



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

WESLEY NASCIMENTO DOS SANTOS

**MACRODRENAGEM DA SEDE DO MUNICÍPIO DE PETROLINA-PE:
CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DAS BACIAS
HIDROGRÁFICAS E ANÁLISE TEMPORAL DE SUA OCUPAÇÃO
ANTRÓPICA**

JUAZEIRO – BA

2024

WESLEY NASCIMENTO DOS SANTOS

**MACRODRENAGEM DA SEDE DO MUNICÍPIO DE PETROLINA-PE:
CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DAS BACIAS
HIDROGRÁFICAS E ANÁLISE TEMPORAL DE SUA OCUPAÇÃO
ANTRÓPICA**

Trabalho apresentado a Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, Campus Juazeiro, como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Miriam Cleide Cavalcante de Amorim

JUAZEIRO – BA

2024

FICHA CATALOGRÁFICA

S237m Santos, Wesley Nascimento dos
Macrodrenagem da sede do município de Petrolina-PE: Caracterização Morfométrica das Bacias Hidrográficas e análise temporal de sua ocupação antrópica / Wesley Nascimento dos Santos. – Juazeiro-BA, 2024.
xv, 85 f.: il. 29 cm.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) -
Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro, 2024.

Orientadora: Profa. Dra. Miriam Cleide Cavalcante de Amorim

1. Hidrografia. 2. Solo. 3. Geoprocessamento. I. Título. II. Amorim, Miriam Cleide Cavalcante de. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 551.48

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Integrado de Biblioteca SIBI/UNIVASF
Bibliotecário: Márcio Pataro. CRB - 5 / 1369.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

FOLHA DE APROVAÇÃO


WESLEY NASCIMENTO DOS SANTOS

MACRODRENAGEM DA SEDE DO MUNICÍPIO DE PETROLINA-PE:
CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DAS BACIAS
HIDROGRÁFICAS E ANÁLISE TEMPORAL DE SUA OCUPAÇÃO
ANTRÓPICA

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, pela Universidade Federal do Vale do São Francisco.

Aprovado em: 20 de junho de 2024.

Banca Examinadora


Documento assinado digitalmente
 MIRIAM CLEIDE CAVALCANTE DE AMORIM
Data: 26/06/2024 09:58:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

(Miriam Cleide Cavalcante de Amorim, Doutora, UNIVASF).

Assinado digitalmente por VLADIMIR CARAMORI BORGES DE
SOUZA:02902933673
ID: C=BR, O=ICP-Brasil, OU=presencial, OU=0048929000317,
OU=Secretaria da Receita Federal do Brasil - RFB, OU=ARMPDG,
OU=RFB-e-CPF-A3, CN=VLADIMIR CARAMORI BORGES DE
SOUZA:02902933673
Razão: Eu sou o autor deste documento
Localização:
Data: 2024.06.26 10:48:48-0300
Foxit PDF Reader Versão: 2024.2.2

VLADIMIR CARAMORI
BORGES DE
SOUZA:02902933673

(Vladimir Caramori Borges de Souza, Doutor, UFAL).

Documento assinado digitalmente
 RAFAEL AMORIM VIANA DE MOURA
Data: 26/06/2024 12:09:25-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

(Rafael Amorim Viana de Moura, Mestre, UNIVASF).

À minha família, amigos, e em especial a meu
pai e minha falecida avó, dedico.

AGRADECIMENTOS

A meus pais e família por estarem sempre presentes, por me educarem e me ajudarem em situações difíceis. Aos meus amigos, pela companhia.

A UNIVASF, por todas as oportunidades que me foram concedidas, desde a realização da minha graduação, assim como cursos de idiomas, palestras, eventos e atividades de extensão. Ao grupo PET Saneamento Ambiental, por ter ressignificado a minha atuação no meu curso e meus planos para o mercado de trabalho, pela oportunidade de desenvolver habilidades e pelas amizades formadas.

A minha orientadora Miriam Cleide Amorim, pela paciência, cuidado e preocupação comigo e com todos os petianos, por ser um exemplo de pessoa e de profissional e por todos os conselhos e ensinamentos. Aos meus colegas do grupo PET Saneamento Ambiental, pela companhia e auxílio nas tarefas do grupo.

Finalmente, agradeço a minha avó Cici (in memoriam), por todos os momentos, todas as histórias, pela sua companhia, pela sua ajuda nos momentos em que mais precisei, e por ter me ensinado as coisas mais importantes da vida. Agradeço a meu pai, pela sua sinceridade, compaixão, perseverança, pelo exemplo de pessoa que é, e pelo que tem feito por mim e para a minha família.

" O que nos cabe é decidir o que fazer com o tempo que nos é dado". – J.R.R Tolkien

RESUMO

O município de Petrolina-PE, integrante da Região Administrativa Integrada de Desenvolvimento do Polo Petrolina e Juazeiro, possui riachos urbanos, que, além de desempenharem suas funções ecológicas naturais, são também responsáveis por receber as águas pluviais e efluentes tratados oriundos das Estações de Tratamento de Esgoto. Esse trabalho estudou a rede de macrodrenagem da zona urbana da sede do município de Petrolina-PE, através da caracterização morfométricas das bacias hidrográficas que a constituem, assim como a análise da ocupação antrópica entre os anos de 2005 e 2024. Para isso foram utilizados o software Quantum GIS, no qual foram calculados 21 parâmetros morfométricos através do processamento de uma imagem de um Modelo Digital de Elevação (MDE), e o Google Earth Pro, no qual foram obtidas imagens do Google Satellite e Google Street View entre os anos de 2005 e 2024. A caracterização morfométrica indicou baixa tendência a enchentes, baixo escoamento superficial e maior capacidade de infiltração. Na análise das modificações temporais foi identificado aumento significativo no número de edificações e sua aproximação aos corpos hídricos do município, assim como a pavimentação do solo, o que diminui sua permeabilidade e dificulta o processo de infiltração da água. O processo de urbanização observado, aumenta o risco de ocorrência de alagamentos, principalmente em períodos de altos índices pluviométricos, como observado em 2004 e 2024. Para conter ou minimizar alagamentos, assim como o dano por eles causados à natureza e à população, é necessário um conjunto de medidas, como a construção de infraestruturas de drenagem, assim como a regulamentação do uso e ocupação do solo. Tais medidas dependem do estudo prévio de informações como as que foram obtidas neste trabalho.

Palavras-chave: Hidrografia. Uso e ocupação do solo. Geoprocessamento.

ABSTRACT

The city of Petrolina-PE, part of the Integrated Administrative Region for the Development of the Petrolina and Juazeiro Pole, has urban streams, which, in addition to performing their natural ecological functions, are also responsible for receiving rainwater and treated effluents from Treatment Stations. of sewage. This work studied the macrodrainage network of the urban area of the city of Petrolina-PE, through the morphometric characterization of the river basins that constitute it, as well as the analysis of human occupation between the years 2005 and 2024. For this purpose, the Quantum GIS software, in which 21 morphometric parameters were calculated through the processing of an image from a Digital Elevation Model (DEM), and Google Earth Pro, in which images from Google Satellite and Google Street View were obtained between 2005 and 2024. The morphometric characterization indicated a low tendency to floods, low surface runoff and greater infiltration capacity. In the analysis of temporal changes, a significant increase in the number of buildings and their proximity to the city's water bodies was identified, as well as the paving of the soil, which reduces its permeability and hinders the water infiltration process. The urbanization process observed increases the risk of flooding, especially in periods of high rainfall, as observed in 2004 and 2024. To contain or minimize flooding, as well as the damage caused by it to nature and the population, it is necessary a set of measures, such as the construction of drainage infrastructure, as well as the regulation of land use and occupation. Such measures depend on the prior study of information such as that obtained in this work.

Key-words: Hydrography. Soil use and occupation. Geoprocessing.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma das etapas metodológicas.....	26
Figura 2 - Localização de Petrolina-PE.....	27
Figura 3 - Divisão territorial de Petrolina.....	28
Figura 4 - Bacia Hidrográfica do Riacho Pontal e GI8.....	30
Figura 5 - Diagnóstico do sistema de esgotamento sanitário existente e desativado	32
Figura 6 – Fluxograma das etapas da Caracterização morfométrica.....	34
Figura 7 – Localização das Áreas críticas.....	46
Figura 8 – Delimitação e rede hidrográfica das Bacias Hidrográficas da zona urbana de Petrolina-PE.....	48
Figura 9 – Localização das ETEs ativas e rede hidrográfica dos Riachos urbanos ..	54
Figura 10 - Canais de Macrodrenagem urbana.....	55
Figura 11 Lagoas marginais urbanas das áreas críticas.....	57
Figura 12 – Jardim Amazonas em outubro de 2005.....	59
Figura 13 – Jardim Amazonas em outubro de 2016.....	59
Figura 14 – Jardim Amazonas em setembro de 2020.....	60
Figura 15 – Jardim Amazonas em março de 2024.....	61
Figura 16 – Alto Cheiroso em outubro de 2005.....	62
Figura 17 – Alto Cheiroso em setembro de 2014.....	62
Figura 18 - Alto Cheiroso em junho de 2023.....	63
Figura 19 – Antônio Cassimiro em outubro de 2005.....	64
Figura 20 - Antônio Cassimiro em outubro de 2019.....	65
Figura 21 - Antônio Cassimiro em março de 2024.....	65
Figura 22 - Jatobá em outubro de 2005.....	66
Figura 23 – Jatobá em agosto de 2009.....	67
Figura 24 - Jatobá em junho de 2023.....	67
Figura 25 - Precipitação total mensal de Petrolina em 2024.....	68
Figura 26 – Precipitação diária durante o mês de abril de 2024.....	69
Figura 27 - Alagamentos em Petrolina-PE na chuva do dia 4 de abril de 2024.....	69
Figura 28 - Precipitação diária durante o mês de janeiro de 2004.....	70

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 - Evolução populacional no município de Petrolina (1970-2022).....	22
Tabela 2 - Índices de atendimento de água e esgoto em Petrolina (2005-2021)	22
Tabela 3 - Volume de água consumido, esgoto tratado e índice de tratamento (2005-2021)	23
Tabela 4 - Classificação dos valores do Coeficiente de Compacidade (Kc)	36
Tabela 5 Classificação dos valores do Fator de Forma (Kf).....	36
Tabela 6 Classificação dos valores do Índice de circularidade (Ic)	37
Tabela 7 - Classificação dos valores da Densidade Hidrográfica (Dh).....	38
Tabela 8 - Classificação dos valores da Densidade de Drenagem (Dd)	39
Tabela 9 Classificação dos valores do Índice de Sinuosidade (Is).....	40
Tabela 10 Classificação dos valores da Declividade média (Dm).....	42
Tabela 11 Classificação dos valores da Relação de relevo (Rr)	42
Tabela 12 Classificação dos valores do Índice de Rugosidade (Ir).....	43
Tabela 13 – Resultado dos parâmetros morfométricos estudados	49
Tabela 14 – Estações de Tratamento de Esgoto Existentes.....	53

LISTAS DE QUADROS

Quadro 1 - Elementos do sistema de microdrenagem urbana	19
Quadro 2 - Leis e Resoluções	23
Quadro 3 – Identificação das áreas críticas	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AG010	Volume de Água Consumido
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Climas
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DHN250	Divisão Hidrográfica Nacional em escala 1:250.000
ES005	Volume de Esgotos Coletados
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IN016	Índice de Tratamento de Esgoto
IN023	Índice de Atendimento Urbano de Água
IN024	Índice de Atendimento Urbano de Esgoto referido aos municípios atendidos com Água
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
PERH-PE	Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UP	Unidade de Planejamento

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVO.....	12
3 REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1 BACIA HIDROGRÁFICA	13
3.2 SANEAMENTO BÁSICO.....	13
3.2.1 Plano Nacional de Saneamento Básico	14
3.2.2 Plano Municipal de Saneamento Básico	14
3.3 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	15
3.3.1 Plano Diretor Municipal	16
3.3 DRENAGEM URBANA.....	17
3.3.1 Microdrenagem	18
3.3.2 Macrodrenagem	19
3.3.3 Plano Diretor de Drenagem.....	19
3.4 DIVISÃO HIDROGRÁFICA	20
3.4.1 Hidrografia de Petrolina-PE.....	20
3.5 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA.....	21
3.6 LAGOAS MARGINAIS.....	21
3.7 INDICADORES DE DESENVOLVIMENTO.....	21
3.8 LEGISLAÇÃO.....	23
4 METODOLOGIA.....	25
4.1 ÁREA DE ESTUDO.....	27
4.1.1 Divisão territorial do município de Petrolina-PE	28
4.2 IDENTIFICAÇÃO DOS RIACHOS URBANOS	29
4.3 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA	33
4.3.1 Características Geométricas	34
4.3.2 Características da Rede de Drenagem	37

4.3.3 Características do Relevo	41
4.4 IDENTIFICAÇÃO DE CONEXÕES ENTRE OS RIACHOS URBANOS E AS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO	43
4.5 LOCALIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DOS CANAIS DE MACRODRENAGEM URBANA	44
4.6 LOCALIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE LAGOAS MARGINAIS.....	44
4.7 IDENTIFICAÇÃO DAS MODIFICAÇÕES TEMPORAIS DEVIDO A OCUPAÇÃO ANTRÓPICA	44
4.7.1 Definição das Áreas críticas	44
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
5.1 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA.....	47
5.2 IDENTIFICAÇÃO DAS CONEXÕES ENTRE OS RIACHOS URBANOS E AS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO	52
5.3 LOCALIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DOS CANAIS DE MACRODRENAGEM URBANO.....	55
5.4 LOCALIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DAS LAGOAS MARGINAIS	55
5.5 IDENTIFICAÇÃO DAS MODIFICAÇÕES TEMPORAIS OCORRIDAS DEVIDO A OCUPAÇÃO ANTRÓPICA.....	58
5.5.1 Jardim Amazonas.....	58
5.5.2 Alto Cheiroso	61
5.5.3 Antônio Cassimiro	63
5.5.4 Jatobá.....	66
5.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE O REGIME PLUVIOMÉTRICO LOCAL	68
6 CONCLUSÕES	71
REFERÊNCIAS	72

1 INTRODUÇÃO

O município de Petrolina-PE, que faz parte da Região Administrativa Integrada de Desenvolvimento (RIDE) do Polo Petrolina e Juazeiro, apresentou nos últimos anos um rápido crescimento populacional e econômico associado a urbanização e expansão imobiliária. Esses fatores impactaram diretamente sua hidrografia e rede de drenagem, ocasionando consequências negativas para sua preservação ambiental, assim como para a saúde pública e segurança da população.

Segundo censos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no ano 2000, Petrolina-PE tinha uma população de 218 mil e 538 habitantes, enquanto em 2022, esse número cresceu para 386 mil e 791 habitantes, um aumento de cerca de 77% em 22 anos, o que representa um valor maior que a taxa de crescimento populacional nacional nesse período, que foi de cerca de 20% (IBGE, 2000, 2022).

A urbanização em países em desenvolvimento, como o Brasil, é marcada pela grande concentração populacional em pequenas áreas, assim como o aumento da população marginalizada, que é pressionada a ocupar regiões periféricas devido ao valor imobiliário da vizinhança. Essas regiões carecem de infraestrutura básica, e são geralmente áreas ilegais ou públicas, e costumam oferecer riscos como inundações e escorregamento de terra. A consequência imediata dessa ocupação é o aumento da contaminação dos corpos hídricos presentes, através do despejo de resíduos sólidos e esgotos sem tratamento (Tucci, 2008).

As modificações no uso do solo oriundas da urbanização, como a pavimentação asfáltica, diminuem sua permeabilidade e a infiltração da água da chuva, e aumenta o escoamento superficial, e conseqüentemente, o risco de alagamentos, inundações e enchentes. Para evitá-los, espera-se que cada cidade tenha leis e parâmetros que garantam a permeabilidade do solo bem como o uso adequado desse (Oliveira et. al, 2020).

Para Araújo (2022), o Estado é o responsável por planejar e regular o uso e ocupação do solo, e cabe a ele dotar a cidade de uma infraestrutura de redes de drenagem capaz de dar conta do volume do escoamento superficial.

A ausência de uma infraestrutura de drenagem, ou seu mal dimensionamento, podem ocasionar problemas de saúde pública. A água da chuva carrega a contaminação presente na superfície do solo. De forma semelhante, quando riachos ou canais abertos contaminados excedem sua capacidade de escoamento,

devido às chuvas intensas, acabam espalhando água contaminada com esgoto e resíduos sólidos, o que pode ocasionar um crescimento no número de doenças de veiculação hídrica, como a amebíase, febre tifoide e cólera. Além disso, a presença de água parada, devido a impermeabilização do solo e baixo escoamento, pode auxiliar a proliferação de mosquitos que são vetores de arboviroses como dengue, zika, e febre amarela.

Os problemas relacionados ao manejo inadequado das águas pluviais vão além da carência de um sistema de infraestruturas de micro e macrodrenagem. Segundo Souza, Moraes e Borja (2013), a abordagem tradicional sobre o sistema de drenagem urbana no Brasil, aponta para a necessidade de sempre drenar o ambiente, no sentido de criar estruturas (micro e macro) para conduzir a água aos pontos mais distantes possíveis. Essa abordagem tradicional revela uma grande distância entre os ideais da sustentabilidade, os instrumentos da política urbana e a prática da Engenharia, no que se refere às águas urbanas.

A área urbana da sede de Petrolina é composta por vários riachos, taludes e corpos d'água. Os riachos atravessam a zona urbana do município, desde as zonas periféricas até a orla, onde desaguam no Rio São Francisco. Nesse trajeto, eles recebem efluentes tratados oriundos das estações de tratamento de esgoto, assim como águas pluviais. Ao percorrer o perímetro urbano, as águas dos riachos se expõem ao risco de contaminação clandestina, como despejo de esgotos e lixo. Parte destes riachos também percorrem áreas de irrigação, onde são praticadas atividades da agricultura, o que os expõem ao risco de contaminação por fertilizantes usados no solo.

A caracterização morfométrica fornece informações sobre o comportamento hidrológico dos corpos hídricos através da interpretação e comparação dos valores dos parâmetros morfométricos estudados com os de locais onde há dados hidrológicos conhecidos. Dessa forma, funciona como um estudo preliminar de caracterização da hidrografia, muito importante principalmente para locais onde há insuficiência de dados hidrológicos.

Estudar a hidrografia e rede drenagem do município, assim como os impactos da urbanização e crescimento populacional, é essencial para o desenvolvimento de medidas que visem a manutenção e prevenção de problemas citados anteriormente. A drenagem urbana, como parte do saneamento básico, é essencial para o desenvolvimento sustentável das cidades, melhoria da saúde pública

e bem-estar da população. Dessa forma, esse trabalho fornecerá informações para a criação de leis e políticas públicas relacionadas a gestão dos recursos hídricos, saneamento e preservação ambiental.

2 OBJETIVO

Esse trabalho caracteriza morfometricamente as bacias hidrográficas que constituem a rede de macrodrenagem da zona urbana da sede do município de Petrolina-PE, e identifica, através de imagens de satélite, as modificações temporais no uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas caracterizadas.

Objetivos específicos:

- Identificar a existência de conexões dos riachos urbanos com elementos do saneamento, especificamente as Estações de Tratamento de Esgoto (ETE).
- Localizar e identificar os canais de macrodrenagem urbana.
- Localizar e identificar lagoas marginais.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 BACIA HIDROGRÁFICA

As Bacias Hidrográficas são áreas definidas topograficamente, que são drenadas por um curso d'água ou um sistema conectado de cursos d'água de modo que toda a vazão efluente deságue em uma saída (o exutório), e que se destacam entre as regiões hidrológicas de importância prática para os hidrologistas, pois oferecem simplicidade na aplicação do balanço de água, e devido a isso, são utilizadas em muitos modelos de estudos de recursos hídricos (Viessmann, Harbaugh e Knapp, 1972; Villela e Mattos, 1975).

A Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e define a bacia hidrográfica como:

[...] a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997, art. 1, inc. V).

O estudo da hidrologia das Bacias Hidrográficas é essencial para a elaboração de projetos de drenagem e do Plano Diretor de Drenagem Urbana, e, portanto, é fundamental para evitar problemas de natureza hidrológica. Além do estudo, é necessária a atenção para alguns fatores como a ocupação futura da bacia, principalmente no que se refere às taxas de impermeabilização (Tucci, 1995).

3.2 SANEAMENTO BÁSICO

O Saneamento básico é fundamental para a preservação do meio ambiente, assim como a saúde pública, pois através dele é possível diminuir os impactos causados pela urbanização e as atividades antrópicas no meio ambiente, assim como os impactos que os fenômenos naturais possam causar no meio urbano.

A Lei nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007, que foi alterada pela Lei nº 14.026 de 15 de julho de 2020, define o saneamento básico como o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana, e manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, sendo estes últimos dois serviços definidos pela lei como:

[...] constituídos pelas atividades, pela infraestrutura e pelas instalações operacionais de drenagem de águas pluviais, transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas, contempladas a limpeza e a fiscalização preventiva das redes (BRASIL, 2020, art. 7, inc. I).

Esta Lei também prevê como princípio fundamental a:

[...] disponibilidade, nas áreas urbanas, de serviços de drenagem e manejo das águas pluviais, tratamento, limpeza e fiscalização preventiva das redes, adequados à saúde pública, à proteção do meio ambiente e à segurança da vida e do patrimônio público e privado (BRASIL, 2007 art. 7, inc. IV).

