**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

# CONCEPÇÃO DE REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PARA ÁREA EM EXPANSÃO NO MUNICÍPIO DE FORMOSA – GO, A PARTIR DA ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL

**FELIPE OLIVEIRA**

**ORIENTADOR: WAGNER SANTOS DE ALMEIDA, DSc (UnB)**

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL 2 EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**BRASÍLIA / DF**

**OUTUBRO DE 2022**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

# CONCEPÇÃO DE REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PARA ÁREA EM EXPANSÃO NO MUNICÍPIO DE FORMOSA – GO, A PARTIR DA ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL

**FELIPE OLIVEIRA**

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA AMBIENTAL.**

**APROVADA POR:**

_____

**WAGNER SANTOS DE ALMEIDA, DSc (UNB)**
**(ORIENTADOR)**

_____

**ARTHUR TAVARES SCHLEICHER, MSc (UNB)**
**(EXAMINADOR INTERNO)**

_____

**FRANCISCO JAVIER CONTRERAS PINEDA, Dr (UNB)**
**(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: BRASÍLIA/DF, 04 DE OUTUBRO DE 2022**

## FICHA CATALOGRÁFICA


OLIVEIRA, FELIPE

Concepção de rede de abastecimento de água para área em expansão no município de Formosa – Go, a partir da análise da vulnerabilidade ambiental.

xiii, 82p, 210 x 297 mm (Enc, FT, UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2022)

Monografia de Projeto Final – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental

1. Vulnerabilidade ambiental
2. Projeção populacional
3. Análise Hierárquica de Processos
4. Rede de abastecimento de água

I. ENC, FT, UnB
II. Título (Série)


## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA


OLIVEIRA, F. 2022. Concepção de rede de abastecimento de água para área em expansão no Município de Formosa – Go, a partir da análise da vulnerabilidade ambiental. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 82p.


## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Felipe Oliveira

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Concepção de rede de abastecimento de água para área em expansão no Município de Formosa – Go, a partir da análise da vulnerabilidade ambiental.

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2022


É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.


_____


Felipe Oliveira

Felipeoliveira0705@gmail.com

# AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a minha família, a minha irmã Lorena que nos momentos mais difíceis me deu o apoio necessário, a minha irmã Laura que me emprestou o computador dela durante todo esse período, a Cristina, minha mãe, que é o meu porto seguro e ao meu pai, Guedes, que me ajudou a me tornar o homem que sou hoje. Sem vocês nada disso seria possível.

Ao meu orientador, Professor Wagner, com seu rico conhecimento e experiência me orientou de forma clara e objetiva, sempre muito solícito para ajudar no desenvolvimento do projeto e que me inspirou na busca pela excelência.

A Universidade de Brasília que me proporcionou experiências incríveis, juntamente com os docentes e amigos adquiridos ao longo da minha jornada acadêmica, todos contribuíram para o meu crescimento pessoal, acadêmico e profissional.

# RESUMO


## CONCEPÇÃO DE REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PARA ÁREA EM EXPANSÃO NO MUNICÍPIO DE FORMOSA – GO, A PARTIR DA ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL

**Autor: Felipe Oliveira**
**Orientador: Wagner Santos de Almeida**

A utilização de modelos ambientais aliado ao SIG é de extrema importância no planejamento para expansão urbana e concepção de sistemas de saneamento básico. Em vista disso, o estudo da vulnerabilidade ambiental permite identificar potenciais pontos suscetíveis a sofrer impactos ambientais, tais como a ocorrência de processos erosivos e a ocorrência de inundações. Neste projeto foram utilizados softwares de geoprocessamento para avaliação da vulnerabilidade ambiental, com auxílio da análise hierárquica de processos (AHP), e também para a concepção de uma rede de abastecimento de água em uma área de expansão urbana no Município de Formosa.

O Município de Formosa conta com zonas destinadas à expansão urbana, entretanto, na designação dessas áreas é provável não terem sido realizados estudos ambientais necessários, pois foram alocadas áreas inviáveis à ocupação antrópica e que apresentam uma constante degradação ambiental de áreas de proteção permanente.

O projeto verificou que uma dessas áreas destinada a expansão urbana pelo microzoneamento proposto pelo Plano Diretor do Município possui um corpo hídrico em seu interior, e por meio da análise da vulnerabilidade ambiental verificou-se que a suscetibilidade aos processos erosivos e à inundação vão evoluindo consideravelmente no período de tempo estudado devido sua urbanização.

O estudo da vulnerabilidade ambiental apresentou maior grau em locais que sofreram maiores ações antrópicas, entre os anos de 2011 a 2021, trazendo a perspectiva de futuros problemas ambientais, comum em áreas urbanizadas sem o devido planejamento ambiental.

No Município de Formosa, a definição da área a ser ocupada, em consonância com o microzoneamento proposto pelo plano diretor e as leis de parcelamento urbano, foi realizada a projeção da população a ser inserida no local com base em dados demográficos. A concepção da rede de abastecimento de água se deu, então, para a região em expansão já parcelada. Por meio disso, foi possível traçar a rede respeitando o desenho das vias, passando preferencialmente pelas calçadas ou áreas destinadas a mesma.

A utilização do modelo de simulação hidráulica, EPANET, permitiu o dimensionamento da rede de abastecimento para a área proposta, a partir da utilização de parâmetros hidráulicos e da população residente. Os resultados obtidos pelo dimensionamento respeitam as condicionantes impostas pela norma ABNT 12.218/17, como a perda de carga com valores inferiores a 10 m/km e a pressão estática da rede, com valores em sua maioria, inferiores à 40 mca. Já em relação a velocidade mínima nos condutos, alguns trechos apresentaram valores inferiores a 0,4 m/s, o que pode ser explicado pelo baixo consumo per capita médio da região. Os resultados finais do projeto evidenciam a necessidade do estudo ambiental para determinação da sua vulnerabilidade ambiental na concepção de sistemas de abastecimento de água, a fim de evitar danos à rede de abastecimento e, consequentemente, à população.
**Palavras chaves: Vulnerabilidade ambiental, projeção populacional, análise hierárquica de processos e rede de abastecimento de água.**

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO ..... 1

2. OBJETIVOS ..... 4

2.1. OBJETIVO GERAL ..... 4

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS ..... 4

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA ..... 5

3.1. CRESCIMENTO URBANO E PLANEJAMENTO AMBIENTAL ..... 5

3.1.1. ESTUDO DE CENÁRIOS ..... 6

3.1.2. LEGISLAÇÃO VIGENTE ..... 6

3.2. SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA ..... 8

3.2.1. CONCEPÇÃO DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTOS DE ÁGUA ..... 11

3.2.2. REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA ..... 14

3.3. GEOPROCESSAMENTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E MAPAS DE USO E COBERTURA DO SOLO ..... 18

3.4. ESTUDO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL ..... 20

3.5. ANÁLISE HIERÁRQUICA DE PROCESSOS (AHP) NA CONCEPÇÃO DO MAPA DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL ..... 24

3.6. MODELOS DE SIMULAÇÃO HIDRÁULICA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA ..... 28

3.6.1. PERDA DE CARGA ..... 28

3.6.2. BALANÇO HÍDRICO DA REDE ..... 29

3.6.3. EPANET ..... 30

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO ..... 31

4.1. PARCELAMENTO DO SOLO URBANO ..... 33

4.2. DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS ..... 35

4.3. DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA ..... 38

5. METODOLOGIA ..... 39

5.1. LEVANTAMENTO DE DADOS E INFORMAÇÕES ..... 40

5.2. MAPA DE USO E COBERTURA DO SOLO ..... 41

5.3. MAPA DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL ..... 43

5.3.1. MAPA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO LINEAR ..... 43

5.3.2. MAPA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO LAMINAR ..... 47
5.3.3. MAPA DE SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO ..... 51
5.3.4. MAPA DE SUSCETIBILIDADE ÀS AÇÕES ANTRÓPICAS ..... 52
5.4. CONCEPÇÃO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO ..... 53
5.4.1. CÁLCULO DEMOGRÁFICO ..... 53
5.4.2. SELEÇÃO DA ÁREA DE OCUPAÇÃO ..... 54
5.4.3. TRAÇADO E DIMENSIONAMENTO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO ..... 54
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES ..... 56
6.1. MAPA DE USO E COBERTURA DO SOLO ..... 56
6.2. VULNERABILIDADE AMBIENTAL ..... 58
6.2.1. SUSCETIBILIDADE À EROSÃO LINEAR ..... 58
6.2.2. SUSCETIBILIDADE À EROSÃO LAMINAR ..... 59
6.2.3. MAPA DE SUSCETIBILIDADE Á INUNDAÇÃO ..... 61
6.2.4. SUSCETIBILIDADE ÀS AÇÕES ANTRÓPICAS ..... 62
6.2.5. MAPA DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL ..... 63
6.3. CÁLCULO DEMOGRÁFICO E SELEÇÃO DA ÁREA DE OCUPAÇÃO ..... 66
6.3.1. SELEÇÃO DA ÁREA DE EXPANSÃO E CÁLCULO DEMOGRÁFICO DA ÁREA DE ESTUDO ..... 69
6.4. TRAÇADO E DIMENSIONAMENTO DA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA ..... 71
7. CONCLUSÕES ..... 75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 78

# LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Sistema simplificado de uma rede de abastecimento de água. ..... 9
Figura 3.2: Esquema de uma rede de abastecimento de água do tipo ramificada.. ..... 15
Figura 3.3: Rede de abastecimento de água do tipo malhada.. ..... 15
Figura 3.4: Esquema do SSA para o atendimento de diferentes zonas de pressão.. ..... 17
Figura 4.1: Mapa de localização da área de estudo. ..... 31
Figura 4.2: Mapa do Microzoneamaneto do Perímetro Urbano definido no Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado do Município de Formosa (2017). ..... 32
Figura 4.3: Registro de construções na Zona de Interesse Social.. ..... 33
Figura 4.4: Registro da área de expansão urbana da área de estudo.. ..... 33
Figura 4.5: Registro de construções na Zona de Interesse Social.. ..... 33
Figura 4.6: Registro da parte mais urbanizada a sudoeste da área de estudo.. ..... 33
Figura 4.7: Critério de ocupação do Município de Formosa.. ..... 34
Figura 4.8: Mapa pedológico da área de estudo.. ..... 35
Figura 4.9: Mapa geológico da área de estudo.. ..... 36
Figura 4.10: Mapa hipsométrico da área de estudo. ..... 37
Figura 4.11: Mapa de declividade da área de estudo. ..... 37
Figura 5.1: Fluxograma metodológico. ..... 39
Figura 6.1: Mapa de uso e cobertura do solo para o ano de 2011. ..... 56
Figura 6.2: Mapa de uso e cobertura do solo para o ano de 2016. ..... 57
Figura 6.3: Mapa de uso e cobertura do solo para o ano de 2021. ..... 57
Figura 6.4: Mapa de suscetibilidade à erosão linear. ..... 59
Figura 6.5: Mapa dos fatores da equação universal da perda de solo. ..... 60
Figura 6.6: Mapa de suscetibilidade à erosão laminar. ..... 61
Figura 6.7: Mapa de suscetibilidade à inundação. ..... 62
Figura 6.8: Mapa de suscetibilidade às ações antrópicas. ..... 63
Figura 6.9: Mapa de vulnerabilidade ambiental. ..... 65
Figura 6.10: Análise gráfica dos modelos de crescimento populacional ..... 67
Figura 6.11: Mapa de expansão urbana. ..... 70
Figura 6.12: Mapa do traçado da rede de abastecimento de água. ..... 72
Figura 6.13: Informações a respeito da cota dos nós e do diâmetro das tubulações da rede. .. 73
Figura 6.14: Informações da direção do fluxo, pressão e perda de carga na rede. ..... 74

# LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Variação dos coeficientes K1 e K2 para diferentes localidades .....13
Tabela 3.2: Escala de valores AHP para comparação pareada .....26
Tabela 3.3: Valores de IR para matrizes quadradas de ordem n.....27
Tabela 3.4: Fórmulas para o cálculo da perda de carga contínua em escoamentos pressurizados (Sistema SI).....29
Tabela 4.1: Informações referentes ao SSA do Município......38
Tabela 5.1: Atribuição do grau de vulnerabilidade a erosão das Unidades Pedológicas presentes na área de estudo......44
Tabela 5.2: Atribuição do grau de vulnerabilidade a erosão das Unidades Geológicas presentes na área de estudo......45
Tabela 5.3: Atribuição do grau de vulnerabilidade a erosão da declividade do terreno da área de estudo.. .....45
Tabela 5.4: Escalas associadas a cada mapa que compõem a vulnerabilidade linear.....46
Tabela 5.5: Escala da AHP da importância para cada um dos mapas. .....46
Tabela 5.6: Cálculo da matriz normalizada. .....46
Tabela 5.7: Análise de sensibilidade.....47
Tabela 5.8: Verificação da consistência lógica das comparações.....47
Tabela 5.9: Estações pluviométricas utilizadas para o cálculo do fator de erosividade da chuva. .....49
Tabela 5.10: Valores de erodibilidade dos solos. .....49
Tabela 5.11: Classificação dos usos do solo e seu respectivo fator P.....50
Tabela 5.12: Suscetibilidade a inundação de acordo com a hipsometria.....51
Tabela 5.13: Suscetibilidade a inundação de acordo com a declividade. .....52
Tabela 5.14: Suscetibilidade a inundação de acordo com a declividade. .....52
Tabela 5.15: Grau de suscetibilidade às ações antrópicas para os mapas de uso e cobertura do solo.....53
Tabela 6.1: Quantitativo das classes de uso e cobertura do solo. .....58
Tabela 6.2: Matriz de comparação.....64
Tabela 6.3: Matriz normalizada. .....64
Tabela 6.4: Matriz do autovalor.....65
Tabela 6.5: Razão de consistência. .....65

Tabela 6.6: Projeção populacional para os métodos aritmético, geométrico e a taxa decrescente de crescimento .....67
Tabela 6.7: Projeção populacional da área selecionada para expansão urbana. .....70

# LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 3.1..... .....12
Equação 3.2..... .....13
Equação 3.3..... .....14
Equação 3.4.....16
Equação 3.5..... .....22
Equação 3.6..27
Equação 3.7..... .....27
Equação 3.8.....27
Equação 3.9.... .....28
Equação 5.1..... .....42
Equação 5.2.....48
Equação 5.3.....48
Equação 5.4..... .....50
Equação 5.5.....50
Equação 6.1..... .....66
Equação 6.2..... .....66

# LISTA DE ABREVIAÇÕES E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;

AHP – Analytic Hierarchy Process;

ANA – Agência Nacional de Águas;

APP – Área de Proteção Permanente;

DF – Distrito Federal;

EUPS – Equação Universal da Perda de Solo;

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde;

GO – Goiás;

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;

INPE – Instituo Nacional de Pesquisa Espaciais;

IR – Índice Randômico;

IVDN – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

KPA – Kilopascal;

L/S – Litros por segundo;

M – Metros;

M/S – Metros por segundo;

MDE – Modelo Digital de Elevação;

NBR – Norma Brasileira;

ONU – Organização das Nações Unidas;

PD – Plano Diretor;

RC – Razão de Consistência;

RIDE – Região Integrada de Desenvolvimento;

SAA – Sistema de Abastecimento de Água;

SANEAGO - Saneamento de Goiás S/A;

SI – Sistema Internacional;

SIG – Sistema de Informações Geográficas;

SNIS – Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento;

UCG – *Unidad Civil, Geologia y Minas;*

UFBP – Universidade Federal da Paraíba;

USEPA - *United States Environmental Protection Agency*;

UTB – Unidade Territorial Básica;

UTPC – *Universid Técnica Particular de Loja.*

# 1. INTRODUÇÃO

O processo de desenvolvimento das cidades brasileiras, na maioria das vezes, acontece de forma irregular e desordenada, resultando em uma infraestrutura precária que traz como consequência problemas sociais e ambientais à sociedade inserida naquele ambiente. Para Bucalem (2019), cidades integram dinâmicas sociais e econômicas em determinado espaço físico, a partir da implementação de infraestruturas urbanas associadas ao meio ambiente natural. Por isso se faz necessário o planejamento das cidades para implementação de infraestrutura de saneamento básico, em particular o abastecimento de água potável, que comporte a demanda da população.

Visando à ocupação dos espaços urbanos de forma consciente, é necessário o estudo da área a ser habitada para que se possa minimizar os impactos decorrentes do processo de urbanização. A utilização de novas tecnologias de informação e o tratamento de dados espaciais digitais atuam como importantes ferramentas ao planejamento de expansão territorial.

Uma dessas tecnologias é o Sistema de Informações Geográficas (SIG), que consiste em um conjunto de ferramentas computacionais capaz de coletar, armazenar, recuperar, transformar e exibir dados espaciais no mundo real (Burrough e McDonnell, 2010). Segundo Nascimento *et al.* (2009), a utilização de técnicas de geoprocessamento, através do SIG, tem se tornado uma poderosa ferramenta nos estudos das questões urbanas, seja sobre a análise da situação atual ou em projeções futuras. E a utilização dessa ferramenta para formulação de projeções futuras é possível através do monitoramento dos processos ocorridos na área em que se deseja o desenvolvimento urbano, em um período determinado, através do estudo do comportamento do solo às modificações antrópicas e como tais mudanças afetam a vulnerabilidade ambiental.

O estudo da vulnerabilidade ambiental possibilita a identificação da suscetibilidade do ambiente à problemas ambientais que são gerados ou potencializados a partir de ações antrópicas. Dentre esses problemas podem ser citados, a poluição de corpos hídricos, a erosão do solo, o desmatamento e a inundação de áreas urbanas. Através disso, é imprescindível no planejamento de expansão urbana o estudo da dinâmica do uso e cobertura do solo e o estudo da vulnerabilidade na concepção da infraestrutura urbana, especialmente, os sistemas de saneamento que estão em interação com o solo e são afetados pelos problemas causados pela

má utilização do mesmo, podendo ser citado o dano as redes de abastecimento de água causada pela erosão do solo.

O saneamento básico é o principal ator quando se refere a infraestrutura de uma cidade. Conforme a Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020, saneamento básico é o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais nos setores de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas (Brasil, 2020). No Brasil, o abastecimento de água é o componente do saneamento básico que apresenta melhores resultados em termos de cobertura do serviço e de qualidade do produto ofertado. Conforme o Diagnóstico do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS) do ano de referência de 2020, o índice de abastecimento de atendimento total de água com redes públicas de abastecimento nos municípios no Brasil é de 84,1%, o que representa 175.451.089 habitantes (SNIS, 2021).

A área de estudo desta pesquisa é o Município de Formosa (GO), região que integra a Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno (RIDE-DF). A criação da RIDE-DF traz como objetivo a integração conjunta dos municípios participantes para o desenvolvimento social e econômico, aproveitamento dos recursos hídricos, controle da poluição ambiental e saneamento básico na obtenção de recursos federais e estaduais, conforme consta no Diagnóstico do Saneamento Básico das Regiões Integradas de Desenvolvimento (RIDES) do Brasil (2019).

O município de Formosa está localizado a cerca de 80 quilômetros de Brasília e contava no ano de 2010 com uma população de 100.085 habitantes (IBGE, Censo 2010) e com projeção estimada para o ano de 2021 o total de 125.705 habitantes (IBGE, 2021). De acordo com o Plano Diretor (PD), o Município de Formosa passa por um processo de expansão da sua área urbana (Formosa, 2017). Devido a isso, se faz necessário a implementação de infraestruturas básicas para o suporte à população imigrante da área. O Atlas Águas da Agência Nacional de Águas (ANA) do ano de 2021, confirmava a necessidade de ampliação da Rede de Abastecimento de Água para atender a população crescente do município (ANA, 2021).

Nesta perspectiva, o presente projeto utilizou da análise da vulnerabilidade ambiental, baseada na metodologia desenvolvida por Almeida *et al.* (2017), a fim de verificar uma área em expansão no Município de Formosa, e a partir da análise, alinhada as normas vigentes, conceber uma rede de abastecimento de água para o local, por meio da projeção populacional. O trabalho

foi divido em seis capítulos subsequentes, sendo eles: I. Objetivos, que traz o que se pretende na produção do projeto; II. Revisão Bibliográfica, consiste em toda a base bibliográfica dos conteúdos presentes; III. Caracterização da área de estudo, detalha as informações a respeito da área de estudo; IV. Metodologia, demonstra como foram obtidos os produtos do projeto; V. Resultados e discussões, apresenta todos os produtos obtidos, assim como a sua análise; e VI. Conclusão, por fim traz um apanhado das informações geradas no projeto, relacionando com os objetivos propostos.

# 2. OBJETIVOS

## 2.1. OBJETIVO GERAL

Conceber rede de abastecimento de água do Município de Formosa, para uma área em expansão urbana, com análise da sua vulnerabilidade ambiental.

## 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A. Caracterizar as mudanças no uso e cobertura do solo em um período determinado;

B. Analisar a vulnerabilidade ambiental da área de estudo;

C. Definir área de ocupação em uma de área em expansão para o traçado da rede de abastecimento de água;

# 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## 3.1. CRESCIMENTO URBANO E PLANEJAMENTO AMBIENTAL

O crescimento constante da população e o processo de migração da população do campo para a cidade acentuam, cada vez mais, o processo de aglomeração populacional de forma desorganizada, sem a presença de um estudo e planejamento prévio das condições do ambiente a ser ocupado. Esses grandes aglomerados urbanos afetam o meio ambiente e os recursos naturais nele inseridos.

Um dos grandes desafios que as cidades encontram, é conciliar a preservação do meio ambiente saudável com o desenvolvimento urbano. Para Nascimento (2009), a minimização dos problemas urbanos, causada pelo crescimento desordenado das cidades, está associada à necessidade de planejamento da ocupação do solo. Para se alcançar uma ocupação racional dos espaços, a prevenção de impactos ambientais e a prevenção de conflitos, faz-se necessário o estudo das características ambientais, físicas, sociais e econômicas do território urbano, gerando conhecimento necessário para a tomada de decisões na orientação da expansão dos territórios.

O estudo do planejamento urbano ambiental, atentando à saúde e à qualidade de vida das populações, ratifica a sua importância, principalmente quando relacionados aos resultados sociais, psicológicos, educacionais e ecológicos (Albano, 2013). No entanto, o planejamento urbano tem sido pensado, na maioria das vezes, priorizando os critérios econômicos em relação aos critérios socioambientais. Essa elaboração do plano de ocupação que não atenda aos diversos atores sociais, ocasiona em um aglomerado de pessoas sem a mínima condição de infraestrutura que, por consequência, provocam diversos impactos negativos, como a deterioração do meio ambiente e dos seus recursos (Rocha, 2017).

Segundo Nascimento (2004), o planejamento ambiental proporciona o real desenvolvimento da cidade, ou seja, o crescimento qualitativo concomitante ao crescimento quantitativo. Portanto, o planejamento ambiental como instrumento no auxílio da elaboração de planos para a expansão urbana, nada mais é do que a busca por um desenvolvimento sustentável das cidades, que propicie a conservação do meio ambiente aliado às condições de infraestrutura urbanas adequadas para a qualidade de vida no ambiente. De acordo com Forattini (1991), a qualidade de vida pode ser definida como a união dos fatores referentes à interação entre

sociedade e meio ambiente. Através disso, fatores como o abastecimento de água, esgotamento sanitário, resíduos sólidos e interação com o meio ambiente estão diretamente ligados à qualidade de vida da população.

### 3.1.1. ESTUDO DE CENÁRIOS

Para Fonseca (2008), a expectativa em relação ao futuro tem assumido papel importante nas decisões individuais e coletivas, em que o futuro deve se constituir na essência do planejamento e das escolhas coletivas da sociedade. À medida que a realidade se complica, que as mudanças se intensificam e as incertezas em relação ao futuro aumentam, cresce a necessidade de maior rigor e de sistematização na antecipação do futuro, o que leva ao desenvolvimento de metodologias e técnicas, bem como a ampliação do uso de recursos na construção de cenários.

A construção de cenários lida, normalmente, com sistemas altamente complexos e dinâmicos, que convivem com contínuas mudanças. Os sistemas complexos se caracterizam por serem processos de retroalimentação, onde estabelecem condições de auto-organização e mudança. Deste modo, mesmo em sistemas complexos e caóticos, a antecipação do futuro se torna possível dentro dos espaços de imponderabilidade, pelo menos no que diz respeito às características qualitativas gerais do comportamento do sistema (Fonseca, 2008).

Conforme Mancini (2011), as vantagens de se utilizar do planejamento baseado em cenários, é que estes proveem de diferentes alternativas aos tomadores de decisão, identificam perigos e oportunidades em cada uma das propostas, sugerem uma variedade de possíveis abordagens, ajudam a avaliar alternativas de políticas e ações e aumentam a criatividade e possibilidades do tomador de decisões.

Por meio disso, a construção de cenários se torna uma ferramenta fundamental para o planejamento urbano, pois pode simular alternativas de crescimento populacional, de curto ou longo prazo. A construção de cenários também possibilita simular a dinâmica da sociedade com o meio ambiente em que está inserida, podendo assim, simular possíveis danos, derivados da expansão populacional, ao meio ambiente.

### 3.1.2. LEGISLAÇÃO VIGENTE

O Estatuto da Cidade, Lei Federal nº 10.257, de 10 de julho de 2001, regulamenta os artigos 182 e 183 - Da Política Urbana - da Constituição Federal de 1988, estabelecendo normas de

ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental (Brasil, 2001).

O Estatuto da Cidade, traz como objetivo de a política urbana ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana e, em seu capítulo III, traz o instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana, o Plano Diretor (PD) (Brasil, 2001). Sendo o Município o responsável pela sua elaboração que tem por finalidade: assegurar o atendimento das necessidades dos cidadãos quanto à qualidade de vida, à justiça social e o desenvolvimento das atividades econômicas. O PD, aprovado por lei municipal, deve englobar o território do Município como um todo, sendo obrigatório para as cidades com mais de vinte e mil habitantes e integrantes de regiões metropolitanas e aglomerações urbanas.

A Lei Federal n° 6.766, de 19 de dezembro de 1979, dispõe sobre o parcelamento do solo urbano. A referida Lei, traz no seu artigo 2° no parágrafo 5° a infraestrutura básica dos parcelamentos, sendo constituída por equipamentos urbanos de escoamento das águas pluviais, iluminação pública, esgotamento sanitário, abastecimento de água potável, energia elétrica pública e domiciliar e vias de articulação (Brasil, 1979). Além disso, descreve, nos incisos do parágrafo único do artigo 3°, os casos em que não é permitido o parcelamento, sendo eles:

> I - Em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas;
> Il - Em terrenos que tenham sido aterrados com material nocivo à saúde pública, sem que sejam previamente saneados;
> III - Em terrenos com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento), salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes;
> IV - Em terrenos onde as condições geológicas não aconselham a edificação;
> V - Em áreas de preservação ecológica ou naquelas onde a poluição impeça condições sanitárias suportáveis, até a sua correção.

O Código Florestal, Lei Federal n° 12.651, de 25 de maio de 2012, dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e estabelece, nos incisos I e II do artigo 4° as áreas de preservação permanente (APP), em zonas rurais ou urbanas, como sendo:

> I - 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:
> a) 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;
> b) 50 (cinquenta) metros, para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;
> c) 100 (cem) metros, para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;

> d) 200 (duzentos) metros, para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;
> e) 500 (quinhentos) metros, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;
> II - As áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais, em faixa com largura mínima de:
> a) 100 (cem) metros, em zonas rurais, exceto para o corpo d'água com até 20 (vinte) hectares de superfície, cuja faixa marginal será de 50 (cinquenta) metros;
> b) 30 (trinta) metros, em zonas urbanas;
> III - As áreas no entorno dos reservatórios d'água artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos d'água naturais, na faixa definida na licença ambiental do empreendimento;
> IV - As áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros;
> V - As encostas ou partes destas com declividade superior a 45º, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive;
> VI - As restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues;
> VII - Os manguezais, em toda a sua extensão;
> VIII - As bordas dos tabuleiros ou chapadas, até a linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais;
> IX - No topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25º, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo está definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação;
> X - As áreas em altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação;
> XI - Em veredas, a faixa marginal, em projeção horizontal, com largura mínima de 50 (cinquenta) metros, a partir do espaço permanentemente brejoso e encharcado (Brasil, 2012).

A Lei Estadual n° 18.104, de 18 de julho de 2013, dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e institui a nova Política Florestal do Estado de Goiás, definido as APPs no artigo 4°, em conformidade com o Código Florestal Brasileiro (2012) (Goiás, 1013).

