UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

ANÁLISE DA GESTÃO INTEGRADA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NA ÁREA DE MAIOR VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ALAGADO (DF/GO)

ANNA PIZA DA COSTA

ORIENTADOR: WAGNER SANTOS DE ALMEIDA

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA AMBIENTAL 2

BRASÍLIA/DF: FEVEREIRO/2023

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

ANÁLISE DA GESTÃO INTEGRADA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NA ÁREA DE MAIOR VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ALAGADO (DF/GO)

ANNA PIZA DA COSTA

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)

_____

PASTOR WILLY GONZALES TACO, Dr. (UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)

_____

ELEUDO ESTEVES DE ARAÚJO SILVA JÚNIOR, DSc (UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)

DATA: BRASÍLIA/DF, 14 DE FEVEREIRO DE 2022.

FICHA CATALOGRÁFICA

COSTA, ANNA PIZA DA

ANÁLISE DA GESTÃO INTEGRADA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NA ÁREA DE MAIOR VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ALAGADO (DF/GO)

ix, 77 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2023)

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

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. GEOPROCESSAMENTO 2. VULNERABILIDADE AMBIENTAL

3. GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

I. ENC/FT/UnB II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

COSTA, A. P. (2023) *ANÁLISE DA GESTÃO INTEGRADA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NA ÁREA DE MAIOR VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ALAGADO (DF/GO)*. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 77 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Anna Piza da Costa

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: ANÁLISE DA GESTÃO INTEGRADA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NA ÁREA DE MAIOR VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ALAGADO (DF/GO)

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2023

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.

_____

ANNA PIZA DA COSTA

annapiza@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, João Vicente e Juliana, minha madrasta Áurea, e meus irmãos Benjamin, Bernardo, Nina e Amanda por sempre me apoiarem! Sempre estiveram comigo me guiando e me conduzindo para que esse momento chegasse. Agradeço a toda minha família, em especial meus avós, Agnelo e Aparecida, e minha tia Agnes, que também sempre me apoiaram. Obrigado por sempre acreditarem e torcerem, mesmo que, muitas vezes, de longe. Ao meu namorado, Allef, por todo incentivo, companheirismo e compreensão nos momentos difíceis e nas pequenas vitórias também.

Não posso deixar de citar as amizades que formei na UnB, pessoas que me ajudaram nos momentos de alegria e de tristeza, que sempre foram meu ponto de apoio dentro da faculdade. Em especial, Natália por toda a parceria desde o início da caminhada, valeu a pena cada crise e cada comemoração! Ser sua gêmea de curso foi um privilégio. Cito também: Leo, Fernanda, Lucas, Washington, Samuel, Gabriel, Ygor, Ester e Thatiane. Obrigada por tudo!

Ao meu orientador, Wagner, que desde o primeiro contato durante a disciplina da graduação se demonstrou disposto a ensinar e sempre me incentivou a ir além. Agradeço pela oportunidade em poder desenvolver este trabalho sob sua orientação, por sempre acompanhar de perto a evolução da pesquisa e pelo respeito durante todo este período em cima do projeto. Obrigada pela paciência e por contribuir tão ricamente para minha formação!

A todos os professores que estiveram comigo nessa caminhada, contribuindo para o meu crescimento e evolução. Em especial a banca formada pelo Professor Pastor e Professor Eleudo, com suas ricas orientações e sugestões. Agradeço também os núcleos onde pude trabalhar, me desenvolver e me sentir parte de uma família. Agradeço em especial ao pessoal da ANA, ANEEL, Atlética Enxurrada e Concreta Consultoria.

E por último, mas não menos importante, a Deus que me deu força para aguentar a jornada até o final e clareza durante o processo. Sou eternamente grata por tudo que aprendi e vivi dentro da UnB, pelo que sou e por tudo que posso e vou construir como Engenheira Ambiental formada pela Universidade de Brasília.

RESUMO

ANÁLISE DA GESTÃO INTEGRADA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NA ÁREA DE MAIOR VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ALAGADO (DF/GO)

Autora: Anna Piza da Costa
Orientador: Wagner Santos de Almeida

No Brasil, o manejo de resíduos sólidos é uma grande preocupação devido à falta de infraestrutura adequada para coleta, tratamento e disposição final. Um reflexo disso é a situação deficitária em que se encontra a gestão desses resíduos sólidos urbanos em alguns municípios na Unidade Hidrográfica do Alagado (DF/GO), região esta passível a interferências por diversas atividades antrópicas. Neste trabalho de conclusão de curso de graduação foram utilizados algoritmos de geoprocessamento inseridos em um ambiente computacional de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para realização de uma análise da vulnerabilidade ambiental na Bacia do Rio do Alagado, visando entender a relação da evolução da ação antrópica na área de estudo com a Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), a partir de um Sistema de Avaliação aplicado à região. A metodologia utilizada permitiu a produção de mapas que representam as suscetibilidades aos processos erosivos, à ocupação antrópica e à inundação, e determinar na área de estudo a região com vulnerabilidade ambiental mais acentuada e avaliar a gestão de RSU do município ali inserido. O município selecionado foi o Novo Gama (GO), que apresentou índice de gestão de RSU baixo. De posse desse resultado, foi executada a análise na dimensão operacional, com foco na coleta seletiva, atualmente inexistente no município. O trabalho realizou uma rede hipotética de coleta de RSU, por meio de algoritmos inseridos no sistema ArcGIS Network Analyst, que permitiu a identificação da vulnerabilidade da rede de coleta seletiva, incluindo impactos negativos por eventuais interrupção dos pontos considerados críticos na área. Para isso, foram representados possíveis pontos de coleta de RSU, considerando trajeto de veículos coletores. A vulnerabilidade da rede de coleta construída indicou que esta seria uma possível solução ao problema de gestão levantado. Em conclusão, o trabalho demonstrou que a gestão dos RSU no município estudado é deficitária e demanda iniciativas de investimento em infraestrutura para uma adequada implantação de rede de coleta de RSU, considerando que o município já se encontra na área de maior vulnerabilidade ambiental da área de estudo.

Palavras-chave: geoprocessamento, vulnerabilidade ambiental, gestão de resíduos sólidos.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 13

2. OBJETIVOS 15

2.1. OBJETIVO GERAL 15

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 15

3. ÁREA DE ESTUDO 16

3.1. LOCALIZAÇÃO 16

3.2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA 16

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 19

4.1 VULNERABILIDADE AMBIENTAL 19

4.1.1 Suscetibilidade aos Processos Erosivos 20

4.1.2 Suscetibilidade à Inundação 21

4.1.3 Suscetibilidade às Ações Antrópicas 22

4.2 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG) 22

4.3 ANÁLISE HIERÁRQUICA DE PROCESSOS (AHP) 23

4.4 RESÍDUOS SÓLIDOS 25

4.4.1 Origem e Classificação 25

4.4.2 Geração de Resíduos Sólidos 26

4.4.3 Gestão de Resíduos Sólidos 28

4.4.4 Legislação de Resíduos Sólidos 29

4.4.5 Transporte de Resíduos Sólidos 31

4.5 SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE GESTÃO DE RSU 32

4.5.1 Diagnóstico da Área de Estudo 32

4.5.2 Alimentação do Sistema de Avaliação de Desempenho (SAD-GRSU) 35

4.5.3 Obtenção do Índice de GRSU (ID-GRSU) 35

4.6 VULNERABILIDADE EM REDES DE TRANSPORTE 36

4.6.1 Vulnerabilidade em redes 36

4.6.2 Redes de Transporte de Resíduos Sólidos 38

5. MATERIAIS E MÉTODOS 39

5.1 MATERIAIS 39

5.1.1 Imagens de Satélite 39

5.1.2 Software 39

5.2 MÉTODOS 40

5.2.1Classificação de uso e cobertura solo 40

5.2.2 Mapa de vulnerabilidade ambiental 42

5.2.3 Sistema de Avaliação de Gestão de RSU *49*
5.2.4 Rede de transporte de resíduos sólidos *50*
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO **54**
6.1 MAPA DE USO E COBERTURA DO SOLO 54
6.2 VULNERABILIDADE AMBIENTAL 55
6.2.1 Mapa de Suscetibilidade à Erosão Laminar *55*
6.2.2 Mapa de Suscetibilidade à Erosão Linear *57*
6.2.3 Mapa de Suscetibilidade à Inundação *57*
6.2.4 Mapa de Suscetibilidade às Ações Antrópicas *58*
6.2.5 Mapa de Vulnerabilidade Ambiental *59*
6.3 SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE GESTÃO DE RSU 61
6.4 REDE DE TRANSPORTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS 63
6.4.1 Caracterização da rede *63*
6.4.2 Identificação dos arcos mais importantes da rede *64*
6.4.3 Criação e avaliação de cenários de interrupção na rede *67*
6.4.4 Classificação da rede segundo a sua vulnerabilidade *67*
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES **69**
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **71**

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Área de Estudo 14

Figura 3.2 – Mapas geológicos e pedológicos da bacia do Alagado 16

Figura 3.3 - Mapa hipsométrico e de declividade da bacia do Alagado. 16

Figura 4.1 – O processo de AHP. Fonte: (Adaptado de Saaty, 1980) 22

Figura 4.2 – Disposição Final de RSU no Brasil em 2019 e 2020. Fonte: Anuário de Reciclagem 2021 25

Figura 4.3 – Tipo de destinação final de resíduos sólidos no Brasil em 2019 e em 2020.

Fonte: Anuário de Reciclagem 2021. 25

Figura 4.4 – Esquema dos Planos de RS (Adaptado de Brasil, 2010) 29

Figura 5.1 – Imagens de sensoriamento remoto utilizadas. 37

Figura 5.2 – Fluxograma do procedimento de classificação de uso e cobertura do solo. (Adaptado de Almeida *et al*., 2017) 39

Figura 5.3 – Metodologia para obtenção do mapa de vulnerabilidade ambiental (Adaptado de Diniz, 2016) 40

Figura 5.4 – Procedimento para obtenção do mapa de suscetibilidade à erosão linear. 45

Figura 6.1 - Mapa de uso e cobertura para os três anos amostrados 52

Figura 6.2 - Fatores da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) 52

Figura 6.3 - Mapa de suscetibilidade à erosão laminar. 55

Figura 6.4 - Mapa de suscetibilidade à erosão linear. 56

Figura 6.5 - Mapa de suscetibilidade à inundação. 57

Figura 6.6 - Mapa de suscetibilidade a ações antrópicas. 57

Figura 6.7 - Mapa do avanço da antropização. 58

Figura 6.8 - Mapa de vulnerabilidade ambiental.. 59

Figura 6.9 - Caracterização da rede 62

Figura 6.10 - Pontos distribuídos pela rede 63

Figura 6.11 - Alocação dos pontos em relação ao Aterro Sanitário de Novo Gama 64

Figura 6.12 - Área atendida pelos pontos de coleta definidos. 65

Figura 6.13 - Trecho crítico da rede.. 65

Figura 6.14 - Cenário de interrupção na rede 66

Figura 6.15 - Tempo do trajeto do caminhão. 67

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 Faixa de valores dos IGRSU e nível de gestão dos RSU equivalentes. 34

Tabela 5.1 - Imagens de satélite utilizadas. 37

Tabela 5.2 - Valores de erodibilidade “K” (Adaptado de Almeida et al., 2012) 43

Tabela 5.3 - Pesos atribuídos para o fator C 44

Tabela 5.4 - Pesos atribuídos para o fator P 45

Tabela 5.5 - Classificação em graus de suscetibilidade à perda de solo 46

Tabela 5.6 - Pesos atribuídos às classes antropizadas. 47

Tabela 5.7 - Matriz de valor do grau de vulnerabilidade dos arcos 50

Tabela 5.8 - Fatores de Impacto 50

Tabela 5.9 - Classificação dos Impactos nos Arcos 51

Tabela 5.10 - Tabela mGUT do grau de vulnerabilidade quantificado 51

Tabela 6.1 - Evolução das áreas das classes de uso e cobertura do solo 51

Tabela 6.2 - Matriz de julgamentos 59

Tabela 6.2 - Pesos calculados pelo método AHP 59

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 4.1 – Equação Universal de Perda de Solo (EUPS). 22
Equação 5.1 - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) 39
Equação 5.2 - Erosividade 41
Equação 5.3 – Fator R 44
Equação 5.4 – Fator LS 44

LISTA DE ABREVIAÇÕES E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
AHP	*Analytic Hierarchy Process*
AIJ	Agregação Individual de Julgamentos
CLP	Combinação Linear Ponderada
CNM	Confederação Nacional de Municípios
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DF	Distrito Federal
EIA/RIMA	Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental
GIRS	Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos
GRSU	Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ID-GRSU	Índice de Desempenho da GRSU
INPE	Instituto de Pesquisas Espaciais
K	Fator de erodibilidade do solo
km	Quilômetros
Landsat	*Land Remote Sensing Satellite*
LS	Fator Topográfico
m	Metros
MDE	Modelo digital de elevação
MDT	Modelo digital de terreno
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MINTER	Ministério de Estado do Interior
MS	Ministério da Saúde
PFSB	Política Federal de Saneamento Básico
PMGIRS	Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNSB	Plano Nacional de Saneamento Básico
RIDE/DF	Região Integrada do Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno.
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SAD	Sistema de Avaliação de Desempenho
SIEG	Sistema Estadual de Geoinformação

SIG	Sistema de Informação Geográfica
SLU/DF	Serviço de Limpeza Urbana do Distrito Federal
SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
UnB	Universidade de Brasília
USGS	*United States Geological Survey*

1. INTRODUÇÃO

A análise de vulnerabilidade ambiental é um processo que avalia o risco potencial de um ecossistema ou local ser afetado negativamente por mudanças ambientais, incluindo mudanças climáticas, poluição, uso excessivo de recursos naturais, etc. É realizada por meio de uma avaliação cuidadosa de fatores bióticos e abióticos, como condições climáticas, geologia, hidrologia, ecologia, uso da terra, etc. O objetivo final é fornecer informações para a tomada de decisões informadas sobre gestão ambiental e desenvolvimento sustentável.

