



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

JADIR DE SOUZA FREITAS

**ANÁLISE MORFOMÉTRICA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS: UM ESTUDO DE
CASO DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO ÁGUA FRIA PALMAS-TO**

PALMAS

2025

JADIR DE SOUZA FREITAS

**ANÁLISE MORFOMÉTRICA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS: UM ESTUDO DE
CASO DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO ÁGUA FRIA PALMAS-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.

Orientador: Prof^ª. Dra. Michelle Ludmila
Guedes dos Santos

**PALMAS
2025**

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

F862a Freitas, Jadir de Souza
Análise morfométrica de bacias hidrográficas: um estudo de caso da sub-
bacia hidrográfica do Ribeirão Água Fria Palmas-TO / Jadir de Souza
Freitas. – Palmas, TO, 2025.
56 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus
Palmas, Palmas, TO, 2025.

Orientadora: Dra. Michelle Ludmila Guedes Dos Santos

1. Bacias hidrográficas. 2. Geoprocessamento. 3. Hidrologia. 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

JADIR DE SOUZA FREITAS

ANÁLISE MORFOMÉTRICA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS: UM ESTUDO DE CASO DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO ÁGUA FRIA PALMAS-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: 10 / 12 / 2025

BANCA AVALIADORA

Documento assinado digitalmente



MICHELLE LUDMILA GUEDES DOS SANTOS
Data: 05/02/2026 17:36:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^ª. Dra. Michelle Ludmila Guedes dos Santos
Orientadora
IFTO - Campus Palmas

Documento assinado digitalmente



CLAUDIA DA SILVA AGUIAR REZENDE
Data: 05/02/2026 11:38:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^ª. Dra. Cláudia da Silva Aguiar Rezende
IFTO - Campus Palmas

Documento assinado digitalmente



ELAINE DA CUNHA SILVA PAZ
Data: 02/02/2026 12:51:29-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^ª. Dra. Elaine da Cunha Silva Paz
IFTO - Campus Palmas

RESUMO

O estudo morfométrico e hidrológico de uma bacia hidrográfica é de grande importância para entender seu comportamento e sua interferência no meio ambiente, esse estudo é essencial para o planejamento urbano a fim de prever e reduzir os impactos ambientais da bacia hidrográfica. Este estudo tem como objetivo de caracterizar o perfil morfométrico e hidrológico da sub-bacia do Ribeirão Água Fria, que fica localizada na região norte do município de Palmas-TO, buscando entender o funcionamento hidrológico do local e observar o seu comportamento com o crescimento urbano, e evitar futuros problemas com alagamentos. Utilizando de técnicas de geoprocessamento, com a utilização do QGIS e dados Modelo Digital de Elevação proveniente - MDE do USGS e IBGE, para fazer o estudo morfométrico e delimitando a área de estudo fornecendo os dados da forma e sua localização bem como os rio da bacia hidrográfica e todos outros parâmetros morfométricos área, perímetro, comprimento do curso principal, declividade média, densidade de drenagem, fator de forma, índice de compacidade, índice de circularidade, amplitude altimétrica e tempo de concentração.

Palavras-chave: Hidrologia. Bacia hidrográfica. Morfometria. Urbanização. Palmas-TO. Geoprocessamento.

ABSTRACT

The morphometric and hydrological study of a watershed is of great importance for understanding its behavior and its interference with the environment. This study is crucial for urban planning, as it enables the prediction and mitigation of environmental impacts in the watershed. This study aims to characterize the morphometric and hydrological profile of the Água Fria stream sub-basin, located in the northern region of the municipality of Palmas-TO, seeking to understand the hydrological functioning of the area and observe its behavior with urban growth, and to avoid future problems with flooding. Using geoprocessing techniques, with the use of QGIS and Digital Elevation Model (DEM) data from the USGS and IBGE, to carry out the morphometric study and delimitate the study area, the data provided showed the shape and location of the river in the watershed and all other morphometric parameters: area, perimeter, length of the main course, average slope, depth density, form factor, compactness index, circularity index, altimetric amplitude, and time of concentration.

Keywords: Hydrology. River basin. Morphometry. Urbanization. Palmas-TO. Geoprocessing.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação do relevo conforme a declividade.....	28
Quadro 2 – Classificação da bacia em relação a drenagem.....	29
Quadro 3 – Fator de forma (FF).....	30
Quadro 4 - Coberturas das áreas dos anos de 2014 e 2024.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características físicas primárias.....	38
Tabela 2 - Características físicas secundárias.....	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Bacias urbanas do município de Palmas.....	14
Figura 2 – Estrutura de uma bacia hidrográfica.....	16
Figura 3 – Hierarquização bacia hidrográfica e sub-bacia.....	17
Figura 4 – Regiões Hidrográficas brasileiras.....	18
Figura 5 – Mapa das sub-bacias hidrográficas da cidade de Palmas-TO.....	21
Figura 6 – Mapa da drenagem natural do município de Palmas-TO.....	22
Figura 7 – Conjunto de dados MDE de Palma-TO.....	24
Figura 8 – Mapa de Palmas.....	24
Figura 9 – Caracterização da área de estudo.....	25
Figura 10 – Fluxograma Metodologia.....	26
Figura 11 – Reclassificação de valores no QGIS para declividade.....	34
Figura 12 – Classificação simbologia no QGIS para declividade.....	35
Figura 13 – Reclassificação de valores no QGIS para hipsometria.....	36
Figura 14 – Classificação simbologia no QGIS para hipsometria.....	37
Figura 15 – Mapa MDE da sub-bacia do Ribeirão Água Fria.....	40
Figura 16 – Mapa hipsométrico.....	40
Figura 17 – Mapa de ordem dos canais da sub-bacia Ribeirão Água Fria.....	41
Figura 18 – Mapa de declividade sub-bacia do Ribeirão Água Fria.....	42
Figura 19 – Mapa do curso principal da sub-bacia do Ribeirão Água Fria.....	43
Figura 20 – Comparação dos mapas de uso e ocupação de 2014 e 2024.....	45
Figura 21 – Mapa uso ocupação 2014.....	46
Figura 22 – Mapa uso ocupação 2024.....	47
Figura 23 – Mapa tipos de solo.....	51

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comparação do uso das áreas entre 2014 e 2024.....	49
--	----

LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional das Águas
BHAF	Bacia Hidrográfica do Ribeirão Água Fria
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FMA	Fundação De Meio Ambiente
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMPUP	Instituto Municipal de Planejamento Urbano de Palmas
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MDE	Modelo Digital de Elevação
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
SIG	Sistema de Informação Geográfica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Justificativa.....	13
1.2 Objetivos.....	14
1.2.1 Objetivo Geral.....	14
1.2.2 Objetivos Específicos.....	14
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1 Bacia Hidrográfica.....	16
2.2 Regiões Hidrográficas do Brasil.....	17
2.3 Morfometria da Bacia Hidrográfica.....	18
2.3.1 – Área.....	18
2.3.2 – Perímetro.....	19
2.3.3 – Comprimento do curso principal.....	19
2.3.4 – Declividade média.....	19
2.3.5 – Densidade de drenagem.....	19
2.3.6 – Fator de forma.....	19
2.3.7 – Índice de compacidade.....	19
2.3.8 – Índice de circularidade.....	19
2.3.9 – Amplitude altimétrica.....	20
2.3.10 – Tempo de concentração.....	20
2.4 Aspectos regionais.....	20
2.5 Bacias Hidrográficas de Palmas.....	21
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
3.1 Local e coleta dos dados.....	23
3.1.1 Área de estudo.....	23
3.1.2 Modelo Digital de Elevação – MDE.....	23
3.1.3 Delimitação territorial do município de Palmas.....	24
3.2 Delimitação da bacia hidrográfica.....	25
3.2.1 Área da Bacia (A).....	27
3.2.2 Perímetro (P).....	27
3.2.3 Comprimento do Curso Principal (L).....	27
3.2.4 Declividade Média.....	28
3.2.5 Densidade de Drenagem (Dd).....	28
3.2.6 Fator De Forma (FF).....	29
3.2.7 Índice de Compacidade (Kc).....	30
3.2.8 Índice de Circularidade (IC).....	30
3.2.9 Amplitude Altimétrica (Hm).....	31
3.2.10 Tempo de Concentração (Tc).....	31
3.3 Mapas.....	31
3.3.1 Modelo Digital de Elevação (MDE).....	32

3.3.2 Ordem do Curso D'água.....	32
3.3.3 Uso ocupação do solo.....	32
3.3.4 Declividade.....	33
3.3.5 Curso Principal.....	35
3.3.6 Hipsométrico.....	35
3.3.7 Solos.....	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	38
4.1 Caracterização morfométrica.....	38
4.2 Uso ocupação do solo da sub-bacia Ribeirão Água Fria (BHAF).....	46
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	52

1 INTRODUÇÃO

A hidrologia é a ciência que trata da água na terra, sua ocorrência, circulação e distribuição, suas propriedades físicas e químicas e sua relação com o meio ambiente, incluindo sua relação com a vida. O termo hidrologia vem do grego, *hydor*, que significa “água”, e *logos*, que significa “estudo” (Galdino; Victoria, 2014).

A água tem o papel fundamental para a vida de todos os seres vivos do planeta, de tal forma que o estudo dela é indispensável e aplicado em diversas áreas de atuação como a engenharia civil. Os principais usos da água na engenharia é aplicado na rede de abastecimento e de drenagem, na construção de hidrelétricas para abastecimento de energia e para áreas de agrícolas para controle de erosões do solo e irrigação de plantações (Rocha, 2022).

O conhecimento da área de hidrologia é fundamental para melhor aproveitamento dos recursos hídricos e na mitigação de problemas relacionados ao que vem ocorrendo em diversas cidades brasileiras, como problemas de alagamentos e inundações que por vezes podem estar vinculados a falta de estudo adequado da área da bacia hidrográfica (Rocha, 2022).

Os autores Lopez *et al.* (2021), caracterizam a morfometria de uma bacia hidrográfica como um estudo que busca compreender a forma e o tamanho da mesma, onde do grego *morphe* significa forma e *metros* medida. Embora esse estudo seja normalmente realizado para os seres vivos, animais e plantas, mas também ela é bastante aplicada nas áreas geológicas onde por exemplo pode ser identificada tamanho e forma de uma bacia hidrográfica. A análise morfométrica é realizada para determinar parâmetros que auxiliam no planejamento e comportamento da água na bacia.

A cidade de Palmas, capital do Tocantins fundada em 20 de maio de 1989, está localizada na região Norte do Brasil, possui clima tropical semi úmido, relevo plano a ondulado (Prefeitura de Palmas, c2024).

O município de Palmas, considerada uma cidade planejada, em seu último censo realizado em 2022 com resultados divulgados em 2023 tem uma população de 302.692 habitantes em comparação com o censo realizado em 2010 era de 228.332 um crescimento aproximadamente de 32,57% e tem uma população estimada para o ano de 2024 de 323.625 que dá um crescimento de 6,92% em comparação com o ano de 2022 segundo (Brasil, 2022).

O que se observa é um crescimento considerável na população de Palmas-TO durante o período analisado, esse crescimento pode influenciar e alterar no ciclo hidrológico, como

por exemplo aumentando a impermeabilização do solo (asfalto, concreto) consequentemente afeta na redução da infiltração da água no solo e o aumento do escoamento superficial das bacias hidrográficas da região.

No contexto de bacias hidrográficas o estado do Tocantins se encontra dentro da bacia Araguaia-Tocantins, esse nome é dado pelo fato da drenagem natural ser feita por esses dois rios. O município de Palmas é banhado por duas bacias: a própria do estado Araguaia-Tocantins e pela bacia Rio Balsas da região sul do estado do Maranhão e que nelas abrange no total 11 sub-bacias sendo oito da Araguaia-Tocantins e três bacia Rio das Balsas (Prefeitura de Palmas, 2021).

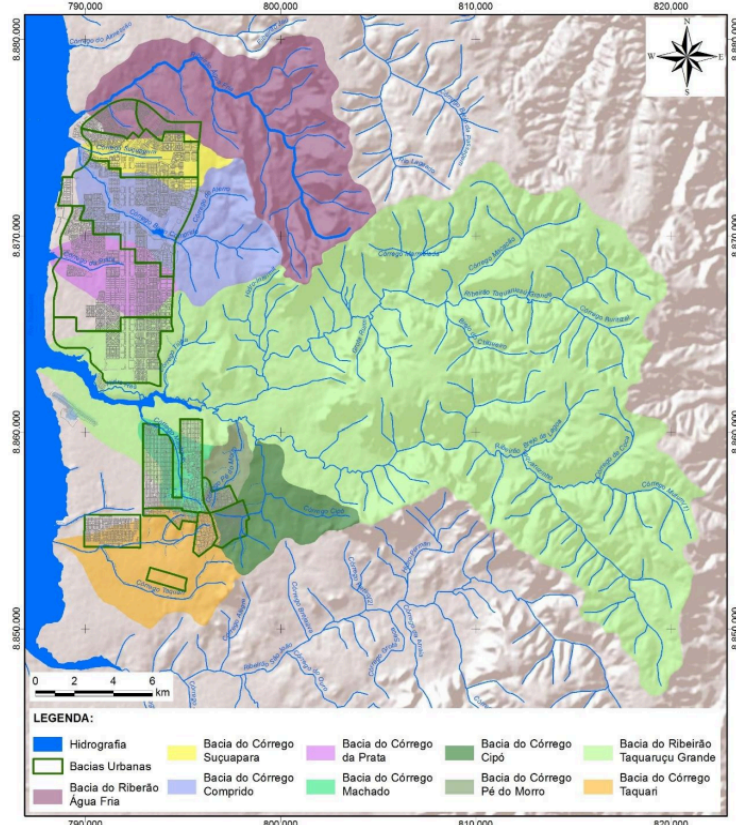
O presente trabalho tem como objetivo delimitar territorialmente da sub-bacia hidrográfica Ribeirão Água Fria, assim como caracterizar sua morfometria por meio do Sistema de Informação Geográfica (SIG), pelo software QGIS de código aberto, desenvolvido pela QGIS Development Team e de documentos de dados dos estudos técnicos do plano municipal de saneamento básico de Palmas.

1.1 Justificativa

A cidade de Palmas tem crescido nos últimos anos, o que favorece o aumento no número de ocupação e na impermeabilização na área de estudo, como já acontecia quando foi realizado o estudo do Plano de saneamento básico de Palmas, que já apontava para esse problema devido ao crescimento relevante da época. Do ano de 2014 até hoje a cidade teve acréscimo populacional considerável conforme visto pelos censo do IBGE. Devido essa ocupação e impermeabilização da bacia se faz necessário o estudo e entendimento morfométricos da sub-bacia Ribeirão Água Fria para prever e diminuir futuros problemas com enchentes ou alagamentos (Prefeitura de Palmas, 2014; IBGE, 2022).

A escolha da bacia hidrográfica Ribeirão Água Fria se justifica pela sua relevância ambiental, social e econômica para a região em que está inserida. Essa bacia apresenta características geográficas e hidrológicas significativas e de atividades humanas. Estudar essa bacia permite compreender os desafios e oportunidades relacionados à gestão sustentável dos recursos hídricos, contribuindo para a elaboração de políticas públicas e estratégias de conservação. Figura 1 mostra as bacias urbanas que se encontram no município de Palmas.