A nível municipal, há a Lei Complementar Municipal n° 022, de 20 de novembro de 2017, que institui o Plano de Diretor Integrado do Município de Formosa, que dispõe sobre a política de desenvolvimento municipal, o plano de uso e ocupação, os instrumentos urbanísticos e o sistema de gestão. Vale destacar os capítulos I e IV que dispõe do zoneamento e do parcelamento respectivamente (Formosa, 2017).

## 3.2. SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

O Sistema de Abastecimento de Água (SAA) é um sistema que compreende um conjunto de estruturas e que tem como objetivo básico a captação da água de um corpo hídrico até o consumidor final, de forma contínua, com quantidade e qualidade compatíveis com as necessidades da população.

A estrutura de um sistema de abastecimento de água é composta pelo manancial, captação, adutora, estação de tratamento de água, reservatório e rede de distribuição. A Figura 3.1 apresenta um sistema simplificado de um SSA.

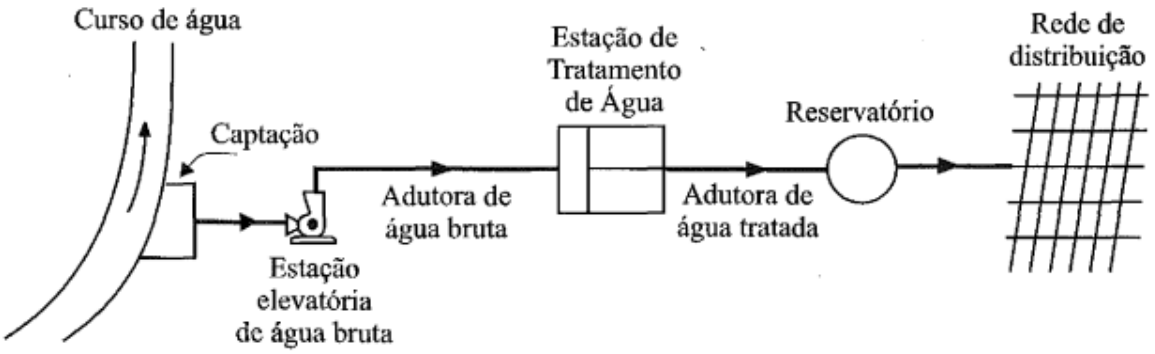



Figura 3.1: Sistema simplificado de uma rede de abastecimento de água. Fonte: (Tsutiya, 2006)

O manancial é o corpo de água superficial ou subterrâneo, que será captada a água para o abastecimento da comunidade. O manancial deve ser capaz de fornecer a vazão necessária para atendimento à população e a qualidade da água deve ser adequada sob o ponto de vista sanitário. A captação corresponde ao conjunto de estruturas e dispositivos responsáveis pela retirada da água destinada ao sistema de abastecimento (Heller e Pádua, 2012).

A adução corresponde ao conjunto de tubulações, peças e obras dispostas entre as unidades que precedem a rede de distribuição. Podem ser classificadas de acordo com a natureza da água transportada (bruta ou tratada), de acordo com a energia utilizada para o escoamento de água (gravidade, recalque ou mista), de acordo com o modo de escoamento (conduto livre ou conduto forçado). Existem também as subadutoras, que são as tubulações que derivam de uma adutora com objetivo de alimentar um setor qualquer (FUNASA, 2007).

A unidade responsável por fazer o tratamento da água para que atenda os padrões de potabilidade é a estação de tratamento de água. O tratamento da água consiste em melhorar suas características organolépticas, físicas, químicas e bacteriológicas, com o objetivo de que se torne adequada ao consumo humano (FUNASA, 2007). O tipo de técnica a ser empregada no tratamento da água dependerá das características da água captada no manancial.

O reservatório é o elemento responsável por regularizar as variações entre as vazões de adução e de distribuição e condicionar as pressões na rede de distribuição (Heller e Pádua, 2012). O reservatório deve ser capaz de garantir uma reserva estratégica em casos de incêndio e

promover a continuidade do abastecimento no caso de paralisação da produção de água. Para isso, é recomendado que o volume armazenado seja igual ou maior que ⅓ do volume de água consumido referente ao dia de maior consumo. Os reservatórios podem ser classificados a partir da sua posição em relação ao SAA (a montante da rede de distribuição ou a jusante da rede de distribuição) e a partir da sua construção (elevados, apoiados, enterrados ou semienterrados) (FUNASA, 2007).

O componente responsável por entregar a água potável a população é a rede de distribuição. A rede de distribuição é composta por um conjunto de tubulações, conexões e órgãos acessórios que devem possibilitar o fornecimento de água de forma contínua, em quantidade e pressão recomendada. As redes de distribuição podem ser classificadas em: ramificada, com uma tubulação principal, da qual partem tubulações secundárias, ou; malhada que consiste em tubulações que se intercomunicam evitando extremidades mortas, permitindo a alimentação de um mesmo ponto por diversas vias, reduzindo as perdas de carga (FUNASA, 2007).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) traz oito normas técnicas que a respeito dos componentes dos sistemas de abastecimento de água, são elas:

I. NBR 12.215 - Projeto de Adutora de Água para Abastecimento Público (ABNT, 1991);

II. NBR 12.211 - Estudos de Concepção de Sistemas Públicos de Abastecimento de Água ABNT, 1992);

III. NBR 12.212 - Projeto de Poço para Captação de Água Subterrânea (ABNT, 1992);

IV. NBR 12.213 - Projeto de Captação de Água de Superfície para Abastecimento Público (ABNT, 1992);

V. NBR 12.214 - Projeto de Sistema de Bombeamento de Água para Abastecimento Público (ABNT, 1992);

VI. NBR 12.216 - Projeto de Estação de Tratamento de Água para Abastecimento Público (ABNT, 1992);

VII. NBR 12.217 - Projeto de Reservatório de Distribuição de Água para Abastecimento Público (ABNT, 1994);

VIII. NBR 12.218 - Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público (ABNT, 2017).

Sendo a NBR 12.218 a norma técnica com maior importância na concepção de projetos de Redes de Abastecimento de Água.

### 3.2.1. CONCEPÇÃO DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTOS DE ÁGUA

A concepção de um Sistema de Abastecimento de Água pode ser definida pelo conjunto de estudos, diretrizes, parâmetros e definições necessárias para a sua caracterização completa. De acordo com a Norma NBR 12.211, essa caracterização deve se dar sob o ponto de vista qualitativo e quantitativo, das diferentes partes de um sistema, organizadas de modo a formarem um todo integrado (ABNT, 1992)

Para a concepção de um SAA se faz necessário o desenvolvimento de parâmetros para auxiliar na tomada de decisão e a na garantia do atendimento qualitativo e quantitativo da área de projeto. As atividades necessárias inerentes ao estudo de concepção de um SAA serão listadas a seguir.

A) CONSUMO DE ÁGUA

O consumo de água esperado para o local é fundamental para a determinação do sistema e na gestão dele, visando garantir a continuidade, em condições satisfatórias, do fornecimento de água à população atendida. Para a determinação do consumo de água, se faz necessário analisar os consumidores, que podem ser estabelecimentos residenciais, comerciais, industriais ou públicos.

O consumo residencial é referente ao necessário para atender a demanda no interior e peridomicílio das unidades residenciais. Segundo Dalmônica (2014), a variação do consumo de água residencial é a mais homogênea entre os agentes consumidores. Essa variação de consumo pode ser influenciada por fatores físicos do ambiente, como temperatura e precipitação; nível socioeconômico da população; características de habitação; administração do SAA; preço da tarifa de serviço do serviço de abastecimento e características culturais da comunidade.

A água utilizada para para uso público é referente a parcela utilizada para irrigação de parques e jardins públicos, combate a incêndio, repartições públicas, limpeza de coletores de esgoto,

piscinas públicas entre outros (Tsutiya, 2006). Segundo a norma NBR 12.211, a determinação do consumo de água deve ser avaliada a partir da população abastecível, sendo pelo menos 80% da população residente, quando esse percentual não é fixado pelo contratante (ABNT, 1992).

B) CONSUMO PER CAPITA DE ÁGUA

Consumo per capita de água é o volume de água consumido diariamente de uma região, distribuída igualmente pela sua população. Esse consumo pode ser determinado de três maneiras diferentes, sendo elas: a partir dos hidrômetros nas ligações prediais; leitura do macromedidor instalado na saída do reservatório ou no caso que não há a possibilidade de medição, deve ser utilizado valores de consumo per capita de água e seus coeficientes de variação de vazão encontrados em medições de setores ou sistemas com características semelhantes (Heller e Pádua, 2012).

Segundo SNIS (2021), o consumo médio per capita de água no Brasil é de 152,1 litros por habitante dia, sendo superior ao consumido no Estado de Goiás que apresenta o valor de 135,1 de litros por habitante dia; enquanto, o Município de Formosa (GO) apresenta consumo médio per capita de água de 114,2 litros por habitante dia.

C) VARIAÇÕES NO CONSUMO DE ÁGUA

De acordo com Tsutiya (2006), o consumo de água em um SAA varia constantemente em função do tempo. Essa variação pode se dar em termos anuais, mensais, diários, horários e instantâneos. Entretanto, as mais importantes e que devem ser levadas em consideração para dimensionamento e operação dos sistemas de abastecimento de água são as variações diárias e horárias, que correspondem ao coeficiente do dia de maior consumo (K1) e o coeficiente da hora de maior consumo (K2) respectivamente.

O valor de K1 pode ser obtido através da relação entre o maior consumo diário verificado no período de um ano e o consumo médio diário neste mesmo período, considerando-se sempre as mesmas ligações, isto é:

$$K1 = \frac{maior\ consumo\ diário\ no\ ano}{consumo\ médio\ diário\ no\ ano} \qquad \text{Equação 3.1}$$

Analogamente, o valor de K2 pode ser obtido através da relação entre a maior vazão horária observada num dia e a vazão média horária do mesmo dia, isto é:

$$K2 = \frac{maior\ vazão\ horário\ no\ dia}{vazão\ média\ do\ dia}$$ Equação 3.2

A variação dos coeficientes K1 e K2 irá depender das características da região e da comunidade presente, já mencionados anteriormente. Na Tabela 3.1 é possível observar exemplos dos coeficientes para diferentes localidades. Entretanto, é comum adotar valores padrões, como 1,2 para K1 e 1,5 para K2.

Tabela 3.1: Variação dos coeficientes K1 e K2 para diferentes localidades

| Autor/Entidade - Ano | Local | K1 | K2 |
|---|---|---|---|
| Cetesb (1978) | Valinhos | 1,25 - 1,42 | 2,08 - 2,35 |
| Tsutiya (1989) | São Paulo | 1,08 - 3,08 | 1,5 - 4,3 |
| Saporta et al. (1993) | Barcelona | 1,10 - 1,25 | 1,3 - 1,4 |
| Walski et al. (2001) | EUA | 1,2 - 3,0 | 3,0 - 6,0 |
| Hammer (1996) | EUA | 1,2 - 4,0 | 1,5 - 10,0 |
| AEP | Canadá | 1,5 - 2,5 | 3,0 - 3,5 |

Fonte: Heller e Pádua (2012), modificado.

D) ESTUDO DA POPULAÇÃO

Para o dimensionamento do SAA é necessário levar em consideração o horizonte de projeto, que corresponde ao período correspondente ao crescimento demográfico de uma determinada localidade. O horizonte de projeto tem como objetivo garantir o atendimento do sistema de acordo com o crescimento populacional. Esse período é variado entre 20 e 30 anos, sendo mais comumente adotado o valor de 20 anos (Heller e Pádua, 2012)

No entanto, se um sistema é projetado para atender uma população considerando o horizonte de projeto, é necessário estimar a população a ser abastecida nesse período. Para isso, é necessário análise em conjunto ao estudo de uso e ocupação do solo, considerando a área de projeto. Existem alguns métodos para o cálculo de expansão demográfica, com destaque para o método dos componentes demográficos, métodos matemáticos e o método de extrapolação gráfica.

O método dos componentes demográficos consiste na tendência de algumas variáveis demográficas, sendo elas: taxa de fecundidade, mortalidade e migração. Por meio dessas variáveis é formulada hipóteses de crescimento populacional. A equação do método dos componentes demográficos pode ser observada abaixo.

$$P = P0 + (N - M) + (I - E) \qquad \text{Equação 3.3}$$

Sendo, P a população no ano t; P0, a população inicial no ano t0; N, o número de nascimentos no período t0-t; M, o número de óbitos no mesmo período; I e E a quantidade de imigrantes e emigrantes respectivamente.

Os métodos matemáticos utilizam de equações matemáticas com parâmetros conhecidos para a previsão da população futura. Os métodos matemáticos mais utilizados são: o método aritmético, o método geométrico, método da curva logística e o método da taxa decrescente de crescimento.

O método da extrapolação gráfica consiste no traçado de uma curva arbitrária, que se ajusta aos dados já observados, de populações de outras comunidades com características semelhantes a área de estudo, este método possibilita estimar a população por um intervalo de tempo grande (Tsutiya, 2006).

### 3.2.2. REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

A rede de distribuição é composta pelas canalizações principais, que comportam grandes vazões e são formadas por tubulações de maior diâmetro que tem como objetivo abastecer as canalizações secundárias; já as canalizações secundárias são constituídas de tubulações de menor diâmetro e são responsáveis por levar a água até os ramais prediais dos pontos de consumo do sistema (Rocha, 2017).

A) TRAÇADO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO

A rede de distribuição pode ser dimensionada do tipo ramificada ou malhada a depender das condições do local, como a topografia e o arranjo dos pontos a serem abastecidos.

A rede de distribuição do tipo ramificada é feita a partir de uma tubulação tronco, alimentada por um reservatório ou através de uma estação elevatória, e a distribuição da água é feita diretamente para os condutos secundários (Tsutiya, 2006). Esse tipo de arranjo tem como ponto positivo a possibilidade de conhecer o sentido da vazão em qualquer trecho da rede de

abastecimento. Entretanto, esse tipo de configuração apresenta uma limitação no que se refere às manutenções ou qualquer outro tipo de interrupção que aconteça. Isso porque, quando ocorre a interrupção do escoamento de um trecho, todo o abastecimento à jusante a esse trecho é interrompido. Por esse motivo, a utilização de redes de abastecimento do tipo ramificada não é recomendada, sendo utilizada apenas quando não é possível a implementação de redes de distribuição do tipo malhada. Na Figura 3.2 é possível visualizar o esquema de uma rede de abastecimento do tipo ramificada.

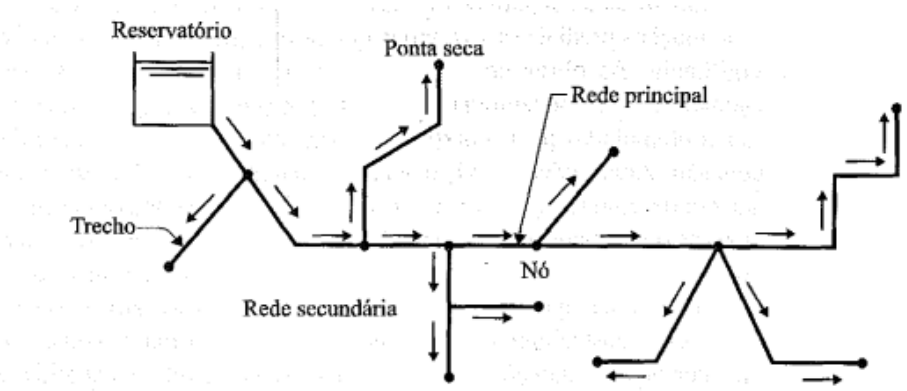



Figura 3.2: Esquema de uma rede de abastecimento de água do tipo ramificada. Fonte: Tsutiya (2006).

As redes de abastecimento de água do tipo malhadas são constituídas por tubulações principais que formam anéis, possibilitando o abastecimento de qualquer ponto do sistema por mais de um caminho, o que permite maior flexibilidade no abastecimento e manutenção da rede. Na Figura 3.3 é possível observar o arranjo de uma rede de abastecimento do tipo malhada.

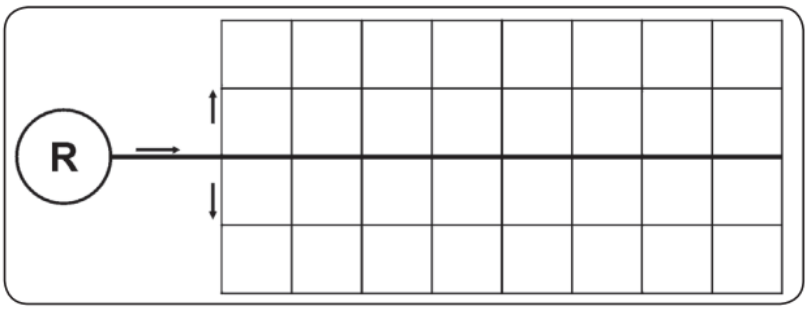



Figura 3.3: Rede de abastecimento de água do tipo malhada. Fonte: FUNASA (2007).

Tsutiya (2006) traz algumas recomendações para o traçado da rede de abastecimento de água, citadas a seguir:

I. Devem ser localizadas em vias ou áreas públicas;

II. Dar preferência às vias não pavimentadas, com intensidade baixa de trânsito e com boas condições do solo pela maior facilidade de execução e garantia quanto aos recalques e movimentações das tubulações;

III. As tubulações principais devem ser direcionadas às zonas de maior demanda, próximas onde se localizam as vazões concentradas, as vazões singulares de consumidores especiais e em locais previstos o abastecimento de água para combate a incêndio;

IV. Devem ser instaladas preferencialmente sob as calçadas;

V. Limitar o comprimento da tubulação secundária em 600m;

VI. Evitar sempre que possível extremidades mortas.

Além das recomendações citadas, a NBR 12.218 - Projeto de Rede de Distribuição de água para Abastecimento Público (2017) - traz as diretrizes necessárias para o traçado das redes urbanas.

B) DIMENSIONAMENTO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO

A rede de distribuição deve ser dimensionada a partir da vazão de distribuição. Para a definição da vazão de distribuição é necessário identificar os diferentes perfis de consumidores e ser considerado vazão para áreas de expansão e áreas específicas. O cálculo da vazão de distribuição pode ser observado na Equação 3.4 abaixo.

$$Q = \frac{K_1 * K_2 * P * q}{86400} \qquad \text{Equação 3.4}$$

Sendo, Q a vazão de distribuição em litros por segundos; K1 o coeficiente do dia de maior consumo; K2 o coeficiente da hora de maior consumo; P a população a ser abastecida e; Q consumo per capita de água em litros por habitante dia.

Com a vazão de distribuição, é necessária uma análise hidráulica da rede. Segundo Tsutiya (2006), é utilizada a equação da continuidade para a análise hidráulica das redes. A equação da continuidade, parte do pressuposto da condição de equilíbrio do sistema, onde a soma algébrica das vazões em cada nó da rede é nula.

A norma NBR 12.218 de 2017 da ABNT traz algumas especificações para o dimensionamento da rede de distribuição, com destaque para:

> **5.3.1** A pressão estática máxima nas tubulações distribuidoras deve ser de 400 kPa, podendo chegar a 500kPa em regiões com topografia acidentada, e a pressão dinâmica mínima, de 100 kPa, e ser referenciada ao nível do terreno.
> **5.6.4** As velocidades máximas de dimensionamento devem corresponder a uma perda de carga de até 10 m/km. Devem ser evitadas velocidades mínimas inferior a 0,40 m/s. Exceção pode ser aceita, desde que tecnicamente justificada.
> **5.7.4** O dimensionamento e a análise do funcionamento global do sistema hidráulico devem ser realizados por simulações hidráulicas, que garantem residuais máximos de vazão e de carga piezométrica de 0,1 L/s e 0,5 kPa, respectivamente.

Com o objetivo de atender o objetivo dos limites de pressão estabelecidos na norma, se faz necessário a divisão da rede em zonas de pressão (alta, média e baixa), onde cada zona de pressão é abastecida por um reservatório de distribuição. A Figura 3.4 traz o esquema de abastecimento de água com a rede de abastecimento dividida em zonas de pressão.

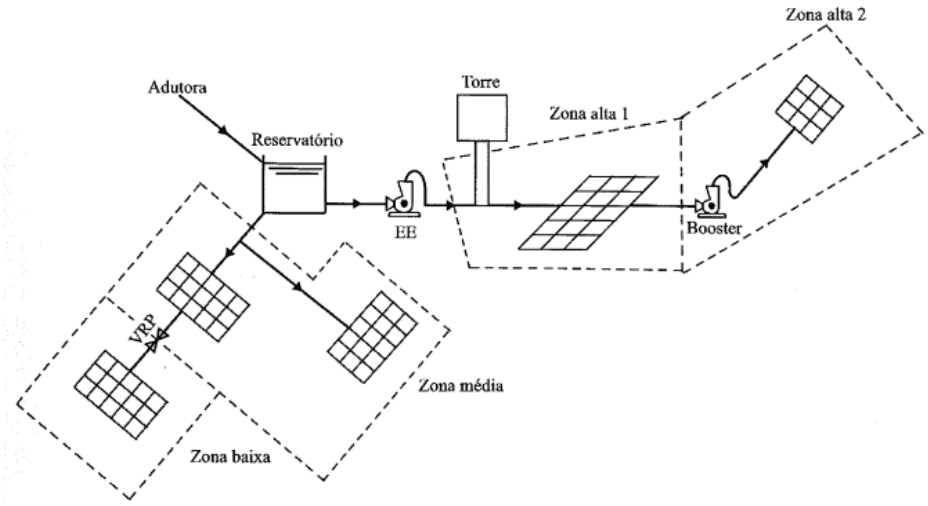



Figura 3.4: Esquema do SSA para o atendimento de diferentes zonas de pressão. Fonte: Tsutiya (2006).

C) ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Para a elaboração de projetos de redes de abastecimento de água, Tsutiya (2006) propõe um roteiro com as seguintes etapas: delimitação da área a ser atendida; estudo demográfico da área a ser atendida, delimitando as áreas homogêneas, de acordo com o tipo de ocupação e densidade demográfica; concepção do sistema de distribuição, englobando os estudos das zonas de pressão, estudos de setorização e traçado da rede de distribuição; seleção de pontos de

concentração de vazões; extensão dos trechos; áreas de influência dos nós; vazões específicas; vazões concentradas nos nós; vazões nos trechos; vazões nos hidrantes; e projeto de rede de distribuição de água.

## 3.3. GEOPROCESSAMENTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E MAPAS DE USO E COBERTURA DO SOLO

O geoprocessamento corresponde a disciplina responsável pela utilização de técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica, com o objetivo principal de fornecer ferramentas computacionais para que os analistas determinem as evoluções espaciais e temporais de um fenômeno geográfico e as inter-relações entre diferentes fenômenos (Câmara e Medeiros, 1998).

Já o sistema de Informações Geográficas (SIG), pode ser definido como um sistema computacional, dotado de ferramentas para manipulação, transformação, armazenamento, visualização, análise e modelagem de dados georreferenciados, voltado para a produção de informação, tornando-se em um instrumento de suporte à decisão (Jacintho, 2003).

De acordo com Câmara e Medeiros (1998), é possível apontar pelo menos quatro dimensões dos problemas ligados aos estudos ambientais onde a utilização de SIG tem aplicação eficiente, sendo elas: mapeamento temático, diagnóstico ambiental, avaliação de impacto ambiental e ordenamento territorial. O estudo de ordenamento territorial tem como objetivo normatizar a ocupação do espaço, buscando racionalizar a gestão do território, visando um processo de desenvolvimento sustentável.

Na perspectiva moderna de gestão do território, toda ação de planejamento, ordenamento ou monitoramento do espaço devem incluir análise dos diferentes componentes do meio ambiente, abrangendo o meio físico-biótico, a ocupação humana e o inter-relacionamento destes (Medeiro e Câmara, 2001). Assim, é de suma importância a análise espacial das transformações ocorridas no ambiente para o planejamento e a seleção de áreas favoráveis à ocupação do solo.

No que tange ao uso e cobertura do solo, o mesmo pode ser entendido como a maneira em que o espaço geográfico vem sendo modificado. Tais modificações na cobertura do solo se dão a partir de processos naturais e antrópicos, sendo as atividades antrópicas as principais responsáveis pelas transformações ocorridas no espaço.

De acordo com Turner *et al*. (1995), o termo mudança na cobertura do solo compreende a substituição parcial ou completa de um tipo de cobertura. Já o termo mudança no uso do solo, corresponde além das modificações nos tipos de cobertura, também a intensificação em seu uso sem alterar totalmente a sua classificação.

A elaboração de mapas em escala multitemporal de uso e cobertura do solo possibilita identificar tendências da dinâmica da paisagem na área de estudo, as taxas de variação em um período analisado e a evolução dessas taxas através do tempo (Salazar, 2015). Em vista disso, a produção de mapas de uso e cobertura do solo figura como uma importante ferramenta para estudos que objetivam simular as mudanças no espaço em escala temporal, e as ferramentas de geoprocessamento em um SIG permitem a realização de sua análise espacial e produção dos respectivos mapas.

Para obtenção de mapas de uso e cobertura do solo é necessária uma classificação temática da área de estudo, realizado por imagens de sensores remotos. Para a classificação temática dessas imagens é necessário realizar alguns procedimentos que a antecede, sendo eles: o pré-processamento das imagens e o realce.

O pré-processamento consiste em um conjunto de algoritmos que realizam o tratamento inicial dos dados brutos para a calibração radiométrica de uma imagem, correção de suas distorções geométricas e remoção de ruídos (Rocha, 2017). O realce tem como objetivo melhorar a qualidade visual da imagem. As técnicas mais comuns de realce, são: realce de contraste, filtragem, operação matemática, transformação IHS, componentes principais e segmentação.

Após o pré-processamento e o realce é possível realizar a classificação temática das imagens, que consiste em um processo de extração das informações para identificar padrões e objetos homogêneos com o objetivo de mapear as áreas da superfície terrestre. Isso quer dizer, associar padrões de comportamento espectral de uma imagem com uma classe ou um grupo de classes temáticas, as quais representam as feições ou alvos terrestres como a água, agricultura, área urbana, pastagem, entre outros (Salazar, 2015).

A classificação temática das imagens pode ser dividida em classificação supervisionada e classificação não supervisionada. A classificação não supervisionada é utilizada quando não se tem informações suficientes sobre as classes alvos da área, para isso é feita uma classificação exploratória da imagem para identificar as possíveis classes alvos. Já a classificação supervisionada é utilizada quando se tem conhecimento prévio das classes alvos, o número de

classes e os pontos representativos destas. A classificação supervisionada é feita através do treinamento do software, selecionando áreas conhecidas e atribuindo padrões de comportamento espectral, para que o software possa atribuir cada pixel a uma determinada classe.

Após a classificação temática das imagens de sensores remotos é obtido como produto o mapa de uso e cobertura do solo. A concepção do mapa de uso e cobertura do solo é utilizada como subsídio para a obtenção do mapa de vulnerabilidade ambiental.

## 3.4. ESTUDO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL

O conceito de vulnerabilidade ambiental, segundo Aquino *et al*. (2017), pode ser definida como o grau em que um sistema natural é suscetível ou incapaz de lidar com os efeitos das interações externas.

Para Salazar (2015), a vulnerabilidade ambiental de maneira geral inclui o grau no qual o homem ou um ecossistema está em contato com um risco (exposição), o grau em que uma unidade é afetada pela exposição (sensibilidade) e a capacidade de resistir ou se recuperar dos danos (resiliência). Assim, o estudo da vulnerabilidade ambiental vem se tornando importante ferramenta por associar diversos aspectos físicos do território, de modo a possibilitar a observação do ambiente de maneira holística e integrada (Almeida *et al.*, 2017). Problemas decorrentes de ações antrópicas, como: uso inadequado do solo, desmatamento, erosão e poluição dos corpos hídricos são alguns dos exemplos que podem ser analisados com o auxílio da vulnerabilidade ambiental.

Para a avaliação da vulnerabilidade ambiental, se faz necessário a escolha de indicadores que representam o objetivo da análise, de acordo com a fragilidade em que o sistema está inserido. Tais indicadores devem ser hierarquizados em nível de importância da fragilidade analisada e classificados em função do grau de fragilidade. Deste modo, é possível obter uma análise integrada da vulnerabilidade ambiental do sistema.