A Unidade Hidrográfica do Rio Alagado é uma região que abrange diversos municípios no Goiás e parte do Distrito Federal, que segundo Junia (2017) estão sujeitos a uma deficiente compreensão e manuseio de resíduos sólidos. Considerando que a bacia hidrográfica em questão está passível a interferências por diversas atividades antrópicas, como consequência produzirão impactos ambientais negativos. Por esse motivo, a região do Rio Alagado será o foco deste trabalho.

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) dispostos de maneira irregular configuram-se como problemas ambientais e podem ocasionar degradação do solo, contaminação de mananciais e de lençóis freáticos por infiltração de matéria biodegradada, emissão de gases prejudiciais à saúde humana, bem como, alagamentos em períodos de chuva pela obstrução de galerias de esgoto. Por outro lado, quando é implementado um sistema de coleta e reciclagem, os RSU passam a agregar um valor econômico para as pessoas envolvidas nessa atividade (Santos; 2009; Rossol *et al.*, 2012).

A preocupação mundial em relação à gestão e ao manejo dos resíduos sólidos urbanos (RSU) têm aumentado ante o crescimento populacional, do consumo humano e da gestão inadequada desses resíduos, exigindo o cumprimento de modelos sistêmicos e de práticas sócio ambientais adequadas que concretizem o desenvolvimento de sociedades sustentáveis (Porto, 2017). A intensificação da produção de resíduos sólidos decorre de um contexto social de rápido desenvolvimento tecnológico que impõe novos padrões de consumo, exigindo maior participação social na destinação desses resíduos.

Em favor de um compromisso ambiental e face às necessidades políticas, socioeconômicas e demográficas, as políticas públicas ambientais começaram a ser elucidadas no Brasil após a conferência de Estocolmo (1972). Preocupados com as influências da atividade humana

na geração e disposição de resíduos ao ambiente, estratégias passaram a ser estipuladas entre Estado e sociedade. Em 2010, o Ministério do Meio Ambiente aprovou a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS - Lei 12.305/10), que visa à gestão integrada e o gerenciamento de resíduos sólidos, e prevê a implementação de instrumentos para a reciclagem e reutilização de resíduos sólidos com valor econômico (Brasil, 2010).

No entanto, a gestão dos RSU ainda tem recebido uma baixa prioridade estratégica dos Governos nas diversas esferas. Nesse contexto, é essencial voltar a atenção para a temática dos resíduos sólidos e sua relação com o desenvolvimento sustentável. Tendo em mente que os resíduos sólidos precisam ser gerenciados adequadamente para evitar impactos negativos no meio ambiente e na saúde humana, sua má gestão pode aumentar a vulnerabilidade ambiental.

Segundo Siche *et al.* (2007) e Ferraz (2008), os sistemas de avaliação de desempenho são instrumentos de medição que vem a colaboram nessa tomada de decisão, fornecendo o aperfeiçoamento das práticas de gestão e, consequentemente, com o compromisso ambiental. Esses sistemas fornecem suporte aos processos de eficiência do gasto público, da qualidade administrativa, do controle sobre a efetividade das ações do Estado e demais organizações, da identificação dos pontos críticos do sistema, dentre outros.

Os sistemas de avaliação são apresentados na forma de indicadores, índices e taxas. A escolha da formulação de um índice de gestão dos RSU é devido a sua capacidade em abranger diversos indicadores e parâmetros e poder refletir um quadro geral da condição na qual se busca levantar, e como índice em si, é também uma alternativa na construção de cenários de sustentabilidade na gestão de resíduos sólidos urbanos (Siche *et al*., 2007).

Este projeto final está estruturado em sete capítulos, em que o primeiro visa introduzir a problemática em questão e as ferramentas que podem ser utilizadas; o segundo apresenta o objetivo geral e os objetivos específicos da pesquisa; o terceiro apresenta as características do local do estudo; o quarto realiza uma revisão bibliográfica dos assuntos e conceitos abordados no decorrer do texto; o quinto desenvolve a metodologia que foi utilizada a fim de alcançar os objetivos; o sexto apresenta os resultados da aplicação da metodologia proposta e, por fim, o sétimo contempla a conclusão, que encerra o trabalho com as conclusões extraídas das análises e as recomendações para a área de estudo e futuras pesquisas.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O projeto final em pauta tem como objetivo realizar uma análise da vulnerabilidade ambiental na Unidade Hidrográfica do Alagado, a partir da utilização de algoritmos de geoprocessamento inseridos em Sistemas de Informações Geográficas (SIG), a fim de entender a evolução da ação antrópica na região e relacionar a mesma com a Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos, a partir de um Sistema de Avaliação aplicado à região.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Com a finalidade de atingir o objetivo geral, foram delimitados os seguintes objetivos específicos para a área de estudo:

- Realizar uma avaliação multitemporal do uso e cobertura do solo da área de estudo para os anos de 2014, 2018 e 2022, por meio de técnicas de processamento de imagens de satélite;
- Produzir um mapa de vulnerabilidade ambiental da área de estudo, por meio da análise de suscetibilidades a processos erosivos, de inundação e de ação antrópica;
- Na área com maior vulnerabilidade ambiental realizar um diagnóstico do estado atual da gestão dos RSU;
- Realizar uma análise da rede de transporte de coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos.

3. ÁREA DE ESTUDO

3.1. LOCALIZAÇÃO

A área de estudo escolhida está situada parte no Estado de Goiás e parte no Distrito Federal, na bacia da Unidade Hidrográfica do Alagado. A Figura 3.1 apresenta a área de estudo. A bacia foi definida a partir do seu exutório, situado nas coordenadas geográficas de 16° 12 '25.99 " Latitude Sul e 48° 9' 50.32" Longitude Oeste.

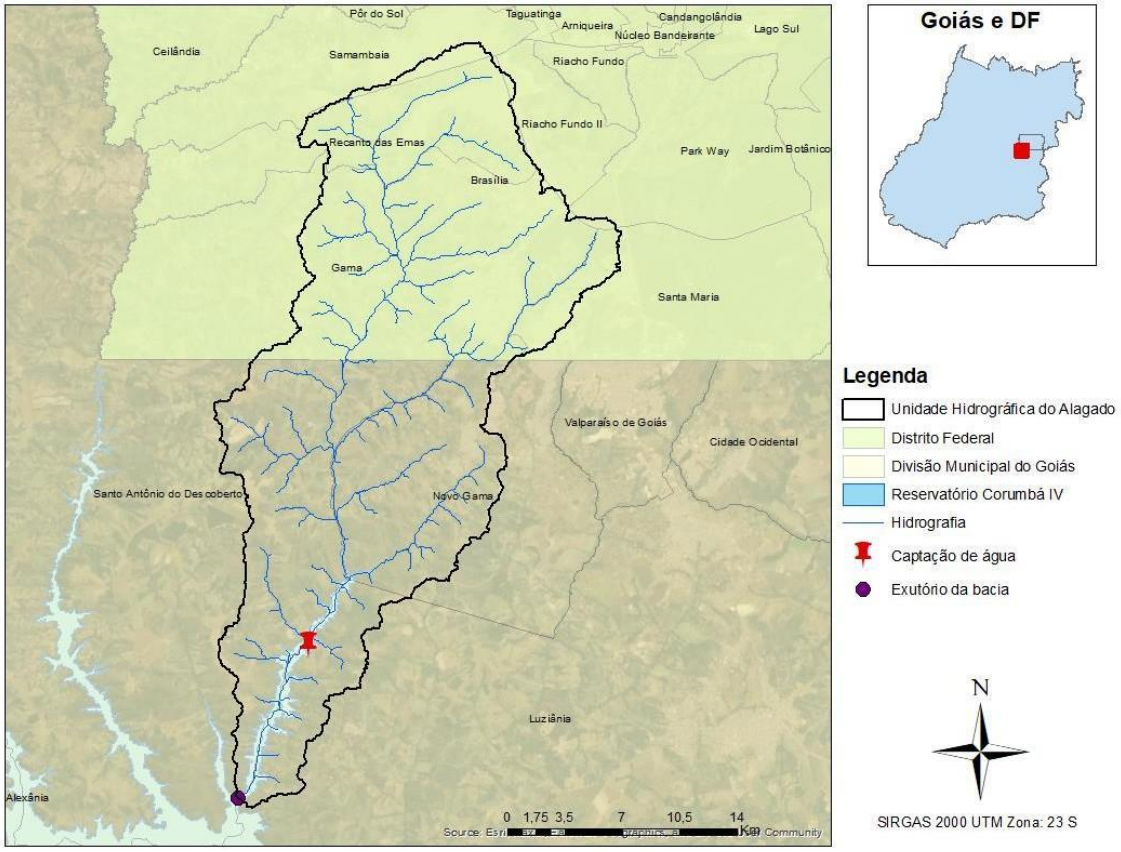


Figura 3.1 Área de Estudo.

A área em questão abrange em Goiás os municípios de Novo Gama, Luziânia e Santo Antônio do Descoberto. Já no Distrito Federal, as seguintes regiões administrativas são pertencentes à área: Novo Gama, Samambaia, Recanto das Emas, Gama e Santa Maria.

3.2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O clima da região, segundo a classificação climática de Koeppen (1990), compreende: clima tropical com estação seca no inverno (Aw), clima temperado úmido com inverno seco e verão quente (Cwa) e clima temperado úmido com inverno seco e verão temperado (Cwb). A média mensal da precipitação na região do Alagado foi calculada por Silva

(2019), que utilizou uma série histórica de 36 anos de uma estação climática da região. Os resultados apresentam um período chuvoso de outubro a março, chegando à média mensal aproximada de 350 mm no mês mais chuvoso, e outro período de precipitações consideravelmente menores de abril a setembro, chegando a valores bem próximos de zero em julho e agosto.

A partir da série histórica de 1979 a 2014, é possível extrair que as diferenças entre as temperaturas máximas e mínimas mensais variam pouco ao longo do ano. Os meses de maior temperatura máxima média são agosto, setembro e outubro e pouca variação entre os outros meses nesse quesito. O mesmo acontece com a temperatura mínima média, em que os meses de menor temperatura são maio, junho e julho e com pouca variação entre os outros meses (Silva, 2019).

A área de estudo está inserida no Bioma Cerrado, em que são registradas as ocorrências de vários tipos de vegetação como: cerradão; cerrado típico; cerrado ralo ou campo cerrado; campo sujo - tem composição florística semelhante à do cerrado típico e a do cerrado ralo; campo limpo; mata ciliar; veredas; e, campos rupestres.

A partir do mapa de pedologia (Figura 3.2) é possível ver que o solo da bacia do Alagado é composto por Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho-Amarelo e Cambissolo Haplico. Os Latossolos geralmente apresentam boa drenagem, são profundos, intemperizados e homogêneos ao longo do perfil. Os Latossolos Vermelho e Vermelho-Amarelo distróficos se diferenciam principalmente pelas suas cores predominantes e se assemelham pela sua baixa fertilidade natural, necessitando de correções químicas para o aproveitamento agrícola. O Latossolo Amarelo, quando de textura média, é bastante utilizado com pastagens. Já os Cambissolos são solos mais jovens quando comparados aos Latossolos e apresentam grande variação de suas características, podendo ser rasos ou profundos, drenagem acentuada ou imperfeita e cores diversas (IBGE, 2007).