O tratamento de água permite modificar sua qualidade de forma a garantir sua potabilidade, que é essencial para a manutenção da vida assim como a prática de diversas atividades humanas. Através da coleta e tratamento de esgoto, assim como o manejo de resíduos sólidos, é possível minimizar os impactos ambientais gerados pelo descarte dos rejeitos da atividade humana na natureza. A limpeza urbana é essencial para manter a salubridade das ruas, e prevenir a proliferação de pragas urbanas, como ratos e baratas, que podem ser vetores de doenças. A drenagem e manejo das águas pluviais urbanas permite conduzir as águas da chuva de forma adequada, prevenindo enchentes, inundações e alagamentos.

3.2.1 Plano Nacional de Saneamento Básico

O Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) consiste no planejamento integrado do saneamento básico considerando seus quatro componentes: abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, coleta de lixo e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas (Brasil, 2023a).

O PLANSAB foi inicialmente previsto pela Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que foi atualizada através da Lei nº 14.026 de 15 de julho de 2020. A primeira versão do plano foi publicada em 2014, e foi revisada em 2019. Sua última revisão, que estava prevista para 2022, foi impactada pela pandemia da Covid-19, e ainda não foi finalizada (Brasil, 2023b).

3.2.2 Plano Municipal de Saneamento Básico

O Plano Municipal de Saneamento Básico de Petrolina-PE, foi publicado em 2019, e detalha duas das quatro vertentes do saneamento básico: abastecimento de água potável e esgotamento sanitário. Dentre as informações contidas nele, está a localização e capacidade das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), assim como o nome dos respectivos Riachos receptores de seus efluentes tratados.

A elaboração do plano atende aos dispostos legais previstos na Lei nº 11.445/2007, e foi prevista conforme o Decreto Federal nº 9.254 de 29 de dezembro de 2017, que estabelece que todos os municípios brasileiros e o Distrito Federal devem ter seu respectivo Plano de Saneamento Básico (PSB) até no máximo 31 de dezembro de 2019, sendo condição para o acesso a recursos federais destinados a serviços de saneamento básico (Prefeitura Municipal de Petrolina, 2019).

3.3 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

O parcelamento do solo urbano é regulado pela Lei nº 6.766 de 19 de dezembro de 1979, que estabelece que, “Os Estados, o Distrito Federal e os Municípios poderão estabelecer normas complementares relativas ao parcelamento do solo municipal para adequar o previsto nesta Lei às peculiaridades regionais e locais” (BRASIL, 1979, art. 1, Parágrafo único).

Ela também estabelece que “Somente será admitido o parcelamento do solo para fins urbanos em zonas urbanas, de expansão urbana ou de urbanização específica, assim definidas pelo plano diretor ou aprovadas por lei municipal” (BRASIL, 1979, art. 3).

Segundo a Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012, alterada pela Lei 12.727 de 17 de outubro de 2012, considera-se Área de Preservação Permanente (APP): “as faixas marginais de qualquer curso d’água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de: [...]” (BRASIL, 2012b, art.4, inc. I)

Em seguida, esta lei define a largura mínima das faixas marginais, conforme as alíneas abaixo:

- a) 30 (trinta) metros, para os cursos d’água de menos de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura; b) 50 (cinquenta) metros, para os cursos d’água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura; [...] (BRASIL, 2012a, art. 4).

Estabelecer limites para ocupação de áreas próximas a cursos d'água é fundamental para a sua preservação, pois permite o desenvolvimento e preservação da mata ciliar, que é a vegetação nas margens do rio, e dessa forma, previne o fenômeno denominado assoreamento, que é o acúmulo de terra, lixo e matéria orgânica no fundo de um rio. O desmatamento é um dos maiores fatores agravantes do assoreamento, portanto é necessário o reflorestamento das áreas próximas às margens de cursos d'água (Associação Caatinga, 2019).

Sem a vegetação natural nas margens do curso d'água, o vento e a chuva levam a camada superficial do solo em sua direção, o que pode ocasionar desvios em sua drenagem, fazendo com que a água chegue em áreas com ruas e casas, ocasionando enchentes urbanas. Além disso, ao perder profundidade devido ao acúmulo de sedimentos, a largura do rio cresce e, devido à maior irradiação do sol por área, a temperatura da água aumenta, o que afeta a flora e fauna aquática, que corre o risco de desaparecer (Associação Caatinga, 2019).

3.3.1 Plano Diretor Municipal

No município de Petrolina-PE, o parcelamento do solo é regulado através de seu Plano Diretor, cuja versão atual foi instituída através da Lei municipal nº 34, de 25 de fevereiro de 2022, que cumpre ao disposto no Art.182, §1º, da Constituição Federal, às disposições da Lei Federal nº 10.257/2001 e do Art. 7, inciso II, alínea “g”, da Lei Orgânica do Município.

Dentre os objetivos da política de desenvolvimento do Município de Petrolina, previstos nesta lei, estão:

V – Promover a valorização, a proteção e a preservação do meio ambiente e da paisagem, promovendo o uso adequado dos recursos naturais; VI – Promover a identificação de áreas de preservação ambiental e o desenvolvimento de ações para o manejo sustentável (PREFEITURA MUNICIPAL DE PETROLINA, 2022, art. 15).

O artigo 28º do Plano Diretor do município, aborda as áreas de interesse ambiental, e entre elas estão as Áreas de Proteção Permanente (APP), que:

[...] conforme a Lei Federal nº 12.727/2012, consistem em áreas protegidas, cobertas ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade,

facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas” (PREFEITURA MUNICIPAL DE PETROLINA, 2022, art. 32).

A Lei Municipal nº 2.581, de 23 de setembro de 2013, dispõe algumas regulamentações acerca das áreas de preservação, entre elas:

Nas áreas urbanas consolidadas, identificadas no art. 2º, o Poder Público Municipal poderá autorizar a implantação de empreendimentos, inclusive imobiliários, com a preservação de 100 (cem) metros dos cursos d'água, de acordo com o art. 85 da Lei Municipal nº 1.875/2006, Plano Diretor Participativo de Petrolina. (PREFEITURA MUNICIPAL DE PETROLINA, 2013, art. 4).

3.3 DRENAGEM URBANA

A ocupação desordenada das áreas de escoamento natural das águas pluviais e a falta de um sistema de drenagem urbana são alguns dos fatores responsáveis pelos alagamentos. Estes são provocados pelo acúmulo de águas no leito das ruas devido à sistemas de drenagem deficientes e baixa infiltração da água, devido à impermeabilização do solo (Almeida, 2014).

A drenagem e manejo das águas pluviais, acompanhada da limpeza e fiscalização preventiva das respectivas redes urbanas, é definida pela Lei nº 13.308 de 6 de julho de 2016, como sendo o conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas.

Segundo Souza, Moraes e Borja (2013), numa perspectiva moderna, o sistema de drenagem deve ser visto como um dos componentes da paisagem urbana, e não deve ser representado apenas pelos elementos de infraestrutura que o compõe.

A implementação de modelos de gestão da água eficientes e sustentáveis são imprescindíveis para minimizar os efeitos negativos que as mudanças climáticas representam para os recursos hídricos, pois devem reduzir o estresse hídrico causado pelo aumento da temperatura, pelas mudanças nos padrões de precipitação e pela vulnerabilidade das cidades a essas mudanças (Davidovitsch et. al, 2023).

Em seu trabalho, Davidovitsch et. al (2023) cita várias abordagens modernas de drenagem urbana, que objetivam minimizar os impactos do desenvolvimento urbano, restaurando o ciclo natural da água e a manutenção da hidrologia local. Essas abordagens combinam aspectos hidrológicos, ambientais e sociais, como: Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável (Sustainable Drainage System – SUDS), Melhores Práticas de Gestão (Best Management Practices – BMP), Desenho Urbano Sensível à Água (Water Sensitive Urban Design – WSUD), entre outros.

As técnicas de Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (Low Impact Development – LID) são uma abordagem que visa minimizar os impactos adversos de escoamento de águas pluviais e urbanas por meio do planejamento e implementação de medidas não-estruturais e estruturais conhecidas como Melhores Práticas de Gerenciamento (Best Management Practices – BMP), e oferecem uma maneira inovadora de integrar o gerenciamento de águas pluviais em paisagens naturais, minimizando alterações no regime hidrológico natural e reduzindo o volume de escoamento superficial (Davidovitsch et al., 2023 apud Shafique e Kim, 2017; Xu et al., 2019).

Entre as técnicas citadas por Davidovitsch et al. (2023), estão: Biorretenção, Biovaletas, Pavimentos Permeáveis, Telhados verdes, Filtros de areia, Armazenamento de Água da Chuva e Zonas Úmidas Artificiais (também conhecidas como wetlands).

O sistema de drenagem são sistemas preventivos de inundações, cujas causas estão relacionadas a ocupação desordenada do solo, principalmente nas áreas de inundação dos rios. O sistema pode ser dividido em microdrenagem e macrodrenagem (FEAM, 2006).

3.3.1 Microdrenagem

A microdrenagem constitui o sistema de condutos pluviais a nível de loteamento ou de rede primária urbana (Tucci, 1995). Segundo FUNASA (2019), o sistema de microdrenagem reduz os impactos causados pelas chuvas nas áreas urbanas, e portanto, diminui sua interferência no tráfego de pedestres e veículos, e evita danos às propriedades públicas e privadas.

Segundo Tucci (1995), os elementos do sistema de microdrenagem urbana são definidos conforme disposto no Quadro 1:

Quadro 1 - Elementos do sistema de microdrenagem urbana

Nome	Definição
Sarjetas	São faixas de via pública, paralelas e vizinhas ao meio-fio, constituídas por uma calha receptora das águas pluviais que incidem sobre as vias públicas e que para elas escoam;
Sarjetões	São calhas localizadas nos cruzamentos de vias públicas, formadas pela sua própria pavimentação e destinadas a orientar o fluxo das águas que escoam pelas sarjetas;
Boca de lobo	São dispositivos que captam as águas pluviais e estão localizados nas sarjetas;
Tubos de ligações	São canalizações destinadas a conduzir as águas pluviais captadas nas bocas de lobo para a galeria ou para os poços de visita;
Galeria	São canalizações públicas usadas para conduzir as águas pluviais provenientes das bocas-de-lobo e das ligações privadas;
Poço de visita	São dispositivos localizados em pontos estratégicos do sistema de galeria que permitem a mudança de direção, declividade, diâmetro e limpeza das canalizações;
Conduitos forçados	São elementos destinados à condução das águas superficiais coletadas, de maneira segura e eficiente, sem preencher completamente a seção transversal dos conduitos;

Fonte: Tucci (1995)

3.3.2 Macrodrenagem

A macrodrenagem constitui as estruturas às quais se destinam a condução final das águas captadas pela rede de drenagem primária, ou seja, as estruturas de microdrenagem. Dessa forma, ela recebe e escoam os deflúvios oriundos das ruas, sarjetas, valas e galerias, através da rede de drenagem natural pré-existente nos terrenos antes da ocupação antrópica, constituída pelos córregos, riachos e rios localizados nos talwegues e vales (Tucci, 1995).

3.3.3 Plano Diretor de Drenagem

O Plano Diretor de Drenagem Urbana é o conjunto de diretrizes que determinam a gestão do sistema de drenagem, e seu objetivo é minimizar o impacto ambiental devido ao escoamento das águas pluviais (FEAM, 2006).

Sua elaboração consiste em: estudar a bacia hidrográfica, identificar áreas que possam ser preservadas, valorizar o curso d'água com sua integração na paisagem urbana e fonte de lazer, adotar medidas preventivas em vez de corretivas etc. (FEAM, 2006).

A Prefeitura de Petrolina está construindo seu Plano Diretor de Macrodrenagem, cujo objetivo é definir soluções que busquem garantir a disponibilidade de serviços de drenagem e manejo de águas pluviais em todas as áreas urbanas (Durant, 2022).

Em 23 de agosto de 2023, foi realizada audiência pública para discutir os problemas causados pela ausência de drenagem de águas pluviais no município, devido a licenças precárias, que podem resultar em desastres naturais. Na audiência foi feita a apresentação do Plano de drenagem por meio da Secretaria de Infraestrutura (SEINFRA), e dos projetos de macrodrenagem e de esgotamento sanitário pela Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa) e pela empresa PDCA Engenharia (Portal do MPPE, 2023).

3.4 DIVISÃO HIDROGRÁFICA

A hidrografia é o principal elemento da macrodrenagem. São os corpos hídricos, como riachos e córregos, que irão receber as águas pluviais captadas nas cidades. Além disso, a hidrografia é a principal referência para o desenvolvimento de projetos de infraestrutura de drenagem, como canais e galerias, pois estes devem obedecer ao curso natural das águas.

Dessa forma, para estudar a rede de drenagem urbana, é necessário compreender a hidrografia local. As divisões hidrográficas auxiliam neste processo, pois permitem agrupar corpos hídricos que compartilham características comuns.

3.4.1 Hidrografia de Petrolina-PE

As informações sobre a hidrografia do município de Petrolina estão presentes em documentos municipais e estaduais. Dessa forma, foi possível identificar os Riachos Urbanos através de informações contidas no Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco- PERH-PE (2022) e no Plano Municipal de Saneamento de Petrolina (2019).

A hidrografia de Petrolina, segundo mapa de balanço hídrico da Unidade de Planejamento 15 presente no atlas do PERH-PE (2022), é composta por 3 riachos principais: Riacho Vitória, Riacho do Estandarte e Riacho das Porteiras (APAC, 2022b). Além disso, o Plano Municipal de Saneamento de Petrolina (2019), cita alguns riachos, além dos três já mencionados, que são receptores de efluentes tratados: Riacho Mulungú, Rio Talúpio, Riacho Pau Preto e Riacho da Baraúna. Apesar de não localizar diretamente a posição desses riachos, o plano cita a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) que os utiliza para despejo de efluente tratado, e a partir da localização das ETE's é possível localizar esses riachos, com exceção do Riacho da Baraúna (Prefeitura Municipal de Petrolina, 2019).

3.5 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA

A caracterização morfométrica das bacias hidrográficas consiste no estudo das características e do comportamento hidrológico dos corpos hídricos, o qual é possível através da comparação entre dados hidrológicos conhecidos e os que estão sendo estudados, e dessa forma é possível determinar indiretamente os valores hidrológicos em seções ou locais de interesse nos quais faltem dados ou onde, por ordem física ou econômica, não seja possível instalar estações hidrométricas (Villela e Matos, 1975).

O estudo dos parâmetros morfométricos fornece indicativos relacionados a natureza hidrológica da região estudada, e dessa forma, é uma importante ferramenta para a previsão e prevenção de desastres naturais como alagamentos, enchentes etc. A caracterização morfométrica aliada a estudos relacionados ao clima, tempo, relevo e solo, por exemplo, são fundamentais para a elaboração de políticas públicas como planos diretores de macrodrenagem, planos de recursos hídricos etc.

3.6 LAGOAS MARGINAIS

Segundo Trindade (2016), lagoas marginais são feições temporárias do sistema fluvial onde predominam processos deposicionais típicos de ambientes lacustres. As lagoas marginais exercem papel fundamental na retenção de parte da carga fluvial transportada, principalmente nos períodos de cheia.

3.7 INDICADORES DE DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento de uma cidade ou região é acompanhada de várias mudanças, dentre elas, o crescimento populacional e conseqüentemente uma demanda maior por espaço. Para regular o uso e ocupação do solo, os municípios desenvolvem o Plano Diretor, entretanto, muitas vezes este documento só é elaborado tardiamente, quando boa parte do solo já se encontra ocupado, e em muitos casos, de forma desordenada.

Para estudar o desenvolvimento de uma cidade, alguns indicadores são utilizados, como o crescimento populacional e o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH). A urbanização traz como conseqüências a impermeabilização do solo, e o aumento da demanda por água tratada assim como o aumento da geração de efluentes e resíduos sólidos, que devem ser corretamente descartados.

A Tabela 1 mostra 4 parâmetros indicadores de desenvolvimento, a população total, que é dividida em população urbana e rural, e o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM). Os dados foram fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), conforme os censos realizados entre o ano de 1970 e 2022.

Tabela 1 - Evolução populacional no município de Petrolina (1970-2022)

Ano	População Urbana (hab)	População Rural (hab)	População Total (hab)	IDHM
1970	38.189 (62%)	23.063 (38%)	61.252	--
1980	74.828 (72%)	29.469 (28%)	104.297	--
1991	125.273 (71%)	50.133 (29%)	175.406	0,471
2000	166.279 (76%)	52.259 (24%)	218.538	0,580
2010	219.215 (75%)	74.747 (25%)	293.962	0,697
2022	--	--	386.791	--

Fonte: IBGE, Censos Demográficos, 1970-2022

O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) fornece informações importantes que indicam o desenvolvimento do município, como o Índice de Atendimento Urbano de Água (IN023) e o Índice de atendimento urbano de esgoto referido aos municípios atendidos com água (IN024). A Tabela 2 dispõe destes índices obtidos entre os anos de 2005 e 2021.

Tabela 2 - Índices de atendimento de água e esgoto em Petrolina (2005-2021)

Ano	IN023 – Índice de Atendimento Urbano de Água (%)	IN024 – Índice de atendimento urbano de esgoto referido aos municípios atendidos com água (%)
-----	--	---

2005	90%	73,83%
2007	95,4%	73,94%
2009	100%	73,65%
2011	95%	69,06%
2013	100%	71,92%
2015	100%	84,64%
2017	100%	100%
2019	100%	100%
2021	100%	100%

Fonte: SNIS, 2005-2021

De forma semelhante, o volume de água consumido (AG010), o volume de esgotos coletados (ES005) e o índice de tratamento de esgoto (IN016), dispostos na Tabela 3, servem como indicativos do crescimento e desenvolvimento da cidade.

Tabela 3 - Volume de água consumido, esgoto tratado e índice de tratamento (2005-2021)

Ano	AG010 – Volume de água consumido (1.000 m ³ /ano)	ES005 – Volume de esgotos coletado (1.000 m ³ /ano)	IN016 – Índice de tratamento de esgoto (%)
2005	6.422,90	6.268,50	100
2007	7.568,28	5.543,99	100
2009	8.241,91	5.891,85	100
2011	8.395,77	5.984,78	100
2013	10.408,05	7.101,09	100
2015	10.645,52	7.042,36	100
2017	11.819,22	8.200,74	100
2019	13.214,11	9.746,85	100
2021	15.524,76	11.671,09	100

Fonte: SNIS, 2005-2021

3.8 LEGISLAÇÃO

A drenagem, assim como os outros eixos do saneamento básico, segue uma série de leis que regulam seu funcionamento. O Quadro 2 resume as principais leis e resoluções relacionadas ao tema.

Quadro 2 - Leis e Resoluções

Nome	Data	Descrição resumida
Lei nº 6.766	19 de dezembro de 1979	Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências.

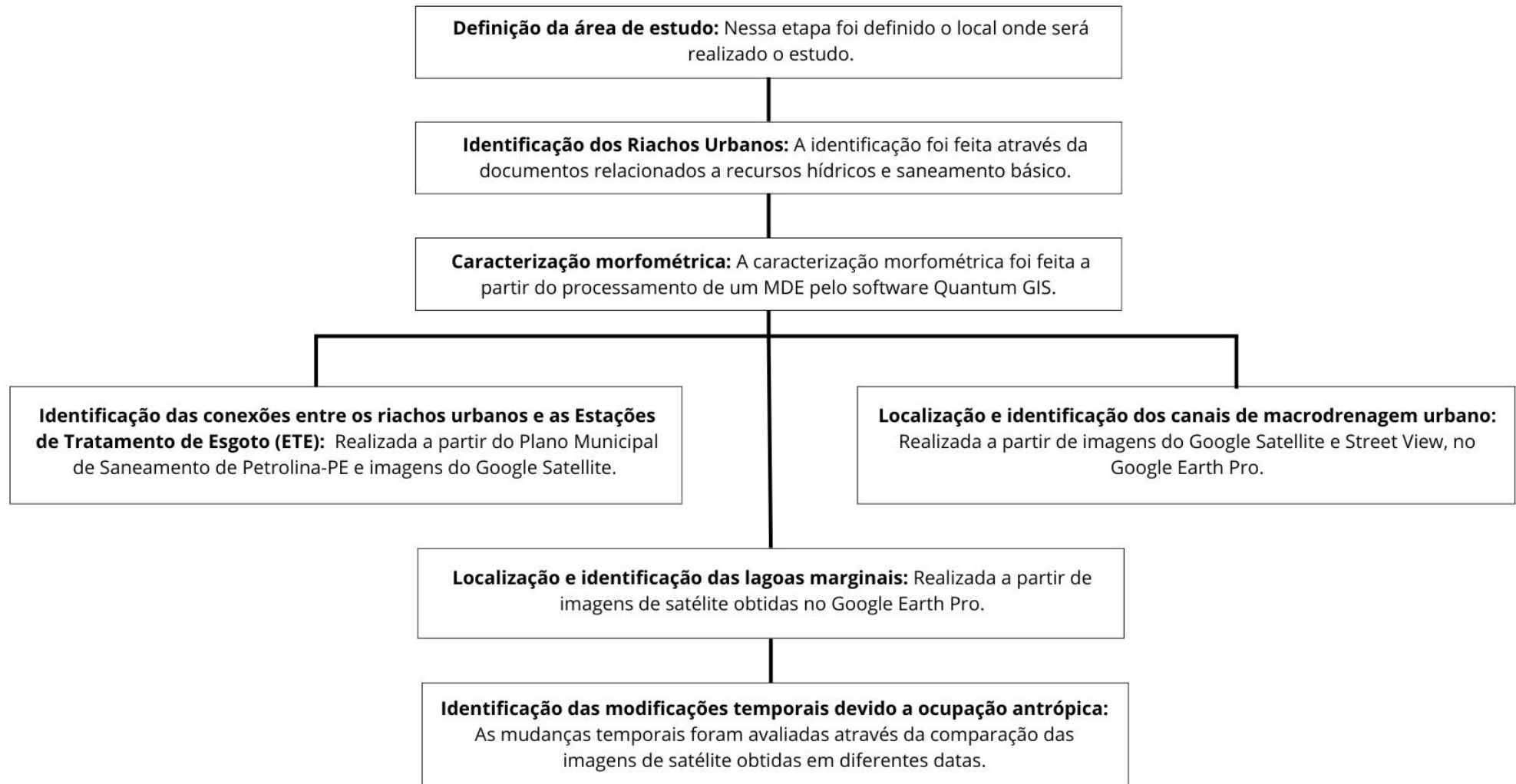
Lei nº 6.938	31 de agosto 1981	Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente e dá outras providências.
Lei nº 9.433	08 de janeiro de 1997	Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos.
Resolução CONAMA nº 358	17 de março de 2005	Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e padrões de lançamento de efluentes.
Lei nº 11.445	05 de janeiro de 2007	Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico.
Resolução CONAMA nº 430	13 de maio de 2011	Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357.
Lei nº 12.651	25 de maio de 2012	Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa.
Lei nº 12.727	17 de outubro de 2012	Altera a Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012.
Lei nº 14.026	15 de julho de 2020	Atualiza o marco do saneamento básico.
Lei Municipal nº 34	25 de fevereiro de 2022	Institui o novo Plano Diretor Participativo do Município de Petrolina e dá outras providências.

