobertura vegetal e menor impermeabilização | 0,22                          |
| 2024       | Maior urbanização e compactação do solo           | 0,45                          |

Fonte: Autor.

Os resultados obtidos por meio da aplicação do Método Racional evidenciam mudanças importantes no comportamento hidrológico da bacia hidrográfica do Córrego Pernada ao longo do período analisado. A intensidade pluviométrica de 166,40 mm/h, obtida a partir dos dados do aplicativo Plúvio, permitiu estimar as vazões máximas para os anos de 2014 e 2024, possibilitando uma análise comparativa dos efeitos das transformações antrópicas sobre a dinâmica da bacia.

No ano de 2014, a vazão máxima estimada foi de 190,17 m<sup>3</sup>/s. Esse valor está relacionado às condições de uso e ocupação do solo observadas naquele período, quando a bacia ainda apresentava maior presença de cobertura vegetal e menores áreas impermeabilizadas. Nessas condições, parte significativa da água precipitada conseguia infiltrar no solo, reduzindo o volume de escoamento superficial e contribuindo para um comportamento hidrológico mais equilibrado.

Já para o ano de 2024, a vazão máxima estimada atingiu 389,03 m<sup>3</sup>/s, representando praticamente o dobro do valor encontrado para 2014. Esse aumento demonstra que a bacia passou a responder de forma mais rápida e intensa aos eventos de precipitação. As alterações observadas no uso e ocupação do solo ao longo do período, principalmente relacionadas à expansão urbana, compactação do terreno e redução da vegetação natural, favoreceram a diminuição da infiltração da água no solo e o aumento do escoamento superficial.

Esse comportamento evidencia a influência direta das transformações antrópicas sobre a dinâmica hídrica da bacia hidrográfica. Em áreas urbanizadas, superfícies impermeáveis como ruas pavimentadas, construções e solos compactados dificultam a infiltração da água, fazendo com que um volume maior escoe rapidamente pela superfície. Como consequência, ocorre aumento das vazões máximas durante os períodos chuvosos, elevando o risco de enxurradas, erosão e sobrecarga da drenagem natural.

Além disso, a redução da cobertura vegetal contribui para a perda da proteção natural do solo contra o impacto das gotas de chuva. A vegetação desempenha papel fundamental na retenção da água e na diminuição da velocidade do escoamento superficial. Dessa forma, a retirada dessa cobertura tende a intensificar os processos erosivos e o transporte de sedimentos para os cursos d'água, podendo favorecer o assoreamento e comprometer a qualidade ambiental da bacia.

Outro aspecto importante observado nos resultados é que o aumento da vazão máxima entre 2014 e 2024 demonstra uma alteração significativa na resposta hidrológica da bacia frente aos eventos de chuva intensa. Isso significa que, atualmente, a água precipitada alcança o canal principal de forma mais rápida, reduzindo o tempo de concentração da bacia e aumentando o potencial de ocorrência de problemas hidrológicos durante períodos de elevada precipitação.

## **8. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O desenvolvimento deste estudo possibilitou compreender de forma mais ampla as características morfométricas e ambientais da bacia hidrográfica do Córrego Pernada, localizada no município de Paraíso do Tocantins. A utilização de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto contribuiu significativamente para a obtenção de informações precisas sobre a dinâmica física e hidrológica da bacia, permitindo uma análise integrada dos seus principais parâmetros ambientais.

A partir dos resultados obtidos, verificou-se que a bacia apresenta formato alongado, baixa tendência natural à ocorrência de enchentes e uma rede de drenagem bem desenvolvida. Essas características influenciam diretamente o comportamento do escoamento superficial e a resposta hidrológica da bacia durante os eventos de precipitação. Além disso, a análise hipsométrica e da declividade demonstrou a influência do relevo na dinâmica do escoamento da água e nos processos erosivos presentes na área de estudo.

A análise temporal do uso e ocupação do solo entre os anos de 2014 e 2024 evidenciou mudanças importantes na paisagem da bacia hidrográfica. Observou-se o avanço das áreas urbanizadas e das atividades agropecuárias sobre áreas anteriormente ocupadas por vegetação natural, demonstrando o aumento das intervenções antrópicas ao longo do período analisado. Essas

alterações contribuíram para mudanças nas condições naturais da bacia, especialmente relacionadas à infiltração da água no solo, ao aumento do escoamento superficial e à intensificação dos processos erosivos.