A classificação geológica da região é dividida em 4 grupos: Canastra, Paranoá, Araxá e cobertura Detrito-Laterítica. O grupo Canastra é formado por metamorfitos de grau metamórfico menor do que o grupo Araxá. A hipsometria apresentada na Figura 3.3 mostra que a área de estudo varia entre 807 m e 1280 m de altitude, com uma declividade predominantemente ondulada, com algumas áreas planas e suavemente onduladas, mas

sem montanhas regiões planas e suavemente onduladas. Apenas alguns pontos apresentam relevo fortemente ondulado e nenhuma área de caráter montanhoso.

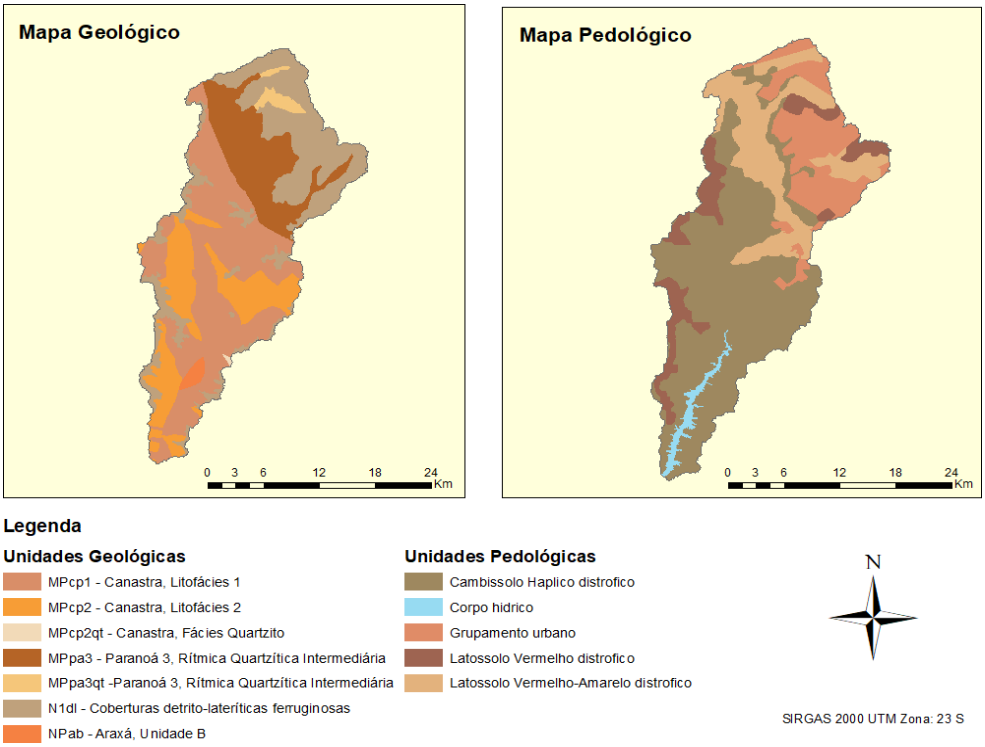


Figura 3.2 Mapas geológicos e pedológicos da bacia do Alagado.

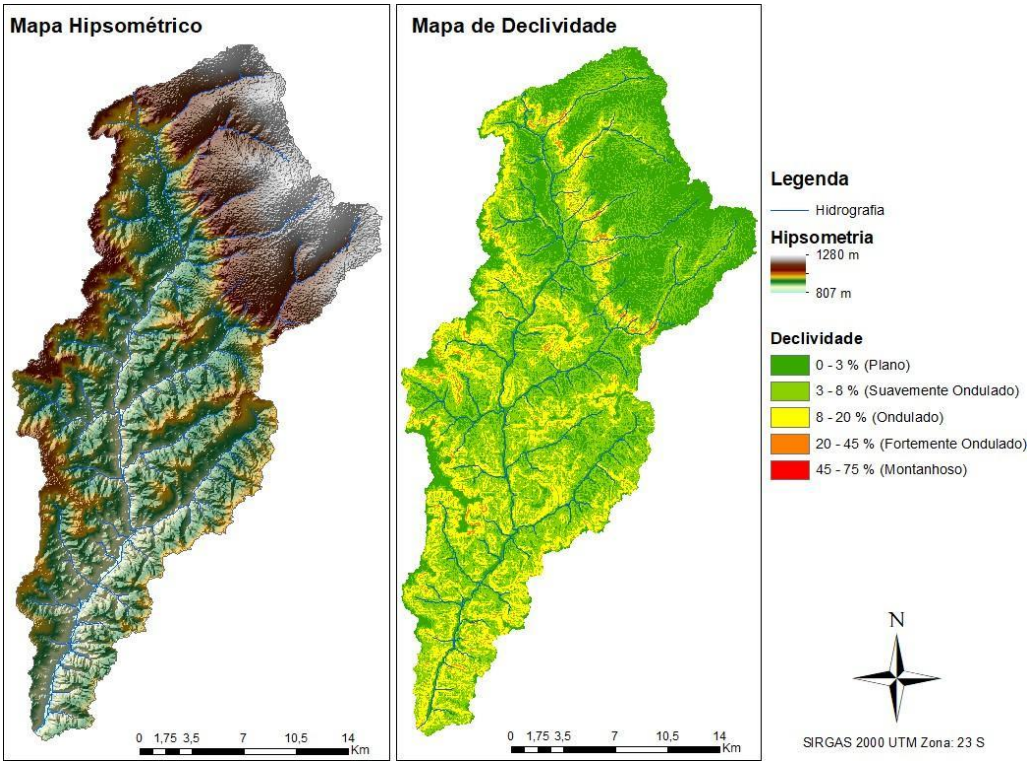


Figura 3.3 Mapa hipsométrico e de declividade da bacia do Alagado.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 VULNERABILIDADE AMBIENTAL

A vulnerabilidade ambiental pode ser entendida como o grau em que os sistemas naturais são suscetíveis ou incapazes de lidar com as reações das interações externas. Isso pode ser devido às características do ambiente natural, ou também, os impactos causados pelas atividades humanas, ou ao frágil sistema com pouca resiliência, ou seja, a capacidade específica do ambiente de superar impactos momentâneos ou contínuos, ou até mesmo desastres naturais e retornar a um estado natural (Aquino, *et al.*, 2017). Assim sendo, as características e a magnitude das interações que um sistema enfrenta, a suscetibilidade do sistema e sua adaptabilidade, com qualquer tipo de alteração, pode indicar a vulnerabilidade ambiental deste sistema.

Para a produção de mapas de vulnerabilidade ambiental, Ross (2011) sugere integrar diferentes elementos territoriais e influências antrópicas obtidas por meio de mapas de uso e cobertura do solo. A proposta de Ross (2011) é baseada nos princípios da "Unidade de Energia Ecológica" de Tricart (1977). Para o autor, a dinâmica ecológica corresponde a uma avaliação abrangente das unidades do território em que é feito um equilíbrio entre a formação, tipo e morfologia para que o ambiente possa ser classificado de acordo com o grau de instabilidade. Nesse conceito, existe a ideia de que a troca de energia e matéria na natureza ocorre por meio de uma relação de equilíbrio dinâmico.

Na determinação da vulnerabilidade ambiental têm-se à suscetibilidade aos processos erosivos lineares e laminares, que se iniciam quando as forças aplicadas à superfície terrestre superam a resistência dos sistemas naturais, causando deformação do terreno. Esses processos ocorrem naturalmente; entretanto, por meio de atividades antrópicas, podem intensificar-se de tal forma que o solo não consegue se regenerar a partir desses processos, aumentando assim sua vulnerabilidade ambiental. Além dos processos erosivos será considerado áreas suscetíveis aos usos antrópicos baseados na geração e análise dos mapas de uso e cobertura do solo da região e a suscetibilidade à inundação

4.1.1 Suscetibilidade aos Processos Erosivos

4.1.1.1 Suscetibilidade à Erosão laminar

A erosão laminar é de difícil identificação devido a sua característica de desgastar camadas do solo e carrear as partículas da superfície de modo uniforme (DA SILVA, 1995).

As equações de perda de solo foram desenvolvidas desde 1915 com o início dos estudos de quantificação de perda de solo desenvolvidos pelo Serviço Florestal dos Estados Unidos. Em 1940 foi desenvolvido o primeiro modelo que usa parâmetros topográficos para estimativa da perda de solo, a equação de Zingg, que relaciona o grau de declividade e os comprimentos de encostas com a perda de solo, e foi base para o desenvolvimento da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) por Wischmeier & Smith. (Durigon, *et al.*, 2014)

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2012), a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) foi desenvolvida suprindo a problemática ligada aos modelos previamente desenvolvidos, em que a falta de parâmetros básicos para replicar o modelo em outras bacias hidrográficas não era possível. A EUPS foi posteriormente atualizada para a previsão da média anual de erosão laminar, permitindo auxiliar no planejamento do uso e ocupação do solo e até mesmo no Zoneamento Ecológico-Econômico (Crepani, *et al.*, 2020). A EUPS é definida como:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \qquad \text{Equação 4.1}$$

Onde,

- “A” é a perda de solo por unidade de área, em ton/ha.ano;
- “R” é o fator de erosividade da chuva, em (MJ.mm)/ (ha. h. ano);
- “K” é o fator de erodibilidade do solo, em (ton. h) / MJ. mm);
- “L” é o fator de comprimento do declive (adimensional);
- “S” é o fator de grau do declive, em % de declividade;
- “C” é o fator de uso e manejo do solo (adimensional);
- “P” é o fator de prática conservacionista (adimensional).

4.1.1.2 Suscetibilidade à Erosão linear

A erosão linear é caracterizada quando a água se concentra em pequenos pontos, formando

canais que vão se aprofundando e gerando sulcos, ravinas e voçorocas (DA SILVA, 1995),

No caso da erosão linear, é realizada uma adaptação à metodologia proposta por Macedo (2009), que se baseia nos principais mecanismos e condicionantes do relevo, tipos de solo e substrato geológico, que levam às formas de erosão linear, empregada para o mapeamento das áreas com produção de sedimentos. A adaptação da metodologia se deu na consideração apenas do potencial da região à erosão linear, sem considerar os fatores antrópicos, já que eles serão contabilizados posteriormente para a obtenção do mapa de vulnerabilidade ambiental.

Os critérios de classificação para tipos de solo (unidades pedológicas) são baseados na espessura e textura da camada do solo. Nesse sentido, solos rasos serão classificados como áreas com baixo potencial de erosão linear, pois isso indica que a matriz rochosa está próxima ao solo, evitando assim o desenvolvimento de processos de erosão linear. A classificação das unidades geológicas será baseada na litologia e estrutura da rocha, quanto maior a permeabilidade e o volume do espaço vazio na litologia, maior a possibilidade de erosão, pois maior a chance de decomposição (Diniz, 2016).

4.1.2 Suscetibilidade à Inundação

A inundação é o extravasamento da água dos rios, riachos e galerias pluviais dos leitos de escoamento em razão da falta de capacidade de transporte desses sistemas, atingindo a área urbana e causando problemas diversos. As causas desse fenômeno podem ser condições naturais meteorológicas e hidrológicas ou provocadas por ações antrópicas como a impermeabilização dos solos (TUCCI & BERTONI, 2003).

Segundo Tucci (2007), as inundações são um problema frequente no Brasil, pois a maioria das cidades não possui um Plano Diretor claro quando as restrições, o que não limita o parcelamento das áreas que podem ser inundadas. O plano diretor de drenagem urbana, segundo Tucci (1997), tem o objetivo de “planejar a distribuição da água no tempo e no espaço, controlar a ocupações das áreas de riscos de inundações e convivência com enchentes em áreas de baixo risco”. Com o desenvolvimento da urbanização, o solo tornou-se impermeável, aumentando o escoamento superficial da água que outrora se infiltrava no solo, exigindo maior capacidade de drenagem do trecho de drenagem, e órgãos governamentais geralmente não exigem a eficiência do sistema de drenagem. Se o processo de urbanização não puder ser controlado ou a capacidade de drenagem aumentada, ocorrerão enchentes,

causando enormes prejuízos sociais, naturais e econômicos.

4.1.3 Suscetibilidade às Ações Antrópicas

A urbanização muitas vezes ocorre sem formulação prévia de diretrizes de implantação, sem planejamento e com irregularidades, principalmente em áreas que costumam ser adversamente afetadas pelo relevo, como encostas e áreas de proteção permanente. Aliado a essas condições, as atividades humanas são realizadas em áreas inadequadas e, sem as devidas condições de planejamento, o meio ambiente será mais propício às mudanças e degradação da paisagem (Almeida, *et al.*, 2012).