4 METODOLOGIA

Neste trabalho, a rede de macrodrenagem de Petrolina-PE foi estudada através da caracterização morfométrica das Bacias Hidrográficas que a constitui, assim como a análise temporal de sua ocupação antrópica.

A Figura 1 lista as etapas realizadas durante a elaboração deste trabalho.

Figura 1 – Fluxograma das etapas metodológicas

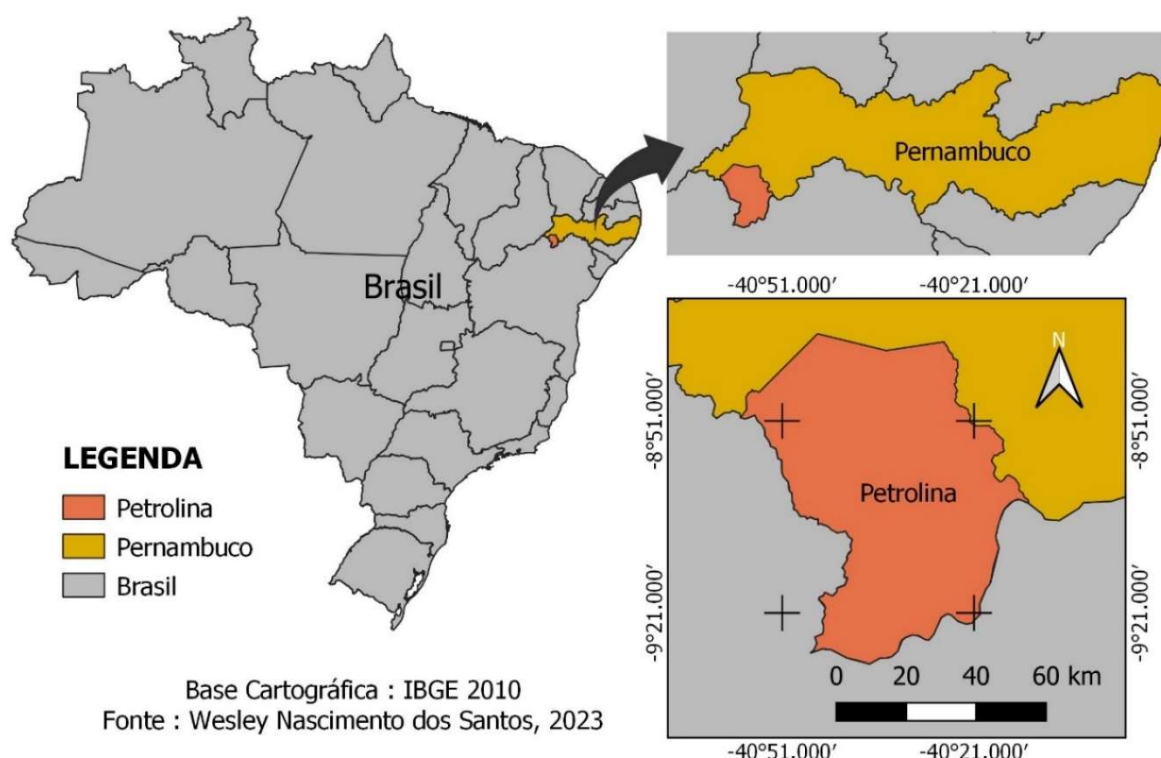


Fonte: Autor

4.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na zona urbana da sede do município de Petrolina, do estado de Pernambuco, Brasil. O município está localizado na região Nordeste do país, entre as latitudes $-9^{\circ}33.000'$ e $-8^{\circ}33.000'$ e as longitudes $-41^{\circ}0.000'$ e $-40^{\circ}12.000'$, conforme mostra o mapa da Figura 2.

Figura 2 - Localização de Petrolina-PE



O município de Petrolina-PE está localizado em uma região que apresenta clima do tipo BSw'h' – semiárido quente e seco, segundo a classificação climática de Köppen (Alvares et. al, 2013). Esse tipo de clima é caracterizado por baixa nebulosidade, forte insolação, índices elevados de evaporação, temperaturas médias elevadas, baixa umidade relativa do ar, escassez de chuvas e grande irregularidade em sua distribuição (Köppen, 1948). Além disso, o município apresenta precipitação pluviométrica média anual de 567mm com distribuição espacial irregular, temperatura média anual de $26,3^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa do ar de 58% (Silva et. al, 2019).

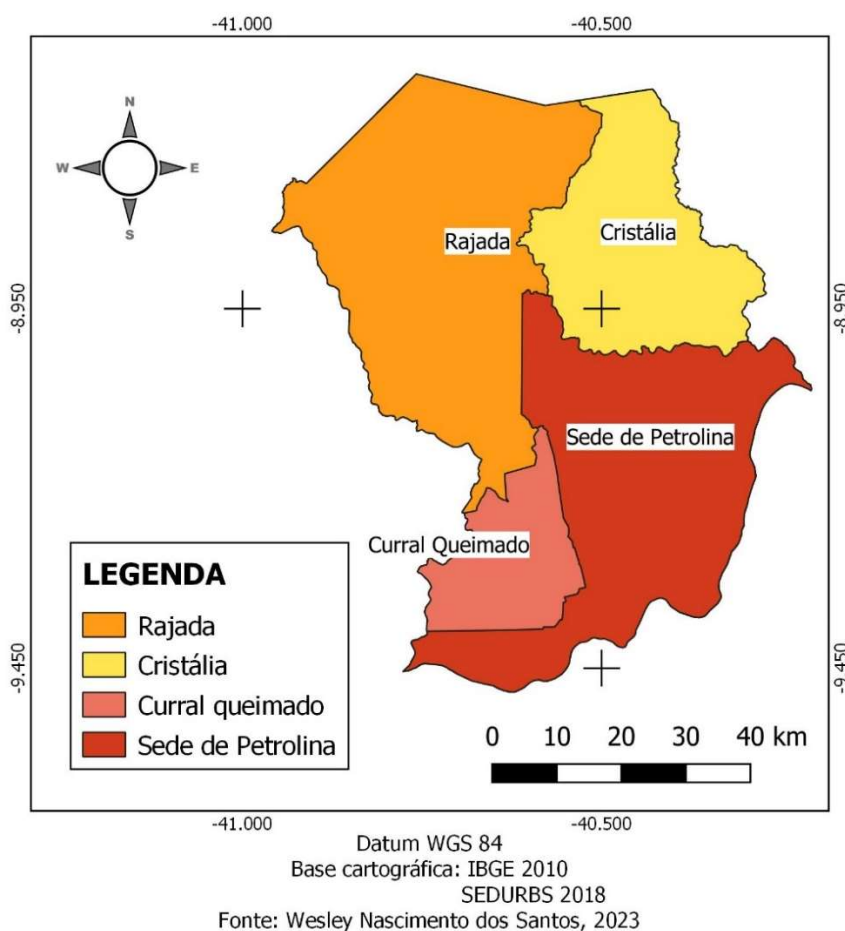
A maior parte do município está inserida na Depressão Sertaneja, apresenta altitude entre 274 e 500 metros, com média de 380 metros, e caracteriza-se por apresentar relevo plano a suavemente ondulado com vales muito abertos e com a presença de algumas elevações residuais (Costa et. al, 2010; Pimentel, 2002).

4.1.1 Divisão territorial do município de Petrolina-PE

Conforme consta no Art. 75º da Lei Municipal nº 1.875, de 14 de novembro de 2006, que institui o Plano Diretor, a divisão política-administrativa de Petrolina deveria ter sido revista, em lei específica, no prazo de 12 (doze) meses a contar da publicação, entretanto, como não foi revista, será adotado o ordenamento previsto na Lei Complementar nº 01, de 26 de outubro de 2004, na qual a área urbana do município é dividida em 4 distritos: Rajada, Cristália, Curral Queimado, e Sede de Petrolina (Prefeitura Municipal de Petrolina, 2019).

A Figura 3 mostra a divisão territorial do município de Petrolina-PE. Utilizou-se para sua elaboração arquivos do tipo shapefile que foram produzidos durante a segunda etapa da revisão do Plano diretor de Petrolina em 2018 (Prefeitura Municipal de Petrolina, 2018).

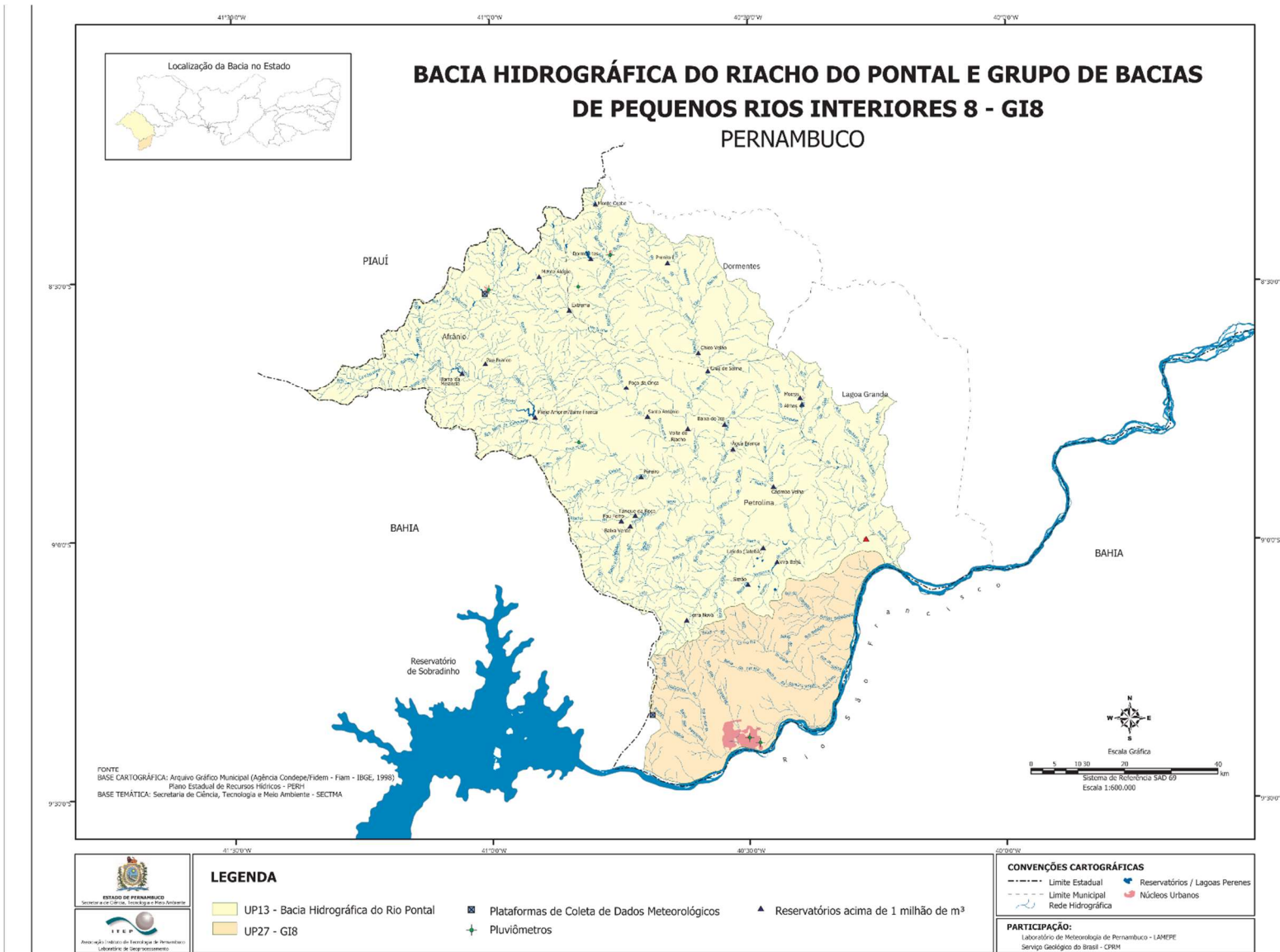
Figura 3 - Divisão territorial de Petrolina



4.2 IDENTIFICAÇÃO DOS RIACHOS URBANOS

Inicialmente foram identificados: Riacho das Porteiras, Riacho do Estandarte, Riacho Vitória, Baixa do Malaquias e Baixa das Panelinhas. Essa identificação foi obtida através do mapa “Bacia hidrográfica do Riacho do Pontal e grupo de bacias de pequenos rios interiores 8 – GI8” disponível no Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH de 1998, e mostrado na Figura 4.

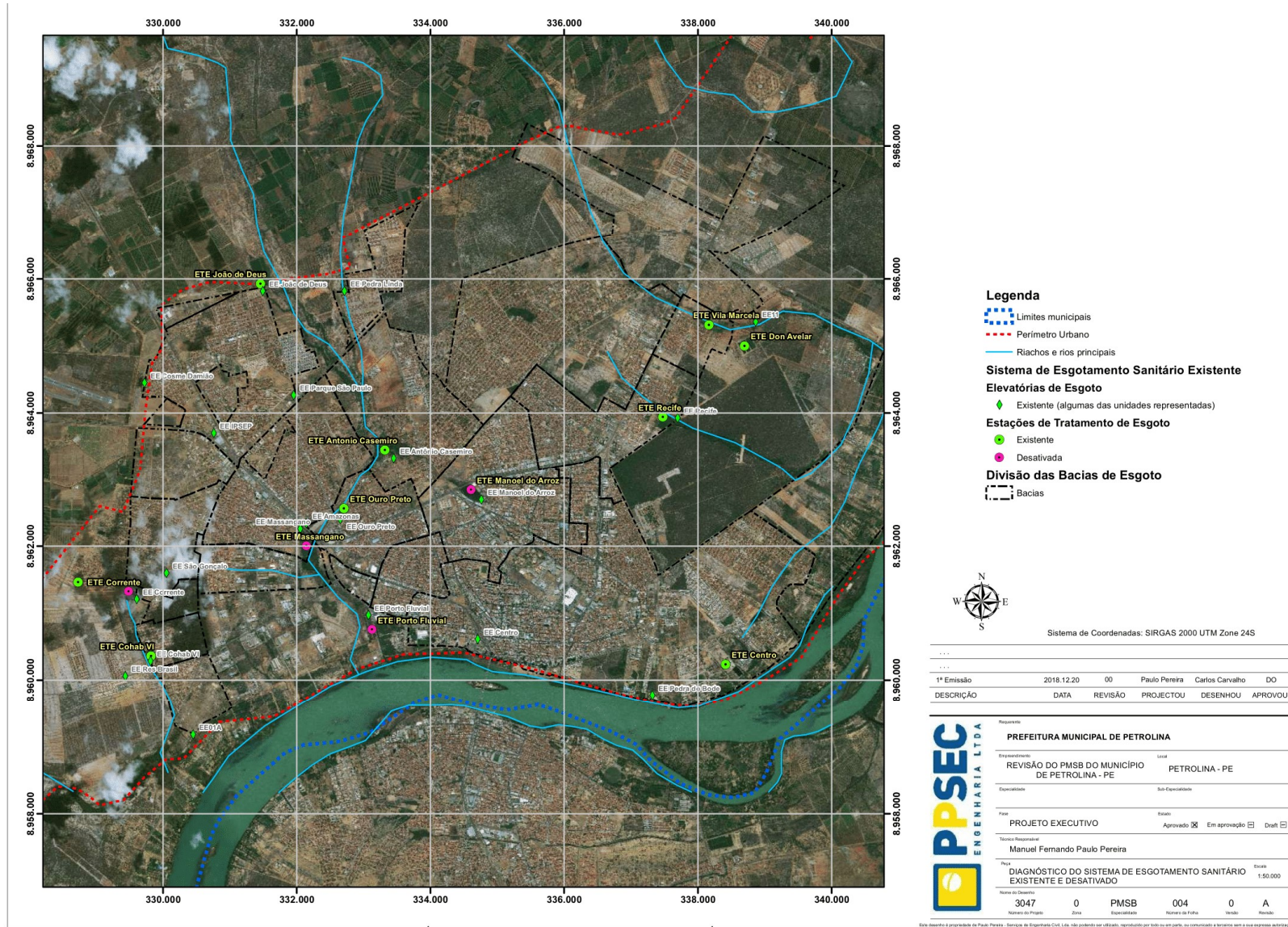
Figura 4 - Bacia Hidrográfica do Riacho Pontal e GI8



Fonte: PERNAMBUCO (1998)

Outros corpos hídricos foram identificados através do mapa “Diagnóstico do sistema de esgotamento sanitário existente e desativado” e da tabela 60, presentes nas páginas 100 e 105 do Plano Municipal de Saneamento Básico de Petrolina (2019), no qual constam os nomes dos corpos hídricos receptores de efluente tratado de cada Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), assim como a localização dessas estações. A partir desse documento foi identificado o Riacho Pau Preto, receptor de efluente tratado das ETE’s Recife, Vila Marcela e Dom Avelar, conforme mostra a Figura 5.

Figura 5 - Diagnóstico do sistema de esgotamento sanitário existente e desativado



Fonte: PREFEITURA MUNICIPAL DE PETROLINA (2019)

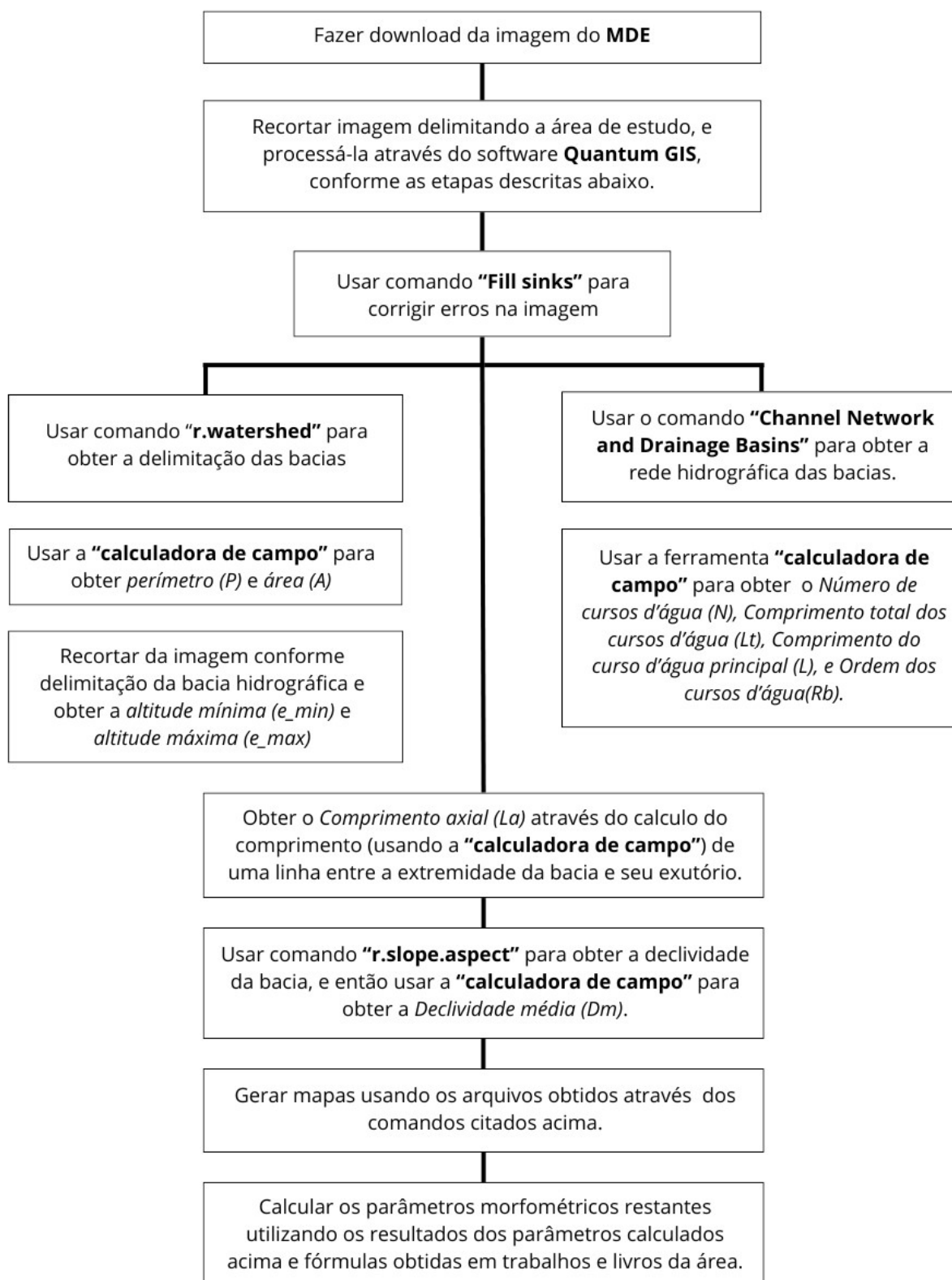
4.3 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA

A hidrografia urbana de Petrolina foi caracterizada morfometricamente através do processamento de imagens obtidas pelo Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), que foi uma missão espacial cujo intuito foi obter um Modelo Digital de Elevação (MDE) da terra. A missão ocorreu em fevereiro de 2000 e foi capaz de coletar dados topográficos de cerca de 80% da superfície da terra, com uma resolução de 1 arco-segundo que equivale a 30 metros. As imagens foram disponibilizadas em setembro de 2014 no site Earth Explorer, que pertence ao United States Geological Survey (USGS).