Diante disso, Ross (1994) trouxe como proposta a união dos elementos territoriais, como sendo: pedologia, geologia, declividade e corpos d’água, juntamente com o estudo das ações antrópicas, através de mapas de uso e cobertura do solo, para a criação de mapas de vulnerabilidade ambiental.

Já Crepani *et al.* (2001) traz em sua análise a Unidade Territorial Básica (UTB) definida como unidades básicas de informação e análise para o Zoneamento Ecológico-Econômico, que utiliza de conhecimentos a respeito da sua constituição física, forma, estágio de evolução, o estudo de sua gênese e a sua cobertura vegetal. Para tal, utiliza-se de mapas geológicos, geomorfológicos, pedológicos, uso e cobertura da terra e dados climáticos.

O estudo da vulnerabilidade ambiental na concepção de sistemas de abastecimento de água é de suma importância pois ajuda a prever e minimizar fenômenos que podem prejudicar o abastecimento nas cidades. Isso porque, redes de abastecimento em áreas que apresentam processos de erosão podem ser danificadas através de vazamentos que comprometem o abastecimento à população. Áreas propícias à recorrentes enchentes e alagamentos podem contaminar as fontes de abastecimento de água; afetando a qualidade da água, causando danos às estruturas de tratamento devido aos sedimentos presentes na água; e elevando os custos de tratamento para as estações de tratamento de água. Outro ponto afetado é a disponibilidade de água devido ao assoreamento dos corpos hídricos, favorecendo a ocorrência de enchentes no período chuvoso e escassez de água no período de estiagem, o que provoca a redução dos mananciais de água disponíveis para o abastecimento.

Para a determinação da vulnerabilidade ambiental neste projeto final de graduação em engenharia ambiental foram utilizados os processos de suscetibilidade aos processos erosivos lineares e laminares, suscetibilidade à inundação e suscetibilidade à ação antrópica.

### A) SUSCETIBILIDADE À EROSÃO LINEAR

A erosão linear ocorre quando o escoamento superficial da água da chuva se concentra através de linhas de fluxo bem definidas, formando sulcos, ravinas e voçorocas. Para a determinação da suscetibilidade à erosão linear pode ser utilizada uma adaptação à metodologia proposta por Macêdo (2009), que consiste na utilização de fatores pedológicos e geológicos para a construção de um mapa geopedológico e a declividade do terreno para obtenção final do mapa de suscetibilidade à erosão linear.

As unidades pedológicas se baseiam na espessura e textura dos solos, assim, solos rasos são classificados com um potencial baixo para erosão linear, pois apontam que o substrato rochoso está próximo a superfície, e consequentemente evita o desenvolvimento do processo erosivo. Já as unidades geológicas são classificadas de acordo com a litologia e estrutura das rochas, na qual, quanto maior a permeabilidade e o volume dos espaços vazios no litolito, maior o

potencial erosivo, pois maior será a chance de desagregação e de condução de compostos solubilizados (Almeida *et al*., 2017).

B) SUSCETIBILIDADE À EROSÃO LAMINAR

A erosão laminar ocorre quando o escoamento superficial das águas da chuva retira a camada superficial do solo, desgastando-o. A erosão laminar leva em consideração fatores como a erosividade da chuva, declividade, uso e manejo do solo, erodibilidade do solo, comprimento de rampa e práticas conservacionistas. Para a determinação da suscetibilidade à erosão laminar é utilizada a Equação Universal da Perda de Solo (EUPS), desenvolvida por Wichmeier e Smith (1978).

A EUPS consiste em um modelo empírico utilizado para quantificar as perdas de solo por erosão linear. A Equação 3.5 abaixo demonstra a EUPS.

$$A = R * K * LS * C * P$$ Equação 3.5

Sendo,

- A - Perda de solo [ton./(ha.ano)];
- R - Fator erosividade da chuva [(MJ.mm)/(ha.h)];
- K - Fator erodibilidade do solo [(ton.h)/(MJ.mm)];
- LS - Fator topográfico [adimensional];
- L - Comprimento de rampa [adimensional];
- S - Declividade [adimensional];
- C - Fator uso e manejo do solo [adimensional]; e
- P - Fator práticas conservacionistas [adimensional].

C) SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO

A análise da suscetibilidade à inundação é importante pela relação com os processos de impermeabilização e erosão do solo. Áreas pouco permeáveis são mais propícias à inundação,

que por sua vez, provocam o aumento do escoamento superficial e consequentemente a erosão no solo.

Para determinação da suscetibilidade à inundação é utilizado a proposta desenvolvida por Andrade *et al*. (2014), que consiste na utilização da declividade, a impermeabilização e a hipsometria do local para geração de mapa com índice de suscetibilidade à inundação.

No tocante a impermeabilização, a área de estudo foi classificada em regiões de acordo com o seu grau de impermeabilização. Tucci (2000) utilizou uma escala de peso, onde quanto maior o peso atribuído, maior o potencial de impermeabilização. Assim, a área foi dividida em cinco categorias, sendo elas: área urbana consolidada, área urbana inconsolidada, condomínios horizontais, cultivo/vegetação rasteira e vegetação densa.

### D) SUSCETIBILIDADE ÀS AÇÕES ANTRÓPICAS

O processo de urbanização das cidades sem um estudo prévio das condições do solo, principalmente em locais impróprios para o desenvolvimento urbano, como encostas, áreas com grandes declividades e no entorno de corpos d'águas resulta em grandes consequências para a estabilidade do solo, ocasionada pelas modificações do homem no ambiente, como a retirada da cobertura vegetal e a mudança da cobertura do solo. Tais alterações proporcionam o aumento dos problemas ambientais decorrentes da movimentação do solo e a sua capacidade de infiltração, como deslizamentos, erosões e enchentes.

Através disso, se faz necessário a análise da influência das ações antrópicas no ambiente ao longo de um período determinado para verificar as mudanças que ocorreram no solo e como o solo reagiu a tais mudanças, o que servirá de subsídio para a definição de áreas favoráveis a ocupação urbana.

O estudo da influência antrópica é realizado através da análise da suscetibilidade às ações antrópicas, obtido através da concepção do mapa de suscetibilidade às ações antrópicas que identifica áreas mais antropizadas e áreas mais preservadas através da análise multitemporal das imagens de satélite da área de estudo para verificar as modificações ocorridas ao longo do período analisado.

## 3.5. ANÁLISE HIERÁRQUICA DE PROCESSOS (AHP) NA CONCEPÇÃO DO MAPA DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL

Os métodos de análise multicritério são bastante utilizados como suporte à decisão através da utilização de indicadores que são classificados através do grau de importância relativa de cada um em relação ao objeto de estudo.

Um dos métodos difundidos no meio acadêmico é a Análise Hierárquica de Processos (AHP). Criado pelo matemático Thomas Saaty em 1980, o método da AHP é baseado na lógica da comparação pareada. Consiste em uma ferramenta de suporte à decisão multicritério e multiobjetivo, isso quer dizer, o método utiliza de diferentes fatores que influenciam na tomada de decisão, e busca definir o grau de importância de cada um e qual a proporção dessa influência em relação aos demais critérios na análise do objeto avaliado.

A integração do SIG com a AHP é bastante utilizada na determinação de áreas com menor grau de vulnerabilidade para implementação de diversos empreendimentos, com destaque para SAA. O estudo utiliza de imagens de satélite para concepção de mapa de vulnerabilidade ambiental com a utilização da técnica de AHP para a sobreposição ponderada dos mapas.

Tal concepção se dá pela obtenção dos mapas de suscetibilidade ambiental através análise dos fatores que influenciam cada um dos componentes de suscetibilidade, sendo eles: suscetibilidade à erosão linear, suscetibilidade à erosão laminar, suscetibilidade às ações antrópicas e suscetibilidade à inundação. Após o estudo da magnitude do impacto que cada fator exerce sobre o mapa de suscetibilidade e a sua construção, o método AHP é novamente aplicado para a concepção final do mapa de vulnerabilidade para determinar a influência e sua relevância quando comparado aos demais mapas de suscetibilidade que compõe o mapa de vulnerabilidade ambiental. Para a comparação entre os fatores e a determinação da prioridade entre eles, é necessário o conhecimento da influência dos fatores na aplicação e a lógica na determinação da escala de intensidade de importância entre os fatores.

Segundo Saaty (1980), a tomada de decisão deve se basear em seis etapas para se obter uma decisão de forma lógica e organizada, sendo elas: I- definição do problema de decisão, onde deve ser identificado o objetivo que se busca alcançar e a influências dos componentes que interferem no objetivo; II- decomposição do problema, formulação de estrutura hierárquica dos critérios que influenciam o objetivo; III- definição de prioridades, utilização de comparação

pareada em relação ao nível hierárquico estabelecido, atribuindo maiores pesos para os critérios que influenciam no objetivo; IV- síntese, onde é feito a análise dos julgamentos estabelecidos pelo tomador de decisão por um especialista; V- análise de sensibilidade, faz análise da consistência dos pesos estabelecidos para os critérios para identificar possíveis fragilidades na comparação entre os fatores, caso apresente inconsistência, se faz necessário a alteração dos pesos até que apresente um resultado consistente; e VI- iteração, última etapa onde deve ser feita a revisão das etapas anteriores.

Para a determinação da influência dos fatores são utilizadas matrizes de comparação para cada nível, onde os resultados são ponderados entre si. Através disso, Saaty (1980) desenvolveu uma escala de valores para a comparação pareada, onde os fatores são comparados dois a dois e um critério de importância relativa é atribuído ao relacionamento entres esses fatores, a escala pode ser visualizada na Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Escala de valores AHP para comparação pareada

| **Intensidade de Importância de uma escala absoluta** | **Importância mútua** | **Explicação** |
|---|---|---|
| 1 | Igualmente importância | Duas atividades contribuem igualmente para o objetivo. |
| 3 | Importância moderada de uma opção sobre a outra | Experiência e julgamento favorecem uma atividade em detrimento da outra. |
| 5 | Importância essencial ou forte | Experiência e julgamento favorecem uma atividade em detrimento da outra. |
| 7 | Importância muito forte | Uma atividade é fortemente favorecida e sua dominância é demonstrada na prática. |
| 9 | Extremamente importância | A evidência favorecendo uma atividade sobre outra é ordem mais alta possível de afirmação. |
| 2,4,6,8 | Valores intermediários entre dois julgamentos adjacentes | Usada apenas quando necessário. |
| Recíprocos | Se a atividade “i” recebe a atribuição de um dos números acima quando comparado com a atividade “j”, então “j” tem o valor recíproco quando comparado com “i”. | |
| Racionais | Se as atividades são muito próximas. Pode ser difícil atribuir o melhor valor, mas quando comparada com outras atividades contrastantes, o tamanho dos pequenos números não seria muito notável, contudo, eles ainda podem indicar a importância relativa das atividades. | |

Fonte: Saaty (1980), modificada.

Após a determinação da prioridade dos fatores é necessário o cálculo da matriz normalizada, realizado por meio do somatório dos elementos de cada coluna e a divisão de cada elemento

da coluna pela respectiva somatória. Posteriormente, foi feito o cálculo dos pesos relativos para cada fator, que correspondem às medidas das linhas da matriz normalizada (Carvalho, 2017).

Posteriormente, foi feito a verificação da consistência lógica das comparações realizadas, para isso, o método propõe o cálculo da Razão de Consistência (RC), que deve possuir um limiar igual ou inferior a 0,1 (10%) pois significa que a comparação par a par estabelecidas possuem coerência. Dessa forma, caso o RC seja superior a 10%, foi refeita as comparações pareadas, pois não apresentam coerência lógica entre si (Almeida *et al*., 2017). O cálculo da RC é feito a partir da Equação 3.6.

$$RC = \frac{IC}{IR} \qquad \text{Equação 3.6}$$

Sendo, IR o índice randômico de consistência, que é derivado de uma amostra de 500 matrizes recíprocas geradas de forma randômica. O IR utiliza uma escala de 9 pontos e é extraído da tabela de valores para matrizes quadradas de ordem n (Pinese Júnior e Rodrigues, 2012). Os valores de IR foram extraídos na Tabela 3.3. O IC representa o índice de consistência, calculado a partir da Equação 3.7 (Santos *et al.*, 2012).

Tabela 3.3: Valores de IR para matrizes quadradas de ordem n.

| **N** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| IR | 0,0 | 0,58 | 0,90 | 1,12 | 1,24 | 1,32 |

Fonte: Santos. *et al* (2010).

$$IC = \frac{(\lambda_{máx} - n)}{(n-1)} \qquad \text{Equação 3.7}$$

Onde, n representa o número de variáveis testadas; e $\lambda_{máx}$ o autovetor calculado pela Equação 3.8.

$$\lambda_{máx} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^{n} \frac{[Aw]i}{wi} \qquad \text{Equação 3.8}$$

Em que, [Aw]i corresponde a matriz resultante do produto da matriz recíproca pela matriz dos pesos calculados (wi); e wi o peso de cada critério. Uma boa estimativa dos coeficientes d matriz resulta em um $\lambda_{máx}$ mais próximo de n.

Após a validação da consistência da comparação pareada da importância relativa entre os fatores o método AHP é concluído, foi possível utilizar da ferramenta álgebra mapas por meio de SIG para a composição dos mapas finais.

## 3.6. MODELOS DE SIMULAÇÃO HIDRÁULICA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Os modelos de simulação hidráulica de sistemas de abastecimento de água são ferramentas que tem por finalidade reproduzir, através de uma ou várias equações matemáticas, com maior precisão possível, o comportamento real do sistema que representa (Gumier e Luvizotto Junior, 2005). A utilização de modelos de simulação hidráulica na concepção de um sistema de água pode antecipar problemas relacionados à rede e selecionar opções que tragam um melhor retorno técnico e econômico.

Segundo Gumier e Luvizotto Junior, (2005), a modelagem de uma rede se reduz ao estudo de um esquema simplificado dela, cuja as tubulações se associam os parâmetros apropriados para reproduzir, o mais fielmente possível, seu comportamento efetivo.

### 3.6.1. PERDA DE CARGA

Das três opções de fórmulas para o cálculo da perda de carga, a fórmula de Hazen-Williams é uma das mais utilizadas. Entretanto, a sua aplicação se limita apenas para escoamento com água. Já a de Darcy-Weisbach é teoricamente a mais correta, sendo aplicável a todos os regimes de escoamento e a todos os líquidos. E por último, a fórmula de Chezy-Manning é utilizada usualmente em escoamento de superfície livre (Rossman, 2000). As três fórmulas para o cálculo da perda de carga hidráulica ao longo da tubulação se baseiam em uma mesma expressão, a Equação 3.9.

$$h_L = A * q^B \qquad \text{Equação 3.9}$$

Sendo, $h_L$ a perda de carga, expressa em unidade de comprimento; A o termo da perda de carga; q a vazão, em volume por tempo; e B o expoente da vazão. As expressões de perda de carga e os valores para o expoente da vazão para cada fórmula são expressos na Tabela 3.4 abaixo.

Tabela 3.4: Fórmulas para o cálculo da perda de carga contínua em escoamentos pressurizados (Sistema SI).

| **Fórmula** | **Termo de Perda de Carga (A)** | **Expoente da Vazão (B)** |
|---|---|---|
| Hazen-Williams | $10.674.C^{-1.852}.d^{-4871}.L$ | 1.852 |
| Darcy-Weisbach | $0.0827.f(\varepsilon,d,q).d^{-5}.L$ | 2 |
| Chezy-Manning | $10.29\,n^2.d^{-5,33}.L$ | 2 |

Fonte: Rossman (2000), modificado.

Sendo, C o coeficiente da fórmula de Hazen-Williams; ε a rugosidade absoluta ou rugosidade de Darcy-Weisbach, expressa em milímetros; f o fator de Darcy-Weisbach que depende de ε, d e q; n o coeficiente de rugosidade de Manning; d o diâmetro da tubulação em metros; L o comprimento da tubulação em metros; e o q a vazão em metros cúbicos por segundo.

De acordo com a NBR 12.218/17 no item 5.7.3, o cálculo da perda de carga deve ser feito preferencialmente pela fórmula de Darcy-Weisbach, também conhecida como fórmula universal de perda de carga.

### 3.6.2. BALANÇO HÍDRICO DA REDE

O cálculo da carga hidráulica e a vazão em um determinado ponto da rede, em determinado instante, é obtido resolvendo, simultaneamente, a equação da continuidade (conservação de massa), para cada nó, e equação da energia, para cada trecho da rede. Esse procedimento conhecido como balanço hídrico da rede, utiliza de técnicas iterativas para resolver as equações não lineares envolvidas. O EPANET emprega o "Método do Gradiente" para atingir este objetivo.

O Método do Gradiente desenvolvido por Salgado *et al*. (1988), consiste em um algoritmo iterativo para obtenção das condições de equilíbrio hidráulico na rede num dado instante, essas condições são caracterizadas pelas equações da continuidade e conservação de energia e pela relação entre as vazões e a perda de carga (Rocha, 2017).

O modelo arbitra uma primeira distribuição de vazões na tubulação que não tem necessariamente que satisfazer as equações de continuidade nos nós. Em cada iteração do método, novas cotas piezométricas são obtidas e a partir disso são calculadas novas vazões. O

procedimento é repetido até que a soma de todas as variações de vazões (em valor absoluto) relativamente à vazão total em todos os trechos for superior a tolerância especificada (Rossman, 2000).

### 3.6.3. EPANET

O EPANET é um programa que consiste de um simulador de sistemas de abastecimento de água e que permite executar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e de qualidade da água em redes de abastecimento. O programa foi desenvolvido pela *U.S Environmental Protection Agency* (USEPA) e implementado no País pelo Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, do Centro de Tecnologia, da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

Dentre as diversas possibilidades, o EPANET permite obter valores de vazão em cada tubulação, da pressão em cada nó e da altura de água em cada reservatório. Assim, o EPANET é uma importante ferramenta de apoio à análise de sistemas de distribuição por meio da utilização de cenários de projeto.

Para a modelagem hidráulica o sistema conta com um conjunto de ferramentas de cálculo para o apoio à simulação, se destacando:

I. Dimensão ilimitada do número de componentes da rede analisada;

II. Cálculo da perda de carga utilizando as fórmulas de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ou Chezy-Manning;

III. Múltiplas categorias de consumo no nós, cada um com um padrão próprio de variação no tempo;

IV. Modelagem da relação entre pressão e vazão efluente de dispositivos emissores;

# 4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo foco deste projeto está localizada no interior do Município de Formosa, no Estado de Goiás (GO). O Município se estende por uma área de 5 811,8 km² e tem altitude média de 911 metros, sendo situado a 80 quilômetros no eixo Norte-Leste de Brasília e a 282 quilômetros de Goiânia. O Município de Formosa faz fronteira com os Municípios de Planaltina de Goiás, Água Fria de Goiás, São João d'Aliança (GO), Flores de Goiás, Vila Boa (GO), Buritis (MG), Cabeceiras (GO), Cabeceira Grande (MG) e Brasília. Na Figura 4.1 é possível ver o mapa de localização do Município no Estado de Goiás.

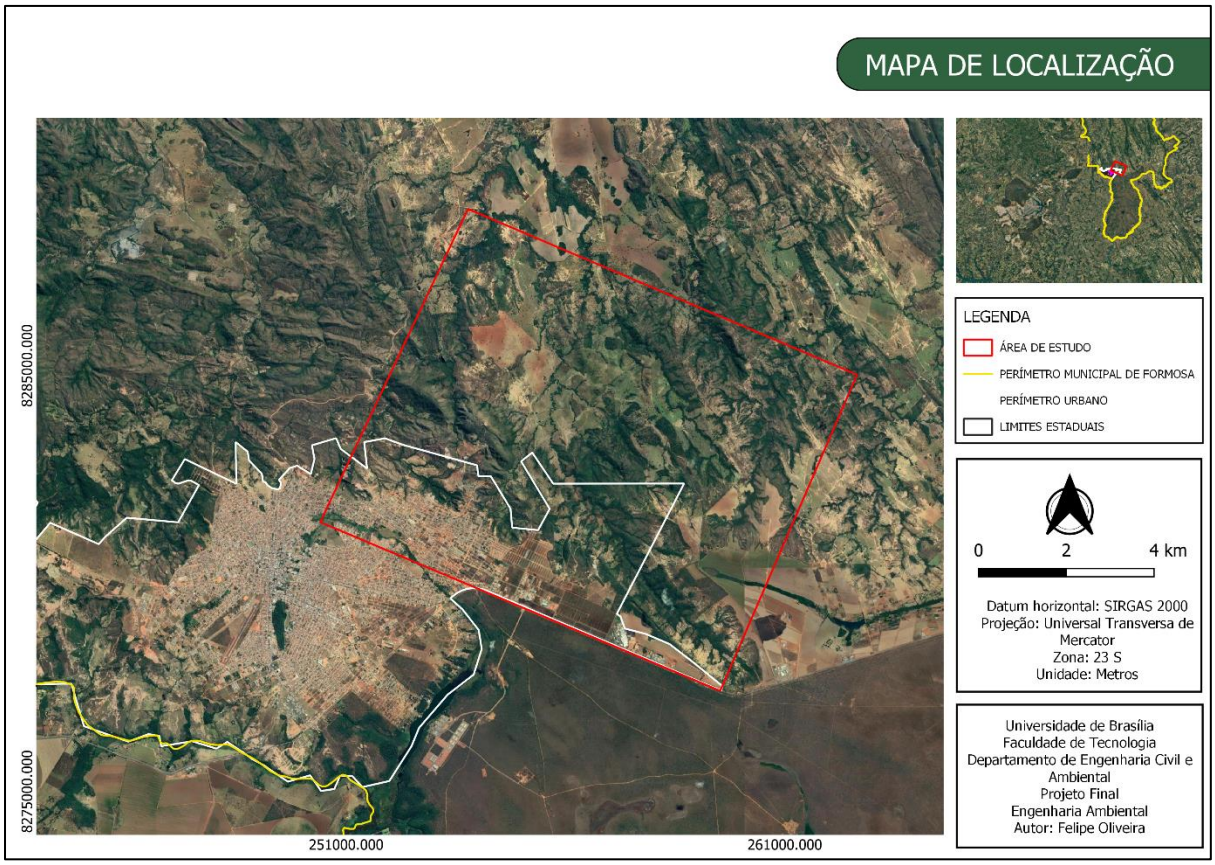



Figura 4.1: Mapa de localização da área de estudo.

A concepção da expansão da rede de abastecimento de água objeto do projeto feita para uma área do Município correspondente a Zona de Expansão Urbana (ZEU) e a Zona Habitacional de Interesse Social (ZHIS), também considerada e situada em uma zona de expansão, definidas pelo Microzoneamaneto do Perímetro Urbano definido no Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado do Município de Formosa. Na Figura 4.2 é possível observar o mapa do microzoneamento do Município de Formosa, assim como a área de estudo do projeto.

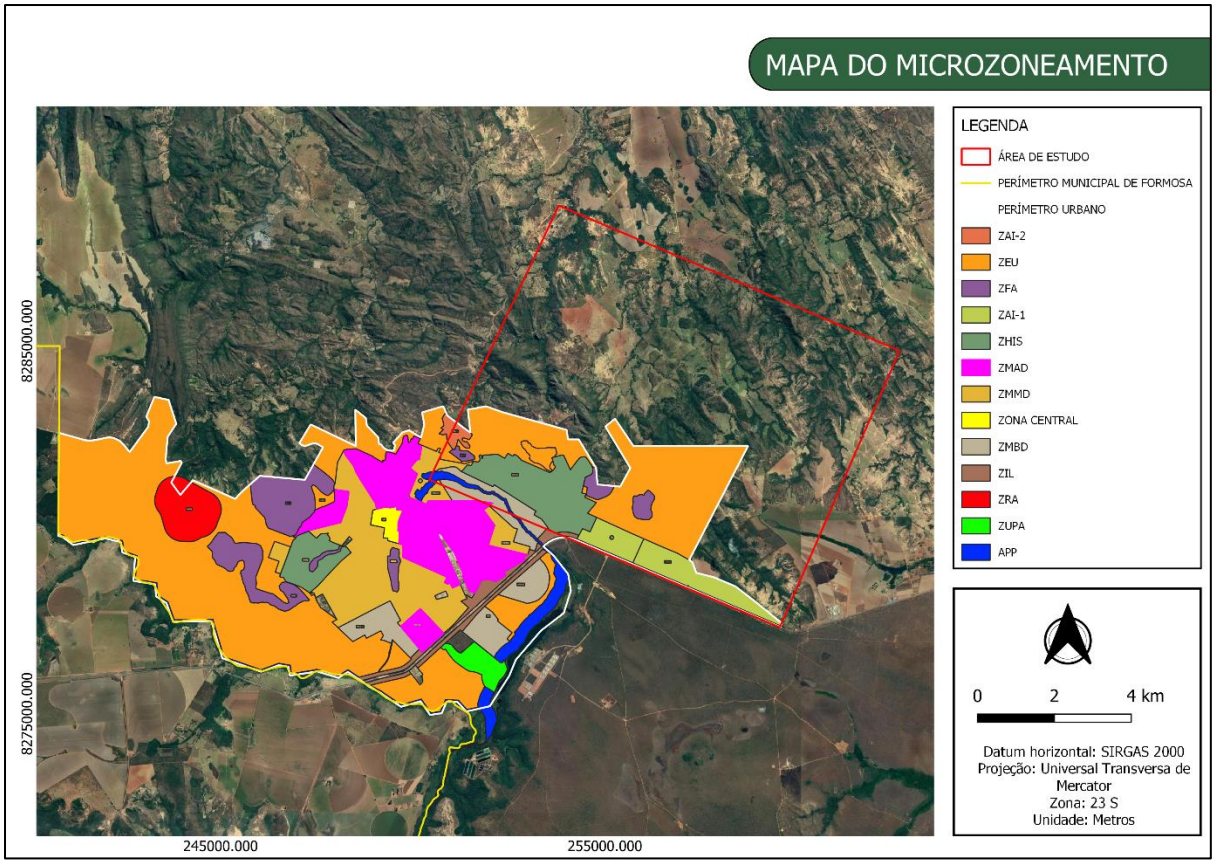



Figura 4.2: Mapa do Microzoneamaneto do Perímetro Urbano definido no Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado do Município de Formosa (2017).

Sendo,

- ZAI – 1 e 2: Zona Agroindustrial;
- ZEU: Zona de Expansão Urbana;
- ZFA: Zona de Fragilidade Ambiental;
- ZHIS: Zona Habitacional de Interesse Social;
- ZMAD: Zona Mista de Alta Densidade;
- ZMMD: Zona Mista de Média Densidade;
- ZMBD: Zona Mista de Baixa Densidade;
- ZIL: Zona de Interesse Logístico;
- ZRA: Zona de Restrição Ambiental;
- ZUPA: Zona Urbana de Proteção Ambiental;
- APP: Área de Proteção Permanente.

Para melhor visualização da área de estudo, foram feitos registros, utilizando o software Google Earth, das Zonas de Expansão Urbana e a Zona Habitacional de Interesse Social. Na Figura 4.3

é possível visualizar a construção de residências na ZHIS, através da Figura é possível identificar que consiste em uma região em estado inicial de urbanização, sem infraestrutura urbana necessária. As Figuras 4.4 e 4.5 consistem em registros de pequenas construções na ZEU, região que apresenta grandes parcelamentos e com pequenas residências. Por último, a Figura 4.6 inserida na região mais ao sudeste da área de estudo, consiste na área com o processo de urbanização mais consolidada, apresentando uma maior densidade populacional. Através das Figuras é evidente o processo de urbanização crescente que ocorre na área de estudo, sendo evidente a falta de equipamentos urbanos na área.



Figura 4.3: Registro de construções na Zona de Interesse Social. Fonte: Google Earth (2022).



Figura 4.4: Registro da área de expansão urbana da área de estudo. Fonte: Google Earth (2022).



Figura 4.5: Registro de construções na Zona de Interesse Social. Fonte: Google Earth (2022).



Figura 4.6: Registro da parte mais urbanizada a sudoeste da área de estudo. Fonte: Google Earth (2022).

## 4.1. PARCELAMENTO DO SOLO URBANO

A Lei nº 022 de 26 de junho de 2018 que altera e acrescenta dispositivos à Lei nº 441, de 20 de novembro de 2017 que "Estabelece normas e condições para Parcelamento do Solo Urbano no Município" traz as condições para o parcelamento do solo e as áreas máximas e mínimas dos loteamentos (Formosa, 2018). Sendo definido o loteamento na ZHIS com área mínima de 150,00 m² e máxima de 200,00 m² situado em zonas de expansão urbana.