Ações antrópicas é o termo utilizado para denominar as atividades humanas, tais como a urbanização, atividades agrícolas e pecuárias, atividades industriais e construção de barragens, responsáveis por provocar a alteração do meio ambiente, gerando consequências negativas na maioria das vezes devido à falta de planejamento e gestão adequados. Tais ações possuem grande influência nos fenômenos já citados: erosão linear, erosão laminar e inundação. Por esse motivo, se faz necessário incluir a suscetibilidade às ações antrópicas ao analisar a vulnerabilidade ambiental de uma área.

As ações antrópicas podem ser analisadas a partir de sistemas de informações geográficas, elaborando mapas de uso e cobertura do solo e analisando sua evolução ao longo dos anos, sendo possível observar áreas que foram desmatadas, impermeabilizadas ou modificadas.

4.2 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

As geotecnologias utilizadas em estudos ambientais consistem num importante grupo de instrumentos. A capacidade de análise espacial de ambientes urbanos permite o conhecimento do uso e cobertura do solo e proporciona uma maior capacidade de avaliar, planejar e gerenciar a dinâmica dos municípios. Dessa maneira, as geotecnologias mostraram-se, no decorrer do tempo, como uma ferramenta eficaz também na análise, planejamento e implantação de soluções com relação à destinação final dos resíduos sólidos urbanos (Moraes *et al*, 2010 *apud* Born, 2013).

Um SIG, é formado não apenas por softwares, mas também por metodologias aplicadas, dados a serem coletados e tratados, além de hardwares específicos de bom desempenho. O SIG apresenta como algumas de suas funcionalidades, processar e guardar informações espaciais derivadas de diferentes fontes, tais como mapas com informações técnicas, dados de sensoriamento remoto e fotogrametria, dados de levantamento a partir do uso de GPS,

entre outros (Salazar, 2015).

Os dados utilizados em SIG compreende dois elementos, um banco de dados espacial que descreve a forma e a posição das feições e um banco de dados de atributos, que descreve as características ou qualidades dessas feições (Eastman, 2001). Ou seja, em SIG existem duas estruturas principais de armazenamento de dados em mapas no formato digital, o Vetorial e o Raster (Moraes *et al*, 2010).

As imagens de satélite, que serão utilizadas neste trabalho, são um exemplo de estrutura tipo raster. As resoluções das imagens produzidas pelos diferentes sensores dos satélites apresentam características distintas, podendo ser um dos fatores determinantes da sua aplicação. As diferentes bandas espectrais dos sensores têm aplicações distintas em estudos de sensoriamento remoto, como por exemplo a classificação de imagens. As zonas de espectro que têm sido mais utilizadas em detecção remota são: o visível, que inclui o azul, verde e vermelho, o infravermelho próximo e o infravermelho médio (Born, 2013).

Nas análises espaciais conduzida por meio das técnicas de geoprocessamento, os mapas de interesse são georreferenciados e sobrepostos em camadas *(layers* ou planos de informação), de modo que a análise espacial produza as possíveis áreas candidatas e/ou inadequadas, que podem ser separadas por fronteiras nítidas. Essas atividades, exigem a compatibilização de vários critérios e fatores, os quais devem manter o equilíbrio entre os aspectos ambientais, operacionais e sociais inerentes ao empreendimento (Carvalho, 2017).

Diante dessas potencialidades, o SIG oferece importantes ferramentas que podem subsidiar diversas análises e parâmetros ambientais. Um destes campos de aplicação é a vulnerabilidade ambiental. Como o trabalho em questão envolve múltiplos processos e instrumentos, o SIG pode ser utilizado para diagnóstico espacial integrado com métodos de análise multicritério. Para tanto devem ser aplicadas as ferramentas do SIG integrado ao método de análise multicritério, conhecido como Análise Hierárquica de Processos (AHP).

4.3 ANÁLISE HIERÁRQUICA DE PROCESSOS (AHP)

A tomada de decisão versa essencialmente na escolha de uma alternativa entre diferentes opções existentes, acompanhando determinadas etapas antecipadamente estabelecidas e resultando na resolução de um problema de caráter válido ou não (Binder, 1994). Um modelo de apoio à decisão refere-se a um procedimento, e não a um simples período de escolha de uma opção. Além disso, leva em consideração os sistemas de importâncias dos decisores na

avaliação de suas ações, ou seja, consideram mais de um aspecto e, portanto, avaliam as ações segundo um conjunto de critérios (Ensslin, Neto e Noronha 2001).

O método da Análise Hierárquica de Processos (AHP), proposto por Thomas Saaty (1980) é um importante instrumento de sustentação à tomada de decisões, pois, é uma modelagem análoga a realizada pela mente humana, uma vez que incorpora informações de uma circunstância complexa de acordo com características comuns que concorrem para uma finalidade decisória constituindo decisões de ordem em comparações formadas por pares *(pairwise comparison*) de elementos.

A aplicabilidade desse método (AHP) pode ser desmembrada em duas etapas: estruturação e avaliação (Abreu, *et al.* 2000). A primeira envolve o desmembramento do problema em uma estrutura hierárquica que exibe as relações entre as metas, os critérios que exprimem os objetivos, os sub-objetivos, e as alternativas que envolvem a decisão. A segunda fase, chamada de avaliação, é caracterizada pela conceituação do tipo de problema a ser seguido, determinando assim se as ações serão analisadas em termos relativos ou absolutos; ordenadas ou escolhidas, aceitas ou rejeitadas (Schmidt 1995). A Figura 4.2 ilustra a estrutura hierárquica do problema.

Para este projeto, busca-se empregar a AHP como um instrumento de atribuição dos pesos aos critérios, e, portanto, associar os pesos ao SIG para obter a sobreposição ponderada dos *layers*, que irá fornecer um mapa com potenciais locais para implantação de aterro sanitário, e assim, escolher a área mais adequada diante de opiniões especializadas.

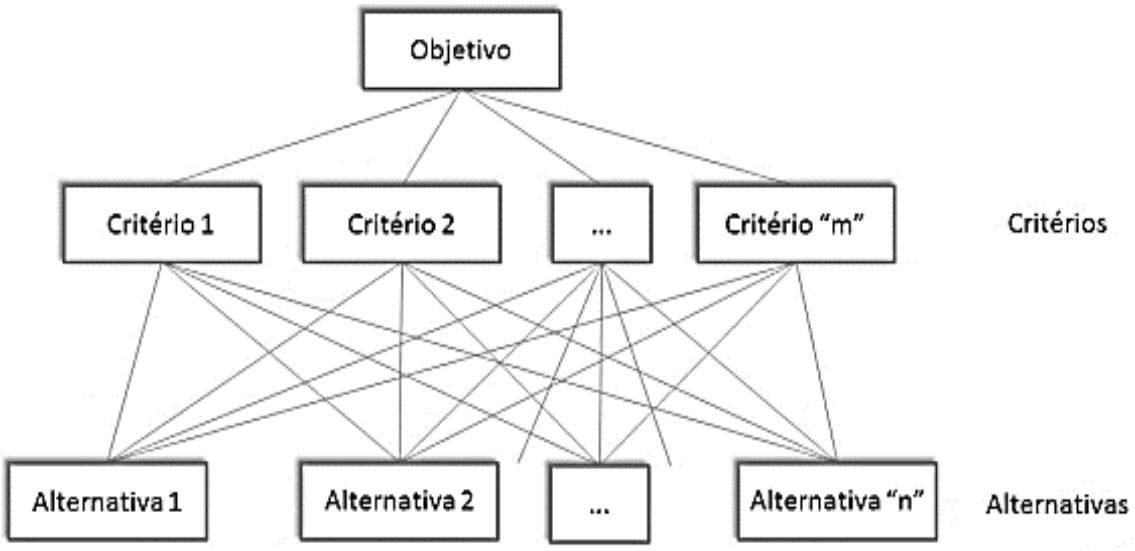


Figura 4.1: O processo de AHP. Fonte: (Adaptado de Saaty, 1980)

4.4 RESÍDUOS SÓLIDOS

4.4.1 Origem e Classificação

A classificação do resíduo sólido leva em consideração sua origem, segundo Brasil (2010), conforme exposto a seguir:

a. urbanos: os originários de resíduos domiciliares, limpeza urbana, estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços;
b. industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
c. serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, como hospitais, clínicas médicas e veterinárias, de centros de saúde, de consultórios odontológicos e de farmácia;
d. resíduos da construção civil: os gerados em construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
e. resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturas, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
f. resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários, e passagens de fronteira;
g. resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, de extração ou beneficiamento de minérios.

Segundo a ABNT, por meio da NBR 10.004/2004, os resíduos sólidos são definidos segundo sua origem, porém classificados de acordo com seu risco em relação ao homem e ao meio ambiente:

- Classe I - Perigosos: apresentam risco à saúde pública ou ao ambiente, por conterem as propriedades: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade; e,

- Classe II - Não perigosos: classificam-se em duas categorias A e B, nas quais:

- Classe II A – aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduo classe I – Perigosos ou de resíduo classe II B – Inertes. Podem conter propriedades como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água; e,

- Classe II B – Inertes: Aqueles resíduos que, quando amostrados de forma representativa,

segundo a ABNT NBR 10.007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10.006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspectos cor, turbidez, dureza e sabor.

4.4.2 Geração de Resíduos Sólidos

Desde os anos 2000, o resíduo sólido gerado no Brasil se modificou muito, tanto em relação à quantidade como também à qualidade e à composição. Isso se deve ao crescimento acelerado das cidades e, ao mesmo tempo, às mudanças de hábitos dos cidadãos, o que vem gerando um resíduo muito diferente daquele que eram produzidos anos atrás (Klaus, 2014).

De acordo com a Abrelpe (2015), a geração *per capita*, ou seja, a relação da quantidade de RSU gerados diariamente por habitante no Brasil foi estimada em 1,071 kg/hab/dia, um aumento de 0,8% em relação ao ano de 2014. Já em relação a comparação entre a quantidade de RSU gerada e a coletada em 2014, o País contou com um índice de cobertura de 90,90%, levando a constatação que pouco mais de 7 milhões de toneladas deixaram de ser coletadas no País naquele ano e, consequentemente, tiveram destino inadequado.

A destinação ambientalmente adequada compreende a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético além de demais destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA), do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS) e do Sistema Único de Atenção à Sanidade Agropecuária (SUASA), entre elas se inclui a disposição final, que observando normas operacionais específicas, deve, evitar danos ou riscos à saúde pública, a segurança e minimizar os impactos ambientais adversos.

Segundo dados da Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos e Efluentes (ABETRE), entre os anos de 2019 e 2020, o índice anual médio de aumento de disposição final adequada foi de 0,77%, passando de 2.752 para 2.795 municípios com disposição em aterros sanitários. A Figura 4.2 mostra um gráfico em que é possível observar que quase metade dos municípios brasileiros (2.890) possuem disposição final ambientalmente inadequada, ou seja, em lixões a céu aberto e aterros controlados.

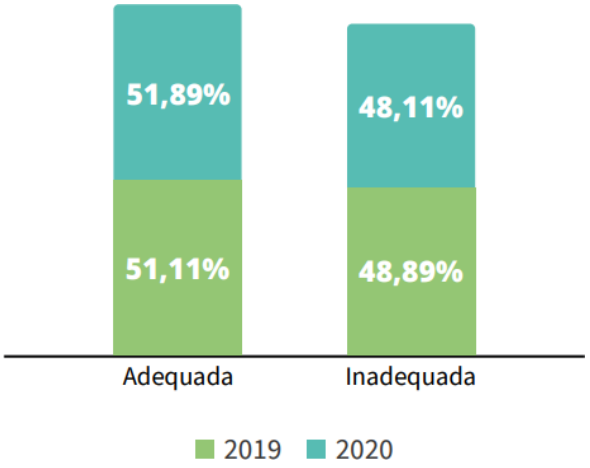


Figura 4.2 Disposição Final de RSU no Brasil em 2019 e 2020. Fonte: Anuário de Reciclagem 2021.

Ainda comparando os números de 2019 e 2020, é possível perceber um aumento de municípios que possuem disposição final em aterros sanitários municipais ou privados em outro município. A Figura 4.3 demonstra o tipo de destinação final de resíduos sólidos no Brasil em 2019 e em 2020, por AS, entenda-se Aterro Sanitário e por UTC, entenda-se Unidade de Triagem e Compostagem.