Figura 1 – Bacias urbanas do município de Palmas



Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas - TO (2014).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Caracterizar a morfometria da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Água Fria, localizada na região norte do município de Palmas-TO, por meio de técnicas de geoprocessamento em ambiente SIG (QGIS), com o intuito de extrair e analisar parâmetros físicos que subsidiem a compreensão da dinâmica ambiental da área.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar, coletar e sistematizar bases cartográficas, altimétricas, hidrológicas e ambientais necessárias à análise da sub-bacia;
- Delimitar a sub-bacia do Ribeirão Água Fria por meio de imagens de satélite e do Modelo Digital de Elevação (MDE) empregando procedimentos de geoprocessamento no SIG;

- Extrair, calcular e interpretar os parâmetros morfométricos relevantes (área, perímetro, densidade de drenagem, coeficiente de compactidade, fator de forma, ordem dos cursos d' água, entre outros) utilizando o software QGIS;
- Mapear e analisar o uso e ocupação do solo no recorte temporal adotado, verificando tendências de expansão urbana e alterações na cobertura vegetal;
- Produzir subsídios técnicos que possam contribuir para ações de gerenciamento ambiental, planejamento territorial e monitoramento futuro da sub-bacia.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Bacia Hidrográfica

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, define a bacia hidrográfica como uma unidade de planejamento e gestão dos recursos hídricos do país. Esse planejamento e gerenciamento permite compreender diversas variáveis quantitativas e qualitativas, quanto às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais das diversas regiões do País, bem como o entendimento do uso dos presentes no sistema (Brasil, 1997).

A Figura 2, representa o funcionamento de uma bacia hidrográfica em seu ciclo natural, onde água que cai num certo divisor de água é delimitada pelo relevo, parte dessa água corre para um rio até chegar no destino final exutório.

Divisor de água são estruturas do relevo que têm o papel de dividir as áreas das bacias. Normalmente são morros, serras, picos, montanhas ou outras estruturas elevadas do relevo (Rocha, 2022).

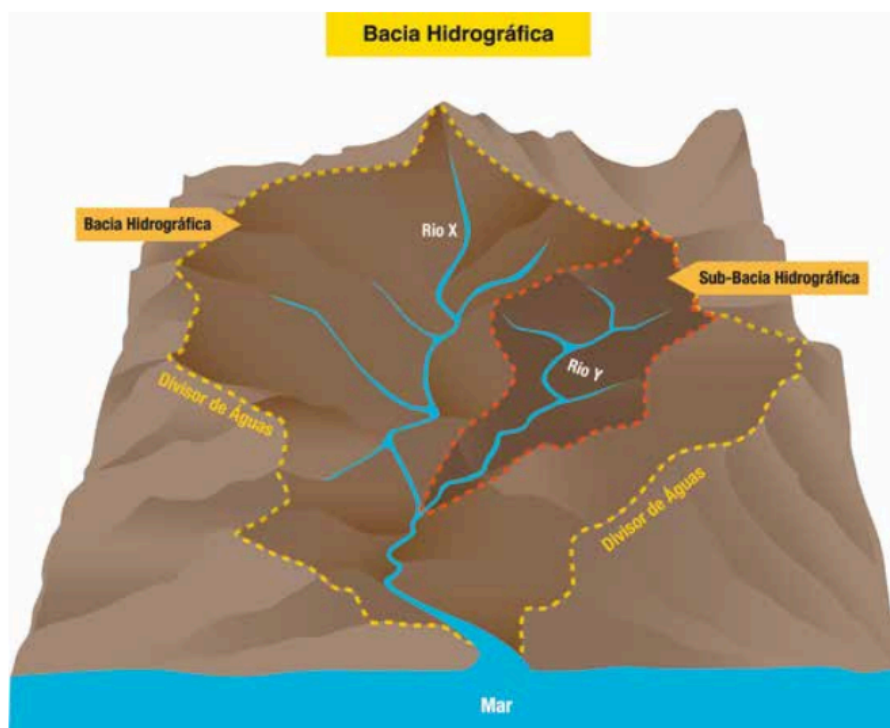
Figura 2 – Estrutura de uma bacia hidrográfica



Fonte: Autor com auxílio de IA, (2025).

Na hierarquização do sistema de drenagem para uma bacia hidrográfica tem-se a terminologia sub-bacias, essas têm-se os mesmos componentes que existem em uma bacia hidrográfica. Entretanto, tem-se menor complexidade em relação a sua área e sistema de drenagem e os rios são afluentes de uma rede de drenagem principal, como pode ser observado na Figura 3 (Gomes *et al.*, 2021).

Figura 3 – Hierarquização bacia hidrográfica e sub-bacia



Fonte: Freitas, (2015).

2.2 Regiões Hidrográficas do Brasil

De acordo com o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) por meio da Resolução nº 32 (Brasil, 2003), o Brasil é dividido em 12 regiões hidrográficas (Figura 4), essa divisão em macrorregiões tem finalidade de facilitar e orientar na implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH).

Figura 4 – Regiões Hidrográficas brasileiras

Fonte: Conselho Nacional de Recursos Hídricos, (2003).

2.3 Morfometria da Bacia Hidrográfica

A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica emprega relações de parâmetros físicos, hidrológicos e de relevo que influenciam no seu regime hidrológico. De acordo com Tonello *et al.* (2006), as características físicas e biótica de uma bacia hidrográfica desempenham papel fundamental nos processos do ciclo hidrológico, influenciando diretamente na infiltração, o volume de água que se transforma em deflúvio, a evapotranspiração, bem como nos escoamentos superficial e subsuperficial.

Para o desenvolvimento de estudos ambientais faz-se necessário a análise morfométrica da bacia hidrográfica. Atualmente, parte desta caracterização é realizada por meio da integração de informações de relevo em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG).

2.3.1 – Área

A área de bacia hidrográfica é todo território superficial que é medida de forma plana sem levar em consideração o seu relevo, apenas o seu perfil e sua unidade de medida é dada

em km². Essa área é delimitada conforme a topografia da região nos divisores de água que são as partes mais elevadas da bacia que recebe a precipitação da chuva, alimentado pequenos afluentes e que por sua vez deságua no rio principal até seu fim no exutório. Portanto, é a superfície total de terra que é drenada para algum corpo hídrico, rio, lago ou oceano.

2.3.2 – Perímetro

O perímetro de uma bacia hidrográfica é basicamente o comprimento de todo o contorno da bacia onde ela é delimitada no divisor de águas sendo os pontos mais altos da bacia, sua unidade de medida é dada em km.

2.3.3 – Comprimento do curso principal

É o comprimento total do curso do rio principal da de uma bacia e bacia e sub-bacia hidrográfica desde sua nascente até exutório.

2.3.4 – Declividade média

A declividade e a variação entre a altitude alta e baixa em uma determinada distância, onde ela determina a velocidade e o volume que a água escoe na superfície de uma bacia.

2.3.5 – Densidade de drenagem

A densidade de drenagem mede a concentração de canais de água em uma bacia hidrográfica, que vai determinar se a bacia tem alta capacidade de drenagem ou não.

2.3.6 – Fator de forma

Fator de forma e parâmetro geométrica que indica a forma da bacia desde uma bacia mais circular sujeita a enchentes ou mais alongada com bom escoamento.

2.3.7 – Índice de compacidade

Outro parâmetro semelhante ao fator de forma que indica a forma de uma bacia hidrográfica.

2.3.8 – Índice de circularidade

Também de forma similar diz quão circular a bacia hidrográfica ou se ela é achatada.

2.3.9 – Amplitude altimétrica

A amplitude altimétrica é definida como a diferença entre o ponto mais alto e o ponto mais baixo da bacia.

2.3.10 – Tempo de concentração

Período necessário para que a água precipitada percorra da região mais distante até o exutório.

2.4 Aspectos regionais

A cidade de Palmas está localizada no Tocantins no norte do Brasil. Collicchio *et al.* (2022), descrevem que o estado do Tocantins está sob domínio do clima tropical semi úmido, predominante na região central do Brasil, sendo caracterizado por ocorrer um período estacional seco e outro chuvoso. O período de seca é considerado o inverno e a chuvosa o verão onde possui valor médio pluviométrico de 806,6 mm (1991-2020) segundo (Brasil, 2024).

O clima de Palmas é caracterizado por altas temperaturas variando entre 20 °C a 34 °C, entretanto Silva (2021), informa que a máxima já registrada na cidade chegou a superar 40 °C nos meses mais quentes.

As temperaturas registradas no balanço do verão 2023/2024 para a cidade de Palmas foram acima da média. No verão a média de temperatura entre esses anos foi de 27,3 °C, com 1,1 °C acima do normal registrado nos últimos anos. Para a temperatura média máxima obteve-se o valor de 33,1 °C também acima do normal, com 1,3 °C. A máxima registrada para o período foi de 37,3 °C, contribuindo para a informação que Palmas é uma cidade bastante quente e que chega a ter temperaturas elevadas conforme registros do Instituto Nacional de Meteorologia (Brasil, 2024).

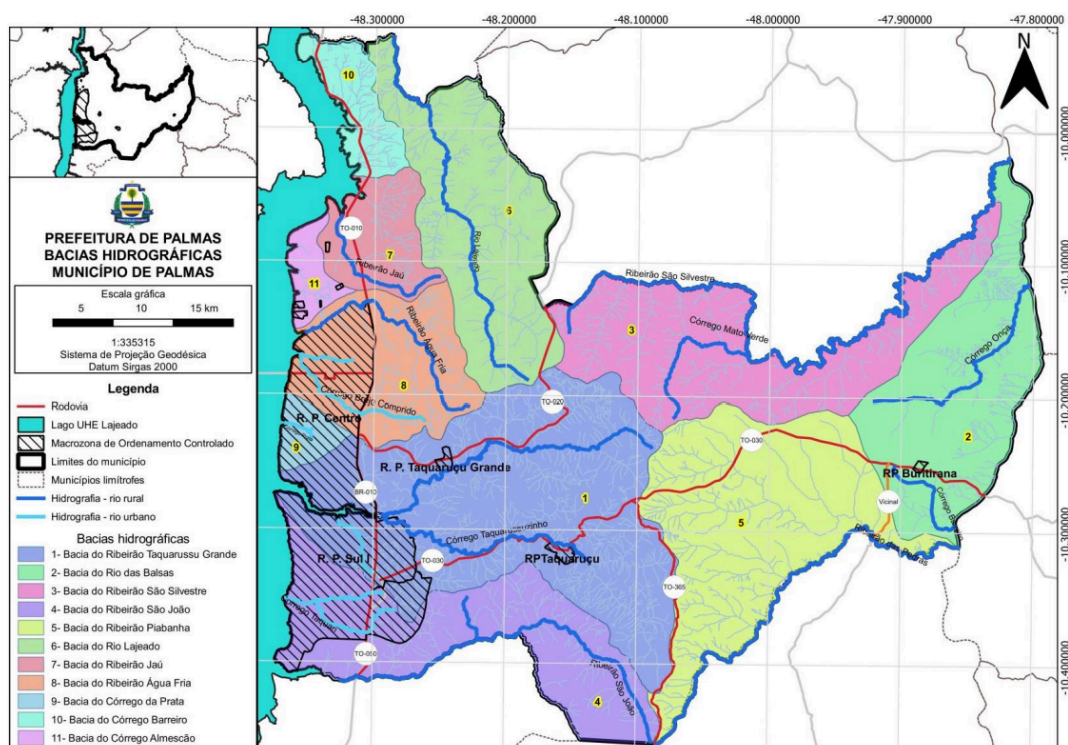
Os registros de chuva no balanço do verão 2023/2024 para a cidade foram de 1.082,4 mm, valor esse que superou a média histórica sazonal entres os períodos de 1991 a 2020, que foi de 806,6mm. O mês de maiores precipitações foi o de janeiro com um volume total de 440,4 mm, correspondendo a 55% do total anual. E o maior volume registrado em único dia foi de 102,8 mm no dia 21/02 (Brasil, 2024).

A variabilidade da composição do solo de Palmas pode exercer influência sobre os processos hidrológicos, especialmente para a infiltração e no escoamento. De acordo com o Instituto de Planejamento Urbano de Palmas (IMPUP) (Prefeitura de Palmas, 2017), predominam no município os seguintes tipos de solo: latossolo, solos concrecionários, solos litólitos (Neossolos), solos hidromórficos gleizados (Gleissolos) e plintossolos, cada tipo apresenta propriedades físicas podem interferir na dinâmica da água no solo.

2.5 Bacias Hidrográficas de Palmas

O município está inserido nas bacias hidrográficas do Rio Tocantins e do Rio Balsas, mas são os afluentes que escoam diretamente para o Rio Tocantins que exercem maior influência sobre a drenagem urbana. Entre os cursos mais significativos encontram-se os córregos Água Fria, Sussuapara, Brejo Comprido, Prata, Taquaruçu Grande e Taquari, além dos córregos Cipó e Pé do Morro, responsáveis pela drenagem de áreas da região sul em direção ao Ribeirão Taquaruçuzinho (Figura 5). Esses cursos desempenham papel fundamental no escoamento superficial da cidade e constituem elementos importantes para o planejamento urbano e ambiental (Palmas, 2023).

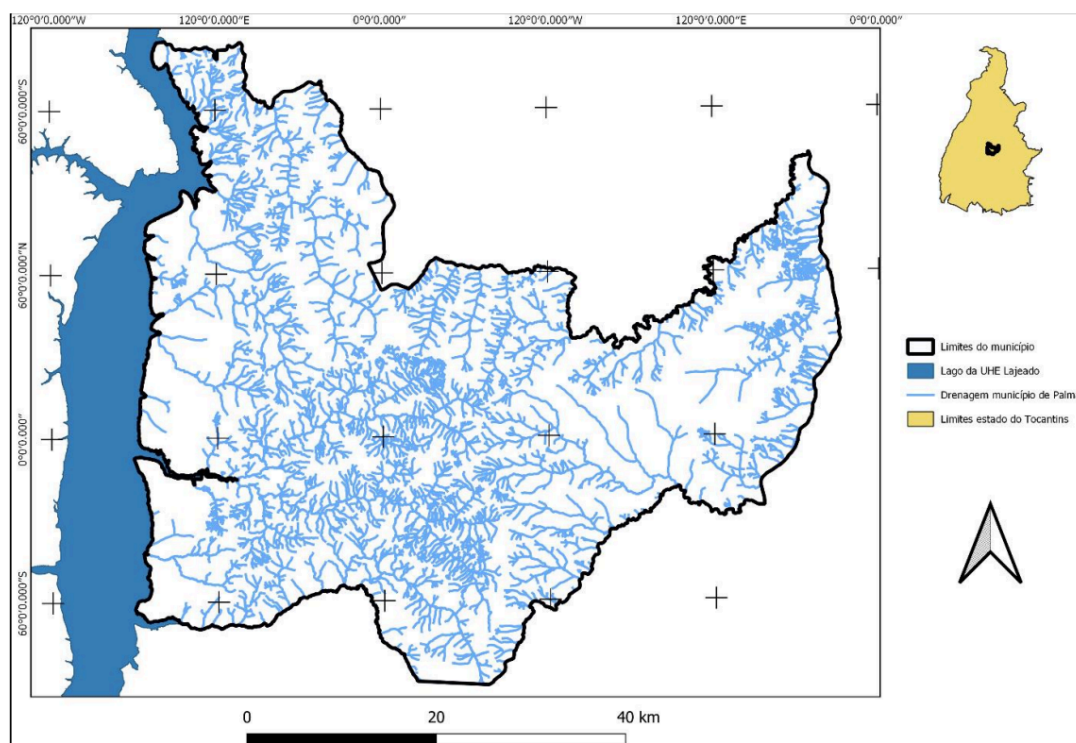
Figura 5 – Mapa das sub-bacias hidrográficas da cidade de Palmas-TO



Fonte: Programa água viva, (2021).