As imagens obtidas no site Earth Explorer foram processadas usando o software Quantum GIS, através de ferramentas como a calculadora de campo, e comandos de plugins como o Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) e o System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA). Através deste processamento obteu-se os valores dos parâmetros morfométricos, e foram elaborados mapas com os arquivos gerados por meio do uso dos plugins.

O fluxograma apresentado na Figura 6 mostra detalhadamente as etapas do procedimento de caracterização morfométrica.

Figura 6 – Fluxograma das etapas da Caracterização morfométrica



Fonte: Autor

4.3.1 Características Geométricas

Área da Bacia (A)

A área de drenagem de uma bacia hidrográfica corresponde a área da projeção horizontal inclusiva entre seus divisores topográficos (Villela e Mattos, 1975).

Quanto maior for a área, maior será o volume de água captado durante uma precipitação.

Perímetro (P)

Segundo Tonello (2005), o perímetro da bacia constitui o comprimento da linha imaginária ao longo do divisor de águas.

Comprimento axial (La)

O comprimento axial consiste na distância medida quando se segue o curso d'água principal, desde sua desembocadura até a cabeceira mais distante na bacia (Villela e Mattos, 1975).

Coefficiente de Compacidade (Kc)

O coeficiente de compacidade ou índice de Gravelius, é a relação entre o perímetro (P) e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia. É um número adimensional cujo valor indica a irregularidade da forma da bacia. Valores altos indicam que a bacia tem formato irregular, e valores próximos a unidade indicam que a bacia é circular. Se os valores para os outros fatores forem iguais, a tendência para maiores enchentes aumenta quanto mais próximo da unidade for o valor desse coeficiente (Villela e Mattos, 1975).

Sua fórmula pode ser escrita da seguinte forma:

$$Kc = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Onde:

P = Perímetro da bacia (km)

A = Área da bacia (km²)

A interpretação dos resultados foi feita a partir da classificação sugerida por Nardini et. al (2013), conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Classificação dos valores do Coeficiente de Compacidade (Kc)

Intervalos	Formato da bacia hidrográfica	Interpretação ambiental
1,00 < Kc < 1,24	Redonda	Alta tendência a enchentes
1,25 < Kc < 1,50	Ovalada	Tendência mediana a enchentes
1,50 < Kc < 1,70	Oblonga	Baixa tendência a enchentes
Kc > 1,70	Comprida	Tendência a conservação

Fonte: Nardini et. al (2013)

Fator de Forma (Kf)

É a relação entre a largura média e o comprimento axial (La) da bacia. Para bacias de mesma área, quanto maior for o valor do comprimento axial (La), menor será o valor do fator de forma (Kf), e conseqüentemente estará menos sujeita a enchentes. Isso se deve ao fato de que em bacias mais estreitas e longas (baixa circularidade), a contribuição do volume de água captado pelos tributários e direcionado para o curso d'água principal é distribuída em vários pontos ao longo desse curso (Villela e Mattos, 1975).

Sua fórmula pode ser escrita dessa maneira:

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

Onde:

A = Área da bacia (km²)

La = Comprimento axial (km)

Para a interpretação dos resultados, foi utilizada a classificação sugerida por Nardini et. al (2013), conforme a Tabela 5.

Tabela 5 Classificação dos valores do Fator de Forma (Kf)

Intervalos	Formato da bacia hidrográfica	Interpretação ambiental
0,75 < Kf < 1,00	Redonda	Alta tendência a enchentes
0,50 < Kf < 0,75	Ovalada	Tendência mediana a enchentes
0,30 < Kf < 0,50	Oblonga	Baixa tendência a enchentes
Kf < 0,30	Comprida	Tendência a conservação

Fonte: Nardini et. al (2013)

Índice de Circularidade (Ic)

Segundo Schumm (1956), o índice de circularidade (I_c) é a relação entre o raio de uma circunferência com a mesma área da bacia (A), e seu perímetro (P). A fórmula pode também ser escrita dessa forma:

$$I_c = 12,57 \times \frac{A}{P^2}$$

Onde:

A = Área da bacia (km^2)

P = Perímetro da bacia (km)

Os resultados obtidos podem ser utilizados como indicativos para a sua forma e a tendência de ocorrência de enchentes, conforme classificação proposta por Nardini et. al (2013) na Tabela 6.

Tabela 6 Classificação dos valores do Índice de circularidade (I_c)

Intervalos	Formato da bacia hidrográfica	Interpretação ambiental
$0,80 < I_c < 1,00$	Redonda	Alta tendência a enchentes
$0,60 < I_c < 0,80$	Ovalada	Tendência mediana a enchentes
$0,40 < I_c < 0,60$	Oblonga	Baixa tendência a enchentes
$I_c < 0,40$	Comprida	Tendência a conservação

Fonte: Nardini et. al (2013)

4.3.2 Características da Rede de Drenagem

Ordem dos cursos d'água (R_b)

É uma classificação que reflete o grau de ramificação ou bifurcação de uma bacia (Villela e Mattos, 1975).

A metodologia segue critérios introduzidos por Horton (1945) e modificados por Strahler (1952), no qual são considerados de primeira ordem os canais que não possuem tributários; quando dois canais de primeira ordem se unem forma-se um canal de segunda ordem; a junção de dois canais de segunda ordem forma um de terceira ordem e assim sucessivamente (Villela e Mattos, 1975).

Densidade Hidrográfica (D_h)

A densidade hidrográfica relaciona o número de canais (N) com a área da bacia (A), conforme proposto por Horton (1945). Seu cálculo é importante pois

representa a capacidade que uma bacia tem de gerar novos cursos d'água (Christofolletti, 1980).

$$Dh = \frac{N}{A}$$

Onde:

N = Número de cursos d'água

A = Área da Bacia (km)

Para a análise dos resultados foi adotada a classificação sugerida por Moura (2013), que relaciona o valor obtido com a tendência a enchentes, conforme a Tabela 7.

Tabela 7 - Classificação dos valores da Densidade Hidrográfica (Dh)

Intervalos da densidade hidrográfica (canais/km ²)	Tendência a enchentes
Dh < 2,0	Alta
2,0 < Dh < 4,0	Moderada
Dh > 4,0	Baixa

Fonte: Moura (2013)

Densidade de Drenagem (Dd)

Relaciona o comprimento total dos cursos d'água (Lt) e a área da bacia (A), e indica a eficiência que a bacia tem para drenar as águas captadas em sua delimitação. O índice varia de 0,5 km/km², para bacias com baixa drenagem, a 3,5 km/km² para bacias com alta capacidade de drenagem (Villela e Mattos, 1975).

Sua fórmula foi elaborada por Horton (1945), conforme se encontra abaixo:

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

Onde:

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

A = Área da bacia (km²)

Quanto maior for valor da densidade de drenagem, menor é a capacidade de infiltrar, dessa forma, valores baixos indicam que a região é mais favorável à

infiltração contribuindo com o lençol freático. A densidade de drenagem se relaciona com os processos climáticos atuantes na área estudada e depende do comportamento hidrológico das rochas, de forma que rochas mais impermeáveis contribuem para o escoamento superficial, possibilitando a formação de canais e, conseqüentemente, aumentando a densidade de drenagem (Moura, 2013).

Foi adotada a classificação sugerida por Nardini et. al (2013), que relaciona o valor obtido com a capacidade de escoamento superficial, infiltração e tendência a erosão, conforme disposto na Tabela 8.

Tabela 8 - Classificação dos valores da Densidade de Drenagem (Dd)

Intervalos (km/km ²)	Interpretação ambiental
Dd < 1,50	Baixo escoamento superficial e maior infiltração
1,50 < Dd < 2,50	Tendência mediana de escoamento superficial
2,50 < Dd < 3,00	Alta tendência ao escoamento superficial e enxurradas
Dd > 3,00	Alta tendência ao escoamento superficial, enxurradas e erosão

Fonte: Nardini et. al (2013)

Índice de Sinuosidade (Is)

Relaciona o comprimento do curso d'água principal (L) e o comprimento axial (La), e é um fator relacionado ao controle da velocidade de escoamento (Villela e Mattos, 1975).

Segundo Lana (2001) valores próximos a 1,0 indicam que o canal tende a ser retilíneo, valores superiores a 2,0 sugerem canais tortuosos, e valores intermediários indicam formas transicionais, regulares e irregulares.

A sua fórmula foi proposta por Schumm (1963):

$$Is = \frac{L}{La}$$

Onde:

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

La = Comprimento axial (km)

Para a interpretação dos resultados foi utilizada a classificação sugerida por Moura (2013), que relaciona o valor obtido com a tendência a ocorrência de enchentes conforme Tabela 9.

Tabela 9 Classificação dos valores do Índice de Sinuosidade (Is)

Intervalos do índice de sinuosidade	Tendência a enchentes
$Is < 1,40$	Alta
$1,40 < Is < 1,75$	Moderada
$Is > 1,75$	Baixa

Fonte: Moura (2013)

Coefficiente de manutenção (Cm)

O coeficiente de manutenção (Cm) conforme proposto por Schumm (1956), é igual ao inverso do valor da densidade de drenagem (Dd) multiplicado por 1000. Ele indica a área de drenagem necessária para a manutenção de um metro linear do canal de escoamento. Seu valor é expresso em m²/m.

$$Cm = 1000 \times \frac{1}{Dd}$$

Onde:

Dd = Densidade de drenagem

Segundo Rodrigues, Lisboa e Silva (2017), quanto mais alto for o valor do coeficiente de manutenção, maior será a capacidade que o canal terá de se manter ativo. O coeficiente de manutenção evidencia as áreas de recarga hídrica, podendo ser associado ao índice de impermeabilização do solo e ao tipo de substrato rochoso, e dessa forma permite avaliar o risco de disponibilidade hídrica (Machado et. al 2011).

Comprimento total dos cursos d'água (Lt)

Corresponde ao somatório do comprimento de todos os cursos d'água presentes na bacia hidrográfica, seu valor é expresso em km.

Comprimento do curso d'água principal (L)

Corresponde ao comprimento, expresso em km, do curso d'água com maior extensão, cuja extensão percorre desde a nascente até a foz.

Número de cursos d'água (N)

Representa a quantidade de cursos d'água presentes na bacia.

Tempo de concentração (Tc)

O tempo de concentração é o tempo do percurso da água precipitada desde o ponto mais afastado da bacia hidrográfica até a seção de referência (neste caso o exutório), e representa uma variável muito importante na determinação do hidrograma do escoamento numa bacia hidrográfica assim como para o dimensionamento de sistemas de drenagem (Mata-Lima, 2007).

A fórmula seguinte corresponde ao método empírico de Ventura, conforme está presente no IEP (2001).

$$Tc = 240 \times \sqrt{\frac{A \times L}{Hm}}$$

Onde:

A = Área da bacia (km²)

L = Comprimento do curso d'água principal (km²)

Hm = Amplitude

4.3.3 Características do Relevo

Declividade média (Dm)

A declividade média foi calculada através do software Quantum GIS. A imagem recortada do Modelo Digital de Elevação (MDE) conforme a delimitação da bacia, foi processada usando o comando "r.slope.aspect" para obter um arquivo do tipo "raster" com as informações sobre a declividade. Esse arquivo foi convertido para o tipo "vetor" usando o comando "Raster para vetor", e posteriormente, através do uso da ferramenta "calculadora de campo" foi feito o somatório do valor das declividades de todos os espaços gerados, e esse valor foi dividido pelo número de espaços gerados.

Foi utilizada a classificação sugerida pela EMBRAPA (2018), conforme está disposto na Tabela 10.

Tabela 10 Classificação dos valores da Declividade média (Dm)

Intervalos (%)	Classes de Relevô
0 < Dm < 3	Plano
3 < Dm < 8	Suave ondulado
8 < Dm < 20	Ondulado
20 < Dm < 45	Forte ondulado
45 < Dm < 75	Montanhoso
Dm > 75	Escarpado

Fonte: Embrapa (2018)

Relação de Relevô (Rr)

Segundo Schumm (1956) a relação de relevô (Rr) é a relação entre a amplitude altimétrica (Hm) e o comprimento axial (La).

$$Rr = \frac{Hm}{La}$$

Onde:

Hm = Amplitude altimétrica (m)

La = Comprimento axial (km)

Foi adotada a classificação proposta por Gerber et. al (2018), conforme disposto na Tabela 11.

Tabela 11 Classificação dos valores da Relação de relevô (Rr)

Intervalos (m/km)	Interpretação
0 < Rr < 100	Baixa tendência a enchentes
130 < Rr < 300	Tendência média a enchentes
310 < Rr < 600	Alta tendência a enchentes

Fonte: Gerber et. al (2018)

Altitude mínima (e_min)

É a menor altitude, expressa em metros, presente na bacia hidrográfica.

Altitude máxima (e_máx)

É a maior altitude, expressa em metros, presente na bacia hidrográfica.

Amplitude altimétrica (Hm)

É a diferença de altitude, expressa em metros, entre o ponto mais alto e mais baixo da bacia.

Índice de Rugosidade (Ir)

Segundo Christofolletti (1980), o índice de rugosidade é expresso por um número adimensional que resulta do produto entre a amplitude altimétrica (Hm) e a densidade de drenagem (Dd).

$$Ir = Hm \times Dd$$

Onde:

Hm = Amplitude altimétrica (m)

Dd = Densidade de drenagem (km/km²)

A classificação dos resultados foi baseada na interpretação do valor do índice de rugosidade atribuída nos trabalhos de Souza et. al (2017), que considerou valores de Ir abaixo de 150 como indicadores de fraca rugosidade e declividade média em torno de 3%, e Sousa e Rodrigues (2012), que considerou o valor obtido de 380 como sendo um índice médio, indicador de relevo predominantemente suave ondulado, e, portanto, com maior favorabilidade à infiltração. A classificação está disposta na Tabela 12.

Tabela 12 Classificação dos valores do Índice de Rugosidade (Ir)

Intervalos	Interpretação
0 < Ir < 150	Baixa rugosidade e declividade média em torno de 3%
150 < Ir < 500	Rugosidade média, relevo suave e ondulado, mais favorável a infiltração

Fonte: Souza et. al (2017); Sousa e Rodrigues (2012)

4.4 IDENTIFICAÇÃO DE CONEXÕES ENTRE OS RIACHOS URBANOS E AS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO

As conexões existentes entre os riachos da zona urbana da sede do município de Petrolina-PE, e os elementos do saneamento básico, especificamente as Estações de Tratamento de Esgoto (ETE's), foram identificadas através de informações contidas do Plano Municipal de Petrolina-PE (2019), e da análise de

imagens de satélite obtidas pelo Google Satellite no software Quantum GIS e Google Earth Pro.

4.5 LOCALIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DOS CANAIS DE MACRODRENAGEM URBANA

Os canais de macrodrenagem urbana foram localizados através da análise de imagens de Google Satellite e Google Street View, disponíveis no software Google Earth Pro. Os canais foram identificados numericamente.

4.6 LOCALIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE LAGOAS MARGINAIS

Devido a grande quantidade de lagoas marginais presentes no município, foi determinado que seriam localizadas apenas aquelas presentes nas áreas nas quais serão estudadas as modificações temporais devido a ocupação antrópica, que serão detalhadas no próximo tópico.

A localização dessas lagoas foi realizada a partir da análise de imagens de satélite obtidas no software Google Earth Pro. A identificação foi realizada de forma numérica, seguindo a ordem estabelecida das áreas críticas.

4.7 IDENTIFICAÇÃO DAS MODIFICAÇÕES TEMPORAIS DEVIDO A OCUPAÇÃO ANTRÓPICA

A identificação das modificações temporais antrópicas no uso e ocupação do solo, feita através da análise de imagens de satélite obtidas no software Google Earth Pro. Foram obtidas imagens em locais específicos, as áreas críticas, que foram analisadas visualmente de modo a identificar as modificações.

As imagens analisadas foram obtidas no período entre os anos de 2005 e 2024. Devido a grande quantidade de imagens disponíveis neste período (aproximadamente 40), foi determinado que para cada área crítica, seriam selecionadas uma quantidade mínima de 3 e máxima de 5 imagens.

Para facilitar a visualização das mudanças ocorridas ao longo do tempo, em cada área foram delimitados espaços urbanos nos quais foram identificados o maior grau de disparidade de seu uso e ocupação durante o período analisado. Além disso foram localizadas e identificadas as lagoas marginais pertencentes a cada área crítica.

4.7.1 Definição das Áreas críticas

As áreas críticas são locais específicos dentro da zona urbana de Petrolina-PE, nas quais foram observadas modificações antrópicas mais intensas ao longo do período definido (entre 2005 e 2024), a partir de uma análise visual prévia das imagens de satélite obtidas pelo software Google Earth Pro.

A partir dessa análise, foram selecionadas quatro áreas que incorporam elementos do saneamento básico, como Estações de Tratamento de Esgoto (ETE's) e canais de drenagem, e elementos da hidrografia do município, como riachos e lagoas. O critério utilizado para definição das áreas foi o grau de mudança observado em seu espaço ao longo do período analisado, relativo ao uso e ocupação do solo (como a expansão da pavimentação asfáltica) e às modificações antrópicas próximas aos elementos da rede de drenagem natural urbana do município, assim como o uso desses elementos para despejo de efluentes tratados oriundo das ETE's. Foram selecionadas as áreas que apresentaram mais mudanças durante o período no qual as imagens foram registradas.