Já a Lei nº 440, de novembro de 2017 que estabelece normas e condições para Uso e Ocupação do Solo no Município de Formosa, traz as taxas de ocupação, taxa de permeabilidade do solo e os coeficientes de aproveitamento para cada zona definida no Microzoneamento do Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado do Município de Formosa (Formosa, 2017). Os valores podem ser observados na Figura 4.7. A Lei também traz a destinação da ocupação para cada Microzona do Município, o parcelamento do solo na ZEU é destinado a uso misto, isso quer dizer que a zona pode promover usos residencial e não residencial, com predominância do uso residencial.

Outro dado importante na análise do parcelamento do solo urbano é a média de moradores por domicílio da região. Segundo Censo Demográfico 2010, o Município de Formosa apresentava no período a média de 3,3 moradores por domicílio particular urbano ocupado (IBGE, 2010).

| MICROZONAS | SIGLA | TAXA DE OCUPAÇÃO | TAXA DE PERMEABILIDADE | COEFICIENTE DE APROVEITAMENTO | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | MÍNIMO | BÁSICO | MÁXIMO |
| Zona Central | ZC | 0,8 | 0,1 | 0,3 | 1,5 | 2,0 |
| Zona Mista de Alta Densidade | ZMAD | 0,7 | 0,2 | 0,3 | 2,0 | 6,0 |
| Zona Mista de Média Densidade | ZMMD | 0,7 | 0,2 | 0,2 | 1,0 | 3,0 |
| Zona Mista de Baixa Densidade | ZMBD | 0,6 | 0,3 | 0,2 | 1,0 | 2,0 |
| Zona Habitacional de Interesse Social | ZHIS | 0,7 | 0,2 | 0,2 | 1,0 | 1,5 |
| Zona de Interesse Logístico | ZIL | 0,7 | 0,2 | 0,2 | 1,0 | 2,0 |
| Zona Agroindustrial | ZAI | 0,7 | 0,2 | 0,2 | 1,0 | 3,0 |
| Zona de Operação Urbana | ZOU | 0,7 | 0,2 | 0,0 | 1,0 | 2,0 |
| Zona Urbana Especial | ZUE | - | - | - | - | - |
| Zona de Expansão Urbana | ZEU | 0,7 | 0,2 | A ser definido no processo de aprovação do loteamento. | | |
| Zona de Restrição Ambiental | ZRA | 0,6 | 0,3 | 0,0 | 1,0 | 2,0 |
| Zona de Fragilidade Ambiental | ZFA | - | - | - | - | - |
| Zona Urbana de Proteção Ambiental | ZUPA | - | - | - | - | - |
| Zona de Proteção do Patrimônio Histórico | ZPPH | 0,7 | 0,2 | - | 1,0 | 2,0 |

Figura 4.7: Critério de ocupação do Município de Formosa. Fonte: Adaptado de Lei nº 440/17.

Sendo, a taxa de ocupação é a relação entre a área de projeção horizontal da edificação ou edificações e a área do lote; a taxa de permeabilidade que representa a relação entre a parte permeável, que permite a infiltração de água no solo, livre de qualquer edificação, e a área do lote; e o coeficiente de aproveitamento que expressa a relação entre a área edificada, excluída a área não computável, e a área do lote, que pode ser mínimo, abaixo do qual o imóvel poderá

ser considerado subutilizado, básico, que resulta do potencial construtivo gratuito inerente aos lotes e glebas urbanos e máximo, que não pode ser ultrapassado (Formosa, 2017).

Em relação as áreas dos loteamentos destinadas aos equipamentos urbanos e comunitários a Lei nº 441, de 20 de novembro de 2017 prevê a transferência de no mínimo 20% do loteamento para a instalação de equipamentos urbanos e comunitários e para espaços livres de uso público, sendo considerados como equipamentos comunitários, locais destinados à educação, saúde, lazer, equipamentos públicos e similares, e os equipamentos urbanos os equipamentos públicos de abastecimento de água, serviços de esgoto, energia elétrica, coleta de águas pluviais, rede telefônica e gás canalizado. Já os espaços livres de uso público consistem nas áreas verdes, as praças e os similares, em todos os casos dotados de infraestrutura para uso público (Formosa, 2017).

## 4.2. DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

A pedologia da área de estudo é caracterizada por solos do tipo cambissolo, que são solos com espessura média, com a presença de cascalho e silte, e solos do tipo latossolos vermelhos que são caracterizados por serem solos homogêneos, possuem alto teor de ferro e apresentam textura argilosa (Embrapa, 2018). O mapa pedológico da área de estudo pode ser visualizado na Figura 4.8.

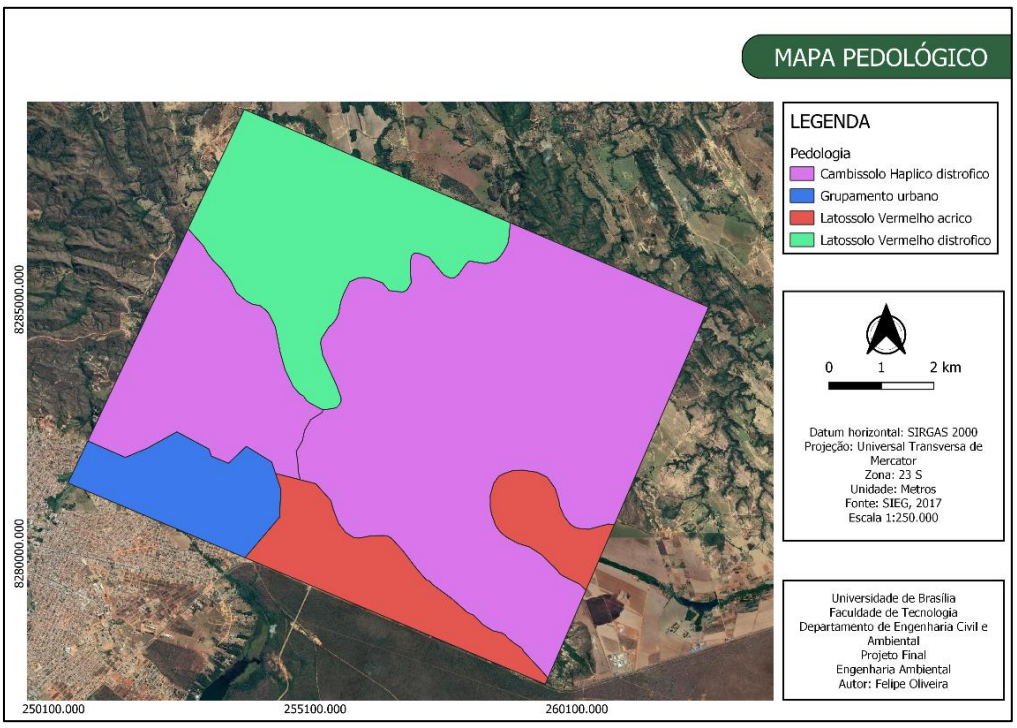



Figura 4.8: Mapa pedológico da área de estudo. Fonte: SIEG (2017).

No tocante a geologia da área, a estrutura das rochas, as estruturas são formadas pelo grupo Bambuí, Paranoá e pela cobertura detrito laterítico-ferruginosa. A divisão dos grupos geológicos pode ser visualizada na Figura 4.9.

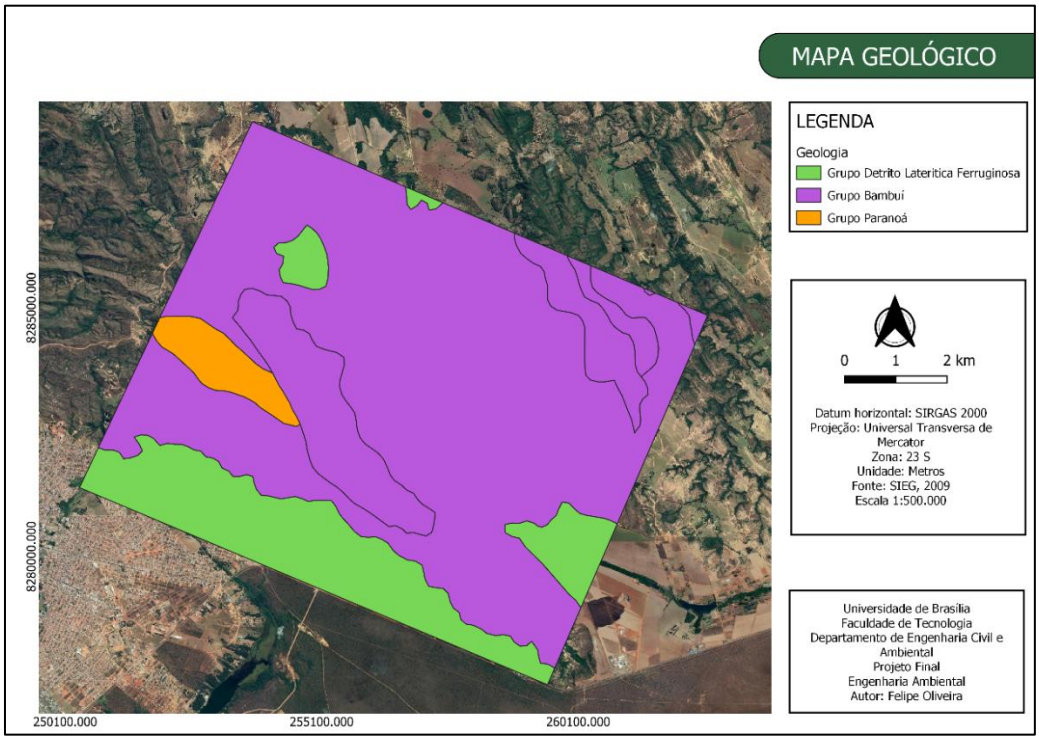



Figura 4.9: Mapa geológico da área de estudo. Fonte: SIEG (2009).

Em relação as suas características altimétricas e de declividade, a região apresenta uma altitude máxima de 1.016 metros e uma mínima de 684. Já em relação a sua declividade, a área apresenta áreas com declividades elevadas, superando 50%, porém a maioria de sua área é composta por áreas com pequenas declividades, sendo inferior a 10%. É importante ressaltar que a área que está em processo de urbanização e expansão está situada nos pontos de pequena declividade e altitude de média para alta. O mapa hipsométrico e o mapa de declividade podem ser observados nas Figuras 4.10 e 4.11 respectivamente.

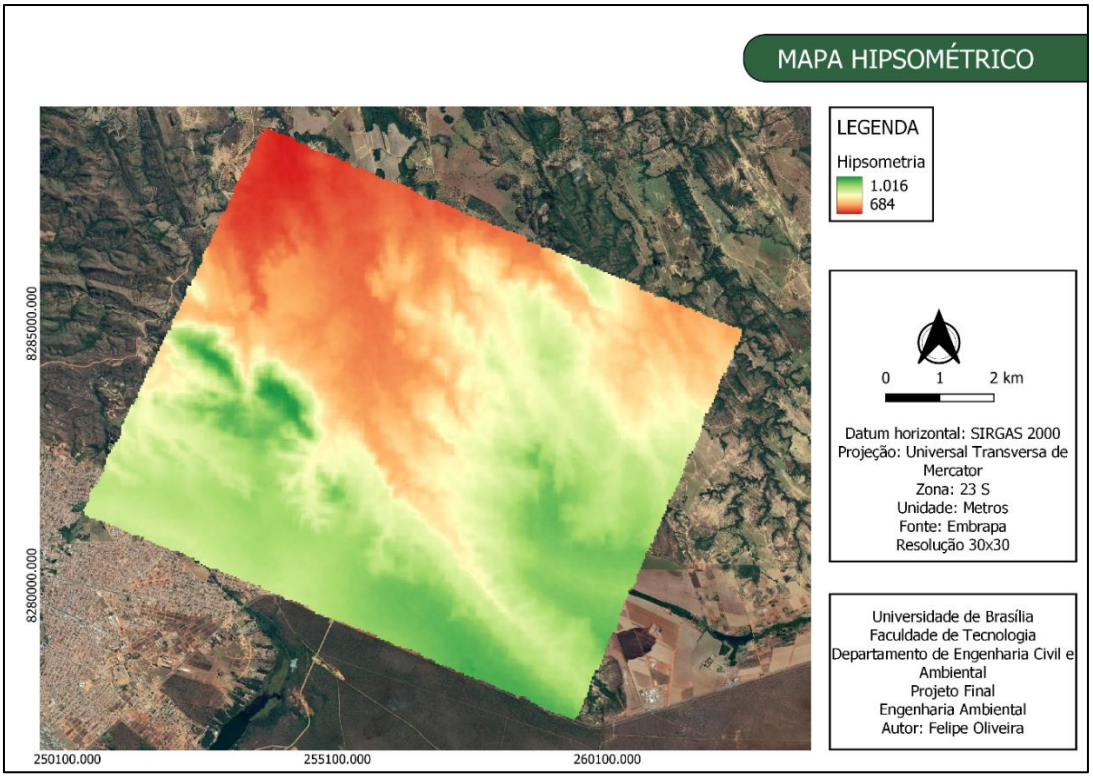



Figura 4.10: Mapa hipsométrico da área de estudo.

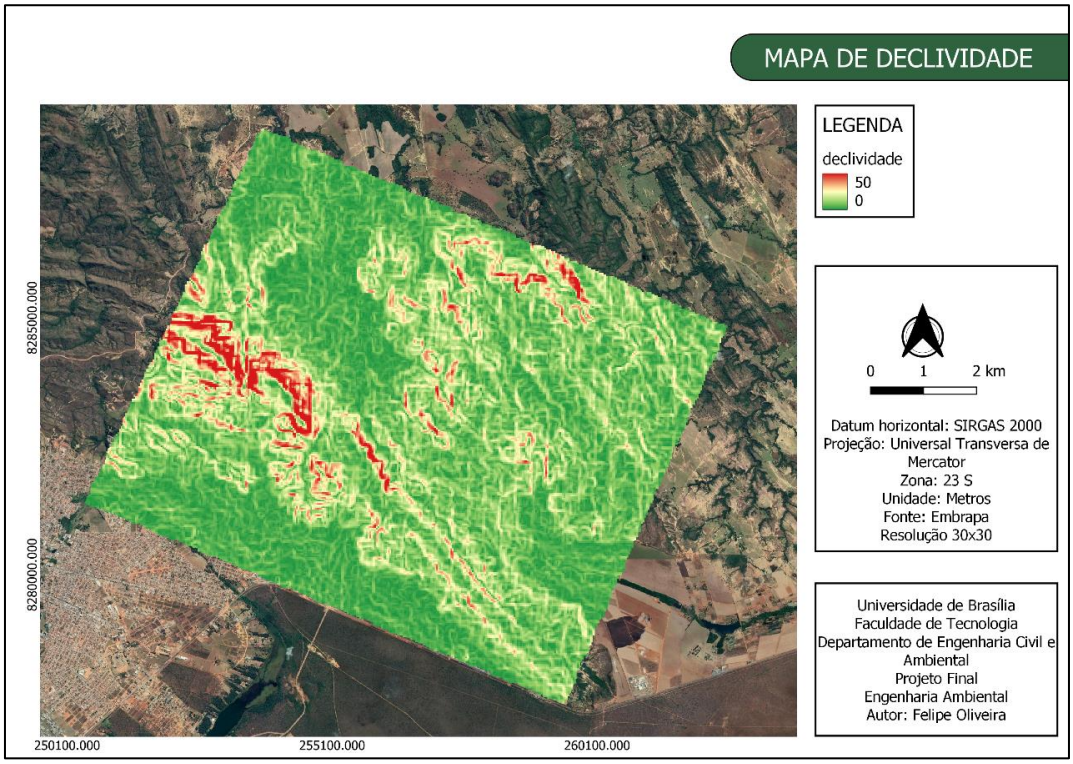



Figura 4.11: Mapa de declividade da área de estudo.

## 4.3. DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

A base de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) traz informações relevantes acerca da população e do sistema de abastecimento de abastecimento de água do Município para o ano de 2020. Os dados a respeito do SAA foram coletados através do prestador de serviço de abastecimento da região. As informações obtidas são descritas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Informações referentes ao SSA do Município. Fonte: SNIS (2020).

| | |
|---|---|
| População total abastecida com abastecimento de água (hab) | 112.183 |
| Volume de água produzido (m³/ano) | 7.314,22 |
| Volume de água tratada na ETA (m³/ano) | 6.323,98 |
| Volume de água tratada por simples desinfecção (m³/ano) | 990,24 |
| Volume de água consumido (m³/ano) | 4.641,25 |
| Consumo médio per capita (l/hab.dia) | 114,21 |
| Índice de atendimento urbano (%) | 98,65 |
| Indice de perdas na distribuição (%) | 35,99 |

A partir dos dados obtidos é de grande destaque o alto índice de perdas na distribuição. Esse percentual reflete as condições precárias da rede, com a grande chance de vazamento e o elevado número de ligações clandestinas, onde a cada 100 litros de cada água produzidos cerca de 36 litros são perdidos. Segundo Tsutya (2006), em projetos é comum utilizar como meta um índice de perdas igual a 20%. Entretanto, no Brasil é comum elevados índices de perdas na distribuição, com regiões apresentando valores acima de 50% de perdas, o que torna a meta proposta por Tsutya (2006) algo bastante desafiador.

A parcela de água tratada por simples desinfecção é proveniente da captação de água por poços tubulares onde não requer tratamento convencional para o abastecimento público. Já a parcela de água captado em corpos hídricos superficiais necessitam de um tratamento para o abastecimento.

É relevante destacar o atendimento o alto atendimento à população urbana do Município de Formosa e o baixo consumo per capita para um Município desse porte. Importante salientar a

respeito da confiabilidade dos dados, uma vez que o preenchimento se dá de forma declaratória pela prestadora de serviço de abastecimento de água

# 5. METODOLOGIA

Para organização e planejamento do projeto foi criado um fluxograma descrevendo a metodologia utilizada atingir o objetivo proposto. Para melhor visualização das etapas, o fluxograma foi divido por cores, sendo: I. a cor verde, as etapas necessárias para obtenção do mapa de uso e cobertura do solo; II. Em vermelho, o levantamento dos dados físicos para geração dos mapas que irão compor os mapas de suscetibilidade; III. Em amarelo, os dados legais para a definição da área escolhida para o traçado da rede; IV. Na cor azul, consiste nas etapas da definição da população a ser inserida na área de estudo, assim, como os parâmetros necessários para o seu dimensionamento; V. Na cor laranja, representa as etapas finais para obtenção do mapa final de vulnerabilidade ambiental; e por fim, VI. Em roxo, que representa o traçado e o dimensionamento da rede, a última etapa do trabalho. O fluxograma pode ser visualizado na Figura 5.1.

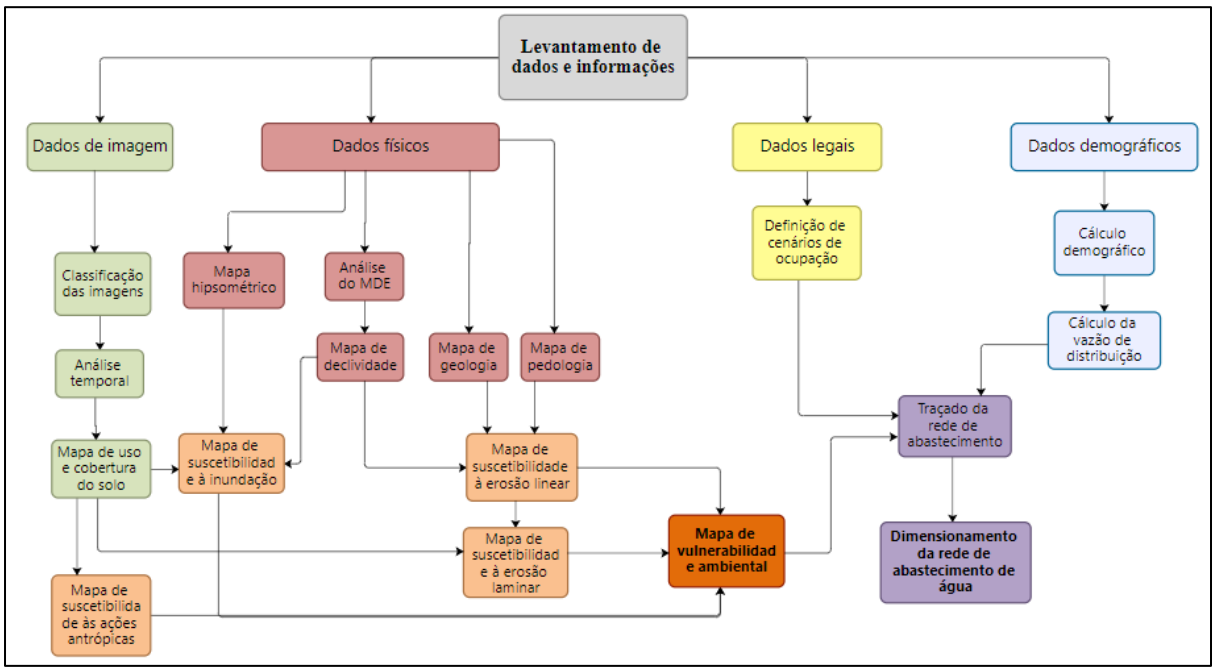



Figura 5.1: Fluxograma metodológico.

## 5.1. LEVANTAMENTO DE DADOS E INFORMAÇÕES

Os dados levantados foram divididos em quatro grandes grupos, sendo eles: dados demográficos, dados legais, dados de imagem e dados físicos.

Os dados demográficos obtidos no banco de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Os dados consistem na projeção da população atual, dados do CENSO dos anos de 1991, 2000 e 2010 da população do município de Município de Formosa - GO e outras informações a respeito da população do município que foram utilizados para possibilitar o cálculo demográfico da área de estudo.

Os dados legais consistem nas leis, resoluções e normas técnicas necessárias para a implementação do projeto que foram descritas no referencial teórico. Utilizadas para conceber a rede de abastecimento de água e dados locais que são importantes para a caracterização da área de estudo, como o Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado do Município de Formosa - GO para o ano de 2017.

Para a produção dos mapas de uso e cobertura do solo foram obtidas, do catálogo eletrônico do (INPE), imagens em três períodos diferentes para a órbita e ponto de 221 e 71 respectivamente, as imagens são descritas abaixo:

I. Imagem do satélite Landsat 5 do dia 08 julho de 2011, das bandas 1-7, com resolução geométrica de 30 metros;

II. Imagem do satélite Landsat 8 do dia 21 de julho de 2016, das bandas multiespectrais 1-7, com resolução geométrica de 30 metros e a banda 8, pancromática, com resolução de 15 metros;

III. Imagem do satélite Landsat 8 do dia 01 de junho de 2021, das bandas multiespectrais 1-7, com resolução geométrica de 30 metros e a banda 8, pancromática, com resolução de 15 metros;

IV. Imagem raster do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) – Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução espacial de 30 metros, obtida no site da EMBRAPA.

As datas foram definidas através de um intervalo de 5 anos para análise da área de estudo. Também houve a preocupação em selecionar o mesmo período do ano para as três imagens que abrangem ao período de seca dos meses de junho e julho.

Já os dados físicos são aqueles que foram utilizados para a criação do mapa de vulnerabilidade ambiental e demais mapas, sendo eles:

I. Shape dos limites Municipais, obtido no IBGE;
II. Shape de Pedologia do Estado de Goiás, com escala de 1:25000, obtido no SIEG (2017);
III. Shape de Geologia do Estado de Goiás, com escala de 1:50000, obtido SIEG (2009);
IV. Shape dos corpos hídricos do Estado de Goiás, obtido no SIEG;
V. Dados de Pluviometria das estações pluviométricas próximas a áreas de estudo que foram obtidas no portal do Hidroweb da Agência Nacional de Águas.

## 5.2. MAPA DE USO E COBERTURA DO SOLO

Para a produção do mapa de uso e cobertura do solo dos anos de 2011, 2016 e 2021 foi utilizada a metodologia desenvolvida por Almeida *et al.* (2012). A metodologia utiliza algoritmos de processamento de imagens digitais existentes no software Spring e consiste nos seguintes passos:

I. CRIAÇÃO DO PROJETO: Consiste na primeira etapa do SPRING, onde foi definida a área em que irá se trabalhar ao longo de todo o projeto através das coordenadas geográficas e do sistema de projeção.

II. REGISTRO DE IMAGENS: Registro é uma transformação geométrica que relaciona as coordenadas da imagem (linha e coluna) com as coordenadas geográficas (latitude e longitude) de um mapa. A transformação elimina distorções existentes na imagem, causadas no processo de formação da imagem, pelo sistema sensor e por imprecisão dos dados de posicionamento da plataforma (INPE, 2017). Isso quer dizer, a etapa consiste na etapa de georreferenciamento das imagens de satélite importadas no SPRING. O registro de imagem é feito utilizando pontos de controle através de um plano de informação já georreferenciado.

III. REALCE DE IMAGEM: Técnica de realce tem como objetivo a melhora da qualidade das imagens sob os critérios subjetivos do olho humano. Existem diversos tipos de realce de imagens a serem utilizados. Para o projeto foi utilizado o realce de imagem linear que consiste na expansão linear do histograma.

IV. FUSÃO DE IMAGEM COM A TRANSFORMAÇÃO IHS: Etapa onde foi feita a fusão da banda pancromática de resolução espacial de 15 metros com as multiespectrais de 30 metros.

V. GERAÇÃO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (IVDN): Consiste em uma operação aritmética, expressa pela Equação 5.1, que é utilizada para aumentar o contraste entre solo e vegetação. Utiliza as bandas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo.

$$IVDN = \frac{IR - R}{IR + R} \qquad \text{Equação 5.1}$$

Onde, IR representa a banda correspondente à região do espectro eletromagnético da faixa do infravermelho próximo e R a banda correspondente à região do espectro eletromagnético da faixa do vermelho.

VI. ANÁLISE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS: Consiste na técnica de realce que reduz ou remove a redundância espectral, ou seja, gera um novo conjunto de imagens cujas bandas individuais apresentam informações não disponíveis em outras bandas (INPE, 2017).

VII. SEGMENTAÇÃO DE IMAGEM: Nesta etapa é feita a separação da imagem em regiões que correspondem às áreas de interesse do projeto. As regiões são formadas por um conjunto de pixels contíguos, que se espalham bidirecionalmente e que apresentam uniformidade. Após a segmentação, cada região apresenta um rótulo (valor de nível digital), que será utilizado para a classificação. Para a segmentação foram utilizadas as três bandas dos componentes principais, a banda gerada na operação de IVDN e as bandas 5, 4 e 3 para as imagens do satélite Landsat 8 e as bandas 4, 3 e 2 para as imagens do Satélite Landsat 5 que formam a composição colorida de falsa cor, todas elas foram utilizadas após a fusão com a banda pancromática com resolução de 15 metros.

VIII. CLASSIFICAÇÃO: A classificação pode ser dividida em supervisionada ou não supervisionada e por pixel ou por regiões. Para o projeto foi utilizado o classificador

Bhattacharya, um algoritmo supervisionado que considera o agrupamento por pixel. Para a classificação foram utilizadas as mesmas imagens no processo de segmentação em conjunto com a imagem segmentada. As classes temáticas adotadas para a classificação foram: áreas urbanizadas, cerrado, loteamentos, mata de galeria e solo exposto.

IX. CORREÇÕES: Após a classificação a imagem gerada foi transforada em arquivo SHP e no software QGIS foram corrigidos possíveis erros na classificação. Essa ação foi realizada para as três imagens classificadas (2011, 2016 e 2021).

## 5.3. MAPA DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL

Para a construção do mapa de vulnerabilidade ambiental foi utilizada análise multicritério com a utilização do método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), por meio da integração dos mapas de suscetibilidade aos processos erosivos (linear e laminar), suscetibilidade à inundação e suscetibilidade à ação antrópica. Foram definidos critérios de importância entre os mapas que compõem o mapa de vulnerabilidade e após definidos o seu peso por meio da AHP foi utilizada a ferramenta calculadora raster do QGIS para a geração do mapa final de vulnerabilidade ambiental. A seguir será apresentada a metodologia para obtenção de cada um dos mapas de suscetibilidade.

### 5.3.1. MAPA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO LINEAR

O primeiro passo para a geração do mapa de suscetibilidade à erosão linear foi gerar o mapa de declividade a partir da utilização do SRTM obtido na etapa de coleta de informações. Para a conversão do SRTM para o mapa de declividade foi utilizada a ferramenta declividade do software QGIS.