O sistema de drenagem urbana de Palmas é formado por uma rede diversificada de cursos d'água que passam na malha urbana em diferentes direções (Figura 6). Alguns possuem suas nascentes na Serra do Lajeado, uma área ainda coberta por mata ciliar que já existem indícios de degradação à medida que os cursos entram na zona urbana, onde o desmatamento e a expansão das atividades humanas intensificam a pressão ambiental. A rede de drenagem natural de Palmas - TO possui uma extensão de drenagem de aproximadamente 2.732.525 km (Prefeitura de Palmas, 2021).

Figura 6 – Mapa da drenagem natural do município de Palmas-TO



Fonte: Programa água viva, (2021).

Com a análise dos mapas é possível identificar previamente a composição da rede de drenagem, a localização dos pontos de exutório de cada bacia pertencentes a área de drenagem da cidade de Palmas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Local e coleta dos dados

O município de Palmas, capital do estado do Tocantins, está territorialmente delimitado ao Norte pelos municípios de Aparecida do Rio Negro e Lajeado; ao Sul, por Monte do Carmo e Porto Nacional; a Leste, por Santa Tereza do Tocantins e Novo Acordo; e a Oeste, por Miracema do Tocantins (Prefeitura de Palmas, 2017).

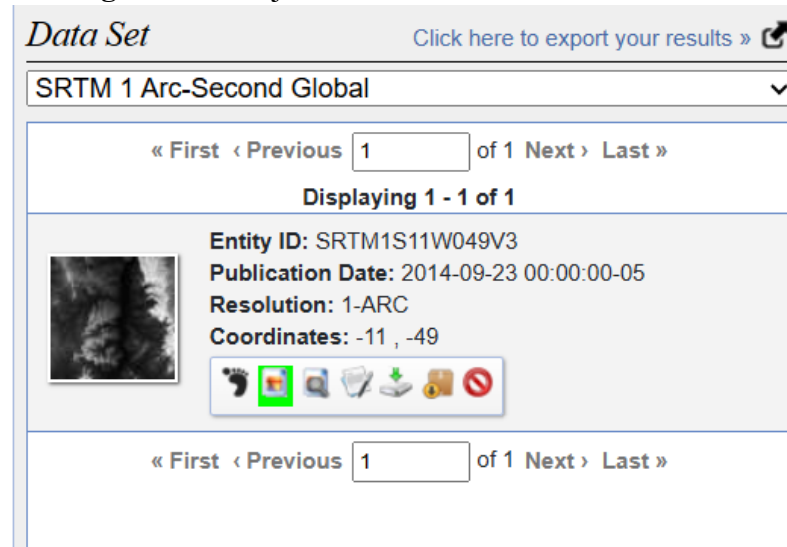
3.1.1 Área de estudo

A micro bacia do Ribeirão Água Fria pertence à Bacia do Rio Tocantins, está situada ao Norte da cidade de Palmas aproximadamente entre as latitudes S10° 6' 59,03" a S10° 14' 8,16" e longitudes W48° 23' 49,74" a W48° 12' 57,24", sua nascente encontra-se na área de proteção ambiental (APA Serra do Lajeado), a mesma possui área total de 108,35 Km² o que representa 4,86 % do município de Palmas.

3.1.2 Modelo Digital de Elevação – MDE

O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi retirado do site USGS, onde é oferecido às derivações de todo território mundial com 30 metros de resolução espacial. Os dados para a obtenção da bacia Ribeirão Água Fria situada em Palmas foi obtido por meio de radares interferométricos da SRTM disponibilizado em formato *geotiff*, conforme a Figura 7.

Figura 7 – Conjunto de dados MDE de Palma-TO

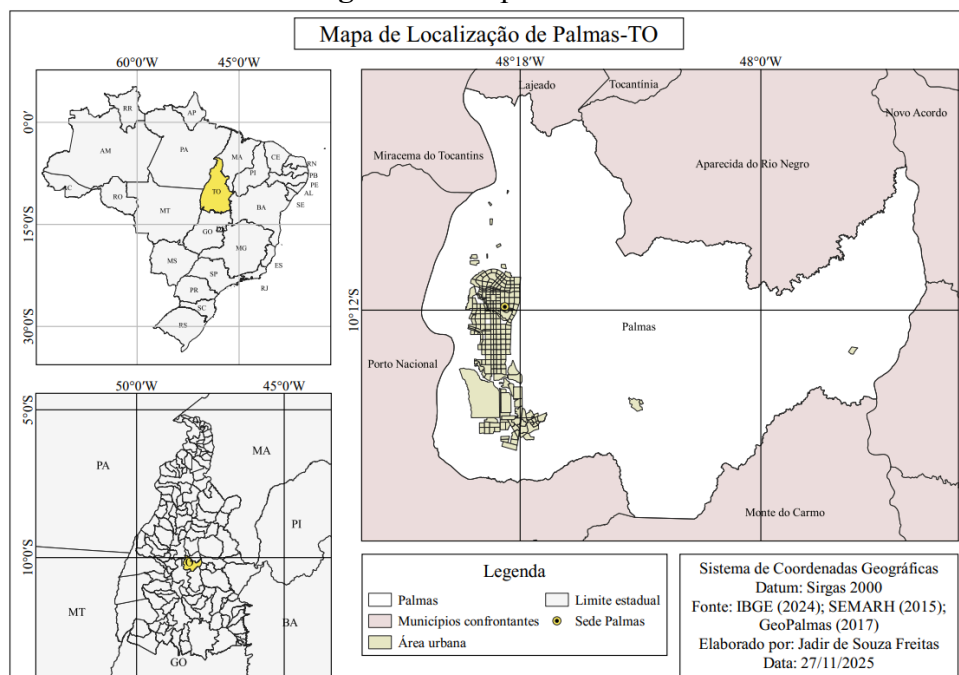


Fonte: United States Geological Survey, (2014).

3.1.3 Delimitação territorial do município de Palmas

Os dados adquiridos no IBGE no formato *shapefile*, são utilizados para a construção de mapas de delimitação territorial para os limites estaduais, municipais e de suas respectivas capitais, conforme a Figura 8.

Figura 8 – Mapa de Palmas



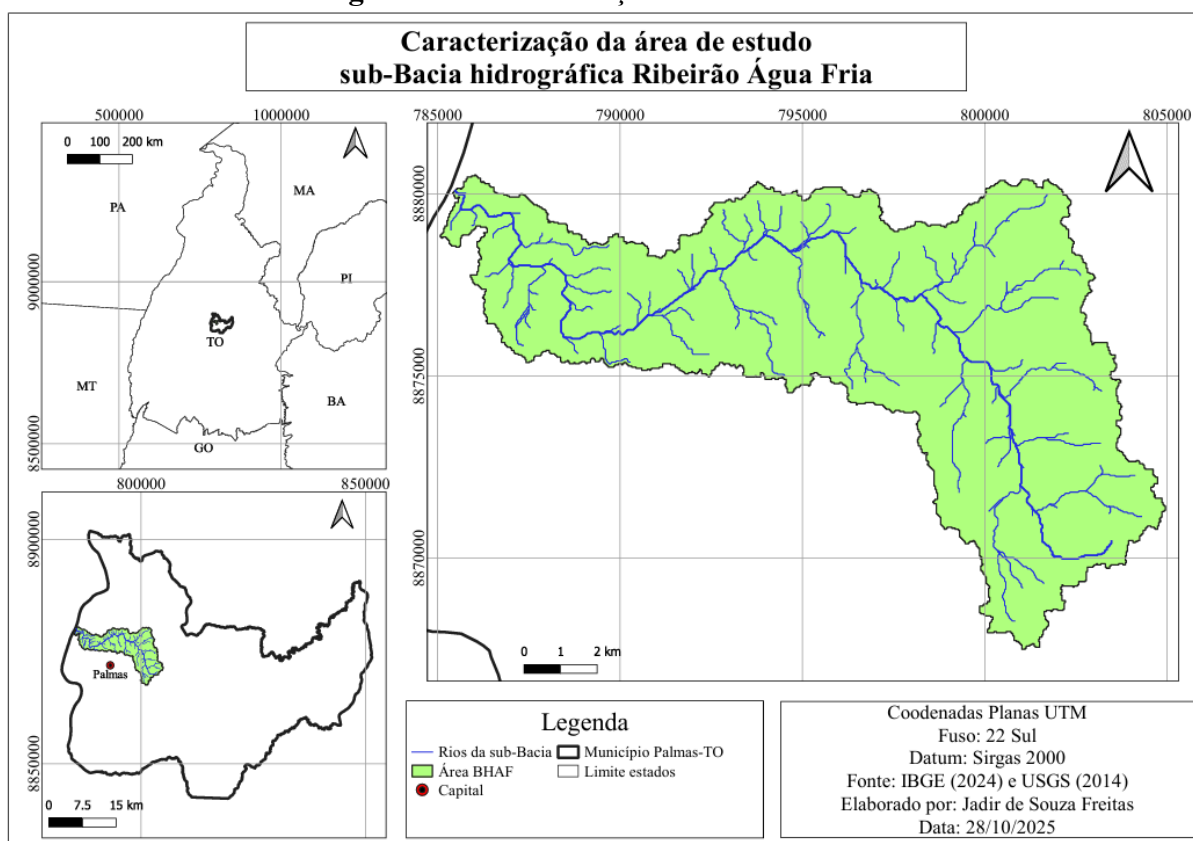
Fonte: Autoria própria, (2025).

3.2 Delimitação da bacia hidrográfica

Os dados utilizados para delimitação e construção dos mapas da área da bacia hidrográfica em estudo foram retirados do site da ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico), do USGS (United States Geological Survey), do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, do MAPBIOMAS e do BDIA (Banco de Dados e Informações Ambientais).

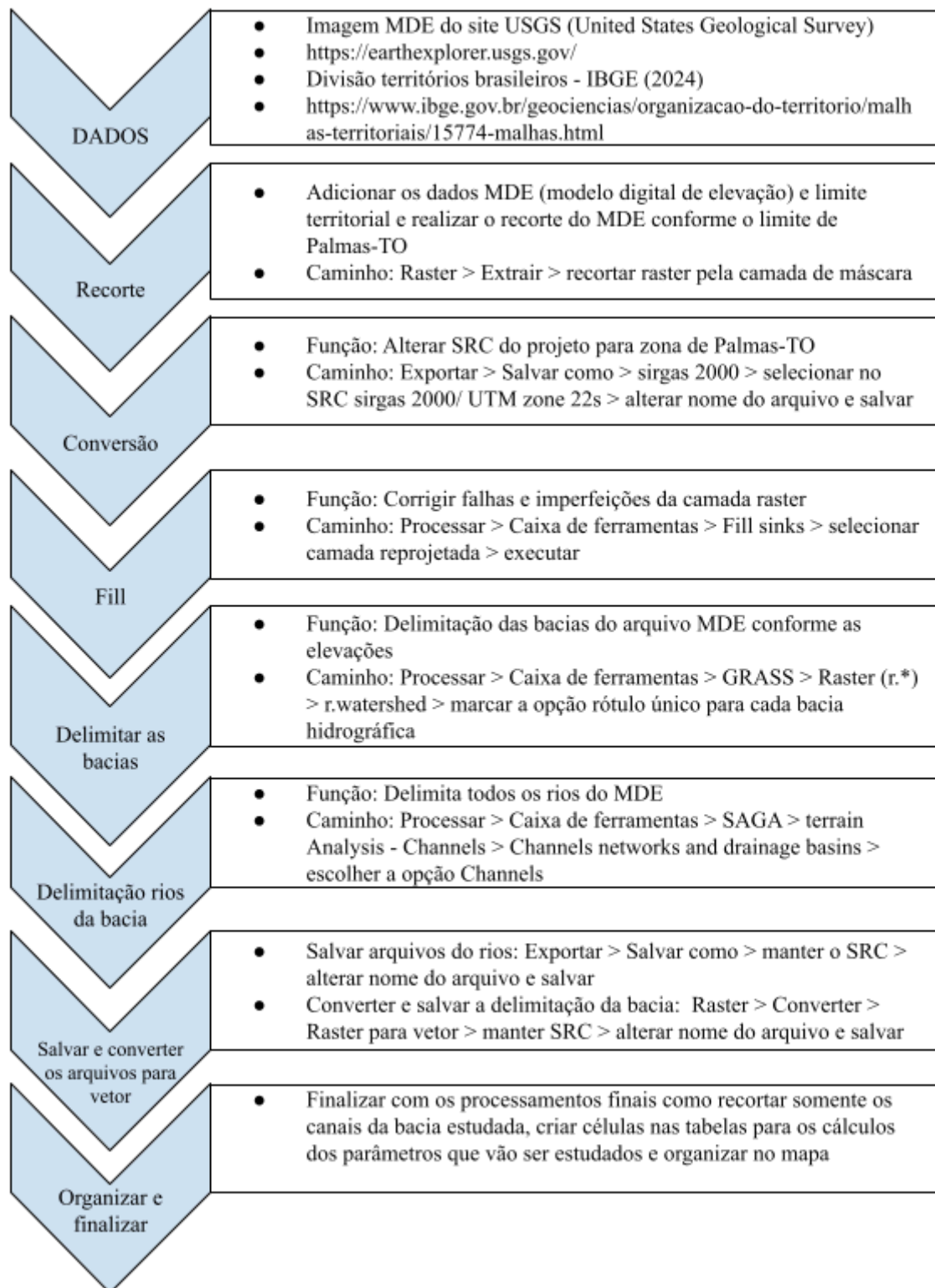
A delimitação da bacia hidrográfica do Ribeirão Água Fria (Figura 9), foi realizada pelo Sistema de Informação Geográfica (SIG) através do software QGIS de código aberto, utilizando a função *Channels networks and Drainage basins* que basicamente encontra todas as bacias e os canais, levando em conta a altitude e declividade da área estudada a partir do MDE.

Figura 9 – Caracterização da área de estudo



Fonte: Autoria própria, (2025).

A Figura 10, mostra de forma o fluxograma da metodologia para delimitação da bacia hidrográfica.

Figura 10 – Fluxograma Metodologia

Fonte: Autoria própria, (2025).