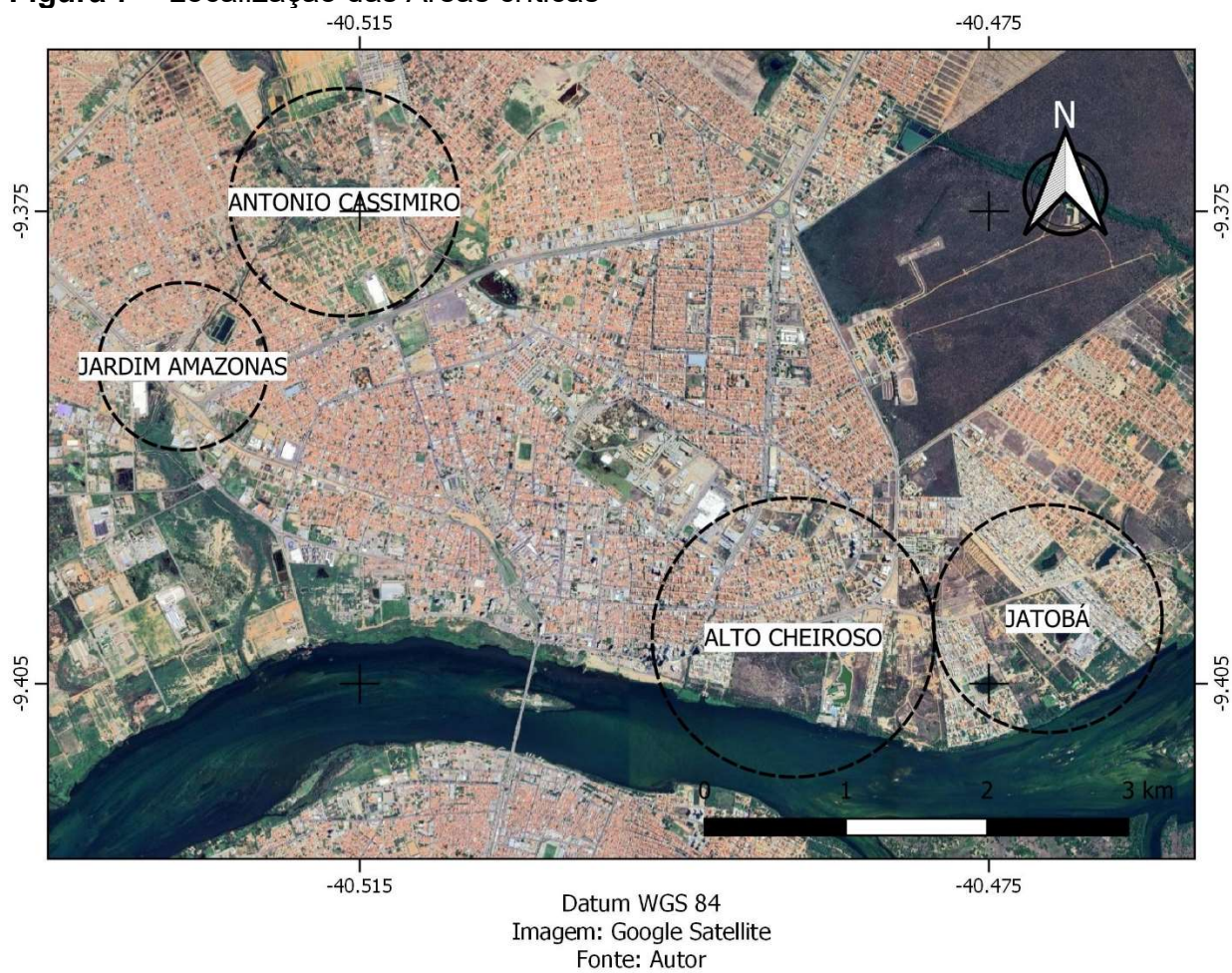
O Quadro 2 apresenta as áreas estudadas, que foram denominadas conforme o bairro onde se localizam, de acordo com a divisão territorial presente no Plano Diretor do município prevista na Lei nº 34 de 2022. Este quadro também apresenta o raio de abrangência aproximado dessas áreas.

Quadro 3 – Identificação das áreas críticas

Nome da área crítica	Raio de abrangência aproximado (m)
Jardim Amazonas	600
Alto Cheiroso	1000
Antônio Cassimiro	800
Jatobá	800

Fonte: Autor

A localização das áreas críticas e a representação do seu raio de abrangência se encontra na Figura 7.

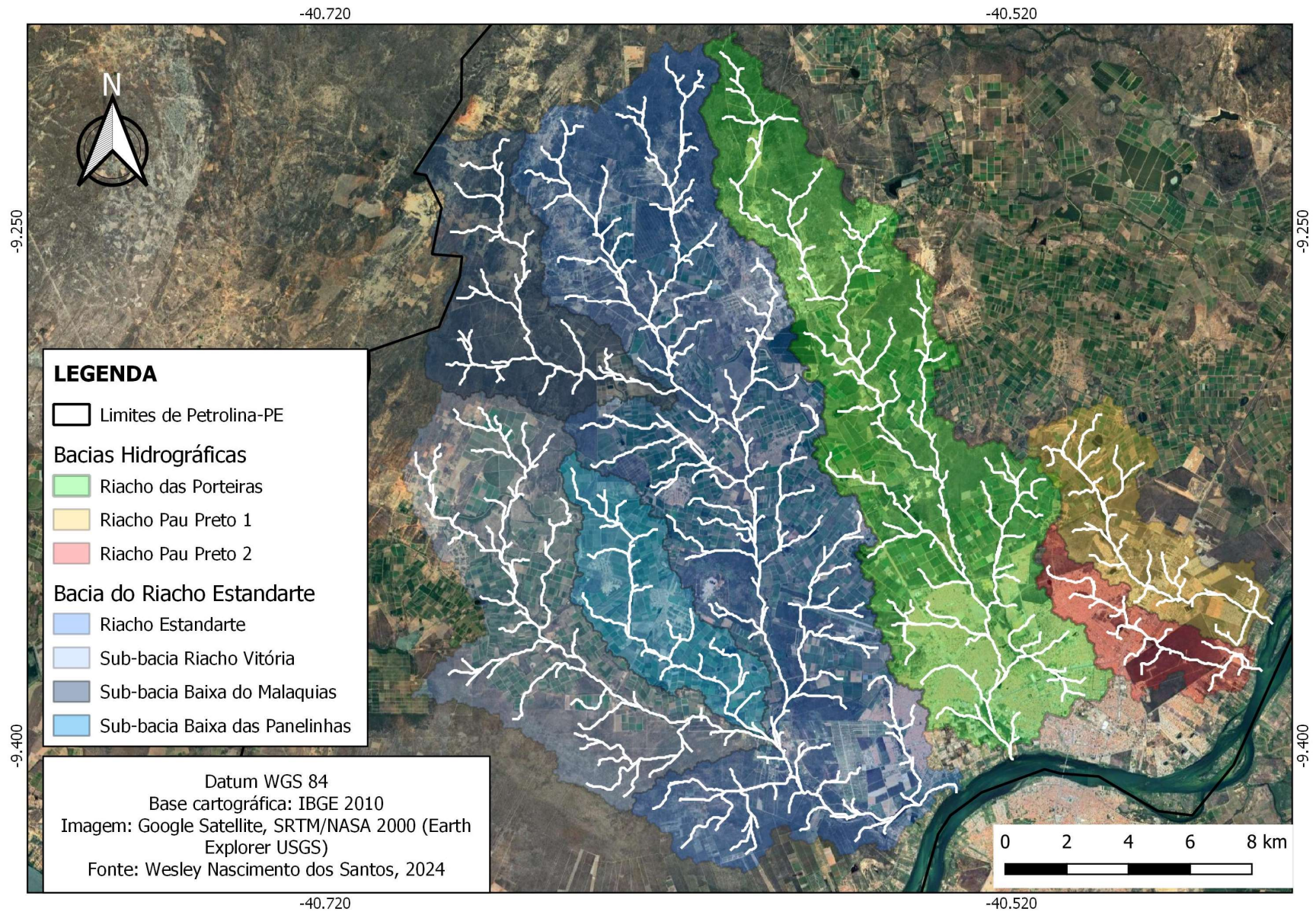
Figura 7 – Localização das Áreas críticas

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA

A rede de macrodrenagem da zona urbana da sede do município de Petrolina-PE é composta por 4 bacias hidrográficas, que se estendem do interior do município, passam pela zona urbana e desaguam no Rio São Francisco. São elas: Bacia do Riacho das Porteiras, Bacia do Riacho Estandarte, Bacia do Riacho Pau Preto 1 e Bacia do Riacho Pau Preto 2.

A Figura 8 ilustra a delimitação das Bacias Hidrográficas da zona urbana da sede de Petrolina-PE, e sua rede hidrográfica.

Figura 8 – Delimitação e rede hidrográfica das Bacias Hidrográficas da zona urbana de Petrolina-PE

A Tabela 13 mostra os valores relativos à caracterização morfométrica das Bacias Hidrográficas do Riacho das Porteiras e do Riacho Estandarte obtidos por Santos, Nunes e Amorim (2022) e Santos e Amorim (2023) respectivamente, adiciona os resultados dos parâmetros que não foram calculados, e corrige o valor do índice de rugosidade obtido no trabalho de 2023. Além disso, a tabela apresenta os resultados obtidos neste trabalho relativo à caracterização morfométrica dos Riachos Pau Preto 1 e 2.

Tabela 13 – Resultado dos parâmetros morfométricos estudados

Parâmetro	Bacia do Riacho das Porteiras	Bacia do Riacho Estandarte	Bacia do Riacho Pau Preto 1	Bacia do Riacho Pau Preto 2
Altitude máxima	523 <i>m</i>	541 <i>m</i>	406 <i>m</i>	401 <i>m</i>
Altitude mínima	358 <i>m</i>	367 <i>m</i>	361 <i>m</i>	357 <i>m</i>
Amplitude altimétrica	165 <i>m</i>	174 <i>m</i>	45 <i>m</i>	44 <i>m</i>
Área da Bacia	107 <i>km</i> ²	284,5 <i>km</i> ²	25,8 <i>km</i> ²	14,84 <i>km</i> ²
Coefficiente de compacidade	2,78	2,10	2,36	2,54
Coefficiente de manutenção	775 <i>m</i> ² / <i>m</i>	755 <i>m</i> ² / <i>m</i>	684 <i>m</i> ² / <i>m</i>	692 <i>m</i> ² / <i>m</i>
Comprimento axial	24,95 <i>km</i>	25,42 <i>km</i>	10,3 <i>km</i>	8,24 <i>km</i>
Comprimento do curso d'água principal	30,76 <i>km</i>	34,75 <i>km</i>	11,88 <i>km</i>	9,63 <i>km</i>
Comprimento total dos cursos d'água	138,19 <i>km</i>	376,74 <i>km</i>	37,72 <i>km</i>	21,45 <i>km</i>
Declividade média	3,50 %	3,50 %	2,51 %	2,35 %
Densidade de drenagem	1,29 <i>km</i> / <i>km</i> ²	1,32 <i>km</i> / <i>km</i> ²	1,46 <i>km</i> / <i>km</i> ²	1,45 <i>km</i> / <i>km</i> ²
Densidade hidrográfica	1,87 <i>km</i> ⁻²	1,92 <i>km</i> ⁻²	2,17 <i>km</i> ⁻²	2,36 <i>km</i> ⁻²
Fator de forma	0,17	0,44	0,24	0,22
Índice de circularidade	0,12	0,22	0,18	0,15
Índice de rugosidade	213	230	66	64
Índice de sinuosidade	1,23	1,37	1,15	1,17
Número de cursos d'água	201	546	56	35
Ordem de cursos d'água	4	5	3	3
Perímetro	102,92 <i>km</i>	126,67 <i>km</i>	42,77 <i>km</i>	34,88 <i>km</i>

Relação de relevo	6,61 <i>m/km</i>	6,85 <i>m/km</i>	4,37 <i>m/km</i>	5,34 <i>m/km</i>
Tempo de concentração	1072 <i>min</i>	1809 <i>min</i>	626 <i>min</i>	432 <i>min</i>

Fonte: Autor

A Bacia do Riacho Estandarte é a maior das quatro, e possui uma área de 284,54 km², 546 cursos d'água que somam 376,74 km de extensão, e é classificada como uma bacia de 5^a ordem, segundo a classificação de Strahler (1945). É composta pelo Riacho Estandarte e 3 sub-bacias: Baixa das Panelinas, Baixa do Malaquias, e Riacho Vitória (Santos e Amorim, 2023).

A Bacia do Riacho das Porteiras passa pela região central da zona urbana do município, possui área de 107,12 km², 201 cursos d'água que somam 138,19 km de extensão, e é classificada como uma bacia de 4^a ordem, segundo a classificação de Strahler (1945). É classificada como uma unidade hidrológica de médio porte e possui drenagem bem ramificada (Santos, Nunes e Amorim, 2022).

A identificação do Riacho Pau Preto conforme o Plano Municipal de Saneamento Básico de Petrolina (2019) inferiu que este se tratava de um único riacho apenas. Entretanto, durante a caracterização morfométrica, após a delimitação das bacias e obtenção da rede hidrográfica, concluiu-se que o Riacho receptor de efluentes tratados das ETE's Recife, Vila Marcela e Dom Avelar se tratava na verdade de dois Riachos, que foram denominados Riacho Pau Preto 1 e 2.

A Bacia do Riacho Pau Preto 1 possui área de 25,8 km², 56 cursos d'água que somam 37,72 km de extensão, e é classificada como uma bacia de 3^a ordem, enquanto a Bacia do Riacho Pau Preto 2, a menor das quatro bacias estudadas, possui área de 14,84 km², 35 cursos d'água que somam 21,45 km de extensão, e é classificada como bacia de 3^a ordem.

Todas as bacias estudadas apresentam formato alongado, fato que pode ser comprovado a partir dos altos valores obtidos para o coeficiente de compacidade, e os baixos valores para o fator de forma e índice de circularidade. O formato alongado permite que a contribuição de água pelos afluentes seja feita de forma bem distribuída ao longo do curso d'água principal, o que diminui a probabilidade de ocorrência de enchentes, isso ocorre porque, quanto mais alongada for a bacia, menor será a contribuição média (de água) por cada afluente ao curso d'água principal, pois a área

de captação desses afluentes será menor se comparada a de bacias com formato circular (Santos, Nunes e Amorim, 2022).

Conforme a classificação proposta por Nardini et. al (2013), para todas as bacias estudadas, os valores obtidos para o coeficiente de compacidade (K_c) e índice de circularidade (I_c), indicam que possuem tendência a conservação, ou seja, não há tendência para enchentes. Já para os valores do fator forma, a bacia do Riacho Estandarte apresentou baixa tendência a enchentes enquanto as outras bacias, apresentaram tendência a conservação, ou seja, sem risco para enchentes.

Quanto a sua rede de drenagem, a bacia do Riacho Estandarte e Riacho das Porteiras são classificadas como bacias bem ramificadas, conforme classificação proposta por Strahler (1945). Isso também é comprovado através dos valores obtidos da densidade hidrográfica para todas as bacias, que revelam alta capacidade para geração de novos cursos d'água, conforme Lana, Alves e Castro (2001).

Segundo Moura (2013), quanto mais hierarquizadas forem as bacias, ou seja, quanto maior for o valor da densidade de drenagem (D_d) e da densidade hidrográfica (D_h), menor será a sua velocidade de escoamento e a tendência a cheias rápidas, já que possuem maior número de ramificações.

A densidade hidrográfica obtida indica que as bacias do Riacho das Porteiras e Riacho estandarte possuem alta tendência a enchentes, enquanto para as bacias do Riacho Pau Preto 1 e 2 indica que possuem tendência moderada a enchentes, segundo classificação de Moura (2013).

Quanto a densidade de drenagem, os resultados indicam que todas as bacias possuem baixo escoamento superficial e maior capacidade para infiltração conforme classificação de Nardini et. al (2013).

Os baixos valores obtidos para o índice de sinuosidade (próximos a 1), indicam que os canais principais dos riachos tendem a ser retilíneos, sendo que a bacia com maior sinuosidade foi a do Riacho das porteiras, cujo valor foi 1,37. Segundo a classificação de Moura (2013), os valores obtidos para todas as bacias indicam alta tendência a enchentes.

As bacias também apresentaram valores semelhantes para seu coeficiente de manutenção, com valores próximos a $725 \text{ m}^2/\text{m}$, ou seja, para as bacias são necessários aproximadamente 725 m^2 de área de captação para cada metro de canal de drenagem.

Os valores obtidos para o tempo de concentração variaram conforme o tamanho da bacia hidrográfica, sendo que a bacia do Riacho Estandarte, a maior entre as 4, apresentou o maior valor, equivalente a 1809 minutos, ou seja, a água precipitada leva cerca de 30 horas para percorrer o caminho desde o ponto mais longínquo até o exutório. Já para a bacia do Riacho Pau Preto 2, são necessários 432 minutos, equivalente a aproximadamente 7 horas, para que a água da chuva percorra o caminho desde o ponto mais longínquo até o exutório.

Quanto ao relevo, as bacias apresentaram baixa amplitude altimétrica e baixa declividade média. Segundo a classificação da EMBRAPA (2018) para a declividade média, as bacias do Riacho das Porteiras e Riacho Estandarte apresentam relevo suave ondulado, enquanto as bacias do Riacho Pau Preto 1 e 2 apresentam relevo plano.

Os valores obtidos para a relação de relevo (R_r) de todas as bacias, indicam que apresentam baixa tendência a enchentes conforme classificação proposta por Gerber et. al (2018).

Quando ao índice de rugosidade (I_r), os valores obtidos para as bacias do Riacho das Porteiras e Riacho Estandarte indicam baixa rugosidade e declividade média em torno de 3%, enquanto para as bacias do Riacho Pau Preto 1 e 2, indicam rugosidade média, relevo suave, ondulado, e mais favorável a infiltração, conforme classificação elaborada baseada nas conclusões obtidas por Souza et. al (2017) e Sousa e Rodrigues (2012).

5.2 IDENTIFICAÇÃO DAS CONEXÕES ENTRE OS RIACHOS URBANOS E AS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO

A hidrografia urbana de Petrolina é utilizada para despejo de efluentes tratados oriundos das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE). Segundo o Plano de Saneamento do município, do ano de 2019, há 9 Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) ativas espalhadas na zona urbana da sede do município.

O Plano de Saneamento do município também contém informações sobre a capacidade de tratamento de esgoto de cada estação, assim como o nome do corpo hídrico receptor do efluente tratado. O Riacho Mulungú faz parte da Bacia do Riacho das Porteiras, e o Rio Talúpio faz parte da Bacia do Riacho Estandarte. A tabela 14, retirada do documento citado, lista as informações sobre as ETE's.

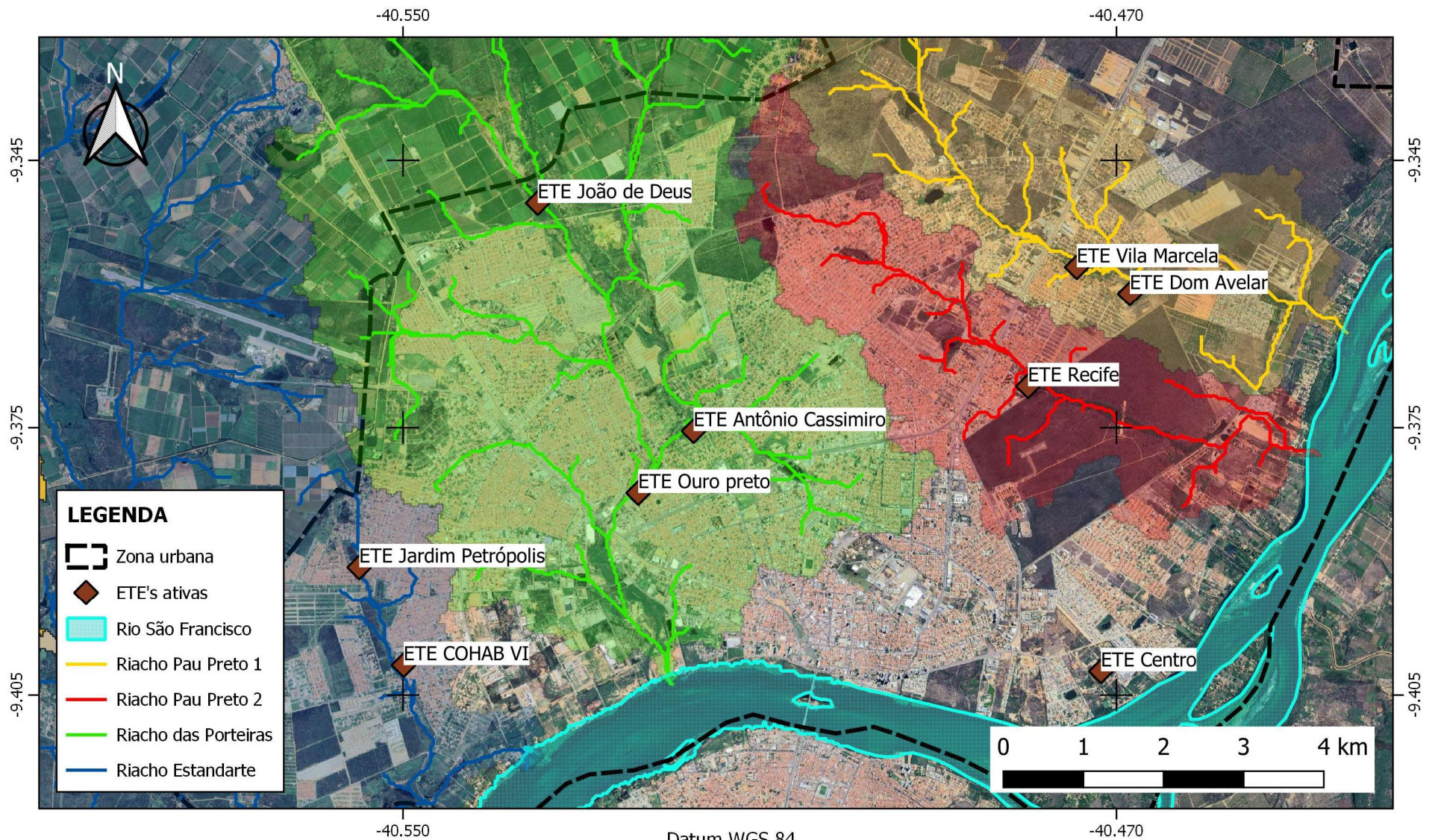
Tabela 14 – Estações de Tratamento de Esgoto Existentes

ETE	Capacidade (L/s)	Tipo de tratamento	Corpo receptor
Antônio Cassimiro	30,0	UASB + Filtro biológico + decantador	Riacho Mulungú
Centro	350,0	UASB+ Filtro biológico + decantador Leito de secagem + centrífuga UASB + Lagoa facultativa + lagoas de maturação.	Rio São Francisco
COHAB VI	8,0	Leitos de secagem (cobertos)	Rio Talúpio
Dom Avelar	30,0	Lagoa aerada + lagoa facultativa + lagoa de maturação	Riacho Pau Preto
João de Deus	35,2	Lagoa facultativa + lagoas de maturação	Riacho das Porteiras
Marcela	2,5	Lagoa facultativa + lagoas de maturação	Riacho Pau Preto
Ouro Preto	12,1	Lagoa facultativa + lagoas de maturação	Riacho Mulungú
Jardim Petrópolis			
Recife	24,3	Lagoa facultativa + lagoas de maturação	Riacho Pau Preto

Fonte: Prefeitura Municipal de Petrolina (2019)

A Figura 9 mostra a localização das ETE's assim como a rede hidrográfica dos Riachos urbanos do município. A partir de sua análise visual, conclui-se que o despejo de efluentes tratados é feito pelas ETE's Jardim Petrópolis e COHAB na bacia do Riacho Estandarte, pelas ETE's João de Deus, Antônio Cassimiro e Ouro Preto na bacia do Riacho das Porteiras, pelas ETE's Vila Marcela e Dom Avelar na bacia do Riacho Pau Preto 1 e pela ETE Recife na bacia do Riacho Pau Preto 2.