Em relação aos aspectos hidrológicos, a aplicação do Método Racional estimou a vazão máxima de escoamento superficial e analisou a influência das transformações antrópicas sobre o comportamento hídrico da bacia. Os resultados demonstraram aumento significativo da vazão máxima entre os anos de 2014 e 2024, evidenciando que o crescimento urbano, a compactação do solo e a redução da cobertura vegetal contribuíram para diminuir a infiltração da água e aumentar o volume de escoamento superficial durante os eventos chuvosos.

Dessa forma, os resultados obtidos reforçam a importância do planejamento ambiental e do manejo adequado do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Córrego Pernada. A preservação da vegetação natural, o controle da impermeabilização do solo e a adoção de práticas sustentáveis de drenagem tornam-se fundamentais para reduzir os impactos ambientais e contribuir para a conservação dos recursos hídricos da região. Conforme destaca Tucci (2004), a adoção de medidas compensatórias de drenagem urbana é essencial para minimizar os impactos causados pela urbanização sobre o ciclo hidrológico natural.

Nesse contexto, é importante que o município de Paraíso do Tocantins adote medidas mais efetivas voltadas ao planejamento urbano e à drenagem sustentável, principalmente em áreas sujeitas à expansão urbana e próximas aos cursos d'água. A implantação de soluções técnicas, como pavimentos permeáveis, bacias de retenção, jardins de chuva e sistemas de infiltração, pode contribuir para a redução do escoamento superficial, diminuição dos processos erosivos e prevenção de problemas relacionados à drenagem urbana. Segundo Baptista *et al.* (2015), sistemas sustentáveis de drenagem urbana apresentam resultados positivos no controle das vazões de pico e na redução dos impactos causados pela impermeabilização excessiva do solo.

Além disso, convém que essas soluções sejam incorporadas ao Plano Diretor Municipal e às normas de uso e ocupação do solo como exigências técnicas obrigatórias para aprovação de novos empreendimentos urbanos, e não apenas como medidas facultativas. A definição de áreas mínimas permeáveis, implantação obrigatória de sistemas de retenção de águas pluviais e preservação das áreas próximas aos cursos d'água podem representar importantes estratégias para minimizar futuros problemas ambientais e contribuir para um desenvolvimento urbano mais sustentável.

Por fim, conclui-se que a integração entre análise morfométrica, geoprocessamento e avaliação temporal do uso do solo permitiu compreender de maneira mais detalhada a dinâmica ambiental da bacia hidrográfica do Córrego Pernada. Os resultados obtidos fornecem informações

importantes para subsidiar ações de planejamento ambiental, gestão hídrica e formulação de políticas públicas voltadas à conservação e ao uso sustentável dos recursos hídricos da região.

## REFERÊNCIAS

- AIRES, A. A.; ALVES, A. M.; BEZERRA, J. M.; COSTA, J. D. **Análise integrada da paisagem na Microbacia Hidrográfica da barragem de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 17, n. 5, p. 3682-3699, 2024.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Atlas Brasil: Abastecimento Urbano de Água**. Brasília: ANA, 2010.
- ALMEIDA, G. C. et al. **Morphometric characterization of the Alto do Ipojuca hydrographic basin**. Journal of Hyperspectral Remote Sensing, v. 12, n. 3, p. 99-108, 2022.
- BOLSTAD, Paul. **GIS Fundamentals: A First Text on Geographic Information Systems**. 5. ed. Minnesota: Eider Press, 2016.
- BAPTISTA, Márcio Benedito; NASCIMENTO, Nilo de Oliveira; BARRAUD, Sylvie. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2015.
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos**. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 1997.
- BURROUGH, Peter A.; MCDONNELL, Rachael A. **Principles of Geographical Information Systems**. Oxford: Oxford University Press, 1998.
- CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu. **Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica**. São José dos Campos: INPE, 2001.
- CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.
- CARDOSO, C. A. et al. **Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas e sua relação com processos hidrológicos**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 14, n. 3, p. 1450–1465, 2021.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Editora Blücher, 1980.

CHOW, Ven Te; MAIDMENT, David R.; MAYS, Larry W. **Applied hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1988.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de Hidrologia Básica**. Rio de Janeiro: IPR, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2018.