Com os mapas de declividade, geologia e pedologia, sendo os dois últimos obtidos na coleta de informações, o mapa de suscetibilidade à erosão linear foi criado a partir da união dos três mapas. A metodologia aplicada é uma adaptação a metodologia desenvolvida por Macêdo (2009), em que, primeiramente é feita a determinação do grau de vulnerabilidade no intervalo de um a cinco, sendo um o menor grau de vulnerabilidade, para os mapas de pedologia, geologia e declividade através das suas características e a sua influência na vulnerabilidade.

Para o mapa de pedologia as unidades são classificadas a partir da sua espessura e textura, da forma que, solos rasos são classificados com um potencial baixo para erosão linear, pois indica que o substrato rochoso está próximo da superfície e, consequentemente, evita o desenvolvimento dos processos erosivos. Já para o mapa geológico as unidades são classificadas de acordo com a sua litologia e estrutura das rochas, de tal modo que, quanto maior a permeabilidade e o volume dos espaços vazios litolito, maior será o potencial erosivo, pois maior será a chance de desagregação e de condução de compostos solubilizados (Almeida *et al.*, 2017). E para a declividade, quanto maior a declividade do terreno, maior a vulnerabilidade a erosão linear. Os valores foram atribuídos no intervalo de um a cinco, sendo um representado o menor potencial erosivo e cinco o maior potencial erosivo.

Nas Tabelas 5.1, 5.2 e 5.3 é possível visualizar os valores o grau de vulnerabilidade associados a cada componentes dos mapas de pedologia, geologia e declividade da área de estudo. A definição da vulnerabilidade foi feita através da literatura informada em cada uma das tabelas.

Tabela 5.1: Atribuição do grau de vulnerabilidade a erosão das Unidades Pedológicas presentes na área de estudo. Fonte: Macedo (2009).

| **PEDOLOGIA** | |
|---|---|
| **CLASSE** | **VULNERABILIDADE** |
| CAMBISSOLO HAPLICO DISTROFICO | 3 |
| LATOSSOLO VERMELHO DISTROFICO | 1 |
| GRUPAMENTO URBANO | 5 |
| LATOSSOLO VERMELHO ACRICO | 1 |

Tabela 5.2: Atribuição do grau de vulnerabilidade a erosão das Unidades Geológicas presentes na área de estudo. Fonte: Macedo (2009).

| GEOLOGIA | |
|---|---|
| **CLASSE** | **VULNERABILIDADE** |
| COBERTURA DETRITO LATERITICA FERRUGINOSA | 4 |
| GRUPO BAMBUÍ | 2 |
| GRUPO PARANOA | 2 |

Tabela 5.3: Atribuição do grau de vulnerabilidade a erosão da declividade do terreno da área de estudo. Fonte: Macedo (2009).

| DECLIVIDADE | | | |
|---|---|---|---|
| **MÍN** | **MÁX** | **VULNERABILIDADE** | **RELEVO** |
| 0 | 3 | 1 | PLANO |
| 3 | 8 | 2 | SUAVEMENTE ONDULADO |
| 8 | 20 | 3 | ONDULADO |
| 20 | 30 | 4 | FORTEMENTE ONDULADO |
| >30 | | 5 | MONTANHOSO |

Após a obtenção dos fatores de erodibilidade para os mapas geológicos, pedológicos e de declividade os mapas foi feito a reclassificação dos mapas por meio da ferramenta reclassificar por tabela no QGIS.

Para a obtenção final do mapa de vulnerabilidade a erosão linear foi necessário a utilização do método da AHP para atribuir grau de importância entre os três componentes que compõem o mapa final. Isso porque, os mapas obtidos apresentam diferenças em suas escalas, e por isso, apresentam diferenças em seu nível de detalhamento e precisão das informações presentes nos mesmos, onde quanto maior a escala, menor o seu nível de detalhamento. Através disso, foi utilizada a Tabela 3.2 para a atribuição do nível de importância de cada mapa. As escalas, assim como o grau de importância definido para cada um e os resultado obtidos na AHP podem ser observados nas Tabelas 5.4, 5.5, 5.6, 5.7 e 5.8.

Tabela 5.4: Escalas associadas a cada mapa que compõem a vulnerabilidade linear.

| ESCALAS | | Fonte |
|---|---|---|
| Declividade | 30x30 | SRTM |
| Pedologia | 1:250.000 | SIEG |
| Geologia | 1:500.000 | SIEG |

Tabela 5.5: Escala da AHP da importância para cada um dos mapas.

| Vulnerabilidade linear | Pedologia | Geologia | Declividade |
|---|---|---|---|
| **Pedologia** | 1 | 3 | 1/5 |
| **Geologia** | 1/3 | 1 | 1/7 |
| **Declividade** | 5 | 7 | 1 |

Os valores foram definidos seguindo a lógica de importância em relação a sua escala, onde o mapa de declividade possuí mais detalhamento que o de pedologia, por isso foi atribuído o valor 3, a mesma lógica foi utilizada entre os mapas de pedologia e geologia. Importante ressaltar que não foram utilizadas escalas de importância elevadas entre cada um dos mapas, a fim de evitar uma influência muito superior aos demais na obtenção do mapa de suscetibilidade à erosão linear.

O cálculo da matriz normalizada se dá pela divisão da escala de importância de cada célula pela somatória da coluna correspondente, após isso, é feita a média dos valores das linhas, obtendo-se o valor de prioridade.

Tabela 5.6: Cálculo da matriz normalizada.

| Normalizada | Pedologia | Geologia | Declividade | Prioridades |
|---|---|---|---|---|
| **Pedologia** | 0,16 | 0,27 | 0,15 | **0,19** |
| **Geologia** | 0,05 | 0,09 | 0,11 | **0,08** |
| **Declividade** | 0,79 | 0,64 | 0,74 | **0,72** |
| **Soma** | 1 | 1 | 1 | 1 |

Para verificar a consistência dos dados, foi feito o cálculo da matriz do autovalor, sendo feita através da multiplicação matricial da matriz das escalas propostas com a prioridade obtida na Tabela 5.6. Por fim, foi realizado o cálculo do autovetor máximo e da razão de consistência, utilizando as Equações 3.6, 3.7 e 3.8.

Tabela 5.7: Análise de sensibilidade.

| **Análise de sensibilidade** | **Pedologia** | **Geologia** | **Declividade** | **Soma** | **Soma/Prioridade** |
|---|---|---|---|---|---|
| **Pedologia** | 0,193 | 0,250 | 0,145 | 0,588 | 3,043 |
| **Geologia** | 0,064 | 0,083 | 0,103 | 0,251 | 3,014 |
| **Declividade** | 0,966 | 0,583 | 0,724 | 2,273 | 3,141 |

Tabela 5.8: Verificação da consistência lógica das comparações.

| **λmáx** | **IC** | **RC** | **RC (%)** |
|---|---|---|---|
| 3,065819 | 0,032909 | 0,05674 | **5,674023** |

Com a verificação da consistência lógica das comparações, foi possível verificar que as escalas de importância atribuídas a cada mapa possuem coerência pois o valor é inferior a 10%. Com os valores obtidos de prioridades foi possível obter o mapa final de vulnerabilidade à erosão linear através da soma dos três mapas e os seus respectivos coeficientes de prioridade, utilizando a ferramenta calculadora raster do QGIS.

Macêdo (2009) utiliza ainda o mapa de uso e cobertura do solo para obtenção da suscetibilidade à erosão linear, o que não foi feito neste estudo, pois o mapa de uso e cobertura será levado em consideração apenas para os mapas de suscetibilidade à erosão laminar e suscetibilidade às ações antrópicas.

### 5.3.2. MAPA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO LAMINAR

Para a concepção do mapa de suscetibilidade à erosão laminar foi utilizada a Equação Universal da Perda de Solo, demonstrada pela Equação 3.5. Para isso, foi aplicada a ferramenta de análise espacial com álgebra de mapas do *software* QGIS de cada um dos termos da EUPS.

Na determinação do fator R (erosividade da chuva), que expressa o potencial da água da chuva em desagregar e transportar o solo por meio de escoamento superficial, foi utilizada a Equação 5.2 para obtenção do fator de erosividade que é mais adequado para regiões intertropicais.

$$EI_{30} = 67{,}355 * (\frac{r^2}{P})^{0{,}85} \quad \text{Equação 5.2}$$

Em que, $EI_{30}$ corresponde à média mensal do índice de erosividade [(Mj.mm)/(ha.h)]; r, a média do total mensal de precipitação [mm]; e P, a média total anual de precipitação [m] calculados a partir dos dados de cada estação pluviométrica constantes na Tabela 5.9. O valor de R foi encontrado a partir da soma dos valores mensais para cada um dos índices de erosividade em cada estação pluviométrica. O cálculo é expresso na Equação 5.3. Após o cálculo os valores para cada estação pluviométrica, os mesmos foram interpolados utilizando a ferramenta de Krigagem do QGIS para obtenção do valor R. As estações pluviométricas utilizadas são descritas na Tabela 5.9.

$$R = \sum_{i=1}^{12} EI_{30} i \quad \text{Equação 5.3}$$

Tabela 5.9: Estações pluviométricas utilizadas para o cálculo do fator de erosividade da chuva.

| Código | Nome | Latitude | Longitude | Cobertura |
|---|---|---|---|---|
| 1546005 | CABECEIRAS | -15,8008 | -46,9247 | 2021-1973 |
| 1547003 | FORMOSA | -15,5489 | -47,3381 | 1998-1964 |
| 1547013 | TAQUARA | -15,6322 | -47,5203 | 2021-1970 |
| 1547030 | FAZ. RIO DE JANEIRO | -15,2300 | -47,6964 | 2007-1999 |
| 1547039 | RIBEIRÃO SANTA RITA | -15,5856 | -47,3333 | 2020-2006 |
| 1547040 | RIBEIRÃO JACARÉ | -15,6411 | -47,3561 | 2022-2006 |
| 1547044 | RIO PRETO | -15,7264 | -47,3197 | 2021-2006 |
| 1547049 | RIO MARANHÃO | -15,4900 | -47,6858 | 2022-2009 |
| 1547055 | RETIRO DO MEIO | -15,6256 | -47,3950 | 2017-2009 |
| 1546011 | PIRATINGA | -15,0314 | -46,2922 | 2020-1999 |
| 1546001 | BURITIS - JUSANTE | -15,6158 | -46,4150 | 2022-1972 |
| 1447002 | SÃO JOÃO D'ALIANÇA | -14,7072 | -47,5236 | 2021-1978 |

O valor de K (erodibilidade dos solos) descreve a relação entre a perda de solo e a erosividade da chuva. Para determinação do fator foram utilizados os valores obtidos por Costa (2014); Bertoni e Lombardi Neto (1990) para cada unidade pedológica presente na área de estudo. Os valores podem ser observados na Tabela 5.10.

Tabela 5.10: Valores de erodibilidade dos solos.

| CLASSES PEDOLÓGICAS | FATOR K |
|---|---|
| CAMBISSOLO HAPLICO DISTROFICO | 0.05 |
| LATOSSOLO VERMELHO DISTROFICO | 0.014 |
| GRUPAMENTO URBANO | 0.014 |
| LATOSSOLO VERMELHO ACRICO | 0.014 |

O fator LS (fator topográfico) composto pelo comprimento de rampa e a declividade possui grande influência na erodibilidade, isso porque, determinam a velocidade e o fluxo escoado. O fator pode ser obtido através da Equação 5.4, desenvolvida por Moore e Burch (1986).

$$LS = (\frac{FA*CellSize}{22.13})^{0.4} * (\frac{sen(Slope)}{0,0896})^{1.3} \quad \text{Equação 5.4}$$

Em que, FA é o fluxo acumulado; Cellize é o tamanho da célula do modelo digital de elevação (MDE), que corresponde a dois metros de resolução espacial da imagem de acúmulo de fluxo; e Slope a declividade em radianos, calculada para cada pixel.

Para obtenção dos fatores C e P foi utilizado o mapa de uso e cobertura de solo conforme descrito no tópico 3.4 O fator C (uso e manejo do solo) é calculado através do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) demonstrado pela Equação 5.1 e pela Equação 5.5 abaixo.

$$C = (\frac{-IVDN+1}{2}) \quad \text{Equação 5.5}$$

Já para obtenção do fator P (práticas conservacionistas) foi utilizado a classificação desenvolvida por Almeida *et al*. 2012., os valores de C e P podem ser observados na Tabela 5.11.

Tabela 5.11: Classificação dos usos do solo e seu respectivo fator P.

| CLASSES DE USO E COBERTURA DO SOLO | FATOR P | FATOR C |
|---|---|---|
| Área Urbanizada | 0 | 0 |
| Cerrado | 0.02 | 0.025 |
| Loteamentos | 0.2 | 0.2 |
| Mapa de Galeria | 0.02 | 0.025 |
| Solo Exposto | 0.2 | 0.2 |

Fonte: Adaptado de Almeida *et al*. 2012.

### 5.3.3. MAPA DE SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO

Para a criação do mapa de suscetibilidade à inundação foi feito o cruzamento dos mapas de declividade, uso e cobertura do solo e hipsométrico. Onde foi classificado de um a cinco em relação ao grau de suscetibilidade a inundação para o mapa de uso e cobertura do solo de acordo com o nível de impermeabilização para cada classe. Para os mapas de declividade e hiposmétrico foram reclassificados utilizando os valores de declividade e elevação do terreno respectivamente. Sendo, para a hipsometria, quanto maior a altitude, menor o grau de suscetibilidade a inundação, para a declividade, quanto mais plano o terreno, maior o grau de suscetibilidade.

Posteriormente foi utilizada a ferramenta de calculadora raster para unir os respectivos mapas. Os valores de suscetibilidade à inundação atribuídos a cada um dos três mapas que compõem a vulnerabilidade a inundação podem ser observados nas Tabelas 5.12, 5.13 e 5.14.

Tabela 5.12: Suscetibilidade a inundação de acordo com a hipsometria.

| HIPSOMETRIA | | |
|---|---|---|
| **MÍN** | **MÁX** | **VULNERABILIDADE** |
| 684 | 750.4 | 5 |
| 750.4 | 816.8 | 4 |
| 816.8 | 883.2 | 3 |
| 883.2 | 949.6 | 2 |
| 949.6 | 1016 | 1 |

Tabela 5.13: Suscetibilidade a inundação de acordo com a declividade.

| DECLIVIDADE | | | |
|---|---|---|---|
| **MÍN** | **MÁX** | **VULNERABILIDADE** | **RELEVO** |
| 0 | 3 | 5 | PLANO |
| 3 | 8 | 4 | SUAVEMENTE ONDULADO |
| 8 | 20 | 3 | ONDULADO |
| 20 | 30 | 2 | FORTEMENTE ONDULADO |
| >30 | | 1 | MONTANHOSO |

Tabela 5.14: Suscetibilidade a inundação de acordo com a declividade.

| IMPERMEABILIZAÇÃO | |
|---|---|
| **CLASSE** | **VULNERABILIDADE** |
| MATA GALERIA | 1 |
| CERRADO | 2 |
| SOLO EXPOSTO | 4 |
| LOTEAMENTO | 4 |
| AREA URBANA | 5 |

### 5.3.4. MAPA DE SUSCETIBILIDADE ÀS AÇÕES ANTRÓPICAS

O mapa de suscetibilidade às ações antrópicas foi obtido através da classificação do mapa de uso e cobertura do solo, atribuindo um determinado valor às classes de acordo com o seu grau de suscetibilidade. Os valores para as classes foram propostos por Massa e Ross (2012), com intervalo de um a cinco, sendo um para áreas mais preservadas e cinco para regiões mais antropizadas. Também foi levado em consideração a análise temporal, onde se presume que áreas menos consolidadas são menos suscetíveis a sofrer processos erosivos. Os valores

atribuídos a suscetibilidade às ações antrópicas podem ser observados na Tabela 5.15. Após a determinação do grau de suscetibilidades, os mapas foram reclassificados e posteriormente unidos através da ferramenta calculadora raster para a obtenção do mapa final de suscetibilidade às ações antrópicas.

Tabela 5.15: Grau de suscetibilidade às ações antrópicas para os mapas de uso e cobertura do solo.

| | CLASSES | | | |
|---|---|---|---|---|
| ANOS | SOLO EXPOSTO | LOTEAMENTO | ÁREA URBANIZADA | MATA DE GALERIA/CERRADO |
| 2021 | 3 | 3 | 5 | 0 |
| 2016 | 2 | 2 | 4 | 0 |
| 2011 | 1 | 1 | 3 | 0 |

## 5.4. CONCEPÇÃO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Para a proposta da concepção da rede de abastecimento de água do Município de Formosa (GO) foi utilizado como base o roteiro básico desenvolvido por Tsutiya (2006) descrito no item 3.2.

### 5.4.1. CÁLCULO DEMOGRÁFICO

Na concepção de uma rede de abastecimento de água é necessário conhecer a vazão a ser utilizada na área de estudo. Para isso, é necessário a projeção da população futura através do cálculo demográfico. No cálculo demográfico, o primeiro passo é definir o horizonte de projeto, como explicado no tópico 3.2.1, Tsutiya (2006) sugere um intervalo de 20 a 30 anos como o ideal para o horizonte de projeto. Para este projeto foi utilizado o horizonte de projeto de 28 anos, referente ao período do ano de 2022 ao ano de 2050.

Conforme descrito na NBR 12.211/1992, o cálculo demográfico pode ser feito mediante a extrapolação de tendência de crescimento, definidas por dados estatísticos suficientes para constituir uma série histórica. O tópico 3.2.2 traz alguns exemplos de métodos que possibilitam o cálculo demográfico. O método escolhido deve ser feito de acordo com análise da curva de crescimento que melhor represente os dados censitários da região de estudo.

Foi realizada a análise de todos os métodos de cálculo demográfico citadas no tópico 2.2.2 e foi desenvolvida uma análise de comparação para selecionar qual método melhor se ajusta às características ao Município de Formosa.

Entretanto, como o plano diretor do Município sugere mais de uma área de expansão, como pode ser visualizado na Figura 4.2, e a área foco do Projeto compreende apenas uma dessas áreas, o valor encontrado da população futura não pode ser considerado para o dimensionamento da rede a ser inserida no local. Através disso, foi feito um novo cálculo de expansão apenas para a área de estudo. Onde foi mapeado todos as quadras já parceladas da região, respeitando as áreas das vias, calçadas e a Zona Agroindustrial (ZA1) definido no plano diretor do Município de Formosa.

O mapeamento se deu na construção de polígonos para cada bairro onde foram calculados a sua área. Após a determinação da área para a ocupação, foi retirado a parcela de 20% destinada aos equipamentos comunitários e urbanos, e também, dos espaços livres de uso público. Com a área útil de ocupação foi possível encontrar quantas residências poderiam ser construídas na região, tal cálculo pode ser efetuado através da utilização da metragem dos lotes para a região, como sendo 200 m², como já descrito no item 4.1. A partir daí pôde ser encontrado o valor final da quantidade de residentes possíveis na área de estudo, utilizando a média de 3.3 moradores por residência, segundo censo demográfico de 2010.

### 5.4.2. SELEÇÃO DA ÁREA DE OCUPAÇÃO

Com o mapa do microzoneamento do perímetro urbano do Município de Formosa/GO, disponibilizado pelo Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado do ano de 2017, o cálculo demográfico e o estudo da legislação para o parcelamento urbano foi selecionada área para ocupação dentro da zona de expansão urbana e da zona habitacional de interesse social, não foi considerado para a área em expansão a zona agroindustrial.

### 5.4.3. TRAÇADO E DIMENSIONAMENTO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Com o cálculo da estimativa da população futura a ser inserida no local, foi possível calcular a vazão consumida pela população através da Equação 2.4. Uma vez que os dados da rede de abastecimento de água do Município de Formosa não foram disponibilizados pela companhia de Saneamento de Goiás S/A (SANEAGO), não foi possível realizar o diagnóstico da rede atual, assim como o aproveitamento das estruturas existentes. Devido a isso, foi dimensionada uma nova rede para o local da área de estudo.

O traçado da rede de distribuição de água para uma área em expansão do Município de Formosa (GO) foi realizado com a forma das redes do tipo malhada. O traçado da rede foi feito observando as recomendações estabelecidas na NBR 12.218/17 e as recomendações na literatura, principalmente por Tsutiya (2006). Para o traçado da rede foi utilizado o software SIG QGIS, através da criação de shapes de linhas e pontos, com as informações referentes de cada trecho, nó e reservatório incorporados à tabela de atributos.

Após o desenho da rede de abastecimento de água e obtenção dos dados de cada componente, foi utilizado um complemento no QGIS chamado QWATER, que consiste em um *plugin* que permite projetar e analisas redes de abastecimento de água utilizando o EPANET. O *plugin* permite executar uma simulação da rede, trazendo os valores de pressão nos nós, velocidade e perda de carga nos trechos e demais parâmetros que podem ser analisados em uma rede. Para o dimensionamento no plugin é necessário informar os parâmetros necessários, como: os *shapes* correspondentes aos nós, trechos e reservatórios, valores de K1 e K2, consumo per capita da população, velocidade máxima nos trechos, vazão de distribuição e diâmetro mínimo das tubulações. O *plugin* consegue calcular o comprimento dos trechos automaticamente quando desenhados, assim como a elevação através da indicação do SRTM que contém os dados de elevação do terreno.

Após o dimensionamento prévio no *plugin*, o mesmo permite salvar o arquivo em formato INP para ser aberto no EPANET. Com a rede importada no EPANET, foi possível realizar um estudo mais refinado da rede, conferindo as configurações de ajustes e parâmetros de cálculo na simulação hidráulica, como: a fórmula da perda de carga, sendo a fórmula de perda de carga universal ou de Darcy-Weisbach a qual é sugerida na NBR 12.218/17; a rugosidade das tubulações; e a unidade de vazão como sendo litros por segundo.

Após verificado que o dimensionamento foi realizado utilizando os parâmetros desejados, foram obtidos os resultados da simulação hidráulica o que permitiu a análise do cumprimento das especificações no dimensionamento de redes de distribuição estabelecidos na NBR 12.218/17, como: a pressão estática máxima das tubulações; velocidades mínimas e máximas nas tubulações; resíduos máximos de vazão da rede; e carga piezométrica da rede.

# 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

## 6.1. MAPA DE USO E COBERTURA DO SOLO

A partir da classificação temática da área de estudo foi possível gerar os mapas de uso e cobertura para os anos de 2011, 2016 e 2021 onde podem ser visualizados nas Figuras 6.1, 6.2 e 6.3. Também foi realizado o cálculo da área de cada uma das categorias o que possibilitou a evolução das áreas ao longo dos três períodos.

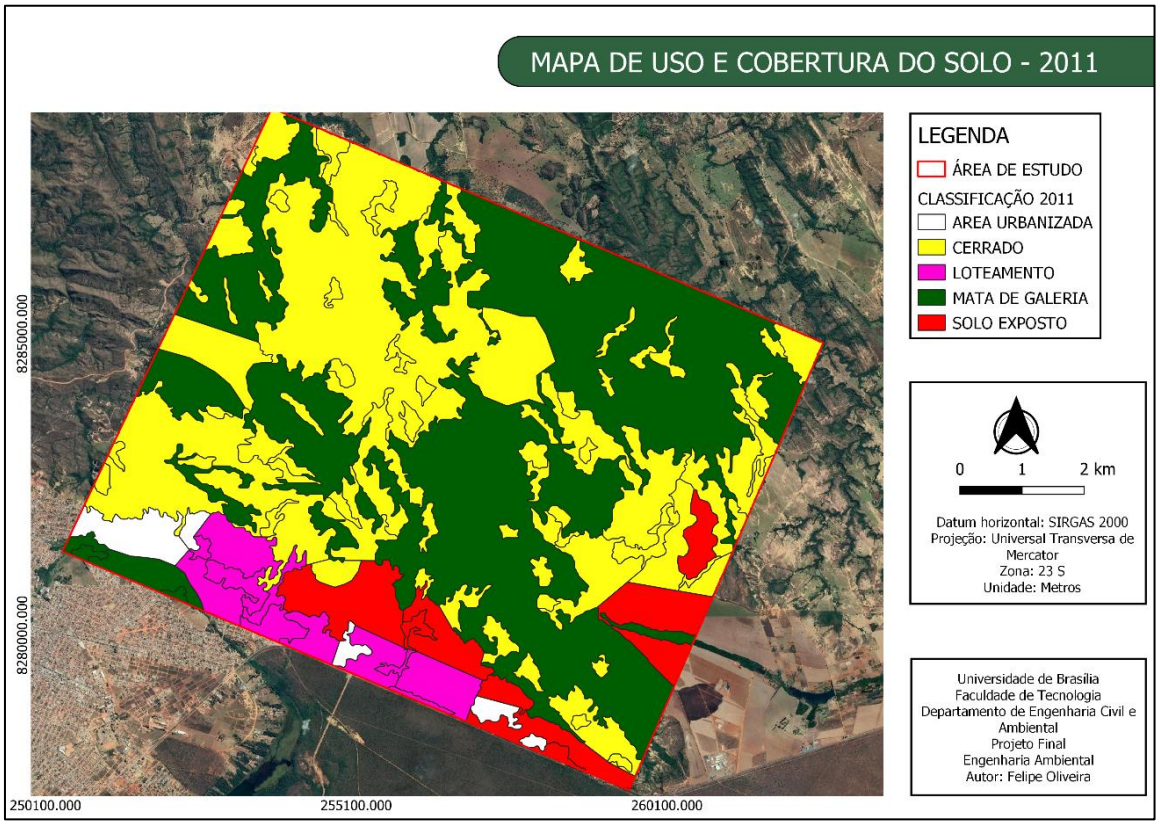



Figura 6.1: Mapa de uso e cobertura do solo para o ano de 2011.

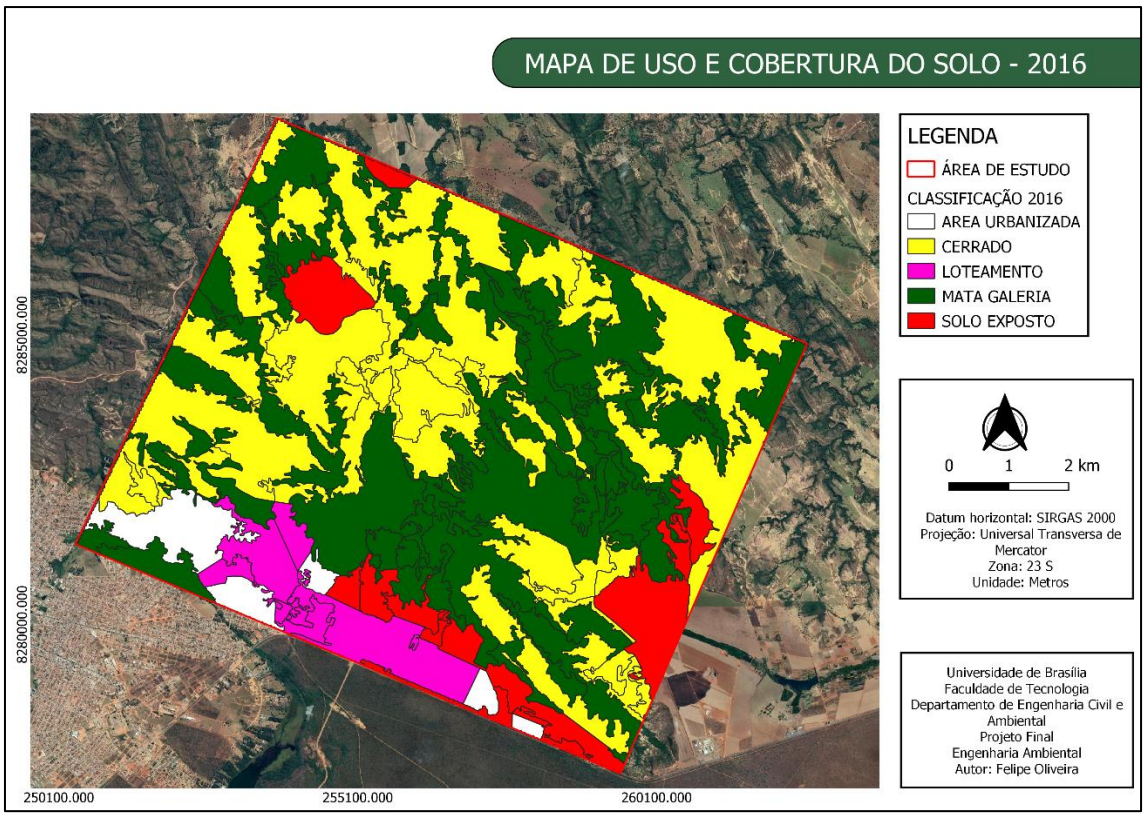



Figura 6.2: Mapa de uso e cobertura do solo para o ano de 2016.