Figura 9 – Localização das ETEs ativas e rede hidrográfica dos Riachos urbanos

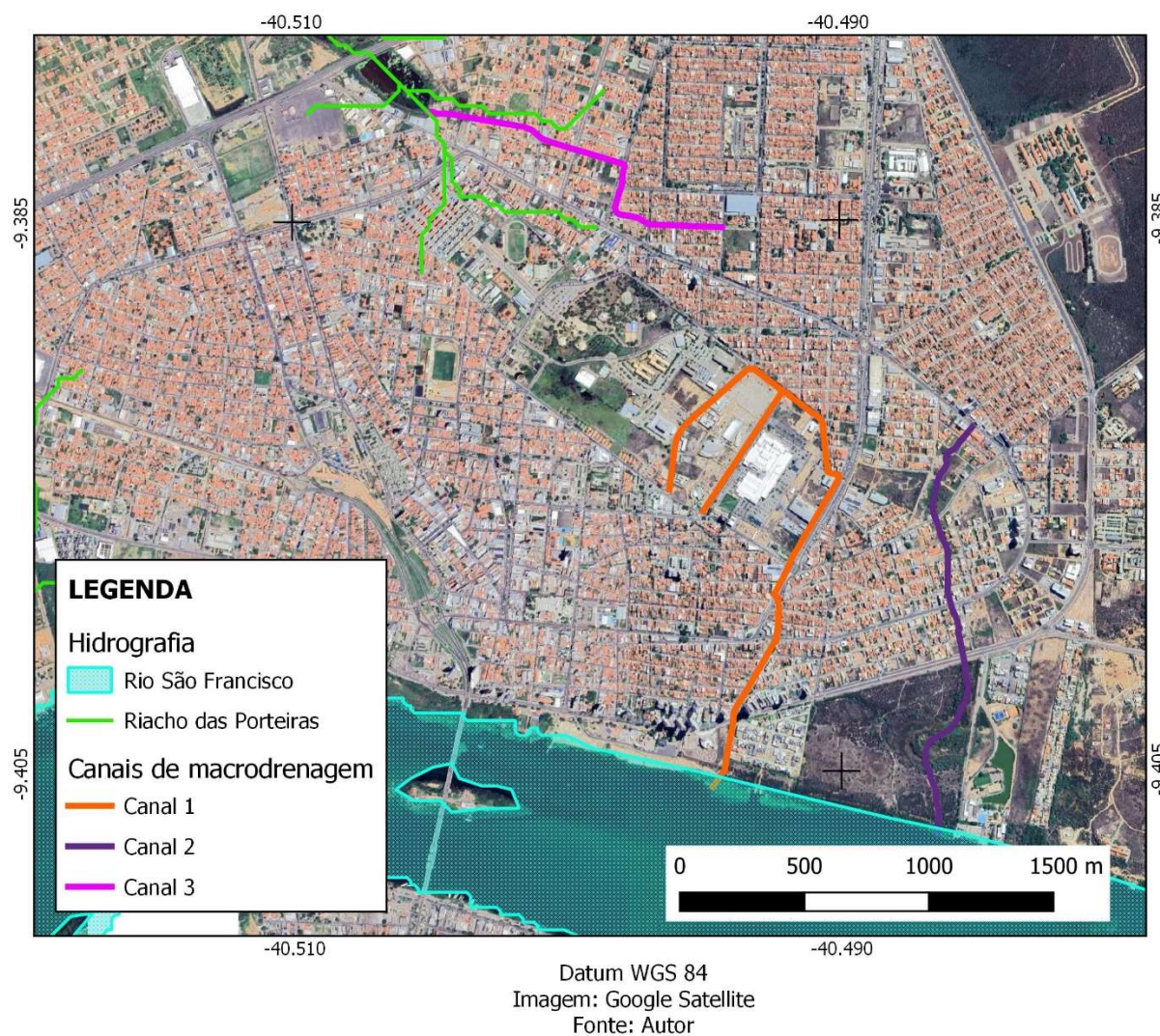


Datum WGS 84
 Imagem: Google Satellite
 Fonte: Prefeitura Municipal de Petrolina, 2019

5.3 LOCALIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DOS CANAIS DE MACRODRENAGEM URBANO

Além de ser usado para despejo de efluentes tratados, os riachos constituem elementos essenciais para a macrodrenagem pluvial do município, e dessa forma, atuam na captação e escoamento da água das chuvas. Além dos riachos, que foram identificados durante a caracterização morfométrica, foram identificados 3 canais pluviais urbanos. Todos os canais possuem trechos abertos (expostos ao ar livre), e trechos fechados. O canal 1 e 2 deságuam diretamente no Rio São Francisco, enquanto o canal 3 deságua no Riacho das Porteiras. A Figura 10 mostra os canais e os identifica.

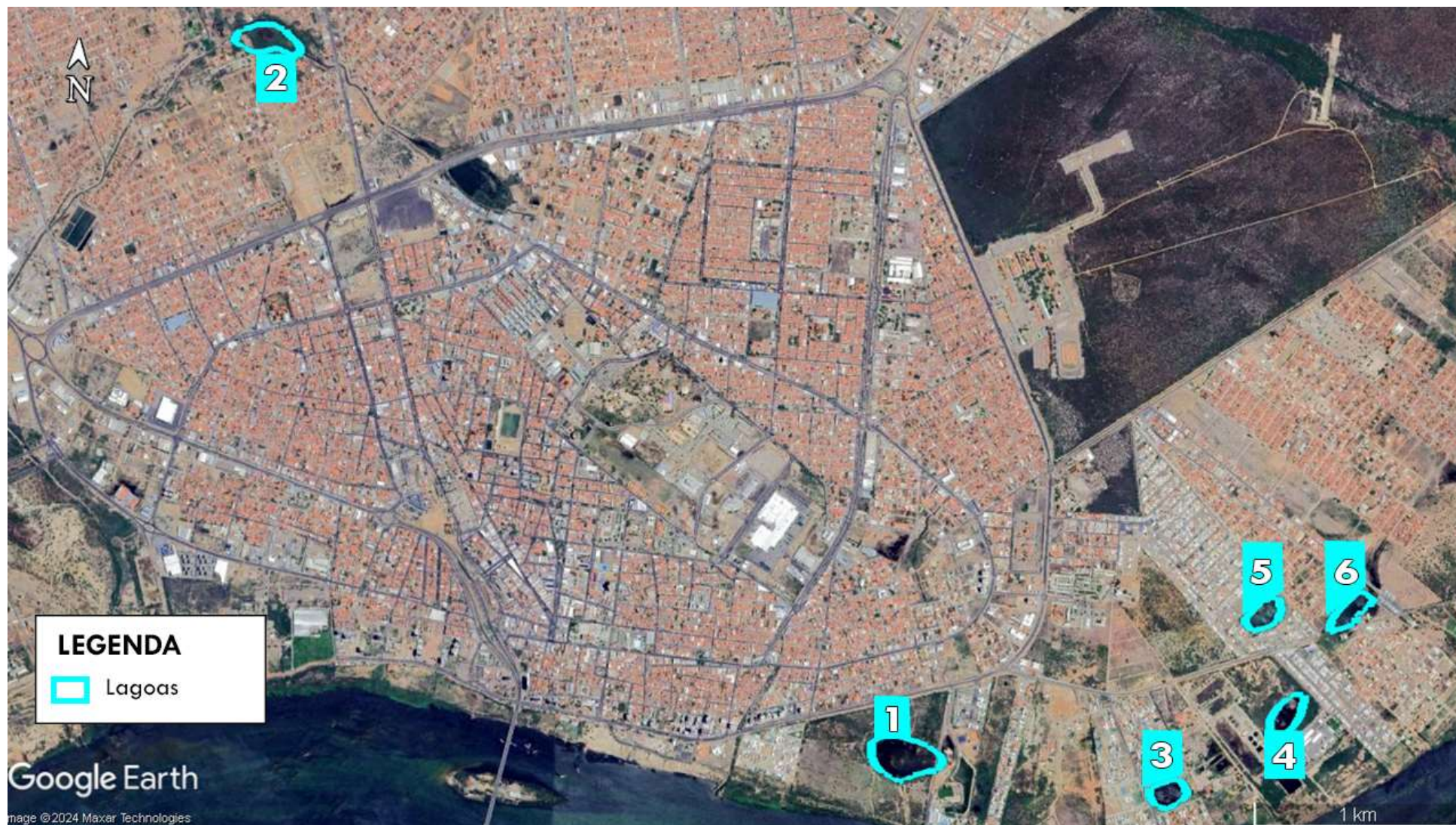
Figura 10 - Canais de Macrodrenagem urbana



5.4 LOCALIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DAS LAGOAS MARGINAIS

Foram localizadas 6 lagoas marginais nas áreas críticas definidas, uma na área Alto cheiroso, uma na área Antônio Cassimiro, e quatro na área Jatobá. A Figura 11, mostra a disposição dessas lagoas na área urbana de Petrolina-PE.

Figura 11 Lagoas marginais urbanas das áreas críticas



Fonte: Autor, 2024

5.5 IDENTIFICAÇÃO DAS MODIFICAÇÕES TEMPORAIS OCORRIDAS DEVIDO A OCUPAÇÃO ANTRÓPICA

Segundo Tucci (1995), a urbanização é um dos processos que causam as enchentes urbanas, isso ocorre porque com o desenvolvimento urbano, ocorre a impermeabilização do solo através de telhados, ruas, calçadas etc. Dessa forma, a parcela de água que infiltrava, passa a escoar pelos condutos, o que aumenta o escoamento superficial, ou seja, o volume que escoava lentamente pela superfície do solo e ficava retido pelas plantas, com a urbanização passa a escoar no canal, exigindo maior capacidade de escoamento das seções.

Conforme o crescimento e desenvolvimento do município ao longo dos anos, foi observado o processo de urbanização acelerado e a aproximação das construções aos Riachos e outros corpos hídricos. Essas mudanças foram identificadas e discutidas em cada uma das áreas críticas selecionadas: Jardim Amazonas, Alto Cheiroso, Antônio Cassimiro e Jatobá.

5.5.1 Jardim Amazonas

Nesta área crítica foram delimitados 2 espaços urbanos próximos a rede hidrográfica, que neste caso trata-se da bacia do Riacho das Porteiras, que atua como canal natural de macrodrenagem do município e como receptor de efluentes tratados.

Na área também estão presentes 2 Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), estando uma ativa, a ETE Ouro Preto (identificada pelo número 1), e uma inativa, a ETE Massangano (identificada pelo número 2).

Foram selecionadas 4 imagens de satélite, referentes aos anos de 2005, 2016, 2020 e 2024, nas quais foram identificadas mudanças mais significativas, que serão discutidas a seguir.

Figura 12 – Jardim Amazonas em outubro de 2005



Fonte: Google satellite

Em 2005, o espaço urbano 1 e 2 encontram-se desocupados, a ETE Ouro Preto (identificada pelo número 1) e Massangano (2), encontram-se ativas, e fazem uso do Riacho das Porteiras para despejo de efluentes tratados.

Figura 13 – Jardim Amazonas em outubro de 2016



Fonte: Google satellite

Em 2016, nota-se que as ETE's continuam ativas, e no espaço urbano 1, foi identificado a construção de vias públicas e loteamento do local. O espaço urbano 2 manteve-se inalterado.

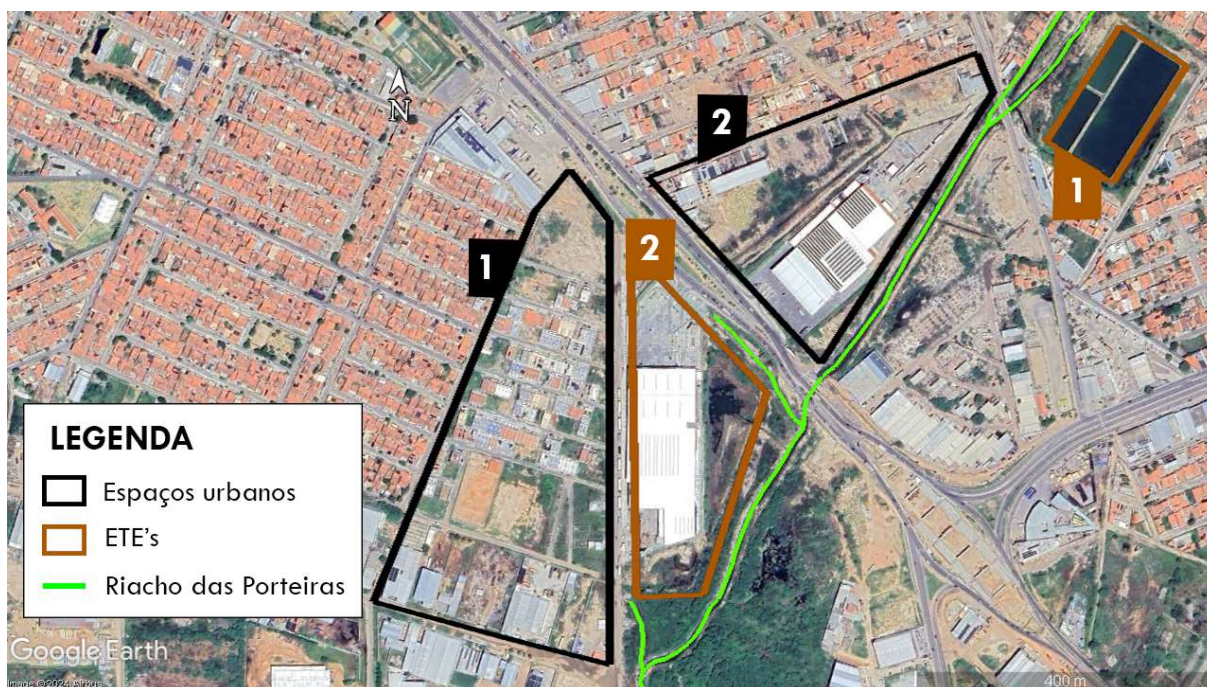
Figura 14 – Jardim Amazonas em setembro de 2020



Fonte: Google satellite

Em 2020, é notada a construção de várias edificações no espaço urbano 1 e a construção de um hipermercado no espaço 2. A ETE Massangano (2) se encontra desativada, e passa a ser aterrada.

Figura 15 – Jardim Amazonas em março de 2024



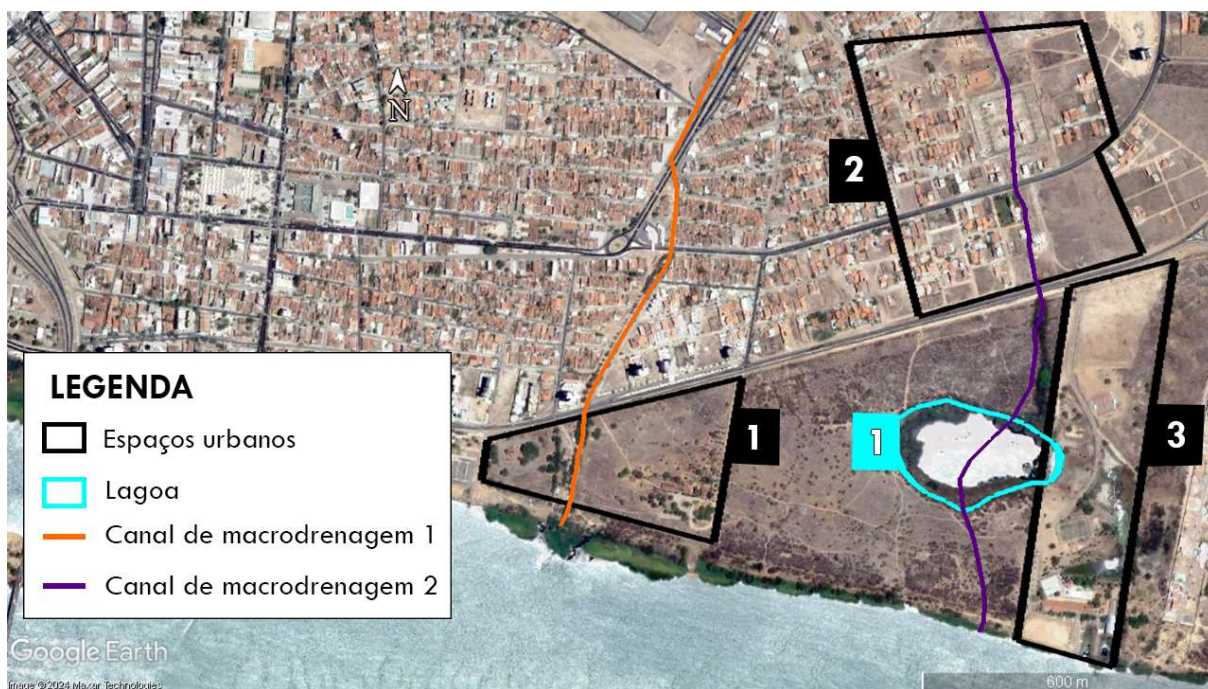
Fonte: Google satellite

Em 2024, notou-se um pequeno aumento no número de edificações no espaço 1, e no local onde se localizava a ETE Massangano (identificada pelo número 2), foi construído um hipermercado.

5.5.2 Alto Cheiroso

Nesta área crítica foram delimitados 3 espaços urbanos próximos a rede hidrográfica, que neste caso, se trata de uma lagoa e dois canais de macrodrenagem que desaguam no Rio São Francisco. O canal de macrodrenagem 1 atravessa o espaço urbano 1, enquanto o canal 2 atravessa o espaço 2 e a lagoa marginal 1. Foram selecionadas 3 imagens de satélite, referentes aos anos de 2005, 2014 e 2023.

Figura 16 – Alto Cheiroso em outubro de 2005



Fonte: Google satellite

Em 2005 os espaços urbanos 1 e 3 encontravam-se praticamente desocupados, e o espaço 2 tinha cerca de 30% de sua área ocupada por edificações. A lagoa 1 localizada estava cheia.

Figura 17 – Alto Cheiroso em setembro de 2014



Fonte: Google satellite

Em 2014, é notado a construção de um loteamento no espaço 1, assim como a construção de algumas edificações próximas a via pública. No espaço 2, há um aumento significativo no número de edificações em relação a 2005. No espaço 3, é notada a construção de um condomínio residencial. O trecho percorrido pelo canal de macrodrenagem 2 no espaço urbano 2, mostrou que este canal passa por baixo de residências assim como de um condomínio residencial do local.

Figura 18 - Alto Cheiroso em junho de 2023



Fonte: Google satellite

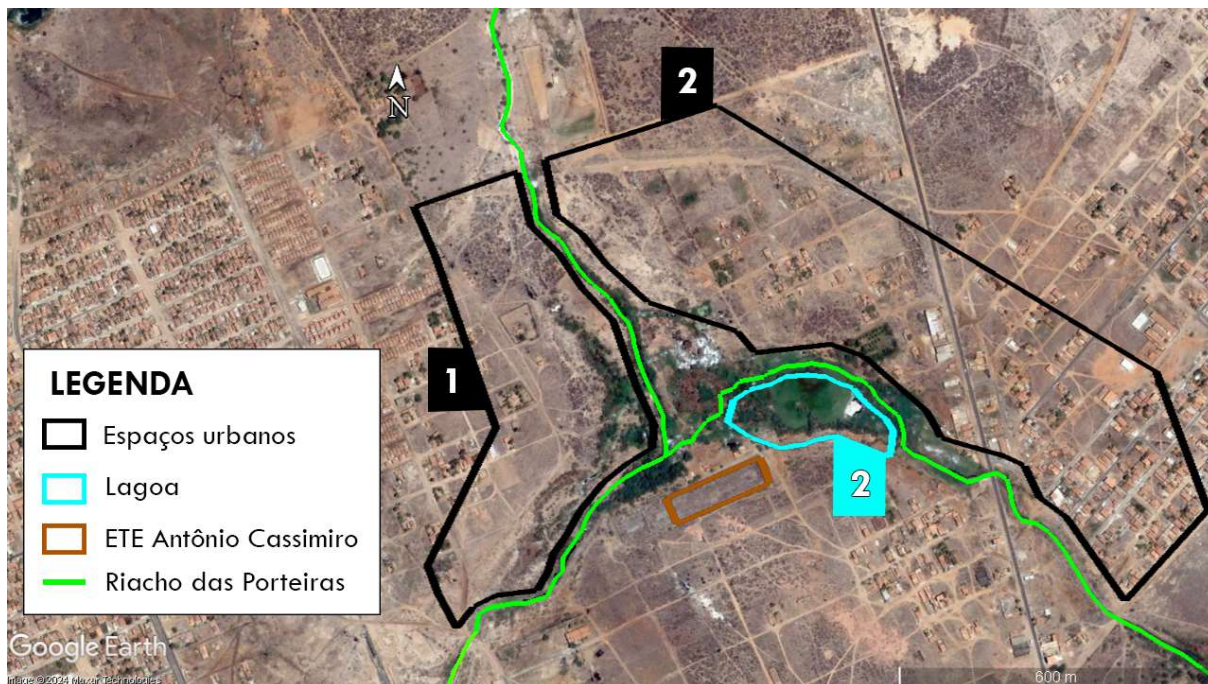
Em 2023, é notado um aumento significativo na ocupação do espaço urbano 1, no qual foi construído um condomínio residencial no lado direito de onde passa o canal de macrodrenagem 1. É notado um pequeno aumento no número de edificações no espaço 2, e o espaço 3 encontra-se praticamente inalterado em relação a 2014.