3.2.1 Área da Bacia (A)

Este parâmetro foi calculado de forma automática no QGIS, a partir da tabela de atributos da camada limite da bacia gerados na etapa de delimitação. A metodologia de cálculo segue da seguinte forma: no QGIS clicando com o botão direito na camada gerada do limites da bacia e escolhendo a opção **abrir tabela de atributos**, em seguida na janela que abrir clicar na função de **abrir calculadora de campo** onde vai obter uma nova janela para criação de um novo campo para a tabela, que é nomeado como **Área**, logo após escolhe-se o tipo de número para um **número decimal (real)** e na aba de expressão na caixa de texto digitar **\$area** ou na aba ao lado **row_number** clicar na opção **geometria** seguido **\$area**, por último na frente do texto **\$area** digitamos **/10000000** para obtermos o resultado diretamente **km²**.

3.2.2 Perímetro (P)

Este parâmetro vai ser calculado de forma automática no QGIS, a partir da tabela de atributos da camada limite da bacia gerados na etapa de delimitação. A metodologia de cálculo segue da seguinte forma: no QGIS clicando com o botão direito na camada gerada do limites da bacia e escolhendo a opção **abrir tabela de atributos**, em seguida na janela que abrir clicar na função de **abrir calculadora de campo** onde vai aberta uma nova janela para criarmos um novo campo para a tabela, que vamos nomear de **Perímetro**, escolher o tipo de número para um **número decimal (real)** e na aba de expressão na caixa de texto digitar **\$perimeter** ou na aba ao lado **row_number** clicar na opção **geometria** seguido **\$perimeter**, por último na frente do texto **\$area** digitamos **/1000** para obtermos o resultado diretamente **km**.

3.2.3 Comprimento do Curso Principal (L)

O comprimento do curso principal da bacia é a distância entre o ponto de nascente até o exutório da bacia, sua unidade de medida em **km**.

Este parâmetro vai ser calculado de forma automática no QGIS, a partir da tabela de atributos da camada limite da bacia gerados na etapa de delimitação. A metodologia de cálculo segue da seguinte forma: Primeiramente vamos filtrar apenas para calculamos apenas o curso principal no QGIS clicando com o botão direito na camada gerada de drenagem da

bacia e escolhendo a opção **Duplicar camada**, em seguida novamente com botão direito na camada cópia escolher a opção **Filtrar...** na nova janela que abrir na caixa de texto digitar "ORDER" = 3 e dar ok, novamente abrir com o botão e escolhendo a opção **abrir tabela de atributos**, em seguida na janela que abrir clicar na função de **abrir calculadora de campo** onde vai aberta uma nova janela para criarmos um novo campo para a tabela, que vamos nomear de **PRINCIPAL**, escolher o tipo de número para um **número decimal (real)** e na aba de expressão na caixa de texto digitar somando todos os valores da coluna *length* (comprimento) pelo comando $\text{sum}(\text{length})/1000$ para obtermos o resultado diretamente km.

3.2.4 Declividade Média

Villela e Mattos (1975) descreve a declividade do terreno numa bacia hidrográfica, quanto maior seu valor maior a velocidade do escoamento sendo assim vai ser mais susceptível à erosão do solo. O valor da declividade pode ser calculada a diferença entre a cota maior e menor dividindo pelo seu comprimento onde encontramos o valor em porcentagem, abaixo no Quadro 1 classifica o tipo do solo conforme a sua declividade.

Quadro 1 – Classificação do relevo conforme a declividade

Classificação do relevo conforme a declividade	
Declividade	Tipo de Relevo
< 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 Embrapa, (1979).

3.2.5 Densidade de Drenagem (Dd)

A densidade de drenagem (Eq. 1) é descrita por Villela e Mattos (1975), onde é calculada pela divisão do comprimento de todos os cursos de água da bacia pela a sua área,

resultando em uma drenagem em km/km². O valor obtido indica se a bacia tem sua drenagem pobre, regular, boa, muito boa ou excepcional, conforme o Quadro 2.

$$Dd = \frac{Lt}{A} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

Dd = Densidade de drenagem (km/km²);

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

A = Área da Bacia (km²).

Quadro 2 – Classificação da bacia em relação a drenagem

Classificação da BH em relação a Dd				
-	Dd	<0,5	km/km ²	Drenagem pobre
0,5≤	Dd	<1,5	km/km ²	Drenagem regular
1,5≤	Dd	<2,5	km/km ²	Drenagem boa
2,5≤	Dd	<3,5	km/km ²	Drenagem muito boa
-	Dd	>3,5	km/km ²	Drenagem excepcional

Fonte: Adaptado de Villela e Mattos (1975).

3.2.6 Fator De Forma (FF)

Fator de forma (FF) é calculada (Eq. 2) pela divisão entre a área da bacia pelo seu comprimento axial ao quadrado, sendo essa fórmula utilizada por Villela e Mattos (1975). O fator de forma (FF) é um índice que vai indicar a tendência da bacia sofrer enchentes ou não, conforme o Quadro 3.

$$Ff = \frac{A}{La^2} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

Ff = Fator de forma;

A = Área da Bacia (km²);

La = Comprimento axial (km).

Quadro 3 – Fator de forma (FF)

Fator de forma (FF)	
FF	Característica da bacia
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).

3.2.7 Índice de Compacidade (Kc)

O índice de compacidade é calculado conforme descrito na Equação 3. Esse índice é utilizado para analisar a forma da bacia hidrográfica, sendo que valores de Kc menor ou igual a um indica bacias mais circulares com maior propensão de cheias, Kc com valores maiores que um indica bacias mais alongadas diminuindo esse risco (Villela; Mattos, 1975).

$$K_c = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

Kc = Índice de Compacidade;

P = Perímetro (km);

A = Área da Bacia (km²).

3.2.8 Índice de Circularidade (IC)

O índice de circularidade é calculado conforme descrito na Equação 4 (Muller, 1953). Semelhante ao de compacidade, esse índice irá indicar se o perímetro da bacia se aproxima a um formato de círculo ou se é mais alongada. Sendo que valores de IC próximo a zero indicam bacias mais alongadas e menos propensas a inundações, enquanto que IC próximo a um indica bacias mais arredondadas e mais propensas a inundações.

$$IC = \frac{12,57A}{P} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

IC = Índice de circularidade;

P = Perímetro (km);

A = Área da Bacia (km²).

3.2.9 Amplitude Altimétrica (Hm)

Afonso *et al.* (2014), descrevem que a amplitude altimétrica é calculada através da Equação 5, na região de estudo esse parâmetro pode ser usado para calcular alguns outros como declividade, rugosidade e tempo de concentração.

$$Hm = emax - emin \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

Hm = Amplitude altimétrica (m);

emax = Altitude máxima (m);

emin = Altitude mínima (m).

3.2.10 Tempo de Concentração (Tc)

O tempo de concentração é o parâmetro que determina o tempo gasto para que a água percorre desde o início da bacia até seu ponto mais distante no seu exutório. O tempo de concentração pode ser determinado por diversas fontes, entretanto a escolhida para a Equação 6 foi a fórmula desenvolvida por Kirpich (Tucci *et al.*, 2001).

$$Tc = 57x \left(\frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0,385} \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

Tc = Tempo de concentração (min);

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

ΔH = Amplitude altimétrica (m).

3.3 Mapas

Com base nos dados obtidos nos sites que fornecem os mapas gerais, contendo informações cartográficas e características naturais do país, foi possível elaborar a delimitação da área de estudo e extrair informações pertinentes a partir dos modelos digitais do terreno.

3.3.1 Modelo Digital de Elevação (MDE)

Para a elaboração do mapa do Modelo Digital de Elevação (MDE) foi realizado o seguinte procedimento a partir dos dados baixado do site da USGS na aba Raster, seguido de extrair e recortar raster pela camada de máscara, na aba **Camada de entrada** selecionar o MDE baixado, na aba **Camada máscara** selecionar o limite da bacia gerado de forma automática na caracterização da área de estudo, por último selecionar local onde essa cama vai ser salva e executar.

3.3.2 Ordem do Curso D'água

A elaboração do mapa de ordem foi realizada conforme o método Horton-Strahler. A obtenção da ordem foi a partir da camada de rede de drenagem gerada de forma automática na caracterização da área de estudo. A obtenção foi pelo QGIS, clicando com botão direito na camada de drenagem escolhendo a opção **Propriedades...**, na nova janela que for aberta selecionar a aba **Simbologia**, e onde está sem **Sem simbologia** escolher a opção **Categorizado**, na aba Coluna escolher **ORDER**, e na parte inferior clicar em **Classificar**, remover o valor todos os outros valores clicando nele e no símbolo de menos vermelho perto de classificar, e por fim configurar a simbologia escolhendo as cores e espessura da linha de cada ordem clicando duas vezes em cima dos símbolos para cada uma das ordens geradas finalizando clicando em **OK**.

3.3.3 Uso ocupação do solo

Para a elaboração do mapa de uso e ocupação primeiramente é necessário adicionar a camada do mapa fornecido na plataforma MAPABIOMAS, em seguida converter o arquivos que é matricial para vetorial a partir da aba **Raster** → **Converter** → **Raster para vetor (Poligonizar)**.

A etapa seguinte é remover as feições de fundo que não fazem parte do mapa em que é necessário **abrir tabela de atributos** da camada “Vetorizado”, na janela que abrir deve-se clicar a opção **selecionar feições usando uma expressão** na caixa de texto colocar "DN" = 0 e com botão delete remover as feições, salvando as edições. A próxima etapa é corrigir geometrias da camada que será feita a partir da caixa de ferramentas do QGIS para buscar a ferramenta de **corrigir geometrias** da camada “Vetorizado”.

A terceira etapa união todas feições semelhantes que é feita a partir da aba **Vetor** → **Geoprocessamento** → **Dissolver**, onde deve escolher a camada “Vetorizado” e na opção **Dissolver campo(s) [optinal]** selecionar o campo DN e clicar em executar. Depois de dissolvida uma camada “Dissolvido” agora é necessário exportar essa camada para salvar e reprojetar para o sistema de coordenadas planas UTM fuso 22 sul sirgas 2000 pelo caminho: **click botão direito** → **Exportar** → **Salvar feições com**, renomear a camada, escolher local de armazenamento e selecionar o SRC no globo e procurando pelo código EPSG:31982.

Por último, é necessário fazer os cálculos de área repetindo o processo anterior **3.2.1 ÁREA DA BACIA (A)** e criar um campo de texto CLASSE pelo mesmo procedimento porém selecionado tipo para **texto** onde se deve configurar para 50 caracteres, após criar a coluna **CLASSE** a partir da tabela fornecida pelo mapa biomas é necessário preencher as categorias dos biomas onde os valores observando DN do QGIS tem que serem o mesmo da tabela mapa biomas code ID. Na aba de **Propriedades**, na nova janela que for aberta selecionar a aba **Simbologia**, e onde está sem **Sem simbologia** escolher a opção **Categorizado**, na aba Coluna escolher **CLASSE**, e na parte inferior clicar em **Classificar**, remover o campo **todos os outros valores** clicando nele e no símbolo de menos vermelho perto de classificar, e por fim configurar a simbologia escolhendo as cores.

3.3.4 Declividade

Para a elaboração do mapa declividade a partir do MDE corrigido realizado até a etapa *fill* do fluxograma na delimitação da bacia hidrográfica, primeiramente pelo caminho **Análise** → **Declividade** executando a ferramenta e gerando camada de declividade. Após de gerada a nova camada, pela caixa de ferramentas do QGIS no campo busca foi procurada a ferramenta **Classificar por tabela**, onde foi classificada da seguinte maneira:

Na janela no campo **Intervalo limites** foi selecionado a opção $\text{min} < \text{valor} \leq \text{max}$, abrindo o campo tabela de reclassificação existem 3 colunas da tabela a serem preenchidas **mínimo**, **máximo** e **valor**, a onde devem ser inseridos valores da tabela da Embrapa, com uma observação foi configurado inicialmente na coluna **mínimo** foi digitado -1, na coluna **máximo** 3 e na coluna de **valor** 1, o valor negativo por uma limitação do QGIS não poderia ser colocado valor 0, e na última linha o valor máximo foi colocado 715 da cota máxima do MDE, na Figura 11 mostra de forma detalhada como foi preenchido a tabela.

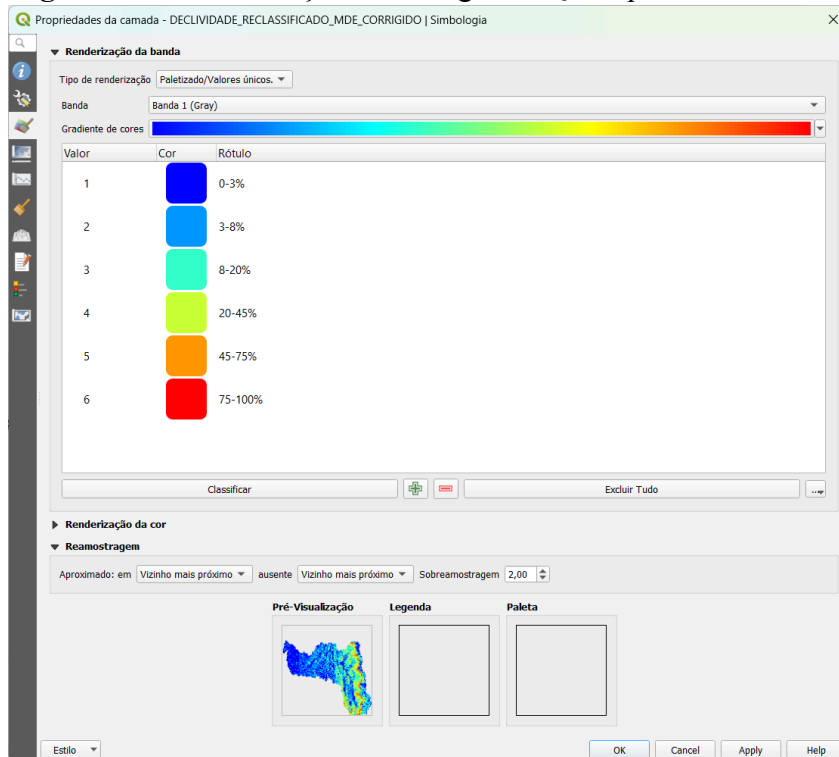
Figura 11 – Reclassificação de valores no QGIS para declividade.

	Mínimo	Máximo	Valor
1	-1	3	1
2	3	8	2
3	8	20	3
4	20	45	4
5	45	75	5
6	75	715	6

Fonte: Autoria própria, (2025).

A etapa seguinte na camada reclassificada clicando com botão direito na camada de drenagem escolhendo a opção **Propriedades...**, na janela selecionar a aba **Simbologia**, na aba **Renderização da banda** no campo **Tipo de renderização** onde deve escolher a opção **Paletizado/valores únicos**, clicando em **Classificar**, removendo o valor todos os outros valores, e por fim configurando o gradiente de cores correta para esse tipo de mapa e alterando os valores do rótulo adotando os valores em % da tabela da Embrapa, na Figura 12 mostra de forma detalhada como foi feita a classificação.

Figura 12 – Classificação simbologia no QGIS para declividade.



Fonte: Autoria própria, (2025).