FARR, Tom G. et al. **The Shuttle Radar Topography Mission**. Reviews of Geophysics, v. 45, n. 2, 2007.

FITZ, Paulo Roberto. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

GUERRA, Antonio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 13. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades e Estados: Paraíso do Tocantins**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 30 abr. 2026.

JENSEN, John R. **Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective**. 4. ed. New York: Pearson, 2016.

JÚNIOR, Antenor Rodrigues B. **Elementos de hidrologia aplicada**. São Paulo: Editora Blucher, 2022.

LONGLEY, Paul A. et al. **Geographical information systems and science**. 4. ed. Hoboken: Wiley, 2015.

MANSOUR, A. et al. **Influence of land use and soil characteristics on hydrological response of watersheds**. Journal of Hydrology, v. 620, 2023.

MURILLO-BERMÚDEZ, J. et al. **Land use and soil impacts on runoff generation and hydrological processes in tropical watersheds**. Hydrological Processes, v. 36, n. 5, 2022.

MOURA, D. M. B.; OLIVEIRA, I. J.; NASCIMENTO, D. T. F. **Análise morfométrica comparativa das altas bacias hidrográficas dos ribeirões Santo Antônio e Santa Marta (Iporá-GO) como suporte à avaliação do comportamento hidrológico**. Revista da ANPEGE, v. 18, n. 36, 2022 .

PEREIRA, L. C. et al. **Uso e ocupação do solo e vulnerabilidade ambiental em bacias hidrográficas**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 15, n. 6, p. 3000–3015, 2022.

PIMENTEL, Luciene. **Hidrologia - Engenharia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: GEN LTC, 2015. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595155510/>. Acesso em: 25 mar. 2026.

PONZONI, Flavio Jorge; SHIMABUKURO, Yosio Edemir; KUPLICH, Tatiana Mara. **Sensoriamento remoto da vegetação**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

RICHARDS, John A.; JIA, Xiuping. **Remote Sensing Digital Image Analysis**. 4. ed. Berlin: Springer, 2006.

SANTOS, A. G. B. et al. **Caracterização Morfométrica e Uso e Ocupação do Solo em Bacia Hidrográfica do Semiárido Pernambucano**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 14, p. 1036-1043, 2021.

SILVA, D. T. B. T.; VANZELA, L. S.; RAMOS, E. B. **Características morfométricas das bacias do município de Fernandópolis-SP**. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 5, p. 24974-24994, 2020.

SILVA, R. M. da et al. **Impactos do uso e ocupação do solo nos processos hidrológicos em bacias hidrográficas**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 14, n. 4, p. 2000–2015, 2021.

SOUZA, A. B. de et al. **Geotecnologias aplicadas ao monitoramento do uso do solo em bacias hidrográficas**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 16, n. 3, p. 1520–1536, 2023.

SOUZA, Ênio Gomes Flôr et al. **Delimitação e caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Riacho do Navio, Pernambuco, a partir de dados SRTM processados no QGIS**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 14, n. 3, p. 1530–1540, 2021.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2002.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2004.