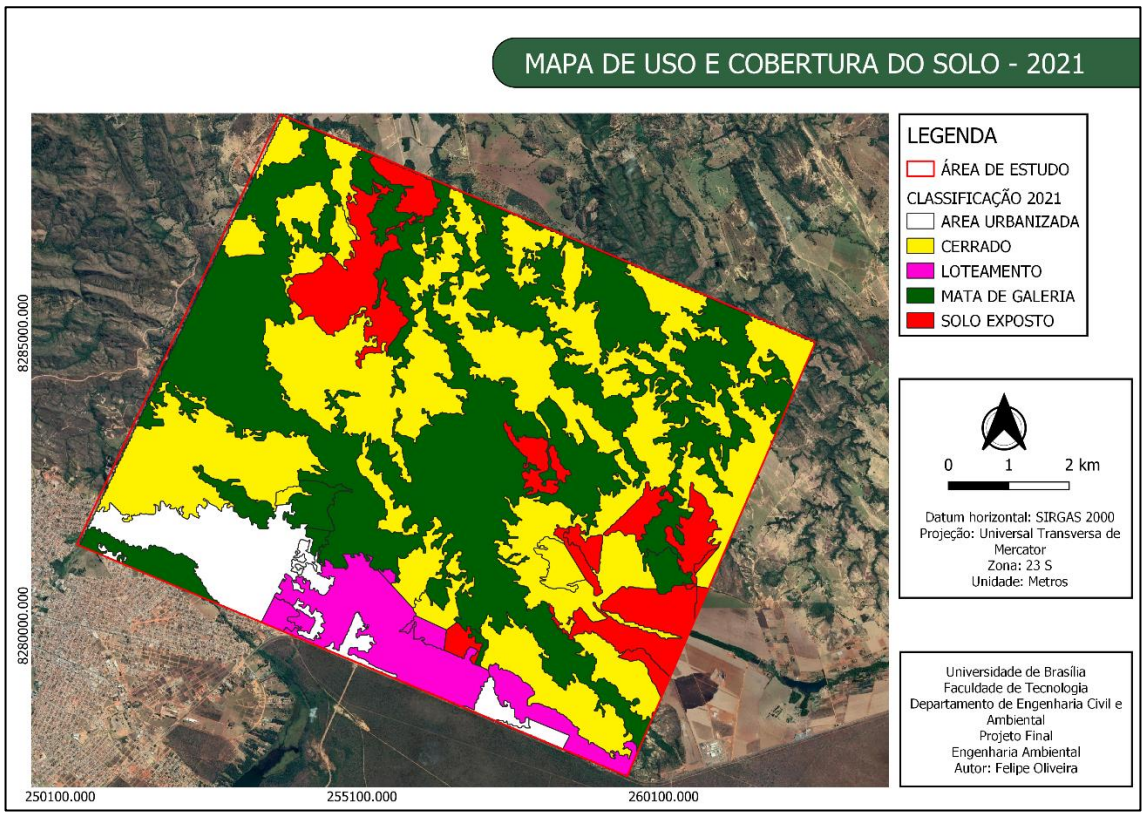



Figura 6.3: Mapa de uso e cobertura do solo para o ano de 2021.

Através dos mapas de uso e cobertura do solo dos três anos, é possível visualizar como a área urbanizada, em branco, cresce para a área leste ao longo dos anos. Também é possível visualizar que as áreas que antes eram solo exposto, foram parceladas e se tornaram loteamentos, dando passo importante para se tornarem áreas urbanizadas. Na Tabela 6.1 é possível visualizar de forma quantitativa as modificações das áreas ao longo dos anos.

Tabela 6.1: Quantitativo das classes de uso e cobertura do solo.

| Ano | Área urbanizada ($m^2$) | Cerrado ($m^2$) | Loteamento ($m^2$) | Mata de galeria ($m^2$) | Solo exposto ($m^2$) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2011 | 1.725.288,20 | 32.222.737,85 | 4.408.943,30 | 34.721.184,08 | 5.995.392,91 |
| 2016 | 3.101.388,47 | 31.352.145,37 | 4.585.250,94 | 32.659.397,01 | 7.057.993,76 |
| 2021 | 4.840.039,27 | 29.227.667,29 | 4.934.111,91 | 31.945.702,08 | 7.320.452,17 |

Pela análise dos dados da Tabela 6.1 é possível verificar o decréscimo da área das classes de cobertura vegetal, e consequentemente, o aumento das áreas que sofreram por ações antrópicas, passando pelas etapas de solo exposto, loteamento e por último área urbanizada.

A retirada da cobertura vegetal altera as condições do solo, aumentando a sua instabilidade e, consequentemente, o torna mais suscetível às erosões. Outro ponto importante que pode ser evidenciado é a impermeabilização do solo com o aumento da urbanização, diminuindo a taxa de infiltração das águas pluviais no solo, e como efeito, o aumento no escoamento superficial, resultando no aumento dos processos erosivos e nos casos de inundações.

## 6.2. VULNERABILIDADE AMBIENTAL

### 6.2.1. SUSCETIBILIDADE À EROSÃO LINEAR

Através da reclassificação dos mapas pedológico, geológico e declividade, utilizando os valores exemplificados nas Tabelas 5.1, 5.2 e 5.3, e a definição do nível de prioridade após a realização da AHP, foi possível combinar os mapas por meio da função calculadora raster do QGIS e obter o mapa final de suscetibilidade à erosão linear. O mapa de suscetibilidade à erosão linear pode ser visualizado na Figura 6.4.

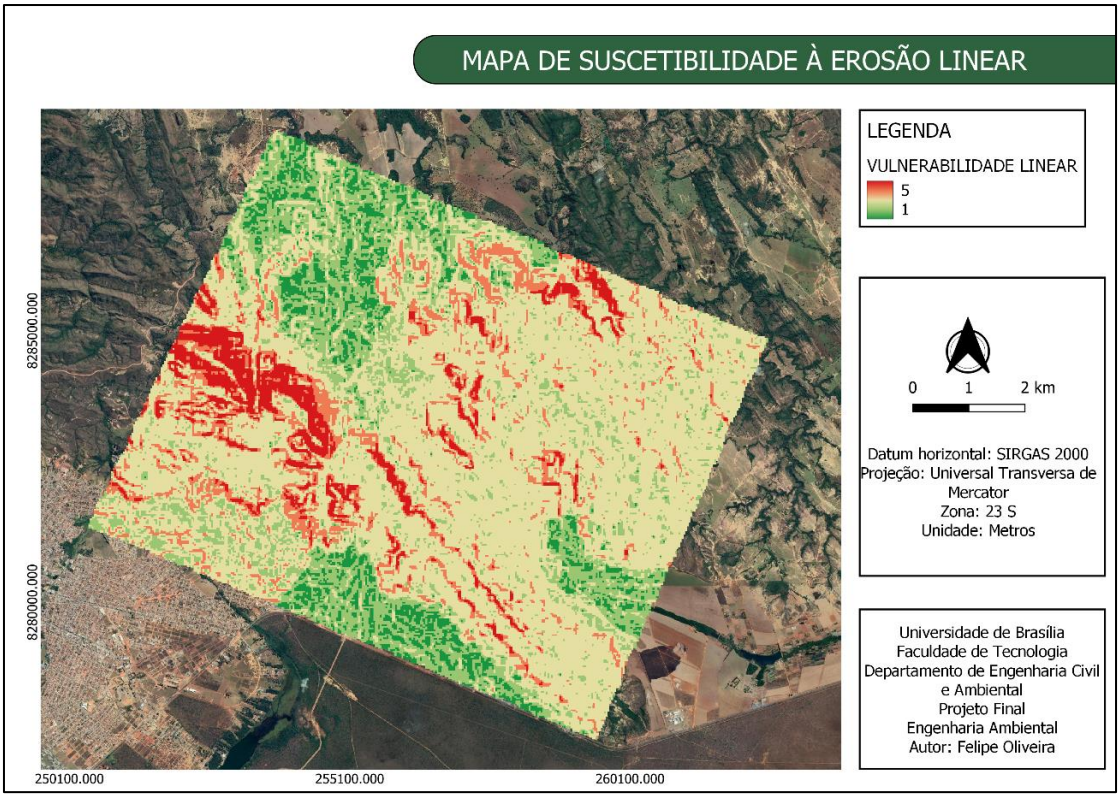



Figura 6.4: Mapa de suscetibilidade à erosão linear.

Através do mapa é possível verificar a influência da declividade no resultado final do mapa de suscetibilidade à erosão linear, onde áreas com maior declividade apresentam maior suscetibilidade aos processos erosivos. Isso pode ser explicado pelo fato de maiores declividades aumentarem a velocidade do fluxo superficial e, consequentemente, o carreamento da cobertura do solo. Outro ponto a ser destacado se diz respeito a área atual de ocupação urbana em que apresenta uma suscetibilidade aos processos erosivos variando a sua escala de intensidade de dois a quatro. Tal resultado reflete a alta suscetibilidade aos processos erosivos da cobertura detrito lateritico-ferruginosa presente na área.

A área onde o processo de urbanização ainda não se consolidou apresenta baixa vulnerabilidade aos processos erosivos, em razão de que a área apresenta valores elevados de altitude, baixa declividade e é formada por solos que apresentam baixa suscetibilidade aos processos erosivos, como o latossolo vermelho.

### 6.2.2. SUSCETIBILIDADE À EROSÃO LAMINAR

Após o cálculo para cada fator da EUPS foram gerados os mapas para cada fator para a área de estudo os quais podem ser visualizados na Figura 6.5.

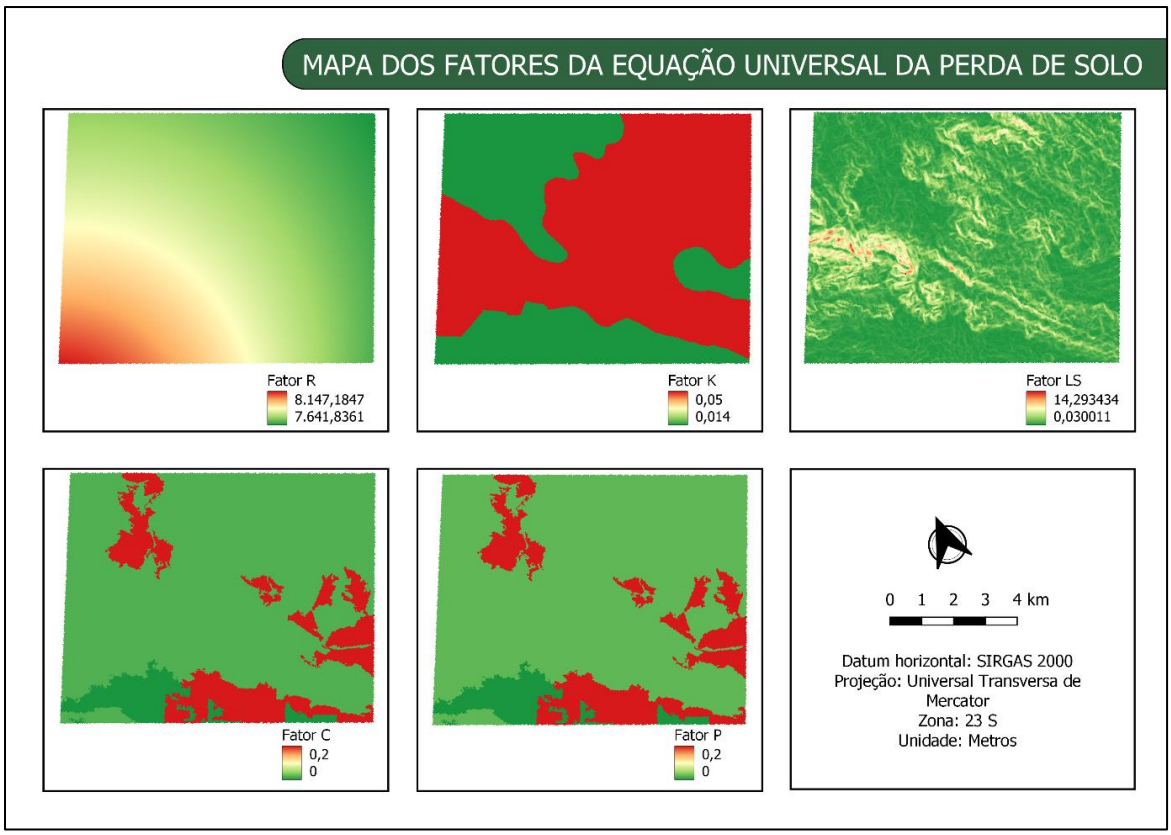



Figura 6.5: Mapa dos fatores da equação universal da perda de solo.

Através da Figura 6.5 é possível observar que a erosividade da chuva apresenta um intervalo de 7.641,83 a 8.147,18 MJ.mm/ha.ano, sendo maior nos locais mais urbanizados, isso pode ser explicado devido a exposição do solo à chuva pela retirada da cobertura vegetal, e também, a impermeabilização dessas áreas, resultando em um aumento do escoamento superficial das águas pluviais e o carreamento das partículas do solo.

No tocante ao fator topográfico, os resultados obtidos já eram esperados, pois quanto maior a declividade e o comprimento de rampa, maior a velocidade do fluxo escoado. No geral, a área apresenta baixos valores de suscetibilidade do fator LS, sendo inferior a 10 na maior parte de sua área. Os demais fatores foram obtidos através de dados da literatura.

Com todos os fatores calculados, foi possível gerar o mapa de suscetibilidade à erosão laminar através do cruzamento de todos os fatores por meio da álgebra de mapas. O mapa de suscetibilidade à erosão laminar pode ser observado na Figura 6.6.

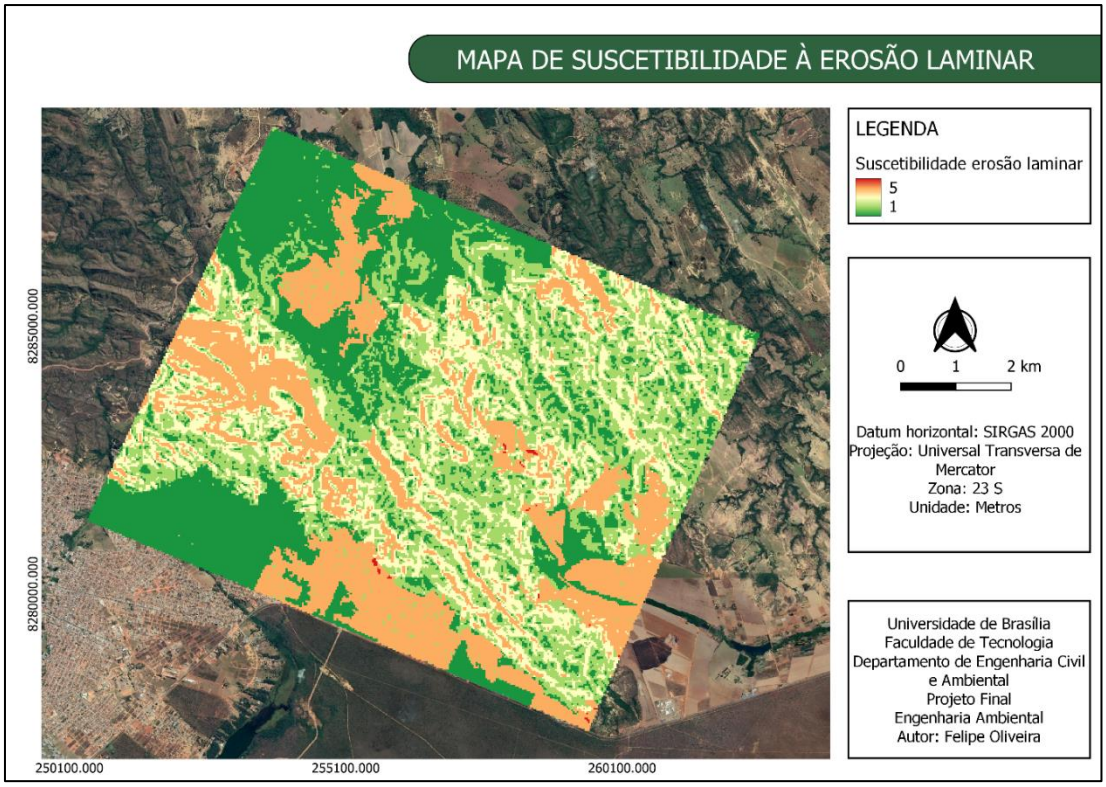



Figura 6.6: Mapa de suscetibilidade à erosão laminar.

Através da Figura 6.6 é possível observar valores médio para altos de suscetibilidade à erosão laminar nos locais com maior declividade e nos locais onde o solo se encontra exposto, o que condiz com os valores maiores valores estabelecidos nos fatores C e P que estão diretamente ligados ao nível de cobertura vegetal da região.

### 6.2.3. MAPA DE SUSCETIBILIDADE Á INUNDAÇÃO

O mapa de suscetibilidade à inundação foi gerado a partir da união dos mapas de hipsometria, declividade e impermeabilização das classes de uso e cobertura do solo, de acordo com as tabelas 5.12, 5.13 e 5.14. O resultado pode ser visualizado na Figura 6.7.

Através do mapa é possível identificar duas áreas propícias a maior incidência de inundações. A primeira e com a maior suscetibilidade a inundação está localizada na parte noroeste da área de estudo, o que é explicado por se tratar da área com a menor altitude da região, além de apresentar um terreno plano.

A outra área com alta suscetibilidade a inundação está localizada no avanço da urbanização da área, isso quer dizer, em áreas já urbanizadas e áreas onde estão sendo preparadas para a expansão urbana, onde se apresentam já loteamentos. O resultado era esperado, principalmente

por essas áreas apresentarem grande impermeabilização do seu solo e por serem áreas com o terreno plano.

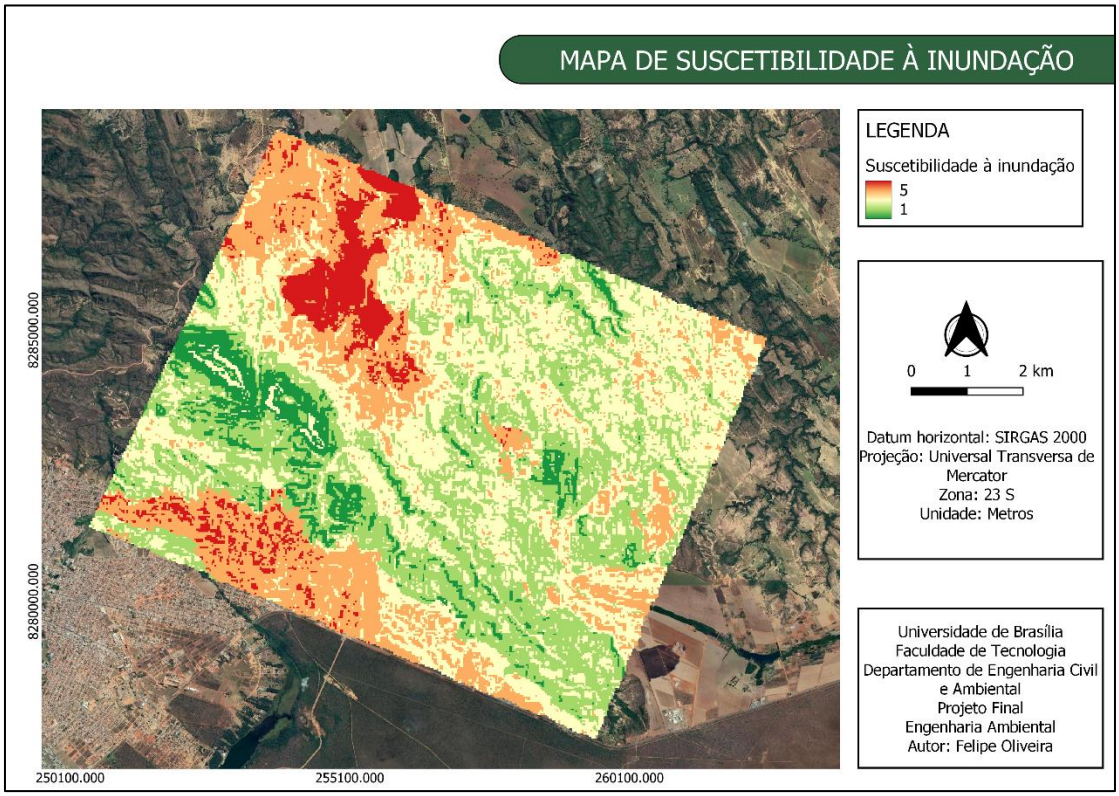



Figura 6.7: Mapa de suscetibilidade à inundação.

### 6.2.4. SUSCETIBILIDADE ÀS AÇÕES ANTRÓPICAS

Mediante a reclassificação dos mapas de uso e cobertura do solo para os anos de 2011, 2016 e 2021, de acordo com a Tabela 5.15 adquiriu-se o mapa de suscetibilidade às ações antrópicas que pode ser visualizado na Figura 6.8. A partir do mapa é possível observar a evolução das ações antrópicas na parte sudoeste até a parte sudeste da região, local onde está se intensificando a urbanização. As classes de mata de galeria e cerrado não receberam valores de suscetibilidade pelo fato de serem áreas preservadas e não sofrerem com as ações antrópicas.

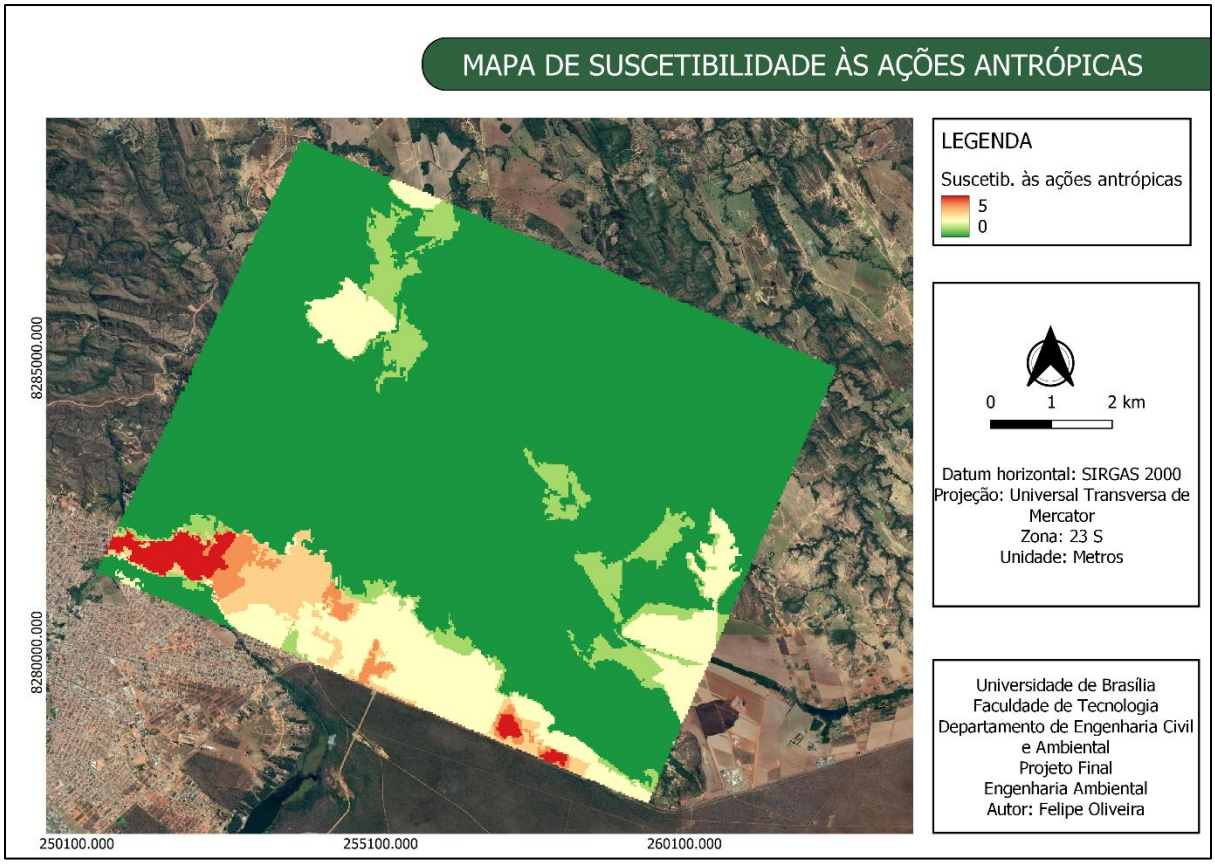



Figura 6.8: Mapa de suscetibilidade às ações antrópicas.

### 6.2.5. MAPA DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL

Com a obtenção de todos os mapas que compõem o mapa de vulnerabilidade ambiental, foi possível realizar a AHP afim de obter o grau de importância de um mapa em relação ao outro. A construção da matriz de comparação pareada foi feita através do julgamento dos critérios par a par. Posteriormente foi realizada a normalização da matriz de comparação para em seguida realizar a razão de consistência das comparações. A matriz de comparação e a matriz normalizada podem ser observadas nas Tabelas 6.2 e 6.3 respectivamente.

A determinação da ordem de importância se deu a partir do entendimento do impacto de cada suscetibilidade na concepção de uma rede de abastecimento de água. Primeiramente e mais importante, a suscetibilidade às ações antrópicas, pois é a partir dela que se resulta e se agrava as demais suscetibilidades, sendo o homem o maior causador dos fenômenos naturais, em decorrência das alterações no solo. Em seguida a suscetibilidade aos processos erosivos, pois a erosão do solo pode expor as redes de abastecimento de água, rompendo tubulações, gerando erosões do tipo voçorocas que atingem o lençol freático, alterando a qualidade da água do corpo hídrico, por exemplo. Sendo a suscetibilidade erosão laminar um nível de importância acima

da suscetibilidade a erosão linear, pois engloba diversos fatores no estudo dos processos erosivos, como a análise de dados pluviométricos, cobertura do solo, tipo de solo e a velocidade do fluxo escoado por exemplo. E por último a suscetibilidade à inundação.

Tabela 6.2: Matriz de comparação.

| **Vulnerabilidade** | **Antrópica** | **Laminar** | **Linear** | **Inundação** |
|---|---|---|---|---|
| **Antrópica** | 1 | 3 | 5 | 7 |
| **Laminar** | 1/3 | 1 | 3 | 5 |
| **Linear** | 1/5 | 1/3 | 1 | 3 |
| **Inundação** | 1/7 | 1/5 | 1/3 | 1 |

Tabela 6.3: Matriz normalizada.

| **Normalizada** | **Antrópico** | **Laminar** | **Linear** | **Inundação** | **Prioridades** |
|---|---|---|---|---|---|
| **Antrópico** | 0,597 | 0,662 | 0,536 | 0,438 | **0,56** |
| **Laminar** | 0,199 | 0,221 | 0,321 | 0,313 | **0,26** |
| **Linear** | 0,119 | 0,074 | 0,107 | 0,188 | **0,12** |
| **Inundação** | 0,085 | 0,044 | 0,036 | 0,063 | **0,057** |
| **Soma** | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Após a normalização da matriz de comparação foi necessário o cálculo do autovalor máximo, que consiste na multiplicação matricial da matriz de comparação com as prioridades encontradas. Após a construção da matriz do autovalor é necessário realizar a soma para cada linha, e posteriormente, realizar a divisão pela prioridade, conforme demostrado na Tabela 6.4. Por fim, pode ser calculado a razão de consistência entre as comparações através das equações 3.6, 3.7 e 3.8. O índice randômico utilizado foi retirado da Tabela 3.3 que consiste no valor de 0.9 para n=4, sendo o número de variáveis testadas.

Com o valor da razão de consistência inferior a 10% foi possível verificar que as comparações realizadas possuem coerência lógica.

Tabela 6.4: Matriz do autovalor.

| Matriz do autovalor | Antrópico | Laminar | Linear | Inundação | SOMA | SOMA/PRIOR |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Antrópico** | 0,558 | 0,790 | 0,609 | 0,398 | 2,356 | 4,222 |
| **Laminar** | 0,186 | 0,263 | 0,366 | 0,284 | 1,099 | 4,175 |
| **Linear** | 0,112 | 0,088 | 0,122 | 0,171 | 0,492 | 4,036 |
| **Inundação** | 0,080 | 0,053 | 0,041 | 0,057 | 0,230 | 4,041 |

Tabela 6.5: Razão de consistência.

| λmáx | IC | RC | RC (%) |
|---|---|---|---|
| 4,118466 | 0,039489 | 0,043876 | **4,38** |

Por meio dos valores obtidos de prioridade de cada componente que compõe a vulnerabilidade ambiental, foi possível realizar a operação algébrica no software QGIS para combinar as camadas e gerar o mapa final, conforme Figura 6.9.