3.3.5 Curso Principal

Para a elaboração do mapa do curso principal a partir da rede de drenagem gerada de forma automática na delimitação da bacia hidrográfica, clicando com o botão direito na **Duplicar camada**, em seguida novamente com botão direito na camada cópia escolher a opção **Filtrar...** na nova janela que abrir na caixa de texto digitar "ORDER" = 3 e dar ok, novamente abrir com o botão e escolhendo a opção **abrir tabela de atributos**, em seguida na janela que abrir clicar na função de **abrir calculadora de campo** onde vai aberta uma nova janela para criarmos um novo campo para a tabela, que vamos nomear de **PRINCIPAL**, escolher o tipo de número para um **número decimal (real)** e na aba de expressão na caixa de texto digitar somando todos os valores da coluna *length* (comprimento) pelo comando $\text{sum}(\text{length})/1000$ para obtermos o resultado diretamente km.

3.3.6 Hipsométrico

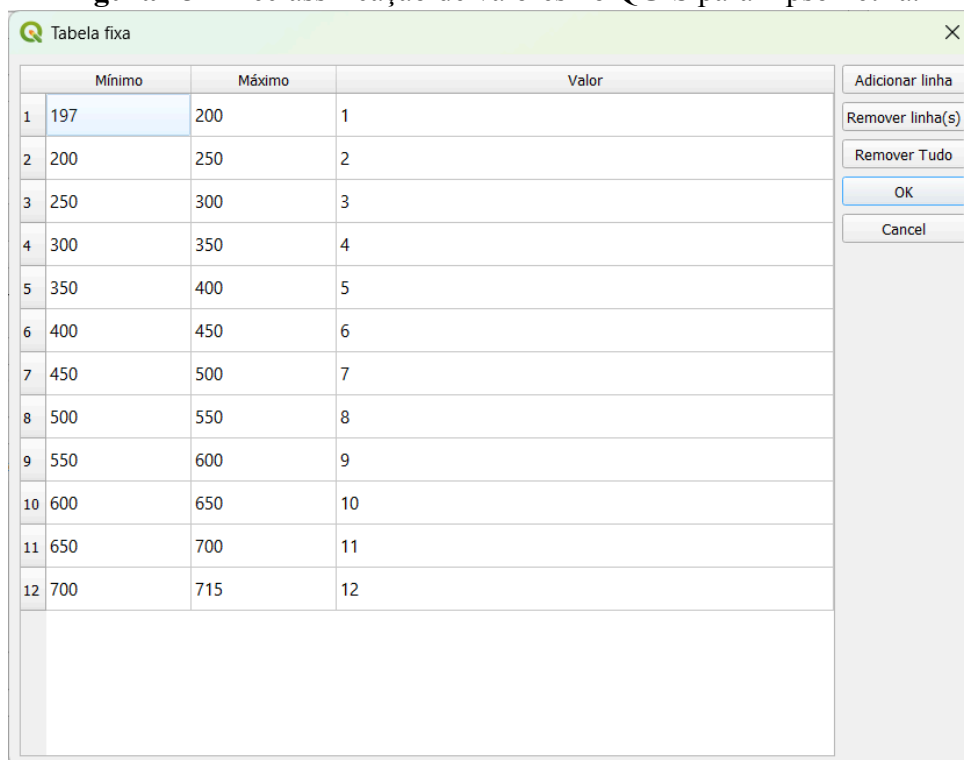
Para a elaboração do mapa hipsométrico a partir do MDE corrigido realizado até a etapa fill do fluxograma na delimitação da bacia hidrográfica, após adicionada a camada de

MDE pela caixa de ferramentas do QGIS no campo busca foi procurada a ferramenta **Classificar por tabela**, onde foi classificada da seguinte maneira:

Existem 3 colunas da tabela a serem preenchidas **mínimo**, **máximo** e **valor** inicialmente na coluna mínimo foi digitada a cota mínima do MDE de 197, na coluna máximo 200 e na coluna de valor 1.

Nas linhas seguintes, o valor da coluna **mínimo** repete o valor da coluna **máximo** anterior, enquanto na coluna máximo são adicionados 50m e na coluna de **valor** é adicionado +1 do valor da linha anterior, com valores de cota mínima 700, máxima 715 e valor 12. Por fim, salvando a nova camada reclassificada, na Figura 13 mostra de forma detalhada como a tabela ficou.

Figura 13 – Reclassificação de valores no QGIS para hipsometria.



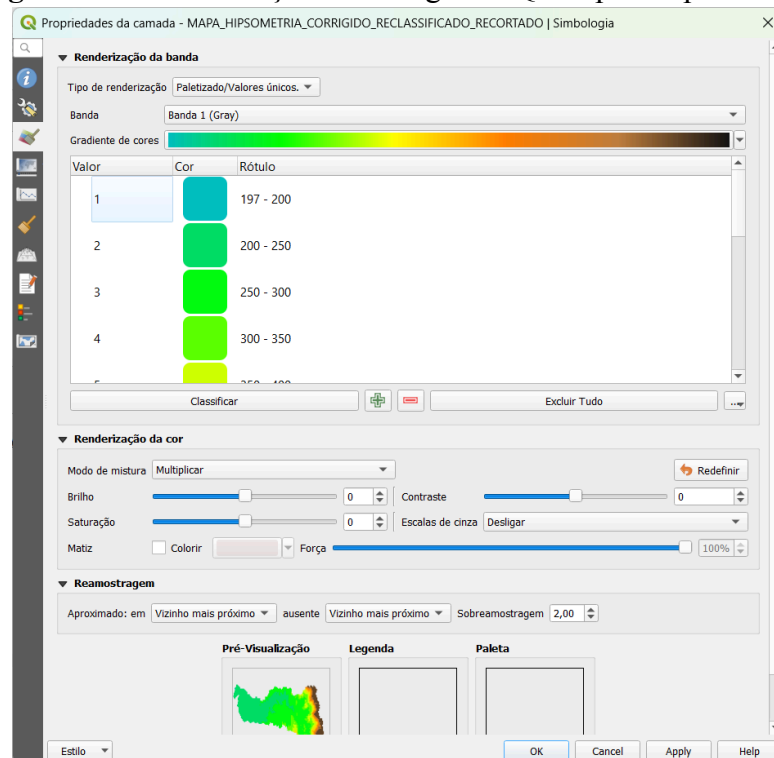
	Mínimo	Máximo	Valor
1	197	200	1
2	200	250	2
3	250	300	3
4	300	350	4
5	350	400	5
6	400	450	6
7	450	500	7
8	500	550	8
9	550	600	9
10	600	650	10
11	650	700	11
12	700	715	12

Fonte: Autoria própria, (2025).

A etapa seguinte na camada reclassificada clicando com botão direito na camada de drenagem escolhendo a opção **Propriedades...**, na janela selecionar a aba **Simbologia**, na aba **Renderização da banda** no campo **Tipo de renderização** onde deve escolher a opção **Paletizado/valores únicos**, clicando em **Classificar**, removendo o valor todos os outros valores, e por fim configurando o gradiente de cores correta para esse tipo de mapa e

alterando os valores do rótulo adotando os mesmos valores mínimo e máximo da tabela criada na etapa de classificação, a Figura 14 mostra como ficou a classificação.

Figura 14 – Classificação simbologia no QGIS para hipsometria.



Fonte: Autoria própria, (2025).

3.3.7 Solos

O mapa hipsométrico foi elaborado a partir dos mapas fornecidos na plataforma BDIA, para a obtenção foi necessário o recorte pelo caminho **Vetor** → **Geoprocessamento** → **Recortar** onde na camada de entrada o mapa de solo do BDIA e camada de sobreposição a camada de limite gerado de forma automática delimitação da bacia hidrográfica.

Por último na aba simbologia classificar os solos pela coluna de **ordem** da tabela de atributos já fornecida pela a camada baixada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização morfométrica

A partir dos dados automáticos gerados pelo software QGIS foi possível identificar as características primárias da bacia hidrográfica Ribeirão Água Fria. Esses dados são apresentados com valores primários (Tabela 1) do estudo morfométrico.

Tabela 1 - Características físicas primárias.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS PRIMÁRIAS	COEFICIENTE	VALOR	UNIDADE
Perímetro	P	95,9593	km
Área da Bacia	A	108,3456	km ²
Número de cursos d'água	N	193	-
Comprimento total dos cursos d'água	Lt	137,0627	km
Comprimento axial	La	21,3756	km
Comprimento do curso d'água principal	L	32,1111	km
Ordem de cursos d'água	Rb	3	-
Altitude mínima	e _{min}	197	m
Altitude máxima	e _{max}	715	m

Fonte: Autoria própria, (2025).

Após a obtenção dos dados primários foi possível obter um estudo das características secundárias da sub-bacia hidrográfica, tais características são apresentadas no Tabela 2.

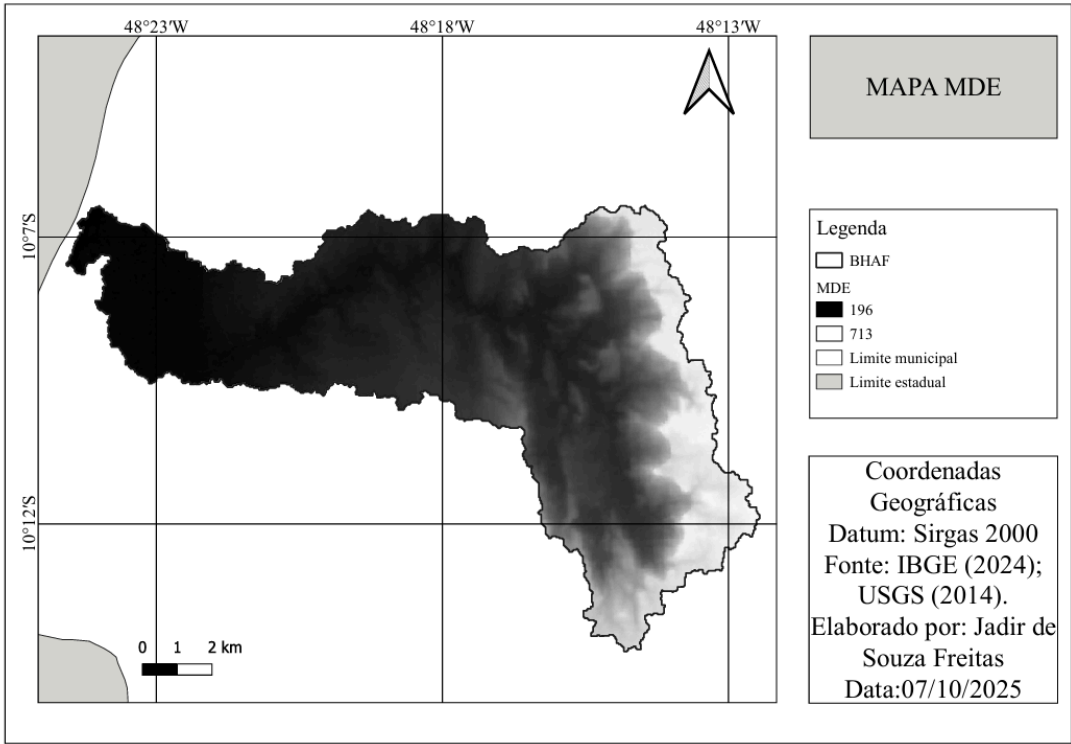
Tabela 2 - Características físicas secundárias.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS SECUNDÁRIA	EQUAÇÃO	REFERÊNCIA	VALOR	UNIDADE
Amplitude altimétrica	$H_m = e_{\max} - e_{\min}$	(CHRISTOFOL ETI, 1980).	518	m
Índice de Compacidade (Kc)	$K_c = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}}$	VILLELA e MATTOS (1975).	2,5813	-
Densidade de drenagem (Dd)	$Dd = \frac{L_t}{A}$	VILLELA e MATTOS (1975).	1,2651	km/km ²
Fator de forma (Ff)	$Ff = \frac{A}{La^2}$	VILLELA e MATTOS (1975).	0,2371	-
Índice de circularidade (Ic)	$IC = \frac{12,57A}{P}$	MULLER (1953).	0,1479	-
Tempo de concentração	$Tc = 57x \left(\frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0,385}$	(TUCCI <i>et al.</i> , 2001).	282,5169	Min

Fonte: Autoria própria, (2025).

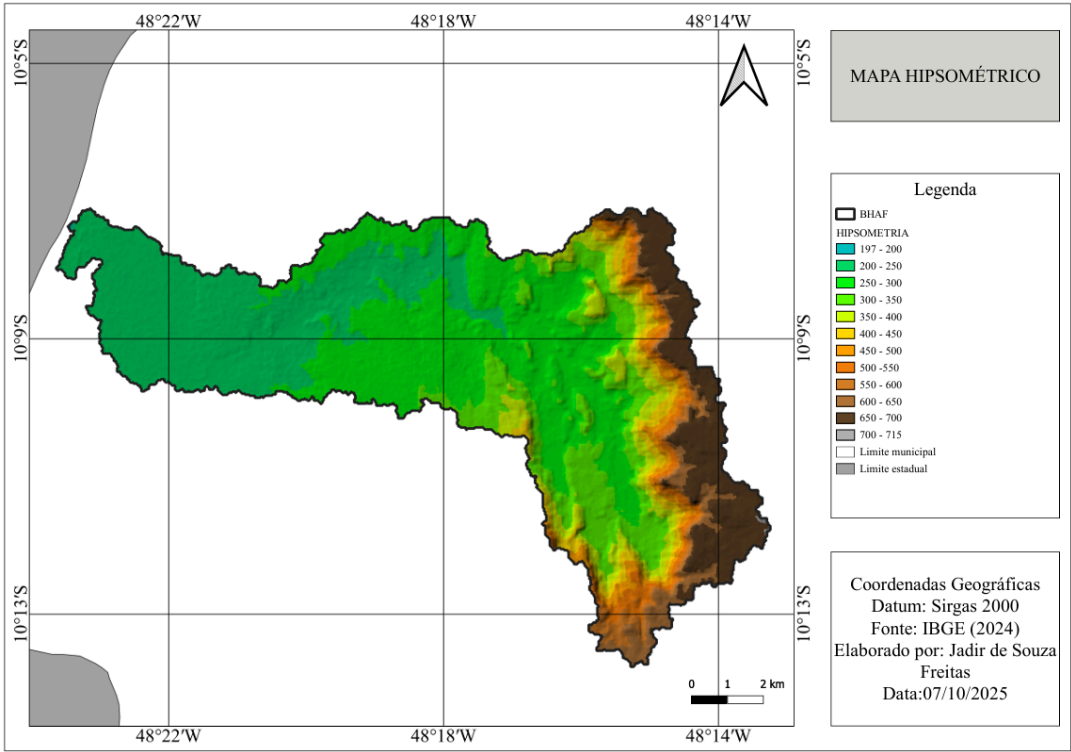
A partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) da sub-bacia do Ribeirão Água Fria, é possível identificar a variação altimétrica, com cotas que vão de 197 m a 715 m (Figuras 15 e 16). Essa diferença resulta em uma amplitude altimétrica de 518 m, calculada pela subtração entre a maior e a menor altitude da área de estudo. A Figura 16 apresenta o mapa hipsométrico, no qual se observa a distribuição espacial das diferentes faixas de altitude da bacia.

Figura 15 – Mapa MDE da sub-bacia do Ribeirão Água Fria.



Fonte: Autoria própria, (2025).