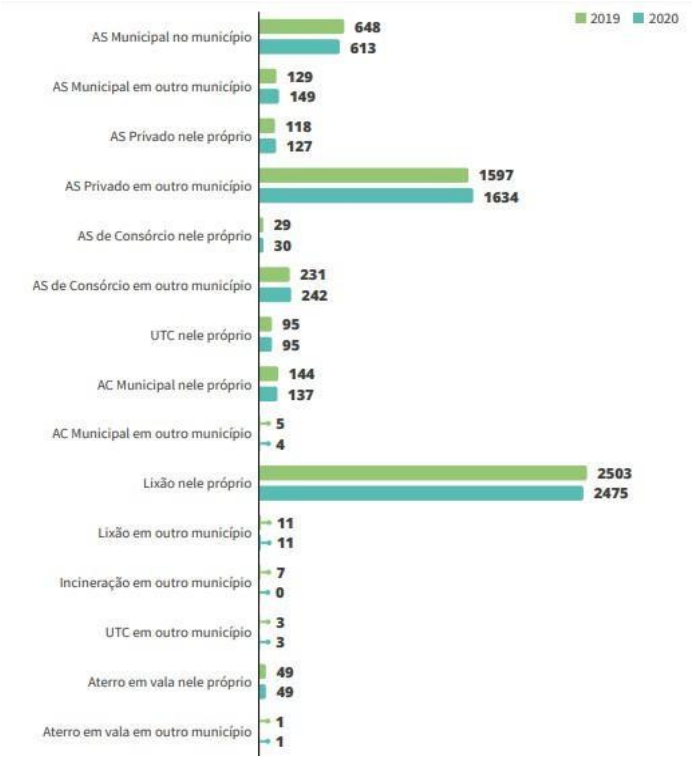


Figura 4.3 – Tipo de destinação final de resíduos sólidos no Brasil em 2019 e em 2020. Fonte: Anuário de Reciclagem 2021.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos define, como um de seus instrumentos, o incentivo à adoção de consórcios ou de outras formas de cooperação entre os entes federados. De acordo a Lei nº 12.305/2010, essa seria uma solução destinada a aperfeiçoar o planejamento e sua respectiva operacionalização, garantindo maior eficiência, eficácia e efetividade frente aos desafios que causam o entrave do setor, como escolha da área disponível para construções de aterros sanitários.

No entanto, a realidade brasileira é ainda preocupante, particularmente em zonas urbanas, em que as opções para a destinação final de rejeitos tornam-se cada vez mais difíceis, contribuindo para descarregamentos ilícitos em todo o tipo de categoria de resíduos. Isso acaba refletindo negativamente em consequências ambientais, algumas até irreversíveis. E como resultado, a maioria dessas áreas afetadas vão ter a necessidade de recuperação, com elevados custos operacionais e impasses técnicos (Sánchez, 2013).

A ausência ou a inconformidade do sistema de gerenciamento de resíduos acaba sendo um reflexo de alguns fatores, tais como: baixa capacidade orçamentária municipal, insuficiência de pessoal especializado e falta de treinamentos, falha das instituições relacionadas às questões municipais. Ademais, a distância da população quanto aos problemas ambientais, devido à carência de conscientização e fornecimento de informações de educação ambiental, resulta nas formas incorretas de destinação final (Barros, 2012).

4.4.3 Gestão de Resíduos Sólidos

Para realizar uma abordagem adequada da gestão dos resíduos sólidos no Brasil, é essencial diferenciar os conceitos de Gerenciamento e Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. A Lei Federal N° 12.305/2010 determina que a gestão e o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) devem observar a seguinte ordem hierárquica de prioridades: não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, além da disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Os rejeitos são definidos como os resíduos sólidos que, após encerradas as possibilidades de tratamento e recuperação por meio das tecnologias disponíveis, não apresentem outa possibilidade além da sua disposição final, de acordo com o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos ou com o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos. Já a gestão integrada de resíduos sólidos é o conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para esses resíduos, de forma a

considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, sob a premissa do desenvolvimento sustentável.

Adentrando no conceito de gestão, segundo Schalch *et al.* (2002), o mesmo abrange atividades referentes à tomada de decisões estratégicas e à organização do setor para esse fim, envolvendo instituições, políticas, instrumentos e meios. Segundo Araújo e Juras (2011), o gerenciamento apresenta a lógica processual ou operacional, enquanto a gestão integrada compreende o planejamento e a coordenação de todas as etapas correspondentes ao gerenciamento, incluindo também a interação entre as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social envolvidas.

Por meio de técnicas e metodologias mais compatíveis com a dinâmica local, a gestão integrada de resíduos significa articular ações operacionais, normativas, econômicas e de planejamento que um município desenvolve, baseada em critérios sanitários, ambientais e financeiros, no que tange à coleta, ao tratamento e à disposição do lixo em uma cidade, isto é, acompanhar de maneira criteriosa todo o ciclo dos resíduos, da geração até a disposição final (Jacobi & Besen, 2011).

A gestão de resíduos é altamente inspirada na "hierarquia de resíduos sólidos", conforme diz a PNRS. Assim, consiste em uma filosofia que prioriza práticas que incluem desde a prevenção de resíduos até a sua disposição final no aterro. No entanto, a hierarquia de resíduos sólidos não fornece uma base suficiente para a elaboração de políticas de resíduos e recursos em relação à redução absoluta na produção de material, ou seja, o desperdício zero (Gharfalkar, *et al*., 2015).

4.4.4 Legislação de Resíduos Sólidos

Desde o final da década de 1970, a legislação federal tem servido como ferramenta de apoio à inter-relação entre sociedade e meio ambiente, exigindo a adesão a modelos e práticas socioambientais adequados e sistemáticos para o desenvolvimento de uma sociedade sustentável. Em seguida, serão discutidos alguns dos documentos legais que regem o saneamento básico e a gestão de resíduos sólidos para esclarecer o nível e o desenho das exigências que os Governos estaduais e municipais brasileiros devem seguir e cumprir.

O regulamento brasileiro que trata sobre os resíduos sólidos é a Lei 12.305 de 2010, a PNRS, ponto central da gestão de resíduos sólidos. A partir desse documento, as medidas relacionadas ao manejo de resíduos sólidos devem concentrar-se em algumas áreas

específicas, como o diagnóstico da situação atual dos resíduos, metas de redução, reutilização e reciclagem, meios de fiscalização e educação para um futuro sustentável.

O gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos abrange a coparticipação no sistema de limpeza urbana (acondicionamento, coleta, triagem, reciclagem, transporte, tratamento e disposição final dos rejeitos), e envolve diferentes órgãos da administração pública, das organizações não governamentais e da sociedade civil. Ações e diretrizes desse gerenciamento devem se processar de modo articulado, uma vez que as atividades e procedimentos envolvidos nesse componente do saneamento básico encontram-se interligados, comprometidos entre si (Marchi, 2015).

O marco regulatório do saneamento básico estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a Política Federal de Saneamento Básico (PFSB). A PFSB também define as competências quanto à coordenação e à atuação dos diversos agentes envolvidos no planejamento e execução da política federal de saneamento básico no País, inclusive a responsabilidade pela elaboração do Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab).
São definidos indicadores no Plansab, contemplando os quatro componentes do saneamento básico, além de aspectos de gestão. Para esses indicadores, são estabelecidas metas progressivas de expansão e qualidade dos serviços, com base na análise situacional do déficit, para as cinco macrorregiões e para o País, com destaque para os indicadores de resíduos sólidos, foco desta pesquisa. Para o manejo dos resíduos sólidos, as metas associam a cobertura da coleta à implementação de programas de coleta seletiva.

Os Governos Federal, Estadual e Municipal são responsáveis também pela elaboração e implementação dos Planos de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS), um dos principais e mais importantes instrumentos para a gestão de resíduos sólidos, conforme apresentado no fluxograma ilustrado na Figura 4.4.



Figura 4.4 Esquema dos Planos de RS. Fonte: Adaptado de BRASIL, 2010.

Portanto, tomando como referência este marco legal, os municípios e o Distrito Federal estão atribuídos a fornecer os serviços com eficiência, a fim de resguardar os danos ao meio ambiente e consequentemente à saúde pública, com a adoção de soluções que obedeçam às diretrizes da PNRS.

4.4.5 Transporte de Resíduos Sólidos

Como foi visto, no Brasil, o saneamento básico é um direito assegurado pela Constituição e definido pela Política Federal de Saneamento Básico (PFSB), Lei nº 11.445/2007. Conforme art. 3, o transporte de resíduos integra o conjunto de ações envolvidas na limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos. O transporte de resíduos é um aspecto importante na gestão de resíduos e na proteção do meio ambiente. O objetivo é movimentar os resíduos de forma segura e eficiente desde o ponto de geração até a sua destinação final, que pode ser uma instalação de tratamento ou disposição final.

Existem vários tipos de veículos utilizados para o transporte de resíduos, desde pequenos veículos para coleta domiciliar até grandes caminhões para transporte de resíduos industriais. É importante que o transporte de resíduos seja realizado de acordo com as normas e regulamentos estabelecidos, incluindo a identificação dos resíduos, o seu processamento seguro no veículo e o uso de equipamentos de proteção para os motoristas.

Além disso, o transporte de resíduos deve ser planejado de maneira eficiente, para minimizar o impacto ambiental e econômico. Isso inclui a escolha de rotas atendidas, a otimização da carga dos veículos e a minimização da quantidade de viagens necessárias. Sendo essa uma

parte crítica da gestão de resíduos, requer uma abordagem cuidadosa e automatizada para garantir a segurança, a eficiência e a proteção do meio ambiente.

4.5 SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE GESTÃO DE RSU

O Sistema de avaliação de Gestão de resíduos Sòlidos Urbano foi proposto por Porto (2017). Tem sua metodologia formulada na utilização de mapas conceituais para iniciar a identificação, organização, estruturação e sistematização de conceitos em torno da gestão de resíduos sólidos que devem ser considerados para a análise e definição dos indicadores de desempenho; bem como aplicação de questionários para validação do conjunto de indicadores pré-selecionados; sistematização do sistema de avaliação de desempenho com ajustes e complementações de estruturas existentes na literatura; verificar a consistência dos resultados gerados. A seguir serão detalhadas as etapas para utilização do Sistema de Avaliação de Gestão de RSU.

4.5.1 Diagnóstico da Área de Estudo

Esta etapa consiste na aquisição dos dados primários da área de estudo selecionada a partir da Análise da Vulnerabilidade Ambiental. As informações são inseridas no sistema de avaliação de desempenho proposto por Porto (2017), para obter o índice de desenvolvimento da gestão dos RSU do Município situado na área de maior vulnerabilidade ambiental. O Sistema leva em consideração todo o conjunto de ações e processos em torno da geração de resíduos sólidos urbanos. Assim, Porto (2017) desenvolveu 34 indicadores que pudessem traduzir os seguintes critérios globais a partir dos indicadores: legislação e planejamento, institucional, operacional, econômico/ financeiro, ambiental e social. Os indicadores são medidos pela ocorrência ou pela ausência de certos processos ou características no município. A seguir são listados os indicadores utilizados no Sistema.

- Indicadores da Dimensão Legislação e Planejamento

São utilizados 2 indicadores para a dimensão Legislação e Planejamento, são eles:

1. Existência de regulamentos legais ambientais;
2. Existência de instrumento básico de planejamento (Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – PMGIRS).

- Indicadores da Dimensão Institucional

São utilizados 11 indicadores para a dimensão institucional, que são divididos em 3 fatores:

· Estrutura Organizacional

3. Grau de estruturação da Administração Pública na GRSU;
4. Existência de uma instância ou núcleo de regulação e fiscalização no manejo dos RSU;
5. Existência, tipo e frequência da atuação do Conselho Municipal de Meio Ambiente (CMMA);
6. Canais de Comunicação e Transparência.

· Estrutura Técnica

7. Funcionários para GRSU;
8. Nível de formação e perfil técnico dos funcionários;
9. Existência de divisões claras de responsabilidades entre a equipe técnica;
10. Nível de capacitação técnica.

· Estrutura Física

11. Existência de local adequado e bem dimensionado para atividades de escritório, equipamento e veículos para atividades de campo;
12. Existência de base de dados;
13. Utilização de softwares relacionados com a área (AutoCAD, Geoprocessamento, MSProject, dentre outros).

- Indicadores da Dimensão Operacional

São utilizados 8 indicadores para a dimensão operacional, que são divididos em 4 fatores:

· Atendimento Básico

14. Percentual de domicílios urbanos atendidos por coleta direta de resíduos sólidos domiciliares (RCD);
15. Regularidade da coleta.

· Coleta Seletiva e Triagem

16. Nível de implementação da Coleta Seletiva;
17. Existência de Área de Triagem;
18. Percentual de redução dos resíduos recicláveis secos dispostos em aterro;
19. Percentual de redução dos resíduos úmidos dispostos em aterro;

· Disposição Final

20. Tipo de disposição final

· Recuperação Energética

21. Existência de recuperação de gases de aterro sanitário.

- Indicadores da Dimensão Econômica/Financeira

Foram utilizados 7 indicadores para a dimensão operacional, que são divididos em 2 fatores de avaliação:

· Custeio

22. Existência de taxa específica para o serviço de limpeza pública e gestão dos RSU;
23. Existência de Fundo Municipal de Meio Ambiente (FMMA);
24. Existência de ICMS Ecológico;
25. Conhecimento dos gastos por atividade e origem das receitas do custeio da gestão de RSU;
26. Tipo de contratação do serviço de coleta, transporte e disposição final.