5.5.3 Antônio Cassimiro

Nesta área crítica foram delimitados 2 espaços urbanos próximas a rede hidrográfica, que neste caso trata-se da bacia do Riacho das Porteiras, que atua como canal natural de macrodrenagem e receptor de efluentes tratados.

Na área estão presentes: a ETE Antônio Cassimiro, que se encontra ativa atualmente, a lagoa marginal 2, e o Riacho das Porteiras. Foram selecionadas 3 imagens de satélite, referentes aos anos de 2005, 2019 e 2024.

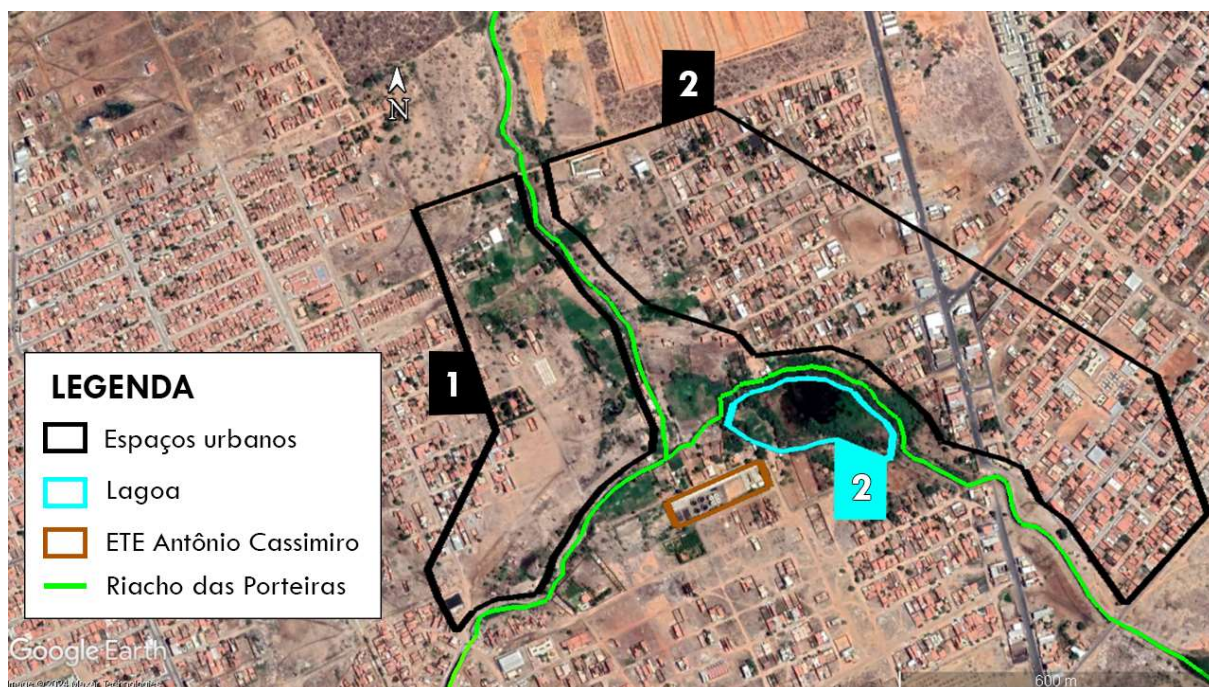
Figura 19 – Antônio Cassimiro em outubro de 2005



Fonte: Google satellite

Em 2005, o espaço urbano 1 se encontrava desocupado, assim como a maior parte do espaço 2, que apresenta apenas algumas edificações na sua porção sul. Nesse ano, a ETE Antônio Cassimiro ainda não havia sido construída. Há um pequeno acúmulo de água na lagoa marginal 2, e é perceptível a formação de vegetação ao seu redor, assim como do Riacho das Porteiras.

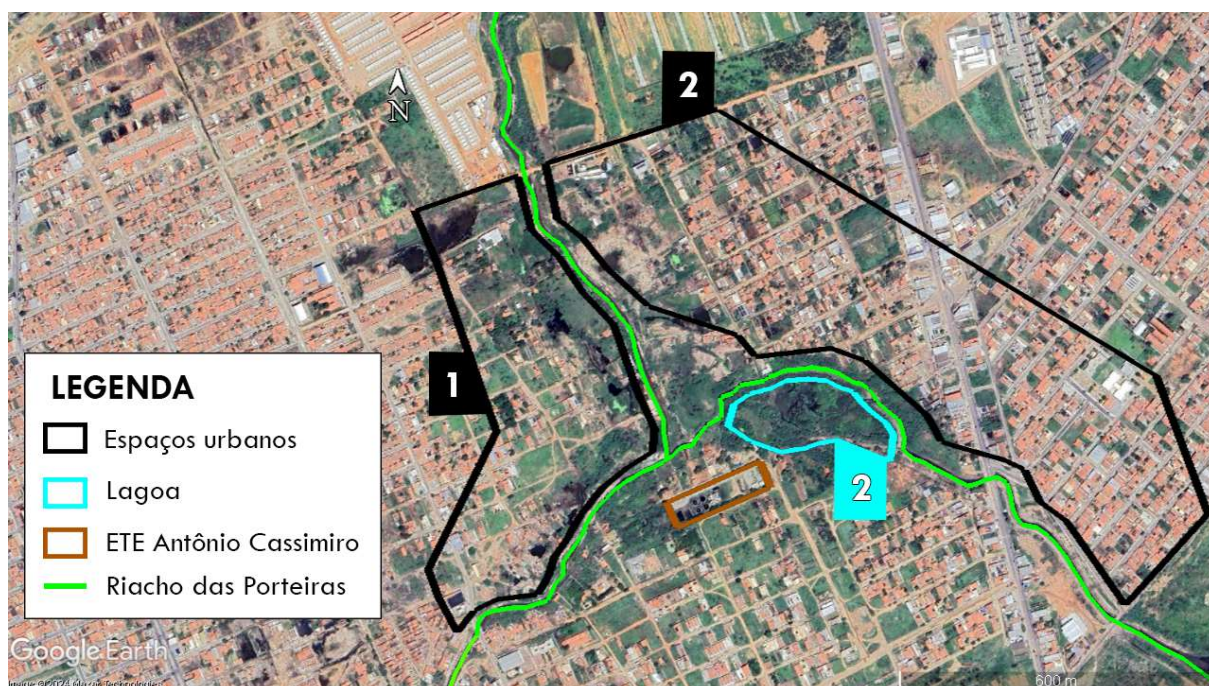
Figura 20 - Antônio Cassimiro em outubro de 2019



Fonte: Google satellite

Em 2019, há um crescimento significativo de edificações no espaço urbano 2, assim como a aproximação das residências em relação ao Riacho das Porteiras, e no espaço 1 houve a construção de algumas residências. Nesse ano, a ETE Antônio Cassimiro já estava ativa, e fazendo uso do riacho para despejo de efluentes tratados.

Figura 21 - Antônio Cassimiro em março de 2024



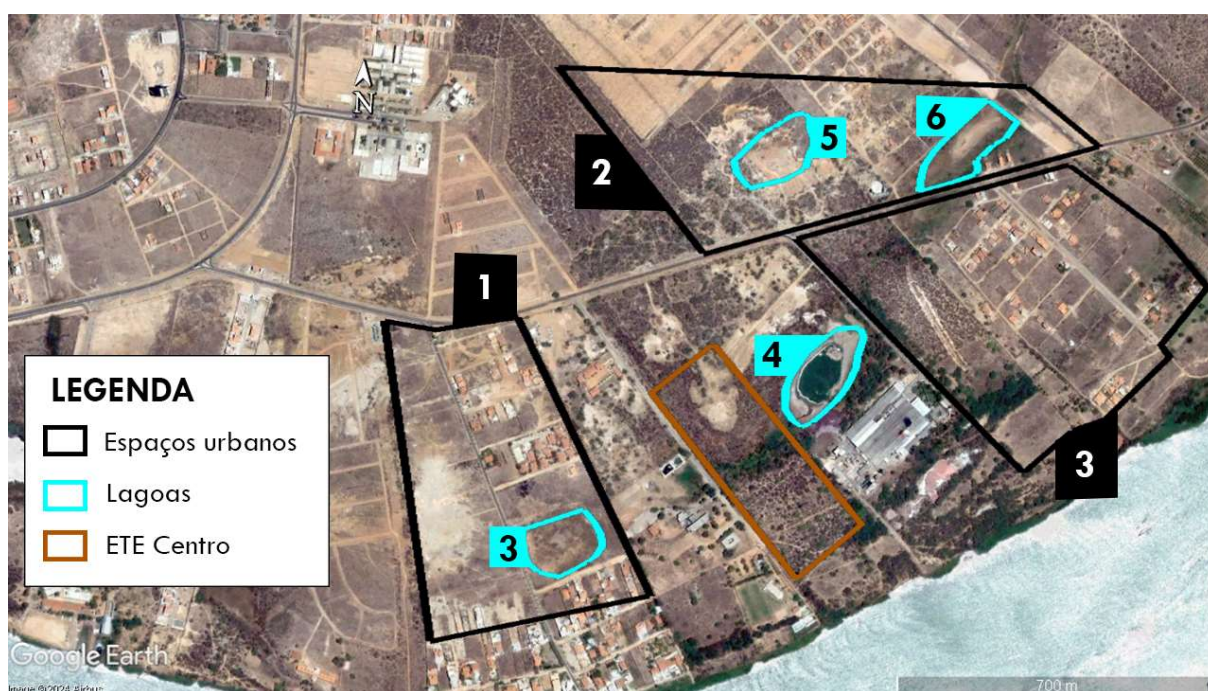
Fonte: Google satellite

Em 2024, notou-se um ligeiro aumento no número de edificações no espaço urbano 1 e 2. É notada alta presença de vegetação próxima ao Riacho das Porteiras e a lagoa marginal 2. No espaço 1 também é possível notar pequenos corpos d'água em sua extensão, principalmente próximo ao riacho.

5.5.4 Jatobá

Nesta área crítica foram localizados 3 espaços urbanos próximos a corpos d'água do local, que neste caso trata-se de 4 lagoas marginais. A lagoa marginal 3 localiza-se dentro do espaço 1, as lagoas 5 e 6 localizam-se dentro do espaço 2, e a lagoa 4 se encontra entre a ETE Centro e o espaço 3. Foram selecionadas 3 imagens de satélite, referentes aos anos de 2005, 2009 e 2023.

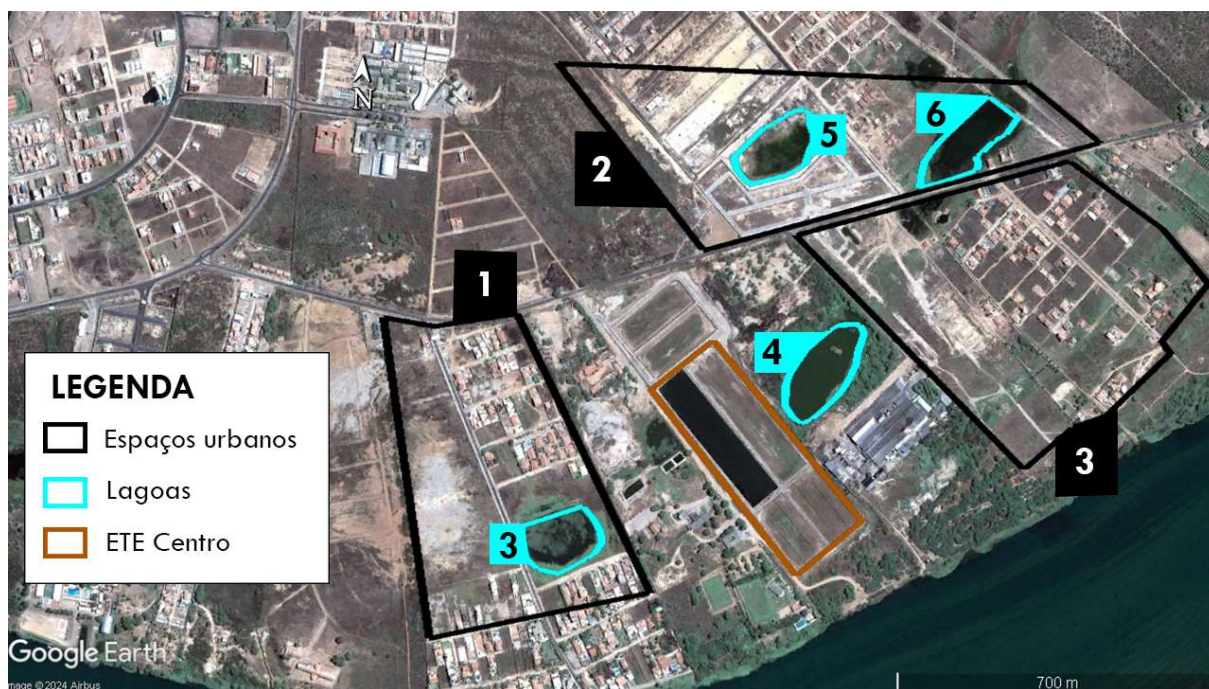
Figura 22 - Jatobá em outubro de 2005



Fonte: Google satellite

Em 2005 os espaços urbanos 1 e 3 se encontravam quase integralmente desocupados, e o espaço 2 estava totalmente desocupado. Nesse ano a ETE Centro ainda não havia sido construída. Apenas a lagoa marginal 4 apresentou acúmulo de água.

Figura 23 – Jatobá em agosto de 2009



Fonte: Google satellite

Em 2009 nota-se que nos espaços urbanos 1 e 3 houve aumento do número de edificações, e no espaço 2 há o loteamento do local. A ETE Centro já estava ativa e funcionava através de uma lagoa de estabilização. Todos as lagoas apresentavam acúmulo de água, e havia presença de vegetação ao seu redor.

Figura 24 - Jatobá em junho de 2023



Fonte: Google satellite

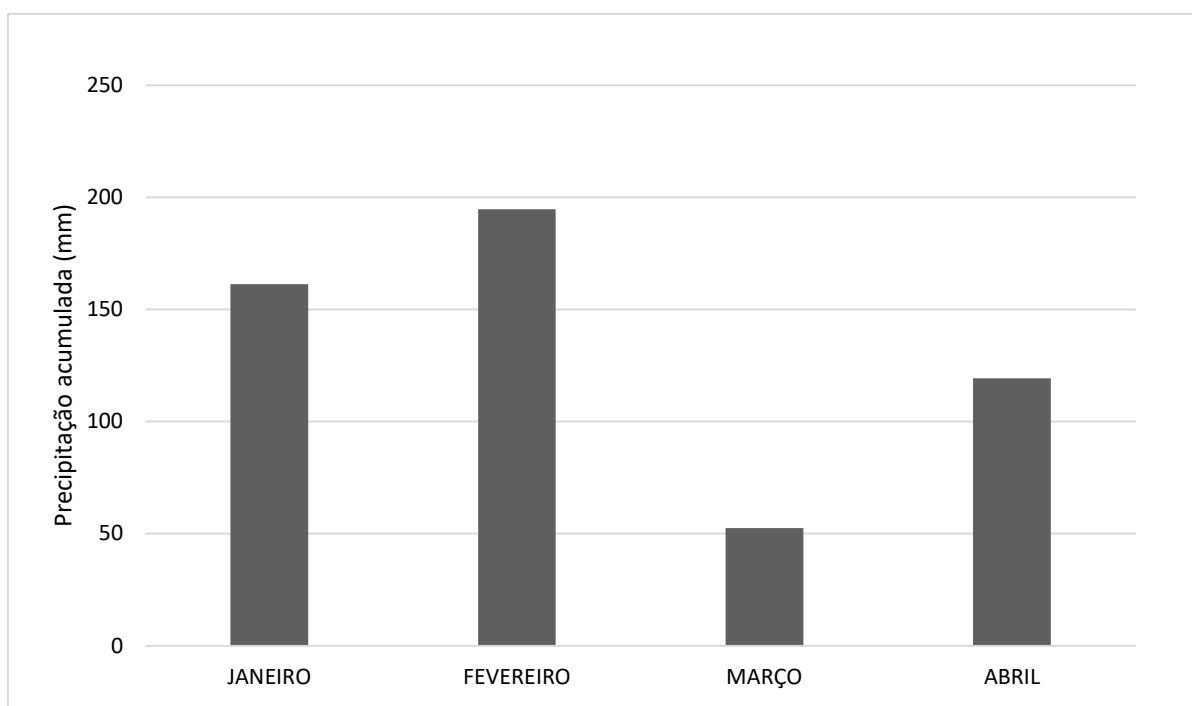
Em 2023 há aumento significativo de edificações em todos os espaços delimitados com relação a 2009, e observou-se a aproximação dessas edificações às lagoas. A ETE Centro desativou sua lagoa de estabilização e passou a funcionar com reatores UASB. Nesse ano, todas as lagoas apresentaram acúmulo de água.

5.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE O REGIME PLUVIOMÉTRICO LOCAL

A ocorrência de alagamentos no município está ligada a uma série de fatores, entre eles, o regime pluviométrico, que na região estudada apresenta irregularidade na distribuição das chuvas.

O pluviograma ilustrado na Figura 25, mostra os valores de precipitação acumulada, registrada por estações pluviométricas convencionais do INMET, nos primeiros 4 meses de 2024.

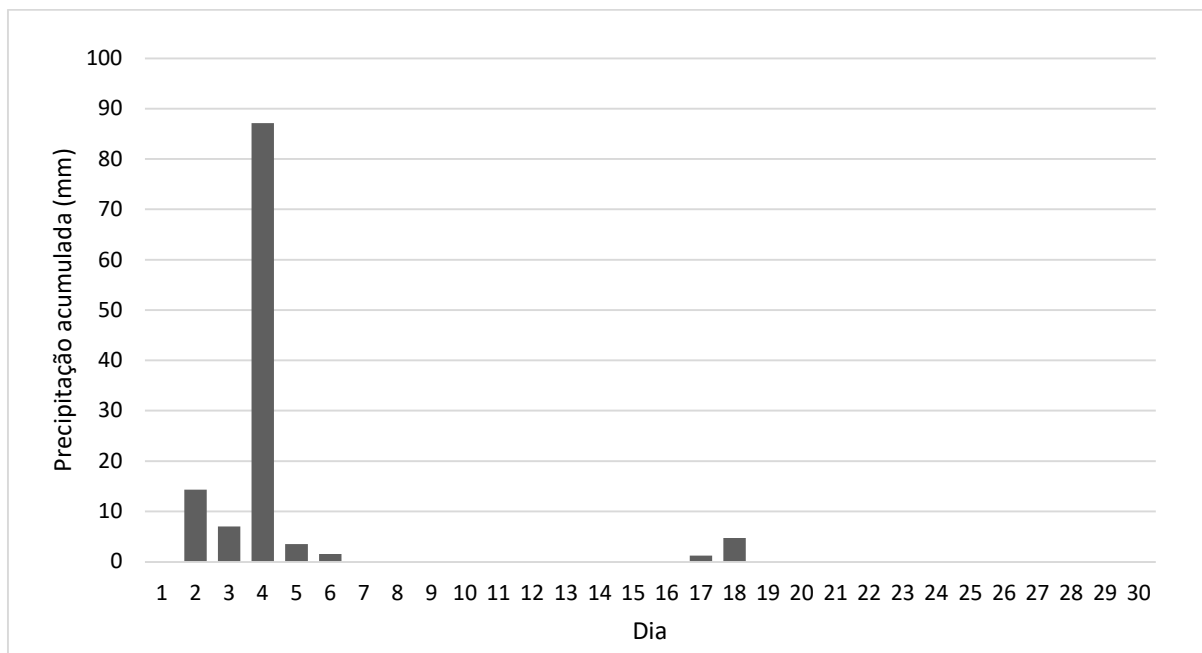
Figura 25 - Precipitação total mensal de Petrolina em 2024



Fonte: INMET, 2024

A irregularidade da distribuição das chuvas pôde ser observada este ano, sendo que no dia 4 de abril foram registrados 87,1 milímetros de chuva. A Figura 26 mostra o pluviograma de precipitação diária durante o mês de abril de 2024.