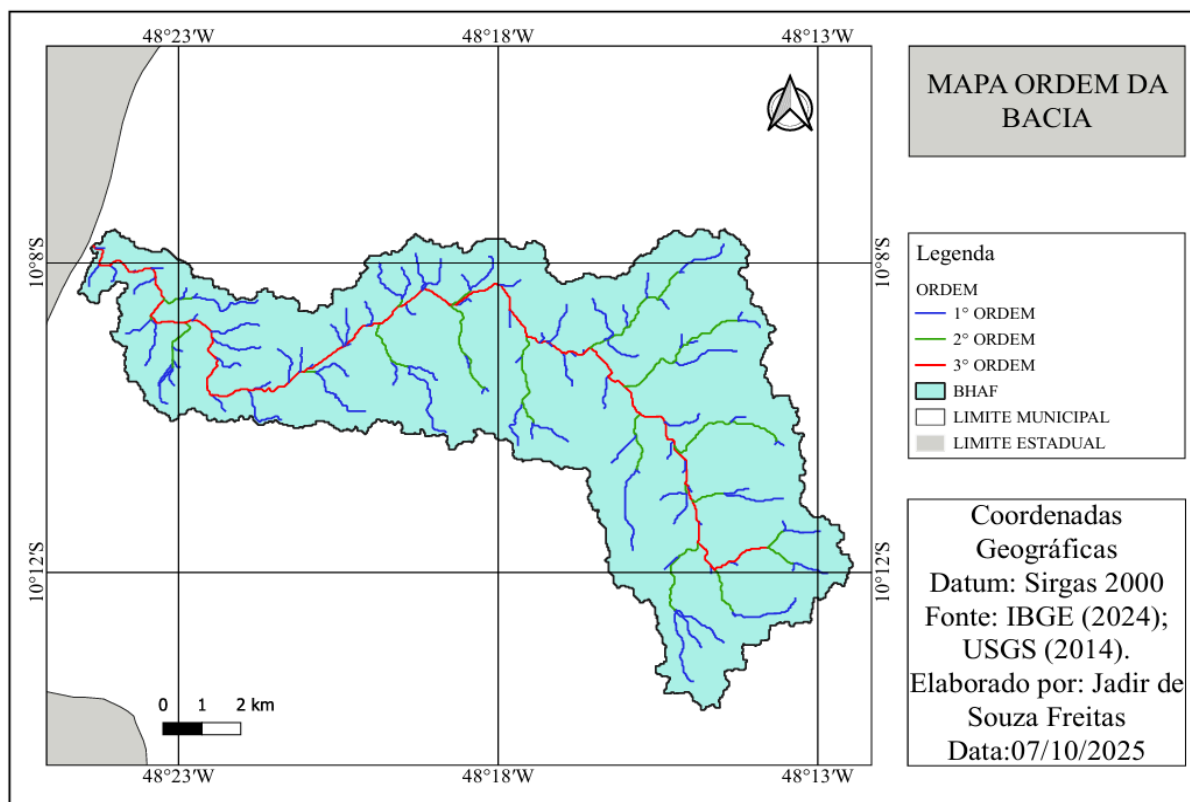
Figura 16 – Mapa hipsométrico.



Fonte: Autoria própria, (2025).

A hierarquia fluvial da sub-bacia do Ribeirão Água Fria apresentada na Figura 17, mostra que o curso principal é de 3º ordem conforme o método Horton-Strahler.

Figura 17 – Mapa de ordem dos canais da sub-bacia Ribeirão Água Fria.

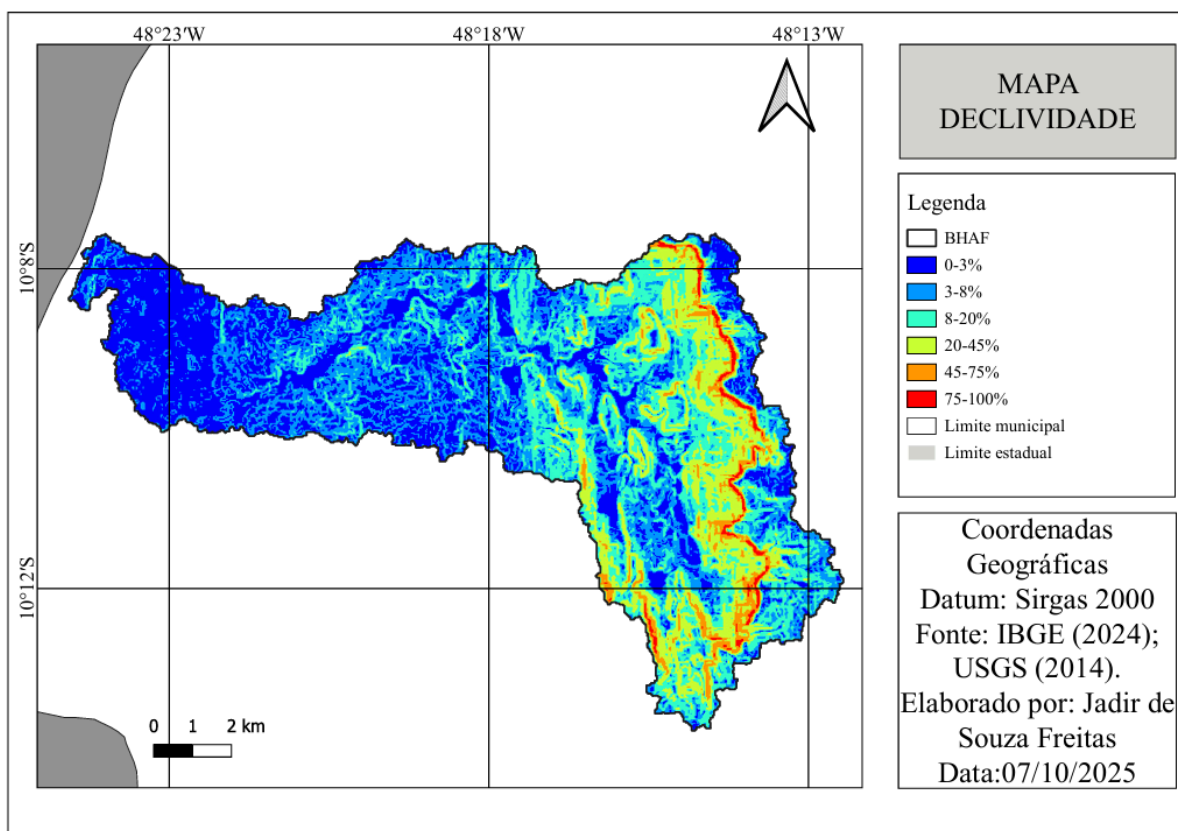


Fonte: Autoria própria, (2025).

A Figura 18, apresenta a declividade do solo da sub-bacia. A maior parte da sub-bacia do Ribeirão Água Fria está entre as declividades de 0-3% e 3-8%, portanto, é possível classificá-la como uma área suavemente ondulada, conforme classificação da Embrapa (1979) apresentada no Quadro 1.

A declividade é responsável por controlar a velocidade de escoamento superficial da água, afetando o tempo de concentração nos leitos dos rios. A magnitude dos picos de cheia, sejam elas mais elevados ou reduzidos, bem como a sua susceptibilidade para erosão dos solos vai depender da velocidade que ocorre o escoamento superficial da bacia (Villela e Mattos, 1975).

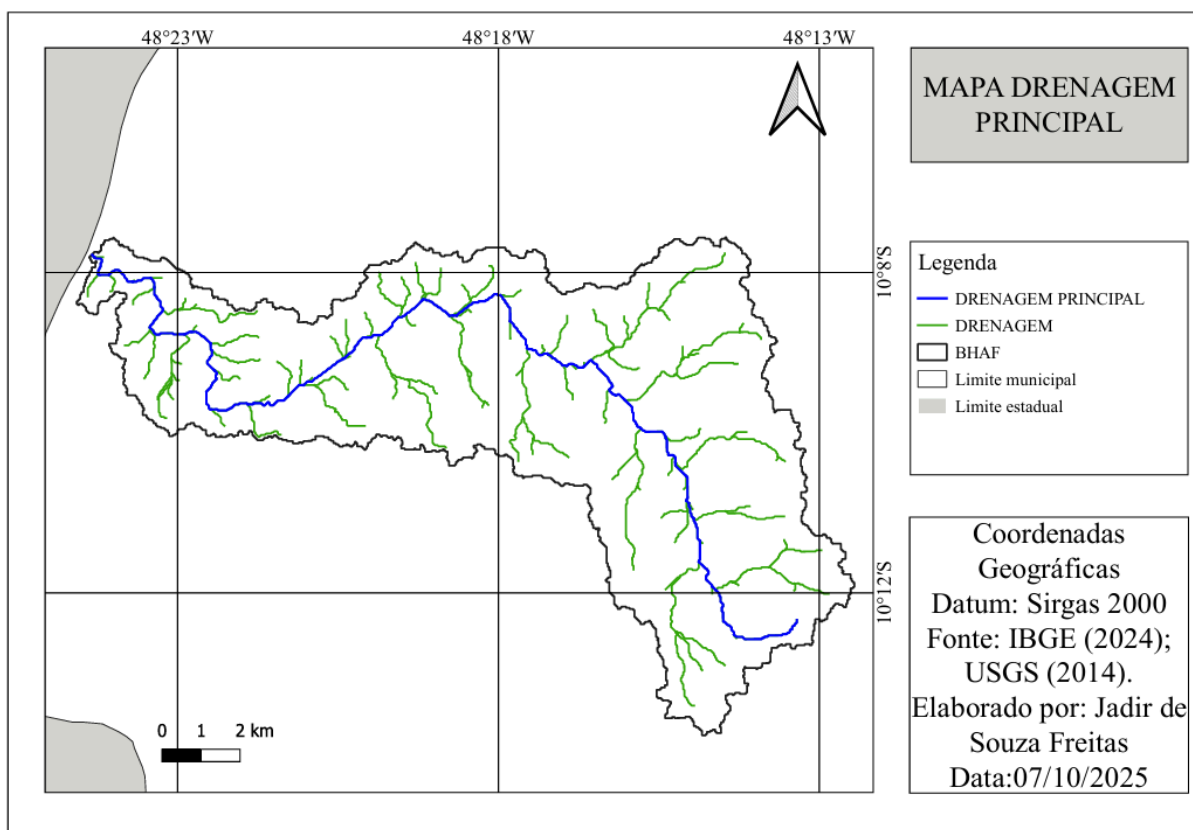
Figura 18 – Mapa de declividade sub-bacia do Ribeirão Água Fria.



Fonte: Autoria própria, (2025).

A Figura 19, apresenta o curso principal da sub-bacia do Ribeirão Água Fria. A extensão do curso principal (L) obtido foi de 32,11 km.

Figura 19 – Mapa do curso principal da sub-bacia do Ribeirão Água Fria.



Fonte: Autoria própria, (2025).

Os dados foram gerados e calculados de forma automática por meio da tabela de atributos do QGIS. A área da sub-bacia Ribeirão Água Fria é de aproximadamente 108 km², o perímetro é de 95,9593 km e o comprimento axial é de 21,3756 km, o que se assemelha aos dados oficiais apresentados por órgãos especializados.

O índice de compacidade (K_c) encontrado para a sub-bacia do Ribeirão Água Fria foi de 2,58. Como o valor de K_c foi maior do que 1, isso indica que a sub-bacia tem forma elipsoidal, assim como K_c com valores superiores a 1,5 indica que a bacia não está sujeita a grandes enchentes (Villela e Mattos, 1975).

Para o fator de forma (K_f), foi encontrado um valor aproximadamente de 0,24, o que indica que a bacia é alongada pelo fato do seu valor ser menor do que 1, além disso como seu valor é menor que 0,5 a sub-bacia não está sujeita a enchentes, corroborando com os indicativos de K_c .

Segundo Villela e Mattos (1975), bacias com formato alongado tendem a ter um maior tempo de concentração, pois a água leva mais tempo para chegar no exutório. Esse

comportamento reduz os picos de vazão, diminuindo riscos de enchentes. Isso se confirma com os valores encontrados para a BHAF de $K_c = 2,58$ e $K_f = 0,24$ a bacia em sua forma natural não está sujeita a enchentes, no entanto a urbanização pode alterar essa resposta hidrológica reduzindo esse tempo concentração e aumentando os picos de cheia.

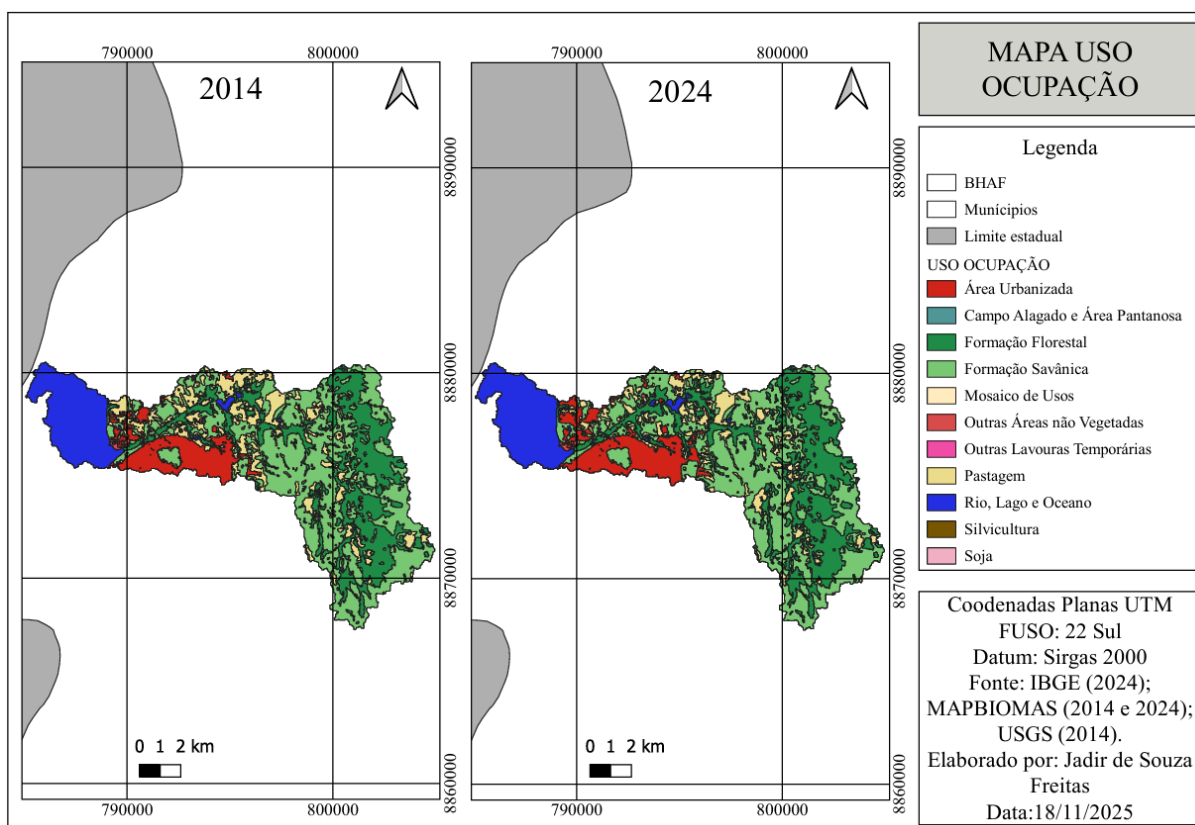
Entretanto, como destacado por Tucci *et al.* (2001), a urbanização pode modificar significativamente essa resposta hidrológica, reduzindo o tempo de concentração devido a impermeabilização. Desse modo, apesar de que a bacia tem uma resposta hidrológica lenta, o avanço da urbanização pode anular esse comportamento natural aumentando os potenciais picos de vazão.