· Controle Financeiro

27. Existência de sistema estruturado de controle dos gastos com os serviços de GRSU;
28. Existência de programa de racionalização e redução de custos operacionais.

- Indicadores da Dimensão Ambiental

Foram utilizados 5 indicadores para a dimensão ambiental, que são divididos em 2 fatores de avaliação:

· Monitoramento e recuperação de passivos ambientais

29. Mapeamento das ocorrências de lançamento de RSU em locais inadequados;
30. Ações de recuperação de áreas degradadas por RSU;
31. Existência de ações de monitoramento, avaliação e controle das atividades de gestão dos RSU

· Educação Ambiental

32. Existência e atuação de programas de educação ambiental;
33. Nível de redução da geração de RSU *per capita*

- Indicadores da Dimensão Social

Foi selecionado apenas 1 indicador da dimensão social:

34. Inclusão e fortalecimento da organização de catadores.

Para cada elemento do sistema foram inseridos os pesos finais calculados pelo método multicritério AHP correspondentes a cada dimensão, ao Fator de Avaliação e aos indicadores de desempenho, avaliados e multiplicados com as respectivas respostas referente ao atendimento do requisito (indicador simples) conforme localidade pesquisada.

A aplicação do questionário feita por Porto (2017) ocorreu por meio de entrevistas feitas em 2017 envolvendo os responsáveis pela gerência e operação do manejo e gestão dos RSU em cada localidade. Das entrevistas participaram os secretários municipais, encarregados, supervisores e técnicos das prefeituras e das empresas terceirizadas, nos casos dos Municípios com serviços executados por empresas privadas. As respostas dadas foram analisadas e em seguida é feita uma comparação entre as diferentes respostas dadas pelas pessoas da mesma localidade.

4.5.2 Alimentação do Sistema de Avaliação de Desempenho (SAD-GRSU)

De posse dos Questionários de Diagnóstico devidamente preenchidos, é efetuado o repasse das informações ao Sistema de Avaliação de Desempenho proposto e o cálculo para obtenção do índice de GRSU (ID-GRSU). Com isso, foi possível identificar o nível de desempenho e sustentabilidade do sistema de gestão avaliado. Por meio do índice de gestão resultante obtém-se um diagnóstico geral da situação nos Municípios pesquisados.

4.5.3 Obtenção do Índice de GRSU (ID-GRSU)

O valor do ID-GRSU varia de 0 a 1,0 e é determinado por meio da comparação entre o percentual de pontuação do Município ideal e o percentual de pontuação obtido pelo Município estudado. Hipotéticamente o Município ideal atinge pontuação máxima, consequentemente, seu percentual equivale a 100%, que se dividindo 100% por 100 obtém-se o valor nominal do ID-GRSU igual a 1 (um). O Município ideal temos ID-GRSU=1, e se o Município pesquisado atinge 60% da pontuação máxima tem ID-GRSU= 0,6, se outro atinge 47% tem ID-GRSU=0,47, e assim por diante. O nível de gestão é avaliado conforme as faixas de valores da Tabela 4.1.

Tabela 4.1 Faixa de valores dos IGRSU e nível de gestão dos RSU municipais equivalente.

Faixa de valores	Nível de gestão dos RSU
0,00 – 0,20	Baixíssima
0,21 – 0,40	Baixa
0,41 – 0,60	Regular
0,61 – 0,80	Bom
0,81 – 1,00	Alto

O ID-GRSU representa o indicador final resultante da aplicação do modelo e tem por objetivo identificar, de forma resumida, o nível de desempenho e sustentabilidade do sistema de gestão avaliado. Por meio do ID-GRSU obtém-se um diagnóstico geral da situação e uma base de informação comparativa relacionada aos resíduos sólidos urbanos nos municípios pesquisados com maior vulnerabilidade ambiental situados na área de estudo. Entre os aspectos dos municípios que foram analisados que podem ser diagnosticados através da obtenção do índice de GRSU, pode-se citar:

- Aspectos organizacionais;
- Estrutura técnica;
- Termos operacionais;
- Situação da coleta seletiva e triagem;
- Dimensão econômica e financeira;
- Dimensão ambiental e;
- Dimensão social.

Assim, de posse desses resultados, tem-se uma maior clareza da real situação que se encontram os municípios analisando, podendo, a partir disso, traçar planos e metas. O sistema permite identificar as principais deficiências apresentadas pelos Municípios da área de estudo de maneira individual e também de forma conjunta.

4.6 VULNERABILIDADE EM REDES DE TRANSPORTE

4.6.1 Vulnerabilidade em redes

Uma rede de transporte é composta por infraestruturas e serviços que são disponibilizados

em uma rota para o transporte de veículos que se ligam ou cruzam. Essas redes, incluindo transporte ferroviário, rodoviário, aéreo e marítimo, são uma parte crítica da infraestrutura de uma sociedade. Assim, investigações sobre as redes de transporte, particularmente em relação ao estudo da vulnerabilidade da rede, suas causas e consequências, estão despertando atenção crescente devido à sua importância para a estabilidade não só do sistema de transportes em si, mas também de outros sistemas interconectados, como saúde, educação, financeiro e outros.

A principal vantagem de estudar a vulnerabilidade de redes de transporte é permitir que os planejadores e tomadores de decisões identifiquem arcos mais importantes de seu funcionamento. Com isso, estes terão uma ferramenta útil para planejar seus investimentos, priorizar a manutenção e/ou ampliar trechos da rede, tendo como resultado a otimização dos recursos, gerando benefícios tanto sociais como econômicos (Berdica e Mattsson, 2007).

Na rede de infraestrutura, como a rede de rodovias de transporte, é possível identificar pontos críticos que podem causar efeitos significativos no funcionamento e viabilidade da rede se foram afetados e tornarem-se inviáveis, inseguros ou inúteis. Isso pode ter consequências relevantes para a economia, segurança e bem-estar da sociedade.

Para Berdica (2002), diferentes estudos em transportes podem ser vistos como uma estrutura geral para a avaliação da vulnerabilidade de redes, como instrumento para determinar o nível de desempenho de um sistema, quando exposto a diversas situações de perturbação. O autor, então, sugere questões relevantes no estudo. Um em especial é o questionamento de como a interrupção de um arco afeta o desempenho do sistema. Esse é o ponto de partida para o desenvolvimento de uma metodologia para o estudo de vulnerabilidade em redes de transporte e infraestrutura.

Tendo isso em mente, a análise da vulnerabilidade da rede de transporte envolvida na gestão de resíduos sólidos é uma ferramenta eficiente para aumentar a eficiência do sistema e a sua rentabilidade.

4.6.2 Redes de Transporte de Resíduos Sólidos

A situação da coleta seletiva e triagem é um dos tópicos abordados no estudo da gestão de RSU de uma região. Assim, se faz essencial o funcionamento de uma rede de transporte, em especial a rede envolvida na rota de coleta de resíduos sólidos. Os trajetos de pontos de coleta são rotas planejadas para a coleta de materiais ou produtos em diferentes locais. Eles são geralmente planejados de forma eficiente para minimizar a distância percorrida e o tempo gasto na coleta. A escolha do trajeto correto pode ajudar a aumentar a eficiência e a rentabilidade da coleta. Não existe uma medida de centralidade ideal para todos os casos de redes, no entanto pode-se ter como embasamento alguns critérios para planejar trajetos de pontos de coleta:

1) Distância: A distância total percorrida na coleta é um fator importante, pois afeta o tempo e os custos envolvidos.
2) Tempo de viagem: O tempo de viagem é outro fator importante, pois pode afetar a disponibilidade dos veículos e a programação da coleta.
3) Capacidade de carga: A capacidade de carga dos veículos de coleta deve ser levada em consideração, pois afeta a quantidade de materiais que podem ser coletados em cada viagem.
4) Localização dos pontos de coleta: A ordem em que os pontos de coleta são visitados também é importante, pois pode afetar a eficiência da coleta.
5) Restrições de trânsito: As restrições de trânsito, como obras ou fechamentos de ruas, devem ser levadas em consideração para evitar atrasos na coleta.
6) Disponibilidade de estacionamento: A disponibilidade de estacionamento nas proximidades dos pontos de coleta também deve ser avaliada.
7) Custos: Os custos envolvidos na coleta, incluindo combustível e manutenção dos veículos, devem ser considerados ao planejar os trajetos.

Com uma rede definida, é possível encontrar áreas de serviço ao redor de qualquer local. Uma área de serviço de rede é uma região que engloba todas as ruas acessíveis (ou seja, ruas que estão dentro de uma impedância especificada). Isso pode ser aplicado na análise e otimização de rotas de coleta de resíduos sólidos. Outra aplicação possível é análise do atendimento a áreas, onde é possível identificar áreas que não estão sendo atendidas corretamente e tomar medidas para corrigir isso. Isso pode ajudar a garantir que todos os cidadãos tenham acesso aos serviços de coleta de resíduos sólidos.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 MATERIAIS

5.1.1 Imagens de Satélite

Para os mapas de uso e cobertura do solo, as bandas espectrais do satélite Landsat 8 foram importadas. Estas imagens são disponibilizadas gratuitamente pelo portal EarthExplorer, do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), ortorretificadas e em formato GeoTIFF. A justificativa da escolha de diferentes satélites da série Landsat é baseada no período de funcionamento de cada um e as inovações tecnológicas trazidas com os lançamentos de novos satélites. Como demonstrado na Tabela 5.1, priorizou-se, quando possível, a escolha de imagens no período correspondente à estação da seca na área de estudo.

Tabela 5.1. Imagens de sensoriamento remoto utilizadas.

Satélite	Data	Resolução multiespectral	Fonte
Landsat 8	Julho 2014	30 metros	USGS
Landsat 8	Julho 2018	30 metros	USGS
Landsat 8	Julho 2022	30 metros	USGS

5.1.2 Software

Para a elaboração do mapa de uso e cobertura do solo, foi utilizado o software *Spring*, no qual são importadas as bandas dos satélites *Landsat*. Neste programa, foram realizadas as etapas de registro de imagem, fusão das bandas, transformação IHS-RGB, realce de contraste, IDVN, a geração das componentes principais, a segmentação e, por fim, a classificação temática. Esse processamento é necessário para a classificação de imagens, que posteriormente foi importado em formato *shapefile* para criação dos mapas temáticos.

O software *ArcGIS Pro 2020* foi utilizado para a modelagem das demais etapas. Através dos dados de hipsometria, foi possível a criação dos mapas de fluxo acumulado, direção de fluxo, *streams* e delimitação das sub-bacias. No *ArcGIS Pro 2020* ainda foi explorada a ferramenta Network Analyst para posterior análise da rede estratégica de coleta de resíduos sólidos do município selecionado, de forma a complementar a análise da gestão de RSU da região selecionada. A extensão foi utilizada para o planejamento de rotas de coleta.

5.2 MÉTODOS

A metodologia do trabalho pode ser dividida nas seguintes etapas:

- Geração dos mapas de uso e cobertura do solo para os anos de 2014, 2018 e 2022 através do processamento de imagens LANDSAT 8 e classificação de imagens no software SPRING;

- Elaboração do mapa de vulnerabilidade ambiental, produto da análise hierárquica de processos entre os dois mapas de processos erosivos e os mapas de suscetibilidade à inundação e suscetibilidade às ações antrópicas;

- Análise da gestão de resíduos sólidos urbanos em um município da área de maior vulnerabilidade ambiental, obtida na etapa anterior, por meio do Sistema de Avaliação de GRSU e da definição de uma rede de transporte de coleta seletiva.

Nos itens a seguir, estão os métodos propostos para cada etapa.

5.2.1Classificação de uso e cobertura solo

Para a elaboração dos mapas de uso e cobertura do solo foram baixadas imagens espaciais do satélite LANDSAT 8 do *United States Geological Survey (*USGS). São referentes aos anos de 2014, 2018 e 2022 e serão processadas no software SPRING. As imagens LANDSAT apresentam resolução das bandas multiespectrais de 30 m, porém, possuem uma banda pancromática de resolução 15 m que pode ser fusionada com as demais bandas para melhorar a resolução da imagem.

Para realizar a fusão, as bandas 5 (infravermelho próximo), 4 (vermelho) e 3 (verde) de cada ano são transformadas de RGB para IHS respectivamente, onde as informações das componentes vermelho, verde e azul geram informações de intensidade, cor e saturação. Em seguida, as bandas de intensidade (I) e cor (H) são fusionadas com a banda 8 (pancromática) resultando em uma imagem fusionada com 15 m de resolução.