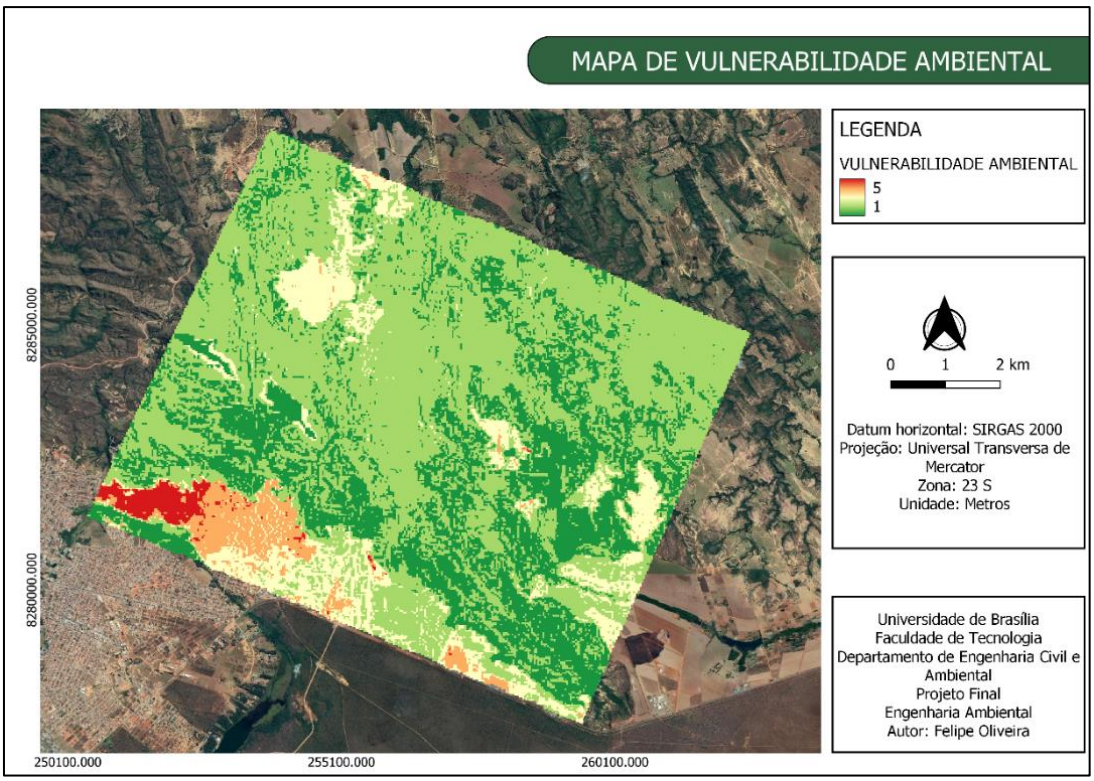



Figura 6.9: Mapa de vulnerabilidade ambiental.

A partir do mapa de vulnerabilidade ambiental é possível verificar que a área que apresenta a maior vulnerabilidade é a região que passa pelo processo de consolidação de sua urbanização. Isso pode ser explicado pelo adensamento populacional, falta de planejamento e estudo ambiental na ocupação de novas áreas, retirada da cobertura vegetal, falta de infraestrutura adequada para essas novas áreas, entre outros motivos resultados da ocupação de novas áreas sem o devido planejamento. A fim de se evitar a problemática deve ser realizado um estudo prévio das características ambientais do local, determinando áreas com solos favoráveis a ocupação e que não possuem o relevo acidentado. No caso da mitigação dos efeitos da urbanização em processo de consolidação, devem ser adotadas de técnicas que auxiliem na infiltração e na redução do escoamento superficial do solo, como sistemas de microdrenagem.

## 6.3. CÁLCULO DEMOGRÁFICO E SELEÇÃO DA ÁREA DE OCUPAÇÃO

Com o horizonte de projeto de 28 anos e os dados da população do censo para os anos e 1991, 2000 e 2010 foi possível realizar projeção da população do Município através dos métodos geométricos, aritméticos e da taxa decrescente de crescimento que podem ser visualizados pela Tabela 6.6 e Figura 6.10. Não foi possível realizar a projeção pelo método dos componentes demográficos pela falta de dados das variáveis presentes no cálculo do método para o Município de Formosa. Já em relação ao método da curva logística, foi realizada a tentativa de projeção, entretanto, o caso do Município não atende uma das condicionantes do método, sendo ela demonstrada na Equação 6.1. Tal qual o método da curva logística, o método da taxa decrescente de crescimento também apresenta condicionante que deve ser atendida para a sua utilização, o que não foi atendido de acordo com os dados disponíveis, conforme descrita na Equação 6.2.

$$P_0 * P_1 > {P_2}^2 \quad \text{Equação 6.1}$$

$${P_1}^2 > P_0 * P_2 \quad \text{Equação 6.2}$$

Sendo,

- $P_0$ a população do censo para o ano de 1991;
- $P_1$ a população para o ano 2000; e
- $P_2$ a população para o ano 2010.

Tabela 6.6: Projeção populacional para os métodos aritmético, geométrico e a taxa decrescente de crescimento

| Ano | Censo | Aritmética | Geométrica | Taxa decrescente de crescimento |
|---|---|---|---|---|
| 1991 | 62.982 | | | |
| 2000 | 78.651 | | | |
| 2010 | 100.085 | 100.085 | 100.085 | 100.085 |
| 2015 | | 109.848,9 | 113.058,7 | 109.803,6 |
| 2020 | | 119.612,9 | 127.714,1 | 119.503,4 |
| 2025 | | 129.376,8 | 144.269,2 | 129.184,4 |
| 2030 | | 139.140,8 | 162.970,3 | 138.846,7 |
| 2035 | | 148.904,7 | 184.095,6 | 148.490,3 |
| 2040 | | 158.668,7 | 207.959,3 | 158.115,2 |
| 2045 | | 168.432,6 | 234.916,3 | 167.721,5 |
| 2050 | | 178.196,6 | 265.367,7 | 177.309,1 |

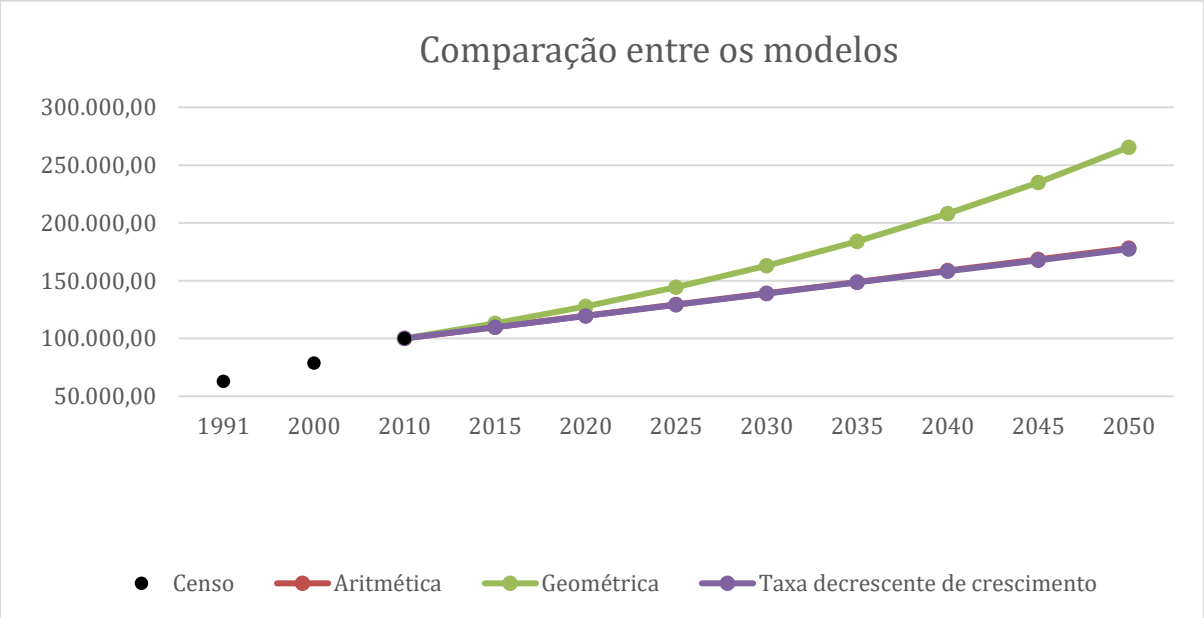



Figura 6.10: Análise gráfica dos modelos de crescimento populacional

Através da análise da Tabela 6.6 e da Figura 6.10 é possível identificar a semelhança entre os valores encontrados entre os métodos aritméticos e o da taxa decrescente populacional, valores tão próximos que na análise gráfica as curvas se sobrepõem. Já o método geométrico apresenta

valores de projeção populacional mais elevados, o que já era esperado. Para a escolha do método a ser utilizado foram levantadas as características de cada método aplicadas ao Município de Formosa.

A projeção geométrica é utilizada quando evidenciado um grande aumento populacional em uma determinada região, esse aumento pode ocorrer por diversos motivos, como a abertura de grandes indústrias, trazendo uma grande quantidade de geração de empregos, e consequentemente, atraindo novos moradores. Outra característica marcante deste método é que ele deve ser utilizado, preferencialmente, quando o período analisado é pequeno e a projeção é próxima ao último censo realizado, o que não se enquadra nesta situação, principalmente pelo fato de o último censo realizado ter sido no ano de 2010. Assim como a projeção geométrica, a projeção aritmética não é indicada em análise com um grande intervalo de tempo, sendo mais utilizados em períodos de até cinco anos.

Por último, o método da taxa decrescente de crescimento que considera que a cidade diminui a taxa de crescimento ao longo dos anos. Utilizado para cidades já bem estabelecidas e que não apresentam grandes projeções de crescimento, onde ao longo dos anos irá convergir para um valor populacional de saturação. Entretanto, como o método não atendeu a inequação expressa na Equação 6.2 o método não será considerado.

No ano de 2020 o IBGE divulgou a estimativa populacional para o Município de Formosa, como sendo igual ao valor de 123.684 habitantes. Quando comparado a estimativa populacional dos métodos geométricos e aritméticos do ano de 2020, o valor obtido pelo método aritmético é 3.3% menor quando comparada a estimativa do IBGE. Já o método geométrico apresenta um valor 3.25% maior quando comparado a estimativa do IBGE para o mesmo ano.

Conforme verificado o atendimento a todas as condições de utilização, os argumentos mencionados e a constatação das limitações de todos os métodos mencionados, foi escolhido para a projeção da expansão populacional do Município de Formosa o método do crescimento aritmético. Isso porque a cidade de Formosa não apresenta um crescimento que se justifique a escolha pelo método geométrico. Importante ressaltar que se faz necessário uma maior quantidade de dados a respeito do Município para melhor embasar a escolha do método, e também, a verificação de novos métodos.

### 6.3.1. SELEÇÃO DA ÁREA DE EXPANSÃO E CÁLCULO DEMOGRÁFICO DA ÁREA DE ESTUDO

O método anterior leva em consideração a projeção populacional para todo o Município de Formosa para adequação e comparação com os valores obtidos na etapa anterior, foi desenvolvido uma nova metodologia para o cálculo da região, como descrito no item 5.4.1. O primeiro passo foi determinar a área em expansão, onde será projetada a rede de abastecimento de água, dentro da área de estudo.

Segundo a Figura 4.2 que traz o microzoneamento do Município de Formosa, uma grande parcela da área de expansão urbana dentro área de estudo está localizada em área de proteção permanente, o que infringe os itens I e V, da Lei Federal n° 12.651, de 25 de maio de 2012, que trata sobre as faixas marginais de qualquer curso d'água e as encostas ou partes destas com declividade superior a 45º (Brasil, 2012). A determinação das áreas pelo microzoneamento também levou em consideração o que traz na Lei Federal n° 6.766, de 19 de dezembro de 1979, a respeito do parcelamento do solo em terrenos com declividades superiores a 30% (Brasil, 1979), como descrito no tópico 3.1.2.

Através disso, foi realizada a seleção da área respeitando a distância da faixa marginal dos cursos hídricos presentes na região e em áreas com declividade inferior a 30%. Após a determinação da área foco da expansão urbana e alvo do dimensionamento da rede de abastecimento de água, verificou-se que a área coincide com a área já parcelada pelo Município para as novas ocupações. A partir daí foi realizado o mapeamento dos loteamentos constantes na área de estudo. Na Figura 6.11 é possível visualizar a seleção da área para expansão, assim como, o mapeamento dos bairros para expansão urbana e a área de proteção permanente em decorrência dos cursos hídricos. Importante ressaltar que a área destinada a Zona Agroindustrial não foi levada em consideração na seleção das áreas para expansão. Através da Figura 6.11 é possível evidenciar como a área viável para expansão é limitada, tanto pela ZAI, como também pelas áreas de proteção permanente. Diante disso, uma alternativa para o crescimento populacional e o adensamento da área seria a expansão vertical da região. Isso porque a ZEU e a ZHIS são regiões caracterizadas por loteamentos de um pavimento e baixa densidade populacional. A construção de residências com mais de um pavimento, possibilitaria uma maior densidade populacional e permitiram a residência de uma quantidade maior de pessoas.

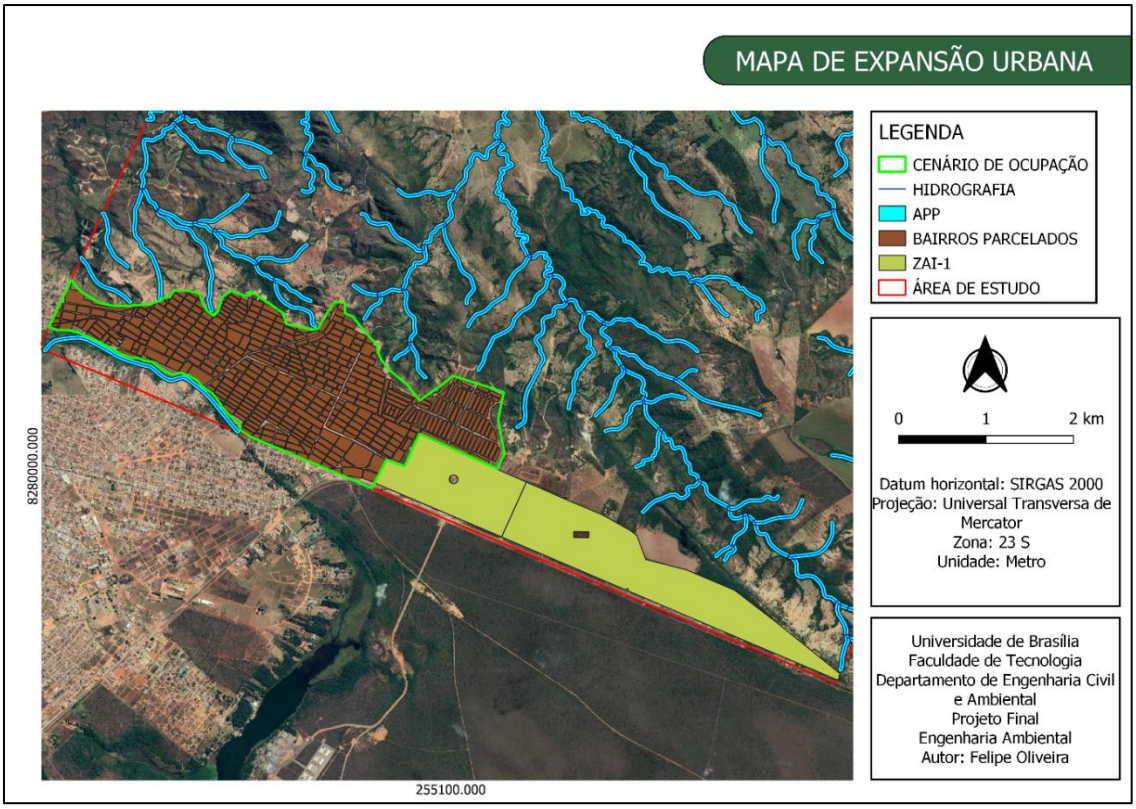



Figura 6.11: Mapa de expansão urbana.

Com a quantificação da área dos bairros parcelados foi retirada a parcela de 20% destinada aos equipamentos urbanos e comunitários para se obter a área útil a ser ocupada. Com a metragem dos lotes de 200 m² foi possível calcular a quantidade lotes possíveis de serem construídos na área. E por fim, se tornou viável o cálculo da projeção populacional da área selecionada para a expansão. Os dados obtidos no procedimento podem ser observados na Tabela 6.7.

Tabela 6.7: Projeção populacional da área selecionada para expansão urbana.

| | |
|---|---|
| **ÁREA TOTAL (m²)** | 4.168.950,08 |
| **ÁREA DESTINADA A EQUIP. COMUNIT. E URBAN (m²)** | 833.790,02 |
| **ÁREA UTILIZÁVEL (m²)** | 3.335.160,06 |
| **QUANTIDADE DE LOTES** | 16.675,80 |
| **QUANTIDADE DE LOTES REAL** | 16.675 |
| **MORADORES** | 55.027,50 |
| **MORADORES REAL** | **55.027** |

A partir dos dados obtidos, pode ser feita a comparação da projeção da área selecionada para a expansão e a projeção populacional de todo o Município. Levando em consideração a projeção para o 2050 pelo método aritmético que apresenta um valor de 178.197 habitantes e considerando para o ano de 2021 segundo projeção do IBGE, em que o Município apresenta uma população de 125.705 habitantes. Levando em conta a fase inicial de urbanização da área de estudo pode-se projetar que a área selecionada para a expansão populacional comporta os habitantes projetados no intervalo do período do ano de 2021 a 2050. Isso porque, em tal período espera-se que a população aumente em 52.492 habitantes e a área de estudo comporta o total de 55.027 habitantes, o que possibilita uma expansão populacional sem que se altere a densidade demográfica atual do Município. No caso da presença dos dados do SAA seria possível verificar se a Estação de Tratamento de Água atual do Município, comporta o aumento da demanda provocada pela expansão populacional calculada.

## 6.4. TRAÇADO E DIMENSIONAMENTO DA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

A partir da seleção da área em expansão foi possível fazer o traçado da rede de abastecimento de água utilizando o complemento QWATER, criando shape de linhas para os trechos da rede e shape de pontos para os nós e o reservatório, como exemplificado no tópico 5.4.3. Também foi mapeada área onde possivelmente exista rede de abastecimento de água, o que poderia ser confirmado com os dados atuais da rede do Município. A região mapeada consiste na região que apresenta grau de urbanização mais elevados, com a presença de pavimentação e avenidas bem definidas. O traçado da rede pode ser visualizado na Figura 6.12.

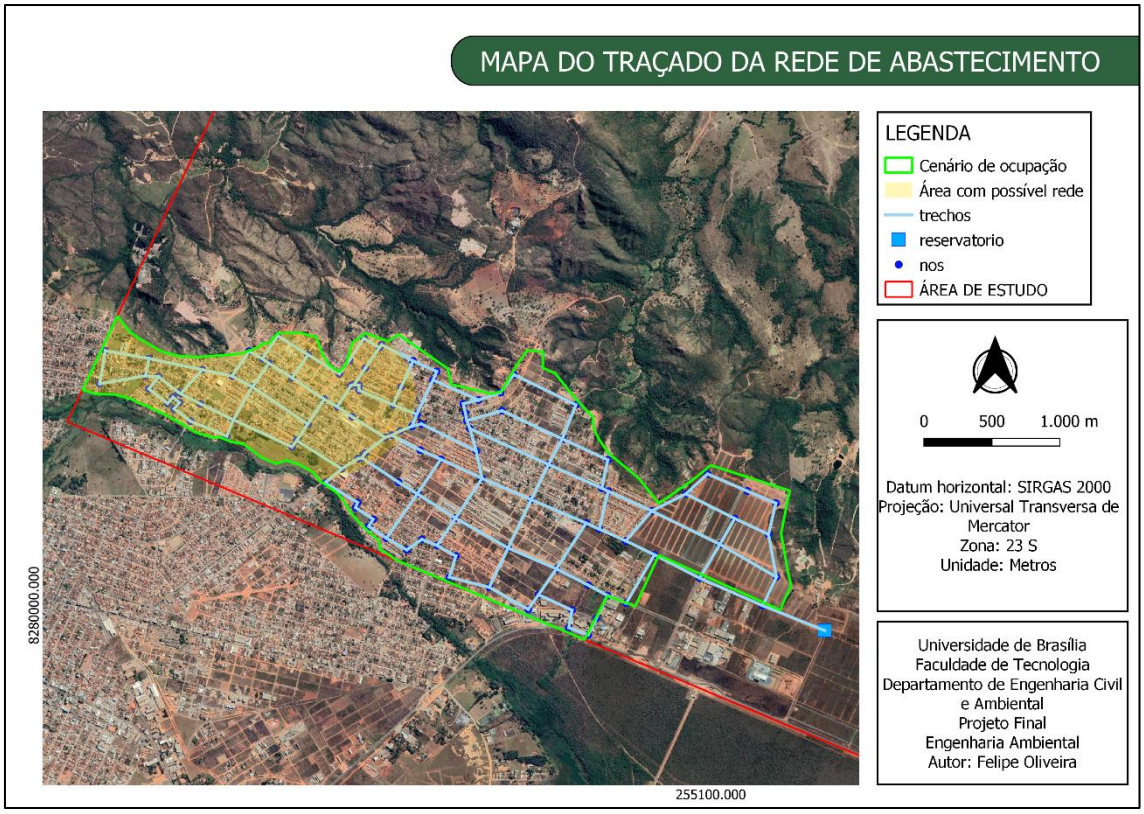



Figura 6.12: Mapa do traçado da rede de abastecimento de água.

Após o traçado da rede foi necessário a obtenção dos parâmetros para o dimensionamento. O plugin QWATER, que utiliza uma extensão do EPANET dentro do software QGIS, requer alguns parâmetros para o dimensionamento da rede, os parâmetros pedidos e os valores utilizados para cada um são mostrados a seguir.

- Consumo per capita: 114,21 l/hab.dia;
- População a ser abastecida: 55.027;
- Coeficientes do dia de maior consumo (K1): 1,2;
- Coeficiente da hora de maior consumo (K2): 1,5;
- Diâmetro mínimo: 50 mm;
- Velocidade máxima nos trechos: 3,5 m/s;
- Equação da perda de carga: Darcy-Weisbach;
- Unidade de vazão: LPS;
- Material das tubulações:  PVC PBA e PVC DEFoFo.

Após definidos os parâmetros, o software realiza o cálculo do fluxo através da área de influência de cada nó, utilizando o polígono de Thiessen. Após o cálculo de fluxo, o software também permite o cálculo do diâmetro mínimo necessário dos condutos, visando o custo

benefício no dimensionamento. Após a simulação no plugin, foi gerado arquivo .INP para abertura e análise no software EPANET LENHSNET 2.0. Os resultados obtidos são demonstrados nas Figuras 6.13 e 6.14. Os valores calculados de vazão nos trechos e consumo nos nós podem ser visualizados no Apêndice I.

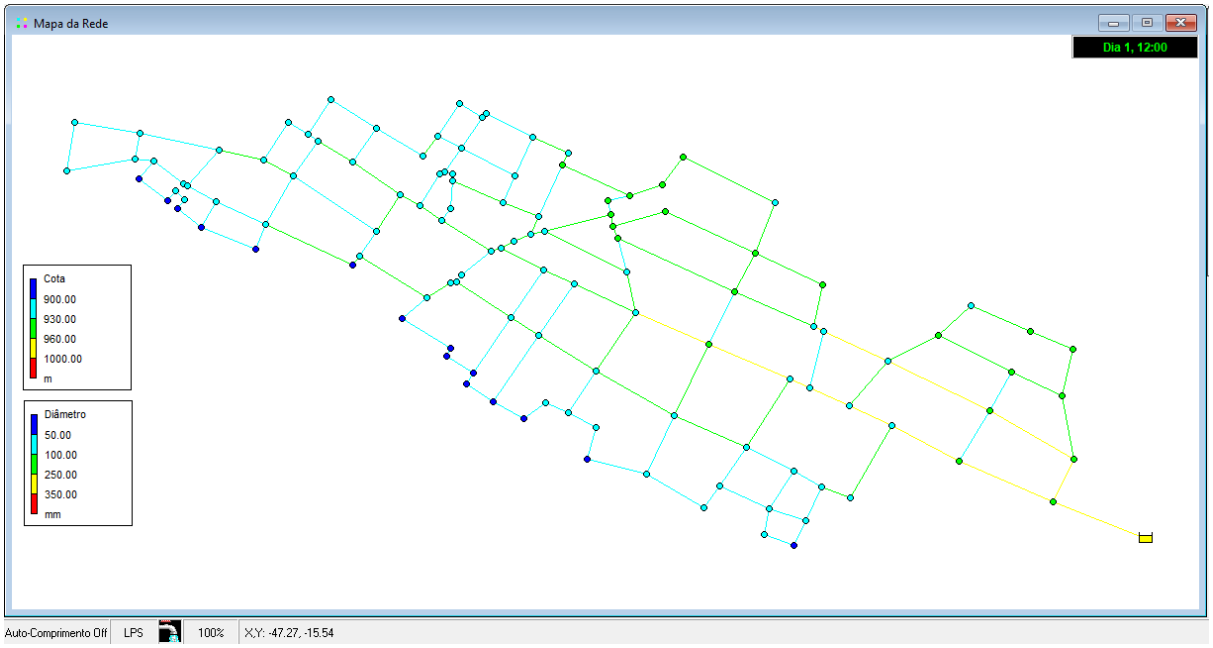



Figura 6.13: Informações a respeito da cota dos nós e do diâmetro das tubulações da rede.

O ponto mais alto da rede é dado pelo reservatório, que é do tipo apoiado e conta com uma cota de 964 metros e o ponto mais baixo se encontra na cota 892 metros. Já em relação ao diâmetro dos trechos o menor diâmetro utilizado no dimensionamento é o diâmetro comercial de 50 mm e o maior de 350 mm. A NBR 12.218/17 traz que o diâmetro mínimo das tubulações secundárias devem ser de no mínimo, 50 mm. A norma não traz valores de referência para os diâmetros das tubulações principais. Através disso, é possível verificar que a rede atende os requisitos mínimo de tubulações.

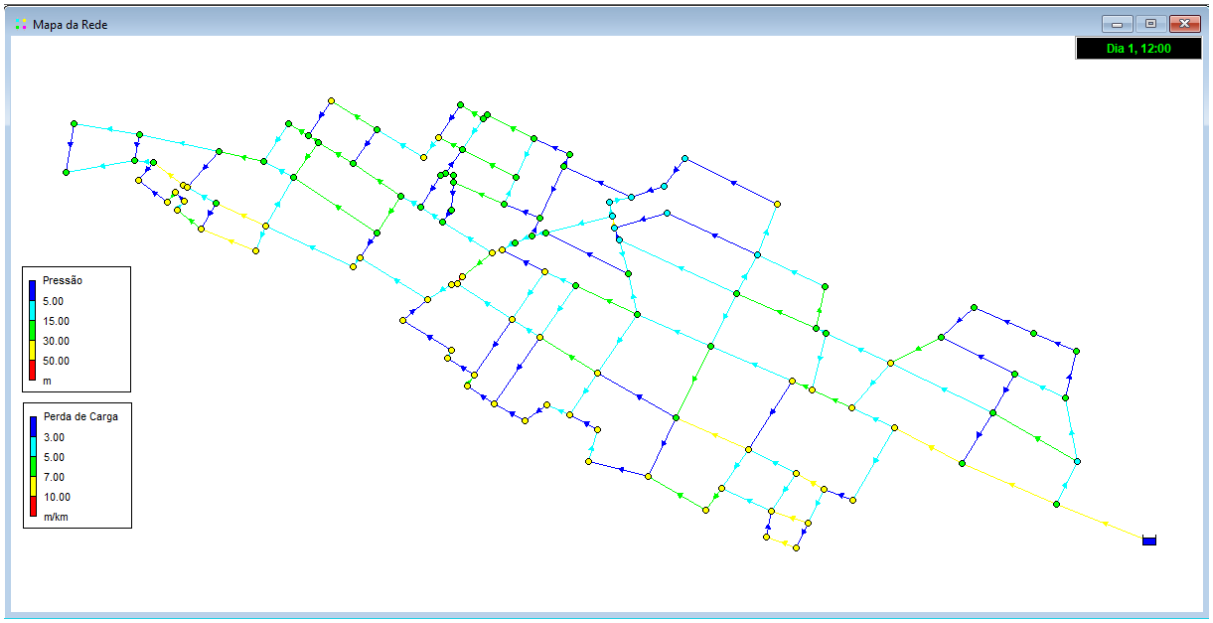



Figura 6.14: Informações da direção do fluxo, pressão e perda de carga na rede.