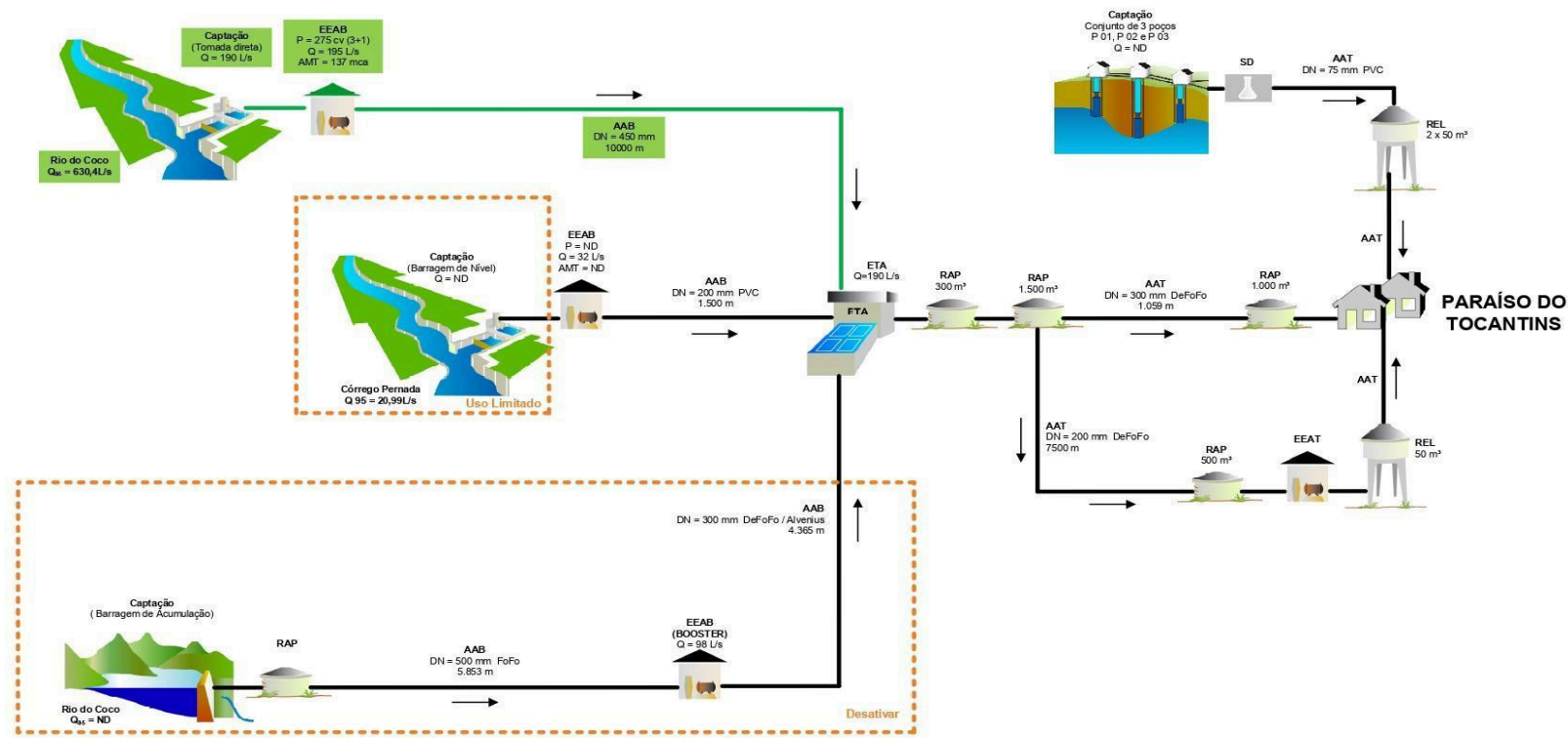
UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **EarthExplorer**. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 30 abr. 2026.

VILLELA, Swami Marcondes; MATTOS, Arthur. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

WULDER, Michael A. et al. **Current status of Landsat program, science, and applications**. Remote Sensing of Environment, v. 225, p. 127–147, 2019.

## ANEXO

## ATLAS DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA



| POPULAÇÃO URBANA (hab)                                                                                                | SISTEMA PRODUTOR                                                                 | TIPOS DE CAPTAÇÃO                                                     | SITUAÇÃO                                 | SISTEMA PROPOSTO DE PARAÍSO DO TOCANTINS                    |                                              | Nº 0000                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------|
| Baixo/Distrito/Povoado De 50.000 a 250.000<br>Até 5.000 De 250.000 a 1.000.000<br>De 5.000 a 50.000 Mais de 1.000.000 | Adutora<br>Estação Elevatória<br>Estação de Tratamento de Água<br>Dessalinizador | Tratamento<br>Filtros<br>Reservatório Apoiado<br>Reservatório Elevado | Existente<br>Projetado Atlas<br>Em Obras | Captação Fio d'Água/Tomada Direta<br>Barragem/Açude<br>Poço | Bateria de n poços<br>Chafariz<br>Carro-pipa | TOCANTINS<br>PARAÍSO DO TO |
|                                                                                                                       |                                                                                  |                                                                       |                                          | Município: Paraíso do Tocantins Estado: TO Data: Dez/2010   |                                              | Código                     |
|                                                                                                                       |                                                                                  |                                                                       |                                          | Consórcio ENGECORPS cobrape                                 |                                              | Fonte SANEATINS            |