Para a densidade de drenagem (Dd) da sub-bacia com área total de 108,3456 km² foi encontrado o valor de 1,27 km/km². Com base no valor encontrado pode-se afirmar que a bacia possui uma drenagem regular e pode apresentar um escoamento superficial moderado.

De acordo com Christofolletti (1980), a densidade de drenagem está diretamente relacionada às características de infiltração do solo. Onde áreas com maior dificuldade de infiltração e melhores condições de escoamento superficial ocorre a formação de um maior número de canais, como consequência, a densidade de drenagem é mais elevada. Isso vale de forma contrária onde os valores baixos de densidade de drenagem estão associados a solos mais permeáveis, com maior infiltração e menor escoamento superficial gerando um menor número de canais.

A Figura 20, apresenta o uso e ocupação do solo da sub-bacia do Ribeirão Água Fria dos anos de 2014 e 2024 construído pelos dados fornecidos pelo site (Mapbiomas, c2025).

Figura 20 – Comparação dos mapas de uso e ocupação de 2014 e 2024.



Fonte: Autoria própria, (2025).

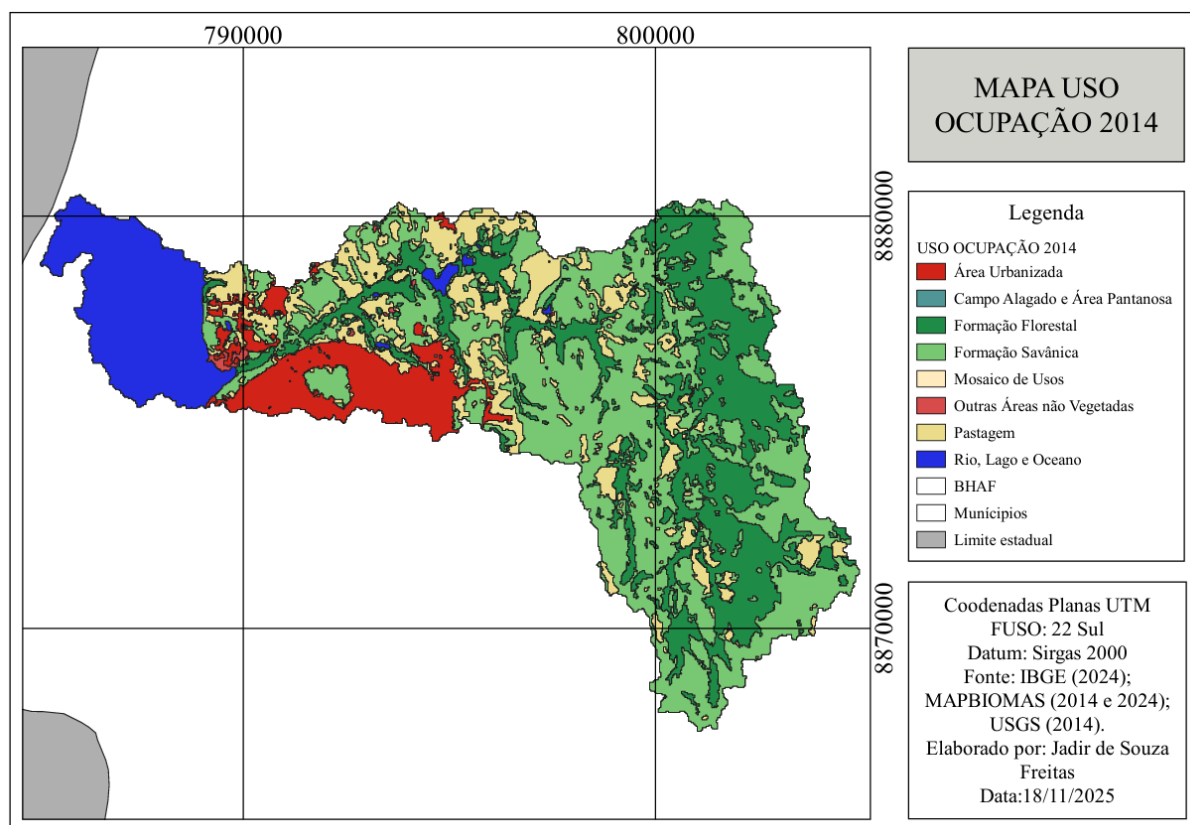
Por meio da Figura 20, foi possível fazer uma comparação de área de vegetação entre os anos de 2014 e 2024, assim os valores obtidos das áreas foram 72,28 km² e 74,29 km², respectivamente. Com base nesses dados calculou-se a densidade de drenagem para o ano de 2014 e 2024, e os valores encontrados foram 0,6671 km/km² e 0,6857 km/km², respectivamente, indicando para uma bacia com densidade de drenagem regular, entretanto bem próximo ao indicativo de drenagem pobre, favorecendo para um escoamento superficial moderado para lento, conforme a classificação de Villela e Mattos (1975) apresentados no Quadro 2.

O que se pode observar diante dos valores apresentados é que a sub-bacia do Ribeirão Água Fria tem sua forma alongada, sua densidade de drenagem regular, consequentemente um maior tempo de concentração, e um relevo pouco declivo como maior taxa de infiltração do solo.

4.2 Uso ocupação do solo da sub-bacia Ribeirão Água Fria (BHAF)

A Figura 21, apresenta o uso e ocupação do solo da sub-bacia do Ribeirão Água Fria do ano de 2014, bem como a classificação dos tipos de área e seus usos.

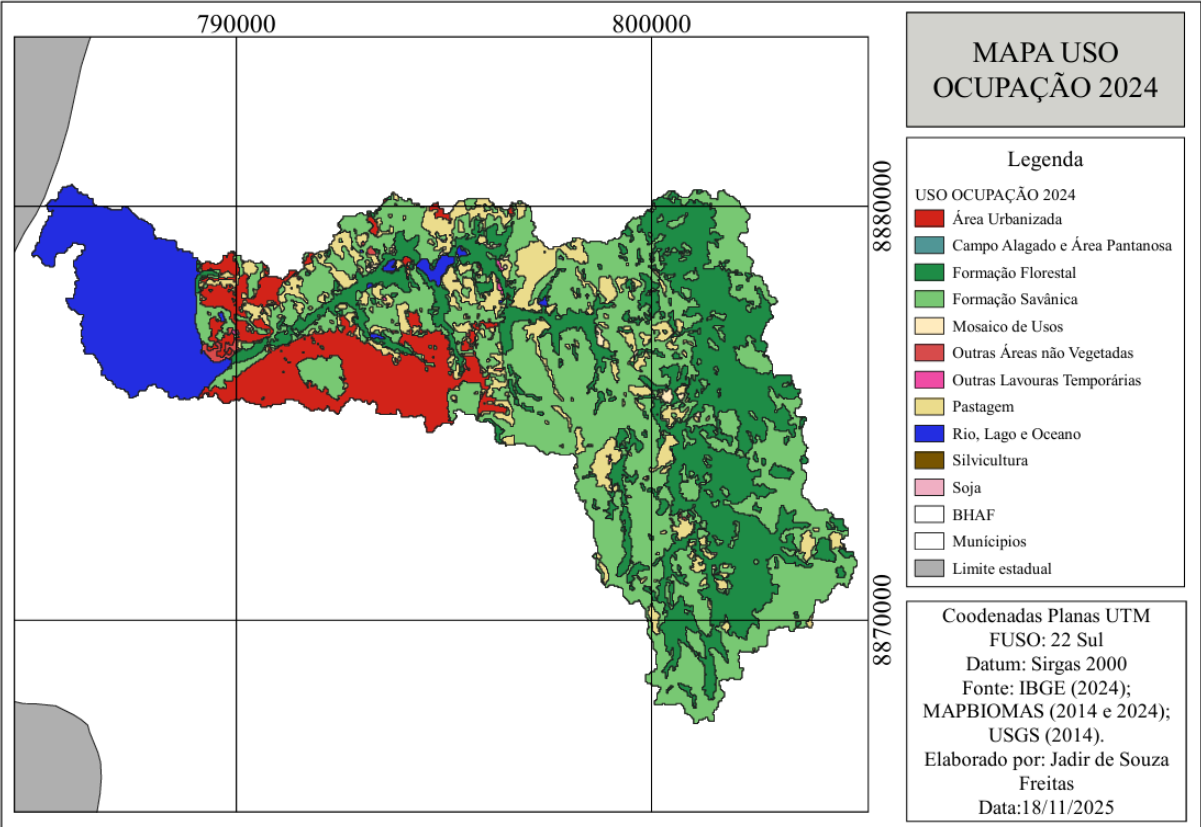
Figura 21 – Mapa uso ocupação 2014.



Fonte: Autoria própria, (2025).

A Figura 22, apresenta o uso e ocupação do solo da sub-bacia do Ribeirão Água Fria do ano de 2024, bem como a classificação dos tipos de área e seus usos.

Figura 22 – Mapa uso ocupação 2024.



Fonte: Autoria própria, (2025).

O Quadro 4, apresenta a área de ocupação em km² por cada tipo de uso e a porcentagem da cobertura em relação a área total da bacia para os anos de 2014 e 2024.

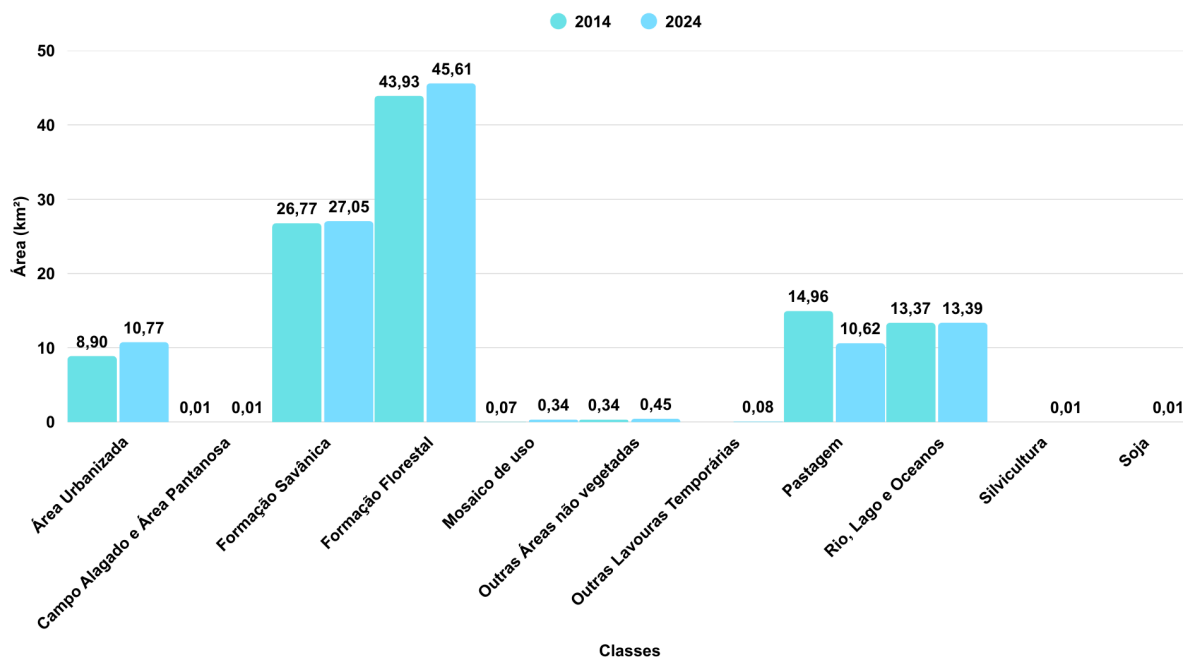
Quadro 4 - Coberturas das áreas dos anos de 2014 e 2024.

Classes	Lenda no Mapa	2014		2024	
		Área (km ²)	% de Área da BHAF	Área (km ²)	% de Área da BHAF
Área Urbanizada		8,8982	8,21%	10,7671	9,94%
Campo Alagado e Área Pantanososa		0,0079	0,01%	0,0079	0,01%
Formação Savânica		26,7723	24,71%	27,0536	24,97%
Formação Florestal		43,9320	40,55%	45,6053	42,09%
Mosaico de uso		0,0660	0,06%	0,3442	0,32%
Outras Áreas não vegetadas		0,3404	0,31%	0,4525	0,42%
Outras Lavouras Temporárias		-	-	0,0810	0,07%
Pastagem		14,9616	13,81%	10,6183	9,80%
Rio, Lago e Oceanos		13,3673	12,34%	13,3919	12,36%
Silvicultura		-	-	0,0132	0,01%
Soja		-	-	0,0106	0,01%
TOTAL		108,35	100,00%	108,35	100,00%

Fonte: Autoria própria, (2025).

Com esses mapas foi possível analisar como o crescimento urbano e a ação urbana interferiu nas mudanças da sub-bacia.

É possível observar uma diferença entre o uso e ocupação do solo (Gráfico 1), evidencia as transformações da cobertura, essas mudanças refletem na interferência das ações humanas quanto processos de regeneração natural que mudam o diretamente o comportamento hidrológico da bacia.

Gráfico 1 - Comparação do uso das áreas entre 2014 e 2024.

Fonte: Autoria própria, (2025).

Observa-se que nos dados do Gráfico 1 e Tabela 1 o aumento da área urbanizada, que passou de 8,90 km² em 2014 para 10,77 km² em 2024, esse aumento já era esperado devido ao crescimento populacional da cidade de Palmas. Essa variação representa um crescimento de aproximadamente 17% nesse intervalo de tempo analisado. Com expansão da área urbanizada e consequentemente implica na maior impermeabilização do solo, reduzindo a capacidade de infiltração e aumentando o escoamento superficial, aumentando os riscos de enchentes.

No entanto, como também evidenciam o Gráfico 1 e a Tabela 1, o crescimento das áreas florestais. A formação florestal, por exemplo, aumentou de 43,93 km² para 45,61 km², o que corresponde a um crescimento de 3,8%. A formação savânica registrou aumento de 26,77 km² para 27,05 km², um acréscimo de 1%. Esse aumento das áreas de vegetação são indicativos de processos ou práticas de conservação realizadas na região, que também nos traz impactos positivos para a bacia.

Uma classe que teve uma redução significativa em suas áreas as de pastagem, que diminuíram de 14,96 km² para 10,62 km², representando uma redução de aproximadamente 29%. Essa mudança é notável que as áreas antes voltadas à pecuária foram restauradas em cobertura vegetal nativa.

Por outro lado, a classe mosaico de uso, por exemplo, passou de 0,07 km² em 2014 para 0,34 km² em 2024. Esse tipo de uso do solo geralmente indica áreas que não tem um uso definido entre pastagens e plantações agrícolas. De forma semelhante, às outras áreas não vegetadas aumentaram de 0,34 km² para 0,45 km², quem não tem um uso definido onde não se classifica como áreas urbanizadas, corpos hídricos, agricultura ou pastagem.