É então calculado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) para cada ano do estudo. Através de uma operação aritmética, explícita na Equação 5.1, entre as bandas 5 (infravermelho próximo) e 4 (vermelho). Esse índice proporciona um melhor detalhamento, aumentando o contraste entre o solo e vegetação e por consequência melhorando a

classificação no final (INPE, 2006).

$$IVDN = ganho * (\frac{banda\ 5 - banda\ 4}{banda\ 5 + banda\ 4}) + offset$$ Equação 5.1 – IVDN

O IVDN e as bandas fusionadas são relacionadas na geração dos componentes principais. A geração de componentes principais é uma técnica de realce que tem como objetivo reduzir a redundância espectral produzindo novas imagens onde a primeira componente apresenta a maior parte da variância total dos dados e a última componente representa basicamente o ruído dos dados originais (INPE, 2006).

Com isso, a segmentação pode ser feita utilizando como base os componentes principais obtidos. Na segmentação a imagem é dividida em regiões que são representadas por um conjunto de pixels contíguos e uniformes, facilitando o processo de treinamento da classificação. No treinamento são definidas as classes presentes na imagem e onde são colhidas as amostras dessas classes por regiões. Com o treinamento, é possível rodar o classificador pelo método Bhattacharya que fornecerá uma imagem toda classificada com base nas classes determinadas e no detalhamento do treinamento feito. A Figura 5.2 a seguir indica o fluxograma dos processos descritos. As classes temáticas podem ser divididas de acordo com o padrão proposto pelo IBGE (2013): áreas antrópicas não agrícolas, áreas antrópicas agrícolas, áreas de vegetação natural, água e outras áreas.

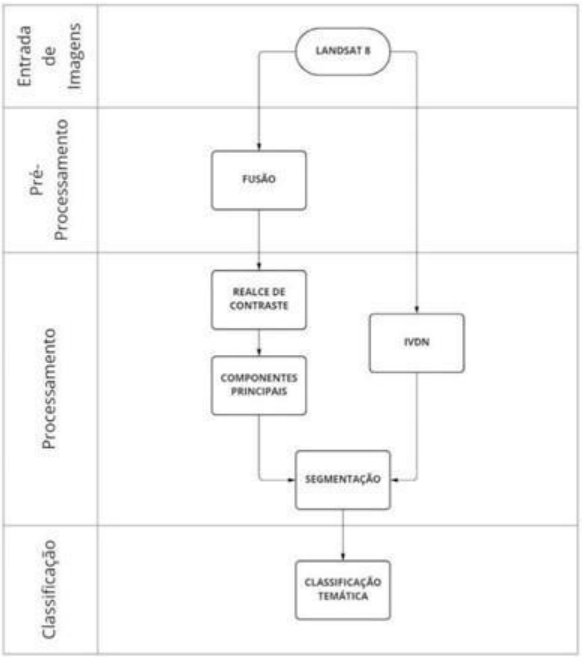


Figura 5.2 – Fluxograma do procedimento de classificação de uso e cobertura do solo. (Adaptado de Almeida *et al.*, 2017)

5.2.2 Mapa de vulnerabilidade ambiental

O mapa de vulnerabilidade ambiental foi obtido a partir da combinação dos mapas de suscetibilidade às ações antrópicas, à inundação e aos processos erosivos laminares e lineares, assim como mostra a Figura 5.3.

Essa combinação de mapas de características diferentes pode ser feita a partir da lógica fuzzy aplicada à Análise Hierárquica de Processos (AHP), onde os mapas foram reclassificados com grau de suscetibilidade de I a V, gerando o mapa final de vulnerabilidade ambiental de acordo com a análise multicritério realizada, onde (CREPANI *et al*., 2001 APUD ANDRADE, 2020):

- I – Muito baixa;
- II – Baixa;
- III – Moderada;
- IV – Alta;
- V – Muito Alta.

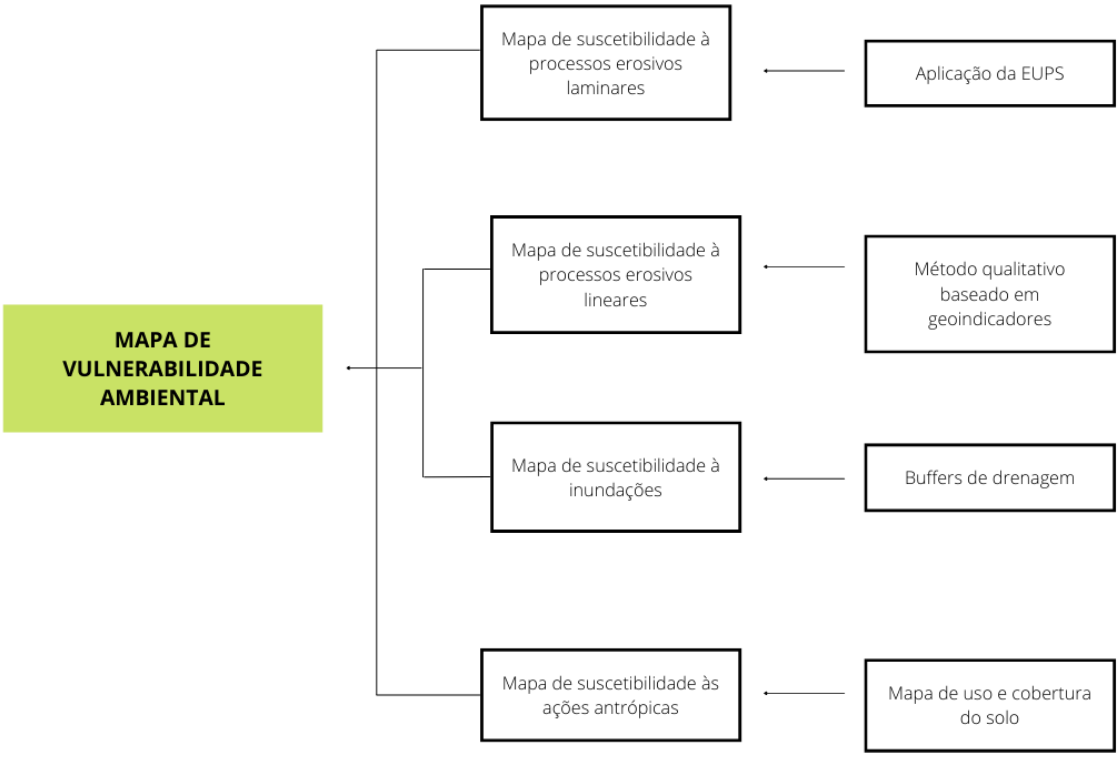


Figura 5.3 – Metodologia para obtenção do mapa de vulnerabilidade ambiental (Adaptado de Diniz, 2016).

Os processos erosivos que foram objeto de estudo do presente trabalho são, a erosão laminar

que é determinada pelo escoamento superficial e sua magnitude está ligada à capacidade de infiltração do solo, possibilitando determinar as perdas de solo por modelos empíricos como a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS); e a erosão linear resultante de anormalidades no solo, conhecidas como sulcos, ravinas ou voçorocas, associadas à declividade e precipitação.

5.2.2.1 Mapa de suscetibilidade à erosão laminar

Para estimar-se as perdas de solos, devem ser considerados fatores como a erosividade causada pela chuva por intermédio da precipitação pluviométrica, a credibilidade dos tipos de solos, a declividade e o comprimento de rampa, o uso do solo e práticas conservacionistas complementares. A seguir estão os métodos utilizados para a obtenção das variáveis da Equação 4.1:

- Fator de Erosividade da Chuva - R

Para definir o valor de R é necessário coletar os dados das estações pluviométricas próximas ao rio Alagado e, a partir disso, calcular a média mensal do índice de erosividade, que serão somados os valores de todos os meses para encontrar o valor de "R" para cada estação. Logo em seguida, com a utilização de interpolação geoestatística no software ArcGIS, foi possível elaborar o mapa de erosividade da chuva (DINIZ, 2016).
A metodologia de Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) foi usada para calcular o valor de R, pois é apropriada para regiões tropicais. A Equação 5.2 proposta pelos autores foi utilizada para determinar a média do índice de erosividade, considerando os valores médios de precipitação mensal e anual das estações listadas na Tabela 5.2.

$$EL_{30} = 67{,}355 \, . \, \left(\frac{r^2}{P}\right)^{0{,}85}$$ Equação 5.2 – Erosividade

Onde,
EL30 = média mensal do índice de Erosividade, em (MJ.mm)/(ha.h);
r = média do total mensal de precipitação, em mm;
P = média do total anual de precipitação, em mm.

Com base nos valores de EL30 calculados mensalmente, o índice de erosividade de cada estação foi determinado usando a Equação 5.3.

$$R = \sum_{i=1}^{12} EL_{30\ j}$$

Equação 5.3 – Erosividade

Onde, j é um número inteiro que representa o mês do ano.

Depois, o mapa de erosividade da chuva foi gerado pela interpolação dos valores de R com o método do inverso do quadrado da distância.

- Fator de Erodibilidade dos Solos - K

O fator de erodibilidade dos solos foi utilizado o mapa de pedologia da região. O mapa de pedologia fornece informações sobre os tipos de solo presentes que foram cruzadas com valores disponíveis na literatura, devido ao fato desse fator já ter sido estudado para diversos tipos de solo. Almeida *et al.* (2012) compila alguns tipos de solo e sua erodibilidade, conforme é apresentado na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Valores de erodibilidade “K” (Adaptado de ALMEIDA *et al.*, 2012)

Tipo de solo	Erodibilidade
Led1: Associação de latossolo vermelho-escuro distrófico ou álico, de textura muito argilosa, com latossolo vermelho-amarelo distrófico, de textura muito argilosa ou argilosa, ambos presentes em relevo plano e suave ondulado.	0,013
Led5: Associação de latossolo vermelho-escuro com latossolo vermelho-amarelo, ambos distróficos de textura argilosa, presentes em relevo suave ondulado e plano. Pode também estar associado ao cambissolo distrófico ou álico, de textura argilosa cascalhenta ou média cascalhenta, presente em relevo ondulado.	0,014
LVd2: Associação de latossolo vermelho-amarelo, de textura muito argilosa, presente em relevo plano e suave ondulado, com latossolo petroplintico, de textura muito argilosa cascalhenta de fase pedregosa ou endopedregosa, presente em relevo suave ondulado e plano, ambos distróficos.	0,024
LPd: Associação de latossolo petroplíntico, de textura argilosa cascalhenta ou argilosa cascalhenta ou muito argilosa cascalhenta, em fase pedregosa ou endopedregosa, com latossolo vermelho amarelo textura muito argilosa ou argilosa, ambos distróficos, presente em relevo suave ondulado e plano.	0,035
Cd3: Associação de cambissolo Tb, de textura média cascalhenta, com solos litólicos de textura média muito cascalhenta, ambos distróficos, presente em relevo ondulado e forte ondulado.	0,050
Cd1: Associação de cambissolo distrófico ou alico Tb, de textura média cascalhenta ou argilosa cascalhenta, presente em relevo ondulado e forte ondulado, com solos litólicos distróficos, de textura média cascalhenta, presentes em relevo forte ondulado, ambos em fase pedregulhosa.	0,050
Rd1: Associação de solos litolicos, de textura média cascalhenta, presente em relevo forte ondulado, com cambissolo Tb de textura argilosa cascalhenta, presente relevo ondulado e forte ondulado, ambos distróficos.	0,055

- Fator de Comprimento de Rampa e Grau de Declive – LS

O fator LS representa uma associação entre o comprimento de rampa "L" com a declividade "S", desse modo, ele pode ser obtido a partir do mapa de declividade e da metodologia de Moore & Burch (1986) que indica a Equação 5.4 para esse processo.

$$LS = \left(\frac{FA \times CellSize}{22,13}\right)^{0,4} \times \left(\frac{sen\ (Slope)}{0,0896}\right)^{1,3}$$ Equação 5.4 – Fator LS

Onde, "FA" é o fluxo acumulado da área de contribuição, "Cellsize" é o tamanho da célula do modelo numérico do terreno usado para produção do "FA" e "Slope" é a declividade para cada pixel em radianos.

- Fator de Uso e Manejo do Solo – C

O fator de uso e manejo do solo "C" está relacionado com a perda de solo ocasionada pelas culturas agrícolas. Foram então atribuídos pesos tendo como base trabalhos semelhantes na aplicação da EUPS no território brasileiro.