Através da NBR 12.218/17 foi possível verificar o atendimento das pressões estáticas da rede na maior parte dos nós. A norma traz que a pressão estática deve apresentar um valor máximo de 400 quilopascal (KPa) ou 40 metros de coluna d'água (mca), podendo atingir até 50 mca desde que justificado pela topografia do local. Com a simulação foi possível verificar que a rede atende os valores máximos de pressão, tendo o seu pico no valor de 49,18 metros de coluna d'água. No tocante aos valores da perda de carga nos trechos, a rede apresentou o valor máximo de 9,25 m/km. No tocante as velocidades nos trechos, apesar das diversas tentativas não foi possível atender, em todos os trechos, o valor mínimo estipulado pela norma, de 0,4 m/s. Isso pode ser explicado pelas baixas demandas nos nós que ocorrem por diversos fatores, como o consumo per capita e a densidade populacional da região.

# 7. CONCLUSÕES

Este projeto teve como objetivo verificar uma área no Município de Formosa, em franca expansão urbana, e o respectivo dimensionamento de uma rede de abastecimento de água. Através do mapa do microzoneamento proposto pelo Plano Diretor do Município foi possível identificar que a área de estudo estava inserida nas Zonas de Expansão Urbana e a Zona de Interesse Logístico. Atualmente são regiões que estão iniciando seu processo de urbanização, já apresentando moradias particulares e, na sua maior parte, possui apenas o parcelamento do solo para futuras moradias.

A partir daí foi realizado o estudo ambiental da área para verificar a vulnerabilidade da região destinada à expansão urbana. O primeiro passo foi realizar a análise do uso e cobertura do solo a cada cinco anos, a partir do ano de 2011 até o ano de 2021. Através da análise de uso e cobertura do solo foi identificada uma tendência de urbanização na parte sudoeste para a parte sudeste, onde regiões evoluem de solo exposto para áreas já loteadas, ou parceladas para regiões urbanizadas. Também houve o avanço da urbanização próximos ao corpo hídrico presente na área de estudo, não respeitando a área de proteção permanente referente ao distanciamento de 30 metros de largura disposta no Código Florestal Brasileiro. Isso evidencia a falta de planejamento e fiscalização na expansão do setor ou até mesmo a falta de conhecimento técnico e conhecimento das normas vigente por parte do Município no que tange ao parcelamento do solo.

Por meio do estudo da vulnerabilidade ambiental foi possível obter resultados coerentes e esperados para as áreas mais vulneráveis da área de estudo. Sendo as áreas de maior vulnerabilidade, as áreas que sofreram em maior intensidade de modificações em decorrência das ações antrópicas, o que corrobora com a tese de urbanização sem o devido planejamento e estudo prévio, gerando áreas consideráveis em tamanho que perderam a sua cobertura vegetal e passaram por alterações no solo, como o aumento da impermeabilização, se tornando áreas mais propícias à inundação e o carreamento de materiais do solo, resultando no surgimento de processos erosivos. Tal situação evidencia a necessidade da utilização de modelos empíricos, aliados aos sistemas de informações geográficas, no planejamento urbano, pois através de variáveis físicas e ambientais, é possível se antecipar aos impactos ambientais, determinando assim, áreas mais favoráveis à ocupação urbana e permitindo encontrar soluções que minimizem os impactos da urbanização.

No tocante a sistemas de abastecimento de água, é preocupante a concepção de redes de abastecimento de água em áreas suscetíveis aos processos erosivos, o que pode danificar, ou até mesmo romper a rede, resultado em perda de água, interrupção do abastecimento e até a contaminação da água a ser abastecida.

Importante ressaltar a necessidade de cumprimento das condicionantes do zoneamento proposto pelo plano diretor do munícipio que traz os valores da taxa de permeabilidade e o coeficiente de aproveitamento, que expressam a reserva de áreas livres de edificações nos lotes para possibilitar a infiltração da água no solo, e o limite máximo de ocupação dos lotes, respectivamente. O respeito dessas condicionantes auxilia na taxa de infiltração, e consequentemente, na redução do fluxo superficial.

Por meio do auxílio do microzoneamento proposto pelo plano diretor, restringindo as áreas pertencentes a área de proteção ambiental e áreas com declividade inferior a 30%, foi determinada área para implantação da rede de abastecimento de água. O desenvolvimento da metodologia para o cálculo da projeção populacional, aliado aos dados de parcelamento constantes no plano diretor permitiram o cálculo da população a ser inserida na área, em que se verificou a compatibilidade da população no horizonte de 28 anos para a área de estudo.

A última etapa consistiu na proposta de concepção de uma nova rede de abastecimento de água para a região. É relevante destacar a limitação da metodologia no dimensionamento da rede de abastecimento pela ausência dos dados do sistema de abastecimento de água, com o propósito de se realizar a adequação as estruturas existentes e a proposição de uma expansão da rede existente. Os resultados obtidos para a rede foram satisfatórios no atendimento as condicionantes estabelecidas na norma ABNT 12.218/17, salvo a velocidade mínima nas tubulações.

Por fim, a metodologia empregada no trabalho pode ser replicada em projetos de expansão urbana, visando não apenas a implantação de redes de abastecimento, mas também para qualquer tipo de infraestrutura urbana. É recomendado a aplicação da metodologia deste projeto em trabalhos futuros com a utilização dos dados do SAA atual do local de estudo, o que irá permitir a adequação a rede de abastecimento existente. A posse dos dados também permite aprimorar a definição da população no horizonte de projeto do sistema, a partir do conhecimento do consumo dos usuários e a capacidade do sistema atual de suprir a demanda futura. Ademais, a metodologia se torna uma excelente ferramenta para a seleção de áreas que

não passaram pelo processo de urbanização e que a sua escolha minimize os impactos gerados pela mesma.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1992). NBR 12211: Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro, Brasil.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1992). NBR 12212: Projeto de poço para captação de água subterrânea. Rio de Janeiro, Brasil.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1992). NBR 12213: Projeto de captação de água de superfície para abastecimento público. Rio de Janeiro, Brasil.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1992). NBR 12214: Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, Brasil.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1992). NBR 12215: Projeto de adutora de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, Brasil.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1992). NBR 12216: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, Brasil.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1994). NBR 12217: Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, Brasil.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2017). NBR 12218: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, Brasil.

Albano, M P. (2013). A importância do Planejamento urbano ambiental: a habitação social e a expansão urbana em Presidente Prudente – SP / Mayara Pissutti Albano. – Presidente Prudente. (166) f.: il.

Almeida, W. S.; Diniz, M. S.; Silva, L. S.; Camapum de Carvalho, J.; Silva Junior, E. E. A.; Souza, N. M.; Farias, R. J. C. (2017). Vulnerabilidade e modelagem ambiental em bacias hidrográficas. In: Maurício Martines Sales, José Camapum de Carvalho, Márcia Maria dos Anjos Mascarenha, Marta Pereira da Luz, Newton Moreira de Souza, Renato Resende Angelim. (Org.). Erosão em bordas de reservatórios. 1ed.Goiania: Universidade Federal de Goiás, v. 3, p. 287-322.

ANA. Agência Nacional de Águas. (2021). Atlas Brasil: Abastecimento Urbano de Água 2021. Disponível em: < http://atlas.ana.gov.br >. Acesso em: 13 de abril de 2022.

Andrade, S. L., Ferreira, V. d., & Silva, M. M. (2014). Elaboração de um mapa de risco de inundações da bacia hidrográfica do córrego São Pedro, área urbana de Uberlândia-MG. Caderno de Geografia, 24.

Aquino, A. R., Paletta, F. C., Almeida, J. R., Lange, C. N., Lima, C. M., Amorim, E. P., . . . Bordon, I. C. (2017). Vulnerabilidade Ambiental (1ª ed.). São Paulo: Blucher.

Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. (1990). Conservação do solo. Piracicaba: Livroceres. 3. ed. São Paulo: Ícone, 1990. 355 p.

Brasil. (1988). Constituição Federal, promulgada em 5 de outubro de 1988. Constituição da República Federativa do Brasil. Disponível em: < www.planalto.gov.br >. Acesso em: 15 de abril de 2022.

Brasil. (2001). Lei Federal nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Estatuto da Cidade. Regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal de 1988, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Disponível em: < www.planalto.gov.br >. Acesso em: 15 de abril de 2022.

Brasil. (2020). Lei Federal nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico. Disponível em: < www.planalto.gov.br >. Acesso em: 02 de maio de 2022.

Brasil. (2012). Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Código Florestal. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Disponível em: < www.planalto.gov.br >. Acesso em: 15 de abril de 2022.

Brasil. (1979). Lei Federal nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências. Disponível em: < www.planalto.gov.br >. Acesso em: 15 de abril de 2022.

Bucalem, Miguel Luiz (2019). Potencial do planejamento estratégico de longo prazo para o desenvolvimento das cidades brasileiras. Estudos Avançados, v. 33, p. 103-118.

Burrough, P. (1998). Dynamic modelling and geocomputation. A Primer. P. Longley; M. Battyand R McDonnel; John Wiley & Sons. London, U.K., 290p.

Câmara, G. e Medeiros, C. M. (1998). Geoprocessamento para Projetos Ambientais. INPE, São José dos Campos, Brasil, 195p.

Costa, B. D. (2014). Perda de solo na bacia hidrográfica do Córrego Rico – SP, utilizando técnicas de geoprocessamento. Jaboticabal: Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista.

Crepani, E., Medeiros, J. S., Hernandez, P., Florenzano, T. G., Duarte, V. e Barbosa, C. C. (2001). Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico–econômico e ao ordenamento territorial. INPE, São Jose dos Campos, Brasil, 103p.

Dalmônica, A. H (2014). Análise de fatores influenciadores do consumo de água em Uberlândia: o caso do Setor Sul.

Estado de Goiás (2013). Lei Estadual nº 18.104, de 18 de julho de 2013. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, institui a nova Política Florestal do Estado de Goiás e dá outras providências. Disponível em: < http://www.sgc.goias.gov.br/upload/arquivos/2015-10/lei-estadual-18_104_2013.pdf >. Acesso em: 15 de abril de 2022.

Fonseca, M. R. S. (2008). Avaliação Hidrológica para Subsidiar a Construção de Cenários Sobre o Futuro da Ocupação Humana na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Gama e do

Córrego Cabeça de Veado – Distrito Federal. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Departamento de Geografia, Brasília, DF, 108p.

Forattini, O. P. (1991). Qualidade de vida e meio urbano: a cidade de São Paulo, Brasil. Revista de saúde pública, v. 25, n. 2, p. 75-86, 1991.

FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. Manual de saneamento (2007). 3. ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde. 408 p.

Gumier, C. C.; Luvizotto Junior, E. (2005). Leakage management with computational model in water supply system. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 12, p. 32-41, 2007.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em < https://www.ibge.gov.br/ >. Acesso em: 13 de abril de 2022.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (2017). Manuais - Tutorial 10 aulas – SPRING Básico. Disponível em: < http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/manuais.html >. Acesso em: 13 de abril de 2022.

Jacintho, L. R. C. (2003). Geoprocessamento e sensoriamento remoto como ferramentas na gestão ambiental de Unidades de Conservação: o caso da Área de Proteção Ambiental (APA) do Capivari-Monos, São Paulo-SP. 2003. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

Macedo, Í. L. (2009). Estudo de modelos em ambiente de geoprocessamento para a previsão de Erosão e Assoreamento de Reservatórios: o caso da Bacia do Rio Indaiá - UHE Três Marias. Brasília: UNB.

Mancini, M. T. (2011). Planejamento urbano baseado em cenários de mobilidade sustentável. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos.

Massa, E. M.; Ross, J. L. S. (2012). Aplicação de um modelo de fragilidade ambiental relevo-solo na Serra da Cantareira, bacia do Córrego do Bispo, São Paulo-SP. Revista do departamento de geografia – USP, p. 57-79.

Medeiros, J. S. e Câmara, G.; (2001). “GIS para estudos ambientais”. In: Câmara, C.; Davis, C.; Monteiro, A. M. V. (eds.) Introdução à Ciência da Geoinformação. Sagres, Curitiba, Brasil, 10-1 – 10-36.

Moore, I.; Burch, G. (1886). Physical basis of the length-slope factor in the universal soil loss equation. In: Soil science society of America Journal. p- 1294-1298.

Nascimento, M A. (2004). Planejamento ambiental para cidades pequenas: O caso de Perdões, MG. 2004.

Nascimento, V. M. L. C., Lima, E. R. V e Santos, C. A. G. (2009). Utilização de sistema de informações geográficas na avaliação de áreas para ocupação urbana em João

Pessoa/PB. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 4093-4100.

ONU. Organização das Nações Unidas (2010). Resolution adopted by the General Assembly on 28 July 2010: 64/292. The human right to water and sanitation. 2010. Disponível em: < https://www.un.org/en/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/64/292 >. Acesso em: 25 de abril de 2022.

Prefeitura Municipal de Formosa – Goiás. (2017). Lei Complementar n". 022, de 20 de novembro de 2017. Institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado do Município de Formosa, que dispõe sobre a política de desenvolvimento municipal, o plano de uso e ocupação, os instrumentos urbanísticos e o sistema de gestão. Disponível em: < https://www.formosa.go.leg.br/institucional/noticias/lei-complementar-n-o-022-17#:~:text=Institui%20o%20Plano%20Diretor%20de,e%20o%20sistema%20de%20gest%C3%A3o. > Acesso em: 15 de abril de 2022.

RIDEsab. (2019). ESTUDO: DIAGNÓSTICO DO SANEAMENTO BÁSICO DAS REGIÕES INTEGRADAS DE DESENVOLVIMENTO (RIDES) DO BRASIL (RIDE DF E ENTORNO, RIDE POLO GRANDE TERESINA/PI, E RIDE POLO PETROLINA/PE E JUAZEIRO/BA). RELATÓRIO FINAL DE MOBILIZAÇÃO SOCIAL - RIDE/DF E ENTORNO.

Rocha, A.C. (2017). Proposição de uma adequação para a Rede De Abastecimento de Água de Planaltina-Go em função da sua Expansão Urbana. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 137 P.

Ross, J.L.S. (1994). Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. Revista do departamento de geografia. n. 8, p. 63-73. 1994.

Rossman, L. A. (2000). EPANET User's Manual. EPA/600/R-00/057. USA: U. S. Environmental Protection Agency.

Saaty, T. L. The analytic hierarchy process. McGraw-Hill, New York. 1980. 287 p.

Salazar, J. P. C (2015). Determinação de cenários futuros de uso e cobertura do solo e sua influência na vulnerabilidade ambiental: o caso do Município de Formosa – GO. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH. DM – 175/2015, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 112p.

Salgado, R.; Todini, E.; O'Connell, P.E. (1988). Extending the gradient method to include pressure regulating valves in pipe networks. Proc. Inter. Symposium on Computer Modeling of Water Distribution Systems, University of Kentucky, May 12-13.

Santos, A. R., Louzada, F. L. O. e Eugenio, F. C. (2010). ArcGIS 9.3 Total: Aplicações para Dados Espaciais. CAUFES (Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo), Alegre, Brasil, 185p.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2021). Diagnóstico Temático dos serviços de água e esgoto. Visão geral. Ano de referência - 2020.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas. Glossário de Indicadores, 2019. Disponível em: < http://snis.gov.br/diagnosticos >. Acesso em: 02 de maio de 2022.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Série Histórica, 2021. Disponível em: < http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica >. Acesso em: 02 de maio de 2022.

Tsutiya, M. T. (2006). Abastecimento de água / Milton Tomoyuki Tsutiya - 3 a edição - São Paulo - Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. XIII - 643 p.

Tucci, C. E. M. Coeficiente de Escoamento e Vazão Máxima de Bacias Urbanas. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 5, n. 1, p. 61-68, 2000.

Turner, B. L., Skole, D., Sanderson, S., Fischer, G., Fresco, L. e Leemans, R. (1995). Land-use and land-cover Change, Science/research Plan. International GeosphereBiosphere Programme, Stockholm, Sweden and Geneva, Switzerland,132p.

Wischmeier, W.H.; Smith, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture. Washington, D.C. 58p.

# APÊNDICE I: DADOS DE VAZÃO E CONSUMO DA REDE

Tabela da Rede - Trechos

| Identificador do Trecho | Vazão LPS |
|---|---|
| Tubulação 34 | -71.17 |
| Tubulação 39 | 56.70 |
| Tubulação 40 | 46.92 |
| Tubulação 41 | 22.39 |
| Tubulação 42 | 0.23 |
| Tubulação 43 | -0.32 |
| Tubulação 44 | -11.28 |
| Tubulação 45 | -9.62 |
| Tubulação 46 | 8.79 |
| Tubulação 48 | 7.82 |
| Tubulação 49 | 9.36 |
| Tubulação 50 | -6.87 |
| Tubulação 51 | 14.63 |
| Tubulação 52 | 44.25 |
| Tubulação 53 | 54.85 |
| Tubulação 59 | 10.71 |
| Tubulação 62 | 1.45 |
| Tubulação 63 | 9.70 |
| Tubulação 64 | 4.43 |
| Tubulação 65 | 42.32 |
| Tubulação 66 | -0.93 |
| Tubulação 67 | 2.06 |
| Tubulação 68 | -0.43 |
| Tubulação 69 | 4.38 |
| Tubulação 70 | 1.65 |
| Tubulação 71 | -2.69 |
| Tubulação 72 | -1.59 |
| Tubulação 73 | 2.71 |

| Identificador do Trecho | Vazão LPS |
|---|---|
| Tubulação 74 | 11.93 |
| Tubulação 75 | -44.32 |
| Tubulação 76 | -52.93 |
| Tubulação 77 | 53.23 |
| Tubulação 78 | -41.68 |
| Tubulação 79 | 1.40 |
| Tubulação 80 | -42.14 |
| Tubulação 81 | 2.94 |
| Tubulação 82 | -26.92 |
| Tubulação 83 | -13.53 |
| Tubulação 84 | -12.49 |
| Tubulação 85 | -10.09 |
| Tubulação 86 | 9.40 |
| Tubulação 87 | 4.26 |
| Tubulação 88 | -3.44 |
| Tubulação 89 | 0.38 |
| Tubulação 90 | -5.99 |
| Tubulação 91 | 4.07 |
| Tubulação 92 | 10.78 |
| Tubulação 94 | -9.40 |
| Tubulação 95 | -11.08 |
| Tubulação 214 | 38.31 |
| Tubulação 97 | -8.88 |
| Tubulação 98 | 8.06 |
| Tubulação 93 | -9.39 |
| Tubulação 101 | -8.19 |
| Tubulação 102 | 2.11 |
| Tubulação 103 | -1.28 |
| Tubulação 104 | 0.70 |

| Identificador do Trecho | Vazão LPS |
|---|---|
| Tubulação 105 | 3.14 |
| Tubulação 215 | 6.91 |
| Tubulação 107 | 11.64 |
| Tubulação 108 | 2.91 |
| Tubulação 109 | 2.46 |
| Tubulação 110 | 1.91 |
| Tubulação 111 | 2.03 |
| Tubulação 112 | 12.96 |
| Tubulação 113 | 13.80 |
| Tubulação 114 | 1.47 |
| Tubulação 216 | -16.25 |
| Tubulação 116 | 3.02 |
| Tubulação 117 | -2.64 |
| Tubulação 217 | 10.26 |
| Tubulação 218 | 10.89 |
| Tubulação 120 | 2.98 |
| Tubulação 121 | 6.68 |
| Tubulação 122 | 11.01 |
| Tubulação 100 | -10.56 |
| Tubulação 124 | 9.72 |
| Tubulação 125 | 0.64 |
| Tubulação 126 | 12.41 |
| Tubulação 118 | -2.25 |
| Tubulação 127 | -2.16 |
| Tubulação 128 | 0.89 |
| Tubulação 219 | 10.37 |
| Tubulação 130 | 3.39 |
| Tubulação 132 | -1.81 |
| Tubulação 133 | 1.24 |

| Identificador do Trecho | Vazão LPS |
|---|---|
| Tubulação 135 | 13.06 |
| Tubulação 134 | -0.46 |
| Tubulação 131 | 17.06 |
| Tubulação 136 | 12.76 |
| Tubulação 137 | 3.80 |
| Tubulação 138 | -11.98 |
| Tubulação 139 | 11.18 |
| Tubulação 141 | 5.51 |
| Tubulação 142 | 0.27 |
| Tubulação 144 | 2.23 |
| Tubulação 145 | 3.71 |
| Tubulação 146 | -10.24 |
| Tubulação 147 | -0.69 |
| Tubulação 148 | 2.91 |
| Tubulação 149 | -2.16 |
| Tubulação 150 | 0.56 |
| Tubulação 151 | -4.58 |
| Tubulação 115 | -7.59 |
| Tubulação 152 | -2.69 |
| Tubulação 153 | 9.13 |
| Tubulação 154 | 7.51 |
| Tubulação 155 | 7.05 |
| Tubulação 157 | 0.34 |
| Tubulação 158 | 8.19 |
| Tubulação 159 | -8.86 |
| Tubulação 123 | 20.62 |
| Tubulação 160 | 11.29 |
| Tubulação 156 | -1.59 |
| Tubulação 161 | -3.02 |

| Identificador do Trecho | Vazão LPS |
|---|---|
| Tubulação 162 | 4.29 |
| Tubulação 164 | 3.43 |
| Tubulação 165 | -12.33 |
| Tubulação 167 | 0.54 |
| Tubulação 168 | -0.91 |
| Tubulação 169 | 4.10 |
| Tubulação 170 | -2.39 |
| Tubulação 171 | 2.26 |
| Tubulação 172 | -0.43 |
| Tubulação 173 | 1.81 |
| Tubulação 174 | 1.23 |
| Tubulação 175 | 3.86 |
| Tubulação 176 | 4.29 |
| Tubulação 163 | 3.78 |
| Tubulação 177 | 1.35 |
| Tubulação 178 | 1.45 |
| Tubulação 166 | -11.99 |
| Tubulação 179 | -1.08 |
| Tubulação 180 | -12.31 |
| Tubulação 181 | -3.58 |
| Tubulação 182 | 5.70 |
| Tubulação 183 | -0.58 |
| Tubulação 184 | 5.05 |
| Tubulação 185 | 1.68 |
| Tubulação 186 | 1.97 |
| Tubulação 187 | -0.85 |
| Tubulação 188 | 2.15 |
| Tubulação 189 | 4.57 |
| Tubulação 190 | -1.55 |

| Identificador do Trecho | Vazão LPS |
|---|---|
| Tubulação 191 | 5.03 |
| Tubulação 192 | 2.99 |
| Tubulação 193 | 0.26 |
| Tubulação 194 | -1.68 |
| Tubulação 195 | -1.30 |
| Tubulação 196 | 1.09 |
| Tubulação 197 | 0.87 |
| Tubulação 198 | -0.45 |
| Tubulação 199 | -2.50 |
| Tubulação 200 | -2.13 |
| Tubulação 201 | 0.06 |
| Tubulação 202 | 1.36 |
| Tubulação 203 | 3.24 |
| Tubulação 204 | 0.32 |
| Tubulação 205 | -1.41 |
| Tubulação 206 | 0.67 |
| Tubulação 207 | 0.38 |
| Tubulação 1 | 130.93 |

Tabela da Rede - Nós

| Identificador do Nó | Consumo LPS |
|---|---|
| Nó 19 | 3.06 |
| Nó 27 | 2.09 |
| Nó 28 | 1.86 |
| Nó 29 | 2.76 |
| Nó 30 | 1.49 |
| Nó 31 | 1.60 |
| Nó 32 | 0.83 |
| Nó 33 | 0.97 |
| Nó 34 | 0.95 |
| Nó 35 | 1.60 |
| Nó 36 | 2.63 |
| Nó 37 | 1.32 |
| Nó 38 | 0.89 |
| Nó 40 | 1.82 |
| Nó 42 | 0.51 |
| Nó 44 | 0.92 |
| Nó 45 | 1.45 |
| Nó 46 | 1.15 |
| Nó 47 | 0.51 |
| Nó 48 | 1.13 |
| Nó 49 | 2.29 |
| Nó 50 | 1.69 |
| Nó 51 | 2.77 |
| Nó 52 | 1.70 |
| Nó 53 | 0.82 |
| Nó 54 | 2.71 |
| Nó 55 | 2.80 |
| Nó 56 | 1.09 |

| Identificador do Nó | Consumo LPS |
|---|---|
| Nó 57 | 1.24 |
| Nó 58 | 1.24 |
| Nó 59 | 1.04 |
| Nó 60 | 2.40 |
| Nó 61 | 1.39 |
| Nó 62 | 1.01 |
| Nó 63 | 1.20 |
| Nó 64 | 1.34 |
| Nó 65 | 0.69 |
| Nó 66 | 2.30 |
| Nó 68 | 1.56 |
| Nó 67 | 0.33 |
| Nó 69 | 0.60 |
| Nó 70 | 0.83 |
| Nó 71 | 0.58 |
| Nó 72 | 0.93 |
| Nó 73 | 2.45 |
| Nó 74 | 0.45 |
| Nó 75 | 0.55 |
| Nó 76 | 1.30 |
| Nó 80 | 2.15 |
| Nó 81 | 1.44 |
| Nó 77 | 0.39 |
| Nó 78 | 1.97 |
| Nó 79 | 1.22 |
| Nó 82 | 0.63 |
| Nó 83 | 0.29 |
| Nó 84 | 1.52 |
| Nó 85 | 0.82 |

| Identificador do Nó | Consumo LPS |
|---|---|
| Nó 86 | 1.49 |
| Nó 87 | 0.98 |
| Nó 88 | 0.35 |
| Nó 89 | 0.70 |
| Nó 90 | 0.41 |
| Nó 91 | 0.57 |
| Nó 92 | 0.78 |
| Nó 93 | 0.30 |
| Nó 94 | 1.24 |
| Nó 95 | 0.94 |
| Nó 96 | 1.06 |
| Nó 97 | 1.10 |
| Nó 98 | 0.95 |
| Nó 208 | 2.06 |
| Nó 100 | 2.06 |
| Nó 101 | 0.84 |
| Nó 102 | 0.75 |
| Nó 103 | 1.04 |
| Nó 104 | 1.03 |
| Nó 105 | 0.37 |
| Nó 209 | 1.53 |
| Nó 210 | 1.15 |
| Nó 107 | 1.28 |
| Nó 108 | 0.46 |
| Nó 109 | 1.18 |
| Nó 110 | 1.07 |
| Nó 111 | 1.01 |
| Nó 112 | 0.46 |
| Nó 113 | 0.80 |

| Identificador do Nó | Consumo LPS |
|---|---|
| Nó 114 | 0.38 |
| Nó 115 | 0.87 |
| Nó 116 | 0.51 |
| Nó 117 | 1.35 |
| Nó 118 | 1.17 |
| Nó 211 | 0.37 |
| Nó 120 | 0.13 |
| Nó 121 | 0.80 |
| Nó 122 | 0.62 |
| Nó 123 | 0.58 |
| Nó 124 | 0.70 |
| Nó 125 | 1.32 |
| Nó 126 | 0.38 |
| Nó 127 | 0.76 |
| Nó 128 | 1.24 |
| Nó 212 | 0.84 |
| Nó 130 | 0.67 |
| Nó 131 | 0.60 |
| Nó 213 | 1.10 |
| Nó 132 | 1.53 |
| Nó 133 | 0.75 |
| Nó 134 | 0.38 |
| Nó 135 | 0.22 |
| Nó 136 | 0.22 |
| Nó 137 | 0.42 |
| Nó 138 | 0.52 |
| Nó 139 | 0.71 |
| Nó 140 | 1.01 |
| Nó 141 | 1.52 |

| Identificador do Nó | Consumo LPS |
|---|---|
| Nó 142 | 1.02 |
| Nó 143 | 1.05 |
| RNF 1 | -130.93 |