Também houve o surgimento de áreas de classes agrícolas como outras lavouras temporárias 0,08 km², silvicultura 0,013 km² e soja 0,01 km², que eram inexistentes em 2014. Apesar de serem áreas pequenas, ainda podem alterar as dinâmicas de escoamento e infiltração, dependendo das práticas de manejo adotadas.

Por fim, temos as classes de áreas alagadas/pantanosas e corpos hídricos que permaneceram praticamente estáveis no período. Com corpos d'água, tendo uma pequena variação de 13,37 km² para 13,39 km², uma mudança de apenas 0,18%, provavelmente por alguma medida preservação e restauração dessas áreas.

De modo geral, as transformações sofridas pela a área da sub-bacia do Ribeirão Água Fria ocorrem de forma mais positivas do que negativas. Com o aumento da vegetação nativa e a redução das pastagens podem ser mudanças significativas positivas para a integridade da sub-bacia de forma hidrológica e ecológica. Em contrapartida, a área urbana sofreu aumento e na redução das de infiltração ainda sim reforçam a necessidade de planejamento integrado do uso do solo, de forma a reduzir impactos sobre a drenagem, a qualidade da água e a estabilidade ambiental.

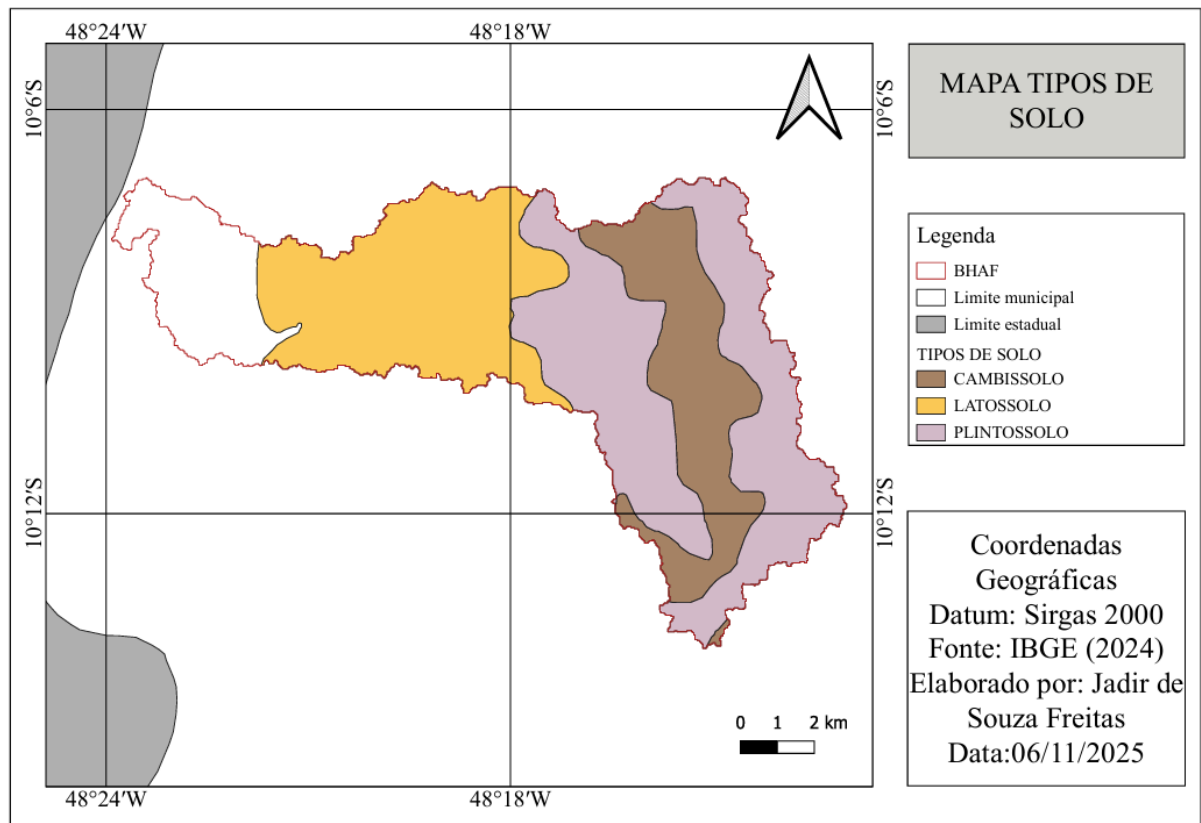
Na Figura 23, encontra-se o tipo de solo da sub-bacia Ribeirão Água Fria, onde se observa que há três tipos de solos, Cambissolos, latossolo e plintossolo, cada uma com suas características.

Os cambissolos e um solo que apresenta as características elevados teores de silte apresentando uma textura média a fina, e encontrado em relevos de alta altitude e apresentam alta erodibilidade e escoamento de superficial (Sartori *et al.*, 2005).

Os latossolos estão presentes em relevos pouco declives até aproximadamente 5% e possui alta porosidade no total possuindo valores entre 50% a 60% mesmo possuindo alto teor de argila. Por terem baixa declividade esse solo tem um baixo potencial de escoamento superficial tendo uma baixa erodibilidade, porém quando sujeita a antrópicas podem desenvolver ravinas (Sartori *et al.*, 2005).

Os plintossolos como suas características apresentam um alto teor de cascalho e de calhaus de petroplintita o que diminui consideravelmente a retenção de água nesse tipo de solo resultando em potencial de escoamento superficial de moderado a elevado. Esse solo é encontrado em pequenas profundidades de menos de 80 cm e em relevos mais planos próximos a cursos d'água ou em áreas de relevo ondulado, (Sartori *et al.*, 2005).

Figura 23 – Mapa tipos de solo.



Fonte: Autoria própria, (2025).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das análises dos dados morfométricos, da sub-bacia do Ribeirão Água Fria, é possível concluir que:

- Com o uso da ferramenta de geoprocessamento, como o SIG, foi possível observar que a sub-bacia tem em seu canal principal de 3º ordem, com área de drenagem 108,35 km², perímetro de 95,96 km. Com o índice de compacidade 2,58, fator de forma 0,23 e o tempo de concentração de 4,71 h.
- Apesar do crescimento urbano na sub-bacia, observa-se a recuperação da vegetação nativa possivelmente decorrente de intervenções de conservação, onde nos anos de estudo a formação florestal, teve um crescimento de 3,8% e a formação savânica um acréscimo de 1%.
- Com o uso de ferramentas de geoprocessamento, como o Sistema de Informações Geográficas (SIG), utilizando o software QGIS teve papel fundamental para a análise desses dados de forma remota a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE).

Para a área de engenharia civil o estudo da bacia hidrográfica é relevante, pois o entendimento das características morfométricas como declividade, tipos de solo, uso ocupação, forma da bacia e densidade de drenagem são relevantes para o dimensionamento de obras hidráulicas, barragens, estradas e sistemas de captação, distribuição de água e drenagem para prevenção de riscos de enchentes, reduzir custos e aumentar a eficiência da drenagem urbana. Outro ponto importante é a conservação da vegetação nativa, especialmente em áreas sensíveis como margens de cursos d'água e nascentes evitando a erosão e destruição dos mesmos.

Observou-se ainda que, apesar do crescimento urbano na região, houve incremento de cobertura vegetal nativa no período analisado, com aumento de 3,8% nas áreas de formação florestal e 1% nas formações savânicas, sugerindo atuação de políticas ambientais e processos de regeneração. Esse cenário contribui para maior infiltração e amortecimento do escoamento superficial, podendo minimizar impactos hidrológicos relacionados a eventos extremos, embora a expansão urbana exija monitoramento contínuo.

Recomenda-se, para trabalhos futuros, a integração de dados hidrológicos históricos, modelagem de escoamento superficial e análises sob diferentes cenários de impermeabilização do solo, a fim de avaliar com maior precisão a resposta hidrológica da sub-bacia frente ao avanço urbano. Os resultados obtidos podem subsidiar a gestão municipal,

contribuindo para estratégias de manejo de drenagem e mitigação de riscos de alagamentos em Palmas-TO.

REFERÊNCIAS

AFONSO, A.; Santos, A. A. M.; Lima, R.; Silva, T. M. **Geomorfologia Geral - Vol. 1**. Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, 2014. E-book. Disponível em: <https://canal.cecierj.edu.br/recurso/13869>. Acesso em: 27 de outubro de 2025.

BRASIL. **Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH)**. Resolução nº 32, de 15 de outubro de 2003. Estabelece a divisão hidrográfica nacional, em regiões hidrográficas. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 dez. 2003. Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/legislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%2032.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2025.

BRASIL. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)**. infográficos: dados gerais do município, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/to/palmas/panorama>. Acesso em 29 abr. 2025.

BRASIL. **Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)**. Balanço: Palmas (TO) teve chuva e temperaturas acima da média no verão 2023–2024. Brasília, DF: INMET, 2024. Disponível em: [https://portal.inmet.gov.br/noticias/balanço-palmas-to-teve-chuva-e-temperaturas-acima-da-média-no-verão-2023-2024](https://portal.inmet.gov.br/noticias/balanço-palmas-to-teve-chuva-e-temperaturas-acima-da-media-no-verão-2023-2024). Acesso em: 20 de maio de 2025.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 13 nov. 2025.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo, Edgard Blücher, 2ª edição, 1980.

COLLICCHIO, E.; ROCHA, H. R. da; VICTORIA, D. de C.; ANDRADE, A. de M. Cenários prospectivos de mudanças climáticas para o estado do Tocantins. In: COLLICCHIO, E.; ROCHA, H. R. da (org.). **Agricultura e mudanças do clima no estado do Tocantins: vulnerabilidades, projeções e desenvolvimento**. Palmas, TO: EdUFT, 2022. pt. II, cap. 6, p. 133-163. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1142912>. Acesso em: 29 de maio de 2025.

EMBRAPA. **Súmula da X Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Brasília, DF: Embrapa, 1979. E-book. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/327212/1/SNLCSMiscelania11979.pdf>. Acesso em: 20 de maio de 2025.

GALDINO, S. VICTORIA, D. de C. Hidrologia. In: TÔSTO, S. G.; RODRIGUES, C. A. G.; BOLFE, E. L.; BATISTELLA, M. (Ed.). **Geotecnologias e geoinformação**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. cap. 8, p.119-134. (Coleção 500 Perguntas, 500 Respostas). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/988094>. Acesso em: 29 de maio de 2025.

GOMES, R. C.; BIANCHI, C.; OLIVEIRA, V. P. V. de. Análise da multidimensionalidade dos conceitos de bacia hidrográfica. **GEographia**, Niterói, v. 23, n. 51, p. 1-17, 2021. Disponível em: <https://periodicos.uff.br/geographia/article/view/27667/29889>. Acesso em: 14 dez. 2025.

IBGE. **BDIA – Banco de Dados e Informações Ambientais**. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home>. Acesso em: 30 nov. 2025.

LOPEZ, J. F. M; DOMINGUEZ, E.; JACINTHO, G. de F. **Morfometria geométrica aplicada à Entomologia**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa (UFV), 2021. Disponível em: <https://insectum.ufv.br/post/morfometria-geométrica-aplicada-à-entomologia>. Acesso em: 20 de maio de 2025.

MAPBIOMAS. **Coleções MapBiomias**. Brasil: MapBiomias, c2025. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>. Acesso em: 30 nov. 2025.

MÜLLER, V. C. **A quantitative geomorphology study of drainage basin characteristic in the Clinch Mountain Area, New York, Virginia and Tennessee**. New York: Columbia University; 1953.

PALMAS (Município). **Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos**. Relatório Final do Plano Municipal de Drenagem Urbana de Palmas/TO. Palmas: SEISP; INFRA Engenharia e Consultoria Ltda., out. 2023. 159 p.

PREFEITURA DE PALMAS. **Programa Água Viva**. Palmas, TO: Fundação Municipal de Meio Ambiente de Palmas – FMA, 2021. Disponível em: <https://www.palmas.to.gov.br/wp-content/uploads/2024/01/Programa-Agua-Viva-1.pdf>. Acesso em: 20 de maio de 2025.

PREFEITURA DE PALMAS. **Sobre Palmas**. Palmas, TO: Prefeitura de Palmas, c2024. Disponível em: <https://www.palmas.to.gov.br/cidade/sobre-palmas/>. Acesso em: 20 de maio de 2025.

PREFEITURA DE PALMAS. **Instituto de Planejamento Urbano de Palmas (IMPUP)**. Revisão do plano diretor de Palmas Tocantins LEITURA TÉCNICA CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO ASPECTOS GEOGRÁFICOS E CLIMA. Palmas, TO: Prefeitura Municipal de Palmas, 2017. Disponível em: <http://planodiretor.palmas.to.gov.br/media/arquivos/4cc0ac48d20e4605af290afa8188361d.pdf>. Acesso em: 20 de maio de 2025.

PREFEITURA DE PALMAS. **Instituto de Planejamento Urbano de Palmas (IMPUP)**. Revisão do plano diretor de Palmas Tocantins LEITURA TÉCNICA CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO SOLO. Palmas, TO: Prefeitura Municipal de Palmas, 2017. Disponível em: <http://planodiretor.palmas.to.gov.br/media/arquivos/a52ad3a6686241f6ab0cffa27145a924.pdf>. Acesso em: 20 de maio de 2025.

PREFEITURA DE PALMAS. **Secretaria Municipal de Assuntos Jurídicos**. Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas - TO. Palmas, TO: Prefeitura de Palmas, 2014. Disponível em: https://www.palmas.to.gov.br/media/doc/arquivoservico/PMSB_Palmas_Volume_03_Drenagem_Urbana_Versao_Final_1.pdf. Acesso em: 20 de maio de 2025.

ROCHA, E. G. de A. **Conceitos Básicos de Hidrologia e Drenagem para Projetos Rodoviários**. Brasília: Escola Nacional de Administração Pública (ENAP), 2022. Disponível em:

<https://repositorio.enap.gov.br/jspui/bitstream/1/7814/1/M%C3%B3dulo%201%20-%20Conceitos%20B%C3%A1sicos%20de%20Hidrologia.pdf>. Acesso em: 20 de maio de 2025.

SARTORI, A.; NETO, F. L.; GENOVEZ, A. M. (2005). Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p.05-18.

SILVA, Liliane Flávia Guimarães da. **Percepção climática e conforto térmico: contribuição ao estudo interdisciplinar dos aspectos objetivos e subjetivos do clima em Palmas, TO**. 2018. 550 f. Tese (Doutorado em Ciências do Ambiente) — Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente, Palmas, 2018. Disponível em: <https://repositorio.uft.edu.br/handle/11612/1035>. Acesso em: 26 nov. 2025.

TONELLO, K. C.; Dias, H. C. T.; Souza, A. L.; Alvares, C. A.; Ribeiro, S.; Leite, F. P. Morfometria da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães - MG. **Revista Árvore**, v.30, n.5, p.849-857, 2006.

TUCCI, C. E. M. (org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed., 2. reimpr. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS; ABRH, 2001.

U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR; U.S. GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **EarthExplorer**. Reston, VA: USGS, [s.d.]. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 14 dez. 2025.

VILLELA S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. 1ª ed. São Paulo. McGraw Hill do Brasil, 1975.