Figura 26 – Precipitação diária durante o mês de abril de 2024



Fonte: INMET, 2024

A Figura 27 mostra os danos causados pela chuva ocorrida no dia 4 de abril de 2024 em Petrolina-PE.

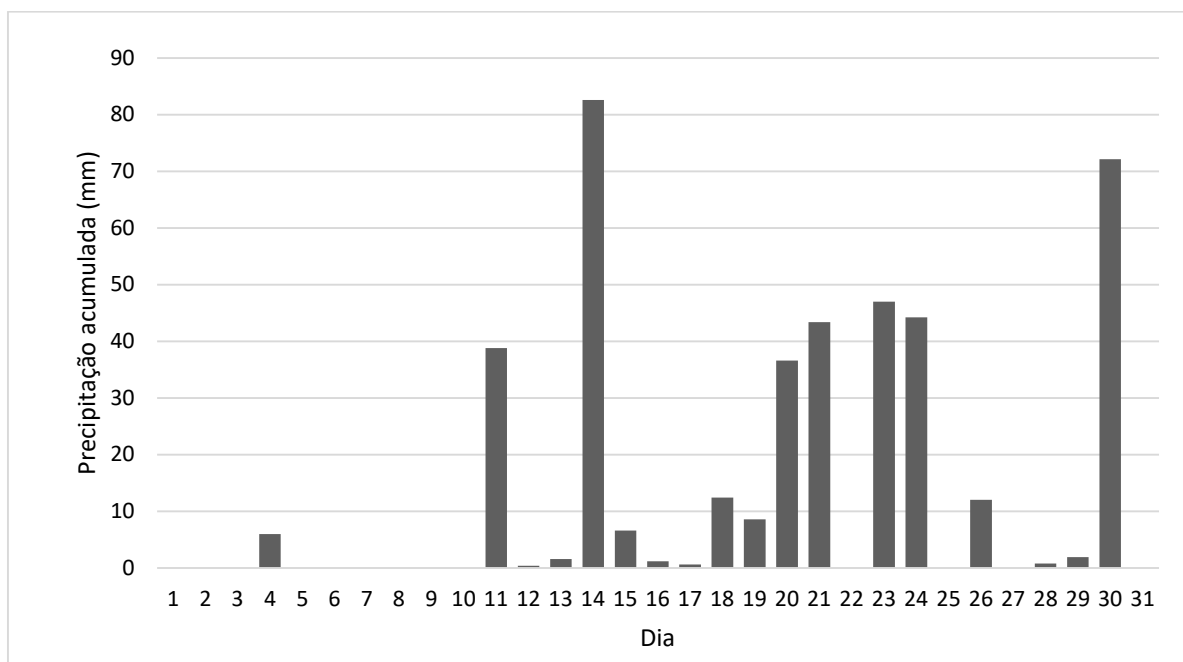
Figura 27 - Alagamentos em Petrolina-PE na chuva do dia 4 de abril de 2024



Fonte: Passos, 2024

Situação semelhante ocorreu em janeiro de 2004, no qual o município registrou altos índices pluviométricos ao longo do mês, conforme registro de estações pluviométricas convencionais do INMET cujos resultados são mostrados na Figura 28.

Figura 28 - Precipitação diária durante o mês de janeiro de 2004



Fonte: INMET, 2004

6 CONCLUSÕES

Os resultados da caracterização morfométrica indicaram que as bacias hidrográficas da zona urbana de Petrolina-PE apresentam baixa tendência a ocorrência de enchentes, exceto para os valores do índice de sinuosidade e densidade hidrográfica, que indicaram alta tendência. A densidade de drenagem, densidade hidrográfica apontam que as bacias possuem baixo escoamento superficial e maior capacidade de infiltração, o que também é observado pelos valores obtidos para a declividade média, relação de relevo e índice de rugosidade, que revelam que o relevo é predominantemente plano, o que dificulta o escoamento das águas pluviais.

A análise das modificações temporais permitiu observar o processo de urbanização ocorrido no município entre 2005 e 2024, que é notado pelo aumento do número de edificações e a pavimentação asfáltica de vias públicas e privadas, o que diminuiu a permeabilidade do solo e dificultou o processo de infiltração da água em períodos de chuva, aumentando o risco de alagamento. Além disso, a edificações passaram a ocupar regiões periféricas, e houve uma crescente aproximação aos córregos e riachos da cidade. O processo de urbanização identificado, aliado aos resultados obtidos com a caracterização morfométricas estudada, assim como o regime pluviométrico irregular, conforme observado nos pluviogramas do INMET, confirma o risco que o município apresenta para a ocorrência de alagamentos.

Desta forma, faz-se necessário a elaboração e execução de medidas que objetivem prever e prevenir futuros alagamentos, de modo a evitar ou diminuir os danos que possam ser causados por eles. Portanto, a urbanização deve ser acompanhada de planejamento e obras de infraestrutura, cuja elaboração depende do estudo prévio de informações como estas apresentadas neste trabalho.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA; INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Divisão Hidrográfica Nacional (DHN250)**. Brasília, 2021. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/fb87343a-cc52-4a36-b6c5-1fe05f4fe98c>. Acesso em: 03 nov. 2023

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA - APAC. **Bacias Hidrográficas**. Recife-PE, 2022a. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/bacias-hidrograficas>. Acesso em: 03 nov. 2023

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA - APAC. **Planos Diretores de Recursos Hídricos**. Recife-PE, 2022b. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/planos>. Acesso em: 04 nov. 2023

ALMEIRA, D. S.; COSTA, I. T. **A drenagem urbana das águas pluviais e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública no município de Santana**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal do Amapá, Macapá-AP, 2014. Disponível em: <https://www2.unifap.br/cambientais/files/2014/08/A-DRENAGEM-URBANA-DAS-%C3%81GUAS-PLUVIAS-E-SUA-RELA%C3%87%C3%83O-COM-O-MEIO-AMBIENTE-E-A-SA%C3%9ADE-P%C3%9ABLICA-NO-MUNIC%C3%8DPIO-DE-SANTANA.pdf>. Acesso em: 30 out. 2023

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ARAÚJO, M. C. C.; ARAÚJO, J. G. C.; DAUFEMBACK, J. P.; FILGUEIRA, J. C. T. A.; SANTOS, F. M. **Impactos da chuva e alagamentos em ambiente urbano: um estudo do bairro de Petrópolis, em Natal/RN**. Open Science Research VI, v.6, 2022. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.com.br/articulos/220910017.pdf>. Acesso em: 29 out. 2023

ASSOCIAÇÃO CAATINGA. **O que é assoreamento?** Fortaleza, dez. 2019. Disponível em: <https://www.acaatinga.org.br/o-que-e-assoreamento/>. Acesso em: 02 nov. 2023.

BRASIL. Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. **Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências**. Diário Oficial da união. Brasília, DF, [1979]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6766.htm. Acesso em: 01 nov. 2023.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras Providências**. Diário Oficial da união. Brasília, DF, [1981]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 01 nov. 2023.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF [2016]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 29 out. 2023.

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]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 01 nov. 2023.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de Janeiro de 2007. **Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico**. Diário Oficial da união. Brasília, DF [2007]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: 29 out. 2023.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012a. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa**. Diário Oficial da união. Brasília, DF [2022a]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 01 nov. 2023.

BRASIL. Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012b. **Altera a Lei nº12.651, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa**. Diário Oficial da união. Brasília, DF [2012b]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12727.htm. Acesso em: 01 nov. 2023.

BRASIL. Lei nº 13.308, de 6 de julho de 2016. **Altera a Lei nº 11.445, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, determinando a manutenção preventiva das redes de drenagem pluvial**. Diário Oficial da união. Brasília, DF [2016]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2016/Lei/L13308.htm#art1. Acesso em: 23 jun. 2024

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. **Atualiza o marco legal do saneamento**. Diário Oficial da união. Brasília, DF, [2020]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: 29 out. 2023.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Plansab – Revisão de 2022**, out. 2023b. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/plano-nacional-de-saneamento-basico-plansab/plansab-2013-revisao-de-2022>. Acesso em: 11 mai. 2024.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Plansab**, ago. 2023a. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/plano-nacional-de-saneamento-basico-plansab>. Acesso em: 11 mai. 2024.

BRASIL. Portal do Ministério Público de Pernambuco. **MPPE realiza audiência para discutir problemas de drenagem urbana**, ago. 2023. Disponível em: <https://portal.mppe.mp.br/w/mppe-realiza-audiencia-para-discutir-problemas-de-drenagem-urbana>. Acesso em: 11 mai. 2024

BRITTO, Carlos. **Em 3 meses, Petrolina registra mais de 500 mm de chuvas e Defesa Civil faz alerta**. Petrolina, abr. 2024. Disponível em:

<https://www.carlosbritto.com/em-3-meses-petrolina-registra-mais-de-500-ml-de-chuvas-e-defesa-civil-alerta/>

CAMPOS, M. **Geografia Física**; Mundo educação, 2015. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/geografia-fisica.htm>. Acesso em: 03 nov. 2023

CASTRO, A. L. C. **Manual de desastres: desastres naturais**. Brasília (DF): Ministério da Integração Nacional, 2003. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosDefesaCivil/ArquivosPDF/publicacoes/Desastres_Naturais_Voll.pdf. Acesso em: 29 out. 2023

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980. 188 p.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS – CNRH. **Resolução nº 32, de 15 de outubro de 2003**. Brasília, 2003. Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%2032.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2023

CUNHA, T.J.F et al. **Solos da margem esquerda do Rio São Francisco: Município de Petrolina, Estado de Pernambuco** – Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/884498/solos-da-margem-esquerda-do-rio-sao-francisco-municipio-de-petrolina-estado-de-pernambuco>. Acesso em: 04 nov. 2023

DAVIDOVITSCH, L.; SILVA, B. C.; MARCIANO, A. G.; SANTOS, M. G. N. **Tendências recentes na aplicação de técnicas de desenvolvimentos de baixo impacto (LID) para o controle da drenagem urbana**. Caderno de Geografia, v. 33, n. 73, p. 336-365, 2023. DOI: 10.5752/p.2318-2962.2023v33n73p336

DURANT, João. **Plano Diretor e Projetos de Macrodrenagem continuam em construção em Petrolina**. Recife, mai. 2022. Disponível em: <https://falape.com/plano-diretor-e-projetos-de-macrodrenagem-continuam-em-construcao-em-petrolina/>. Acesso em: 02 nov. 2023

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>. Acesso em: 26 mai. 2024

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - FEAM: **Orientações básicas para drenagem urbana**- Belo Horizonte: FEAM, 2006. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/arquivos/Cartilha%20Drenagem.pdf>. Acesso em: 30 out. 2023

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE - FUNASA: **Manual de Saneamento**. 3. ed. rev. – Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2004. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_saneamento_3ed_rev_p2.pdf. Acesso em: 30 out. 2023

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE - FUNASA: **Manual de Saneamento**. 5. ed. – Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2019. Disponível em: https://www.funasa.gov.br/home/-/asset_publisher/ihdKjCvMf50A/content/funasa-lanca-a-5-edicao-do-manual-de-saneamento. Acesso em: 01 nov. 2023

GERBER, D.; PERTILLE, C. T.; VIEIRA, F. S.; CORRÊA, B. J. S.; SOUZA, C. F. **Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí – Santa Catarina**. Acta Biológica Catarinense, v. 5, n. 1, p. 72-83, 2018. Disponível em: <http://periodicos.univille.br/index.php/ABC/article/view/446/>. Acesso em: 22 mai. 2024

HORTON R. E. **Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology**. Geological Society of America Bulletin, v.56, n 3, p. 275-370, 1945.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

IEP. **Manual de drenagem superficial em vias de comunicação**. Lisboa: Instituto das Estradas de Portugal (IEP), 2001.

KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. Fondo de Cultura Econômica. México. 1948. 479p. Disponível em: https://issuu.com/lucaspestana/docs/koeppen_climatologia. Acesso em: 03 nov. 2023

LANA, C. L.; ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. **Análise morfométrica da bacia do rio Tanque, MG-Brasil**. Revista Escola de Minas, Ouro Preto, v. 54, n. 2, p.121-126, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rem/a/ZdVsdMXs-xTZ4ZzjNkG6Jmqh/#>. Acesso em: 19 mai. 2024

MACHADO, R. A. S.; LOBÃO, J. S. B.; VALE, R. M. C.; SOUZA, A. P. M. J. **Análise morfométrica de bacias hidrográficas como suporte à definição e elaboração de indicadores para a gestão ambiental a partir do uso de geotecnologias**. In: (SBSR), p. 1441-1448, Curitiba. Anais. São José dos Campos: INPE, 2011. Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW/3A44NP2>>. Acesso em: 22 mai 2019.

MARTINS, Magno. **Prefeito decreta emergência em Petrolina por conta das chuvas. Petrolina**, abr. 2024. Disponível em: <https://blogdomagno.com.br/prefeito-decreta-emergencia-em-petrolina-por-conta-das-chuvas/>.

MATA-LIMA, H.; VARGAS, H.; CARVALHO, J.; GONÇALVES, M.; CAETANO, H.; MARQUES, A.; RAMINHOS, C. **Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um estudo de caso**. Rem: Rev. Esc. Minas, Ouro Preto, v. 60, n. 3, 2007.

MOURA, A. M. **Avaliação de tendência a enchentes das Bacias Hidrográficas do município de Caraguatatuba (SP)**. Revista de Geografia (UFPE), Pernambuco, V.30, N.2. Setembro, 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/revistageografia/article/view/229012>. Acesso em: 24 mai 2024

NARDINI, R. C. et al. **Análise morfométrica e simulação das áreas de preservação permanente de uma microbacia hidrográfica**. Irriga, v. 18, n. 4, p. 687-699, 2013. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/669>. Acesso em: 24 mai. 2024

OLIVEIRA, G. T.; SCHIMANOWSKI, E. R. Z.; MAICÁ, V. M. O.; LOPES, D. C.; LEGONDE, C. K. **Problemas causados pela impermeabilização do solo devida à urbanização. Salão do conhecimento**, Ijuí, v.6, n.6, out. 2020. Trabalho apresentado no XXVIII Seminário de Iniciação Científica, 2020, [Ijuí, RS]. Disponível em: <https://publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaconhecimento/article/view/17822>. Acesso em: 29 out. 2023

PASSOS, Waldiney. **Fortes chuvas marcam o início da quinta-feira em Petrolina. Petrolina**, abr. 2024. Disponível em: <https://waldineypassos.com.br/fortes-chuvas-marcam-o-inicio-da-quinta-feira-em-petrolina/>

PERNAMBUCO. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. **Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH)**. Recife: Sectma, 1998.

PIMENTEL, F. O.; ASSIS, W. L. **Análise da variabilidade climática no município de Petrolina-PE entre os anos de 1973-2021**. Revista de Geografia, v.12 n.2, 2002. Disponível em: <https://periodicos.ufjf.br/index.php/geografia/article/view/39026>. Acesso em: 04 nov. 2023

PREFEITURA MUNICIPAL DE PETROLINA. **Plano municipal de saneamento básico de Petrolina (PE)**. Petrolina-PE, 04 fev. 2019. Disponível em: <https://petrolina.pe.gov.br/wp-content/uploads/2020/06/Plano-Municipal-de-Saneamento-Petrolina-compactado.pdf>. Acesso em: 20 out. 2023.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PETROLINA. Lei nº 2.581, de 23 de setembro de 2013. **Dispõe sobre a regulamentação da área urbana consolidada do Município, em atenção às regras do Novo Código Florestal, Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Petrolina-PE, mai. 2013. Disponível em: <http://www.pe.portaldatransparencia.com.br/prefeitura/petrolina/?pagina=abreDocumento&arquivo=33EA025E8149>. Acesso em: 02 nov. 2023.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PETROLINA. **Revisão do plano diretor de Petrolina e da legislação urbanística básica, produto 01 – plano de trabalho**. Petrolina-PE, jun. 2018. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1X35Ga7pAd6sytO9Ko1tNxBT4u6XDBvh5/view>. Acesso em: 20 out. 2023.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PETROLINA. Lei nº 34, de 25 de fevereiro de 2022. **Institui o novo Plano Diretor Participativo do Município de Petrolina e dá outras providências**. Petrolina-PE, fev. 2022. Disponível em: https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1dAzNzZJor8rb_ZPIfr7ymUoNDcljqiTQ. Acesso em: 01 nov. 2023.

RODRIGUES, T.O.; LISBOA, G.S.; SILVA, Q.D. **Morfometria das unidades de drenagem do médio curso do rio Anil, Ilha do Maranhão**. In Anais: XVII Simpósio Brasileiro de geografia Física Aplicada; I Congresso Nacional de Geografia Física. Instituto de Geociências – Unicamp, Campinas/SP, 2017. Disponível em: <https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/2123>. Acesso em: 24 mai. 2024

SANTOS W. N.; NUNES, A. M. M.; AMORIM, M. C. C. **Caracterização Morfométrica de uma sub-bacia do Rio São Francisco: Riacho das Porteiras, Petrolina-PE**. IV Simpósio da bacia hidrográfica do Rio São Francisco, 2022, Belo Horizonte. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/ivsbhsf/503594-caracterizacao-morfometrica-de-uma-sub-bacia-do-rio-sao-francisco--riacho-das-porteiras-petrolina--pe/>. Acesso em 22 mai. 2024

SANTOS W. N.; AMORIM, M. C. C. **Caracterização morfométrica da bacia do Riacho Estandarte, Petrolina-PE**. IV Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/cobicet2023/636850-caracterizacao-morfometrica-da-bacia-do-riacho-estandarte-petrolina-pe/>. Acesso em 22 mai. 2024

SCHUMM, S. A. **Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy**. Geological Society of America Bulletin, New York, v. 67, n. 5, p. 597-646, 1956.

SCHUMM, S.A.; **Sinuosity of alluvial rivers on the great plains**. Geological Society of America Bulletin 74, 1089-1100, 1963.

SHAFIQUE, M.; KIM, R. **Green stormwater infrastructure with low impact development concept: A review of current research**. Desalination Water Treatment, v. 83, p. 16-29, 2017.

SILVA, G. C.; ALMEIDA, F. P.; ALMEIDA, R. T. S.; MESQUITA, M.; ALVES JUNIOR, J. **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Riacho Rangel – Piauí, Brasil**. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer – Goiânia, v.15, n.28, p. 244, 2018.

SILVA, D. A. O.; LOPES, P. M. O.; MOURA, G. B. A.; SILVA, E. F. F.; SILVA, J. L. B.; BEZERRA, C. A. **Evolução Espaço-Temporal do Risco de Degradação da Cobertura Vegetal de Petrolina-PE**. Revista Brasileira de Meteorologia, v.34, n.1, p. 89-99, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/x4dw5wQfN-jWzHSvyBySZSnQ/?lang=pt>. Acesso em: 03 nov. 2023

SOUSA, F. A.; RODRIGUES, S. C. **Aspectos Morfométricos como subsídio ao estudo da condutividade hidráulica e suscetibilidade erosiva dos solos**. Mercator, Fortaleza, v. 11, n. 25, p. 141 a 151, June 2012. ISSN 1984-2201. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/588>. Acesso em: 26 mai. 2024

SOUZA, C. F.; PERTILLE, C. T.; SCHRAMM CORRÊA, B. J.; VIEIRA, F. S. **Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Ivaí - Paraná**. Geoambiente On-line, Goiânia, n. 29, 2017. DOI: 10.5216/revgeoamb.v0i29.50602. Disponível em:

<https://revistas.ufj.edu.br/geoambiente/article/view/50602>. Acesso em: 26 maio. 2024.

SOUZA, V. C. B.; MORAES, L. R. S.; BORJA, P. C. **Déficit na drenagem urbana: Buscando o entendimento e contribuindo para a definição.** Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais, 2013, v.1, n.2, pag 162-175. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/gesta/article/view/7213>. Acesso em: 22 jun. 2024

STRAHLER, A.N. **Hypsometric Area-altitude: analysis and erosional topography.** Geological Society of America Bulletin, v. 63, n. 10, p. 1117-1142, 1952.

TONELLO, K.C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhões, MG. 2005.** 69p. Tese (Doutorado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/9559/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 19 mai. 2024

TRINDADE, W. M. **Lagoas marginais do alto-médio curso do Rio São Francisco: Dinâmica Hidrogeomorfológica, Geocronologia e impactos ambientais,** Belo Horizonte, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/EQVA-BBWQ47>. Acesso em: 31 mai. 2024

TUCCI, C.E.M. (2008) **Águas urbanas. Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 97-112. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/SfqYWrhrtvkxybFsjYQtx7v/>. Acesso em: 29 out. 2023

TUCCI, C.E.M; PORTO, R. L.; BARROS, M. T. **Drenagem urbana.** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1995. 429p.

VISSMAN, J. W.; HARBAUGT, T. E. e KNAPP. J. W. **Introduction to Hydrology.** New York: Intext educational, 1972. 415 p.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada.** São Paulo: MccGraw-Hill do Brasil, 1975.

XU, C. et al. **Progress on environmental and economic evaluation of low-impact development type of best management practices through a life cycle perspective.** Journal of Cleaner Production, v. 213, p. 1103-1114, 2019.