Tabela 5.3 - Pesos atribuídos para o fator C

Classes Temáticas	Fator C
Cerrado	0,010
Corpo d'água	0,000
Culturas agrícolas	0,135
Mata Galeria	0,030
Áreas urbanizadas	0,000

- Fator de Prática Conservacionista - P

Já o fator de prática conservacionista "P" está relacionado com a perda de solo ocasionada por práticas conservacionistas (BERTONI & NETO, 2012 APUD DINIZ, 2020). Expressa a relação entre a perda de solo e determinada prática de conservação, como curvas de nível em plantações, valas de contenção etc. Assim como o fator C, pode ser determinado a partir dos mapas de uso e cobertura do solo previamente elaborados.

Tabela 5.4 - Pesos atribuídos para o fator P

Classes Temáticas	Fator P
Cerrado	0,020
Corpo d'água	0,000
Culturas agrícolas	0,100
Mata Galeria	0,030
Áreas urbanizadas	0,000

5.2.2.2 Mapa de suscetibilidade à erosão linear

Esse mapa é elaborado a partir dos mapas de pedologia, geologia e declividade. Campagnoli (2002) propõe que os mapas geológicos e pedológicos sejam combinados, gerando um mapa geopedológico que será posteriormente combinado com o mapa de declividade, gerando o mapa de suscetibilidade à erosão linear.

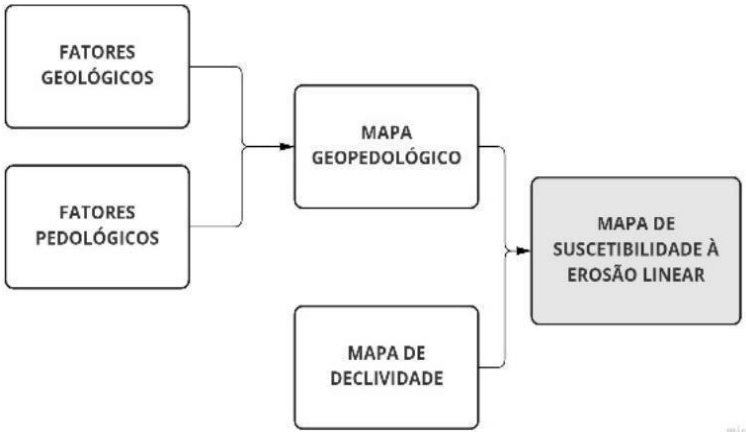


Figura 5.3 Procedimento para obtenção do mapa de suscetibilidade à erosão linear.

Para realizar esse procedimento, os mapas foram categorizados com base na escala de vulnerabilidade de cada aspecto avaliado. As unidades pedológicas foram classificadas de acordo com a textura do solo e a espessura das camadas. Solos argilosos e rasos são menos suscetíveis, enquanto solos arenosos e profundos são mais suscetíveis. Portanto, os solos exibidos na Figura 4.2 foram categorizados, como mostrado na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Classificação em graus de suscetibilidade à perda de solo.

Código	Subordem Pedológica	Grau de Suscetibilidade
LVAd	Latossolo Vermelho- Amarelo Distrófico	I
LVd	Latossolo Vermelho Distrófico	I
CXbd	Cambissolo Háplico Distrófico	IV
AUR	Agrupamento Urbano	V

5.2.2.3 Mapa de Suscetibilidade à inundação

Para analisar a vulnerabilidade ambiental deste estudo, a suscetibilidade às inundações é uma variável a ser analisada, existindo alguns métodos que podem utilizar os parâmetros do terreno e a reserva de drenagem para avaliar esta sensibilidade, como o trabalho de Almeida *et al.* (2017) avaliaram a vulnerabilidade ambiental da Bacia do Ribeirão Sarandi. Para a presente pesquisa foi usado o método proposto por Andrade *et al.* (2014). Tal método utiliza a declividade, a impermeabilização causada ou não pelo uso e cobertura do solo e a hipsometria do local, gerando um mapa final com índices de risco de inundação.

Para a realização do mapa de suscetibilidade à inundação é necessário que a rede de drenagem da região seja delimitada a partir do Modelo Digital de Terreno (MDT) da região. Em seguida, é aplicada a metodologia de Diniz (2016) que sugere realizar uma análise do tipo *Buffer* no mapa de hidrologia que fornecerá informações da área ao redor dos cursos d'água. O *buffer foi* realizado com base no Novo Código Florestal (Lei 12.651/2021), onde são estabelecidas cinco faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, sendo elas:

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

5.2.2.4 Mapa de Suscetibilidade às ações antrópicas

Este estudo analisa a combinação de áreas onde existem atividades de uso humano e áreas que apresentam vulnerabilidade ambiental, para analisar a vulnerabilidade de exposição ao uso antrópico do solo de acordo com a evolução temporal apresentada. O mapa de suscetibilidade às ações antrópicas possui um grande peso na análise hierárquica de processos. Isso porque a ação humana causa erosão mais rapidamente do que os processos naturais, resultando em mudanças significativas em curtos períodos. Almeida *et al*. (2017) propõe reclassificar os mapas de uso e cobertura do solo em 5 categorias, de I a V, com I para as áreas mais preservadas e V para as mais antropizadas. Consequentemente, áreas com vegetação nativa têm pontuações baixas, enquanto áreas recentemente urbanizadas têm pontuações mais altas.

Conforme apresenta a Tabela 5.6, as áreas com modificações antrópicas são consideradas mais suscetíveis. Dessa forma, para um mesmo ano, por exemplo, a classe Área Urbana apresentou um peso maior que as demais. Após a interseção e reclassificação, tem-se o mapa de suscetibilidade às ações antrópicas.

Tabela 5.6 Pesos atribuídos às classes antropizadas.

Uso e cobertura/ Ano de ocupação	**A partir de 2014**	**A partir de 2018**	**A partir de 2022**
Vegeração Nativa	0	0	0
Área Rural	1	2	3
Área Urbana	4	4	5

Assim, é empregada a AHP para a combinação dos mapas de erosão laminar, erosão linear, suscetibilidade à inundação e suscetibilidade às ações antrópicas para obter o produto final, o mapa de vulnerabilidade ambiental. Este forneceu a área mais estratégica para análise da aplicação do Sistema de Avaliação de Gestão de RSU.

5.2.3 Sistema de Avaliação de Gestão de RSU

De posse da área de maior vulnerabilidade ambiental na Bacia do Alagado, foram utilizados os resultados das respostas do Questionários de Diagnóstico devidamente preenchidos do município avaliado. Foi a partir dele que o sistema foi alimentado, para obtenção do índice

IGRSU. O Índice é classificado conforme a faixa de valores apresentada na Tabela 4.1.

A partir do resultado do SAD-GRSU, foi possível ter uma maior clareza da real situação que o Novo Gama se encontra, possibilitanto definir quais os indicadores merecem uma análise mais aprofundada. Neste trabalho, o foco foi na Dimensão Operacional, que abrange atendimento básico, coleta seletiva e triagem, disposição final e recuperação energética. Em especial, a coleta seletiva e triagem, aprofundando a análise na rede de transporte envolvida.

5.2.4 Rede de transporte de resíduos sólidos

Neste capítulo é apresentado o método que tem como objetivo principal identificar os arcos mais importantes da rede envolvida na Gestão de Resíduos Sólidos na região definida, e avaliar os impactos gerados na ocorrência de um incidente que possam levar à redução da funcionalidade da rede deste sistema. Assim, o objetivo é contribuir para que as redes tenham maior robustez e cumpram as funcionalidades para os quais foram planejadas e construídas. O método pode servir como fonte de informações adicionais para priorizar os investimentos a serem realizados. O método, baseado em Cunha Filho (2014), é composto por quatro etapas apresentadas a seguir.

- Etapa I: Caracterização da rede;
- Etapa II: Identificação dos arcos mais importantes da rede;
- Etapa III: Criação e avaliação de cenários de interrupção na rede;
- Etapa IV: Classificação da rede segundo a sua vulnerabilidade;

5.2.4.1 Etapa I: Caracterização da rede

A caracterização de rede é o processo de avaliar e descrever as propriedades de uma rede, incluindo sua estrutura, comportamento e desempenho. Isso pode ser feito por meio de métricas como grau de centralidade, coeficiente de agrupamento, tamanho médio de caminhos, entre outros. A caracterização é importante para compreender como a rede funciona e como ela pode ser usada para resolver problemas específicos.

Nesta etapa, buscou-se inicialmente a caracterização da rede em estudo, que incluiu a descrição geral da rede e dos elementos a considerar, como por exemplo as principais vias, corredores, trechos, arcos, nós, cruzamentos, geometria da via, capacidade da via, capacidade operacional, a fim de identificar e delimitar a área de estudo.

5.2.4.2 Etapa II: Identificação dos arcos mais importantes da rede

Não existe uma medida de centralidade ideal para todos os casos de redes. Para este método, como o foco é na gestão de resíduos sólidos, foi dado uma importância à dimensão operacional. Os trajetos de pontos de coleta são rotas planejadas para a coleta de materiais ou produtos em diferentes locais. Eles são geralmente planejados de forma eficiente para minimizar a distância percorrida e o tempo gasto na coleta. A escolha do trajeto correto pode ajudar a aumentar a eficiência e a rentabilidade da coleta. Portanto, a infraestrutura considerada crítica foi a favor desse trajeto. Neste projeto foi considerado o tempo de viagem, distância e a localização do ponto de coleta.

5.2.4.3 Etapa III: Criação e avaliação de cenários de interrupção na rede

Com a análise da centralidade do fluxo de veículos e carga transportada, foi identificada a infraestrutura crítica da rede de transporte e criados cenários a partir dos elementos considerados importantes e potencialmente vulneráveis. Assim, o cenário criado teve como foco preliminar a interrupção destes arcos considerados críticos e possivelmente vulneráveis. Tais cenários representam um corte no fluxo de veículos daquele arco, fazendo com que o motorista realize a viagem, fazendo um desvio da sua rota atual, utilizando o melhor caminho para alcançar o seu destino.

O impacto das interrupções foi avaliado após definir os cenários. O impacto é medido principalmente no impacto territorial em arcos críticos e vulneráveis. Para avaliar o efeito

das mudanças causadas pela interrupção em arcos críticos, é necessário descrever geralmente os impactos e compará-los com as condições antes e depois do evento. Para isso, foi preciso considerar a mudança na eficiência da rede de transporte e escolher um indicador de desempenho para medir a diferença entre as duas situações. Neste estudo, a análise foi direcionada ao impacto na operação de coleta nos pontos definidos. O impacto da interrupção da rede de transporte é representado pelos cenários de interrupção. O indicador usado para operação é principalmente o tempo de trajeto, já para os usuários será o desconforto gerado pela falta de coleta.

5.2.4.4 Etapa IV: Classificação da rede segundo a sua vulnerabilidade

Nesta fase, é feita uma avaliação dos resultados previamente obtidos para classificar a rede de transporte segundo sua importância e o impacto causado por eventos que possam prejudicar sua funcionalidade. As etapas foram defnidas baseadas no trabalho de Cunha Filho, 2014. Para identificação do grau de vulnerabilidade analisando o impacto no trajeto do caminhão e o impacto no conforto do usuário da interrupção de um arco, será utilizada a Tabela 5.7:

Tabela 5.7 Matriz de valor do grau de vulnerabilidade dos arcos.

		Impacto no Trajeto do Caminhão		
		Alto	**Médio**	**Baixo**
Impacto no conforto do usuário	**Alto**	Muito Alto	Alto	Médio
	Médio	Alto	Médio	Baixo
	Baixo	Médio	Baixo	Muito Baixo

Para a classificação do arco interrompido foi atribuída uma pontuação, indicando o fator desse impacto.

Tabela 5.8 Fatores de Impacto.

Impacto	**Pontos**	**Descrição**
Alto	50	Podem causar impactos extremos e significativos
Médio	25	Causam impactos relevantes
Baixo	10	Causam impactos leves

Assim, fazendo a interseção das linhas com as colunas de impacto, o resultado é a Tabela 5.9, com o grau de vulnerabilidade quantificado.

Tabela 5.9 Classificação dos Impactos nos Arcos.

		Impacto Impacto no Trajeto do Caminhão		
		Alto	**Médio**	**Baixo**
Impacto no conforto do usuário	**Alto**	100	75	60
	Médio	75	50	35
	Baixo	60	35	20

O significado da matriz quantificada de grau de vulnerabilidade pode ser entendido através da Tabela 5.10 GUT (gravidade, urgência e tendência).

Tabela 5.10 Tabela GUT do grau de vulnerabilidade quantificado.

Pontos	**Gravidade da interdição do trecho**	**Urgência de ação mitigadora**	**Tendência do impacto**
100	Extremamente graves	É necessária uma ação imediata	Se nada for feito, o agravamento será imediato
75	Muito Graves	Necessidade de uma ação com urgência	Agravamento em curto prazo
50-60	Graves	A ação deve ser realizada o mais breve possível	Agravamento em médio prazo
35	Pouco Graves	A ação mitigadora pode esperar um pouco	Agravamento em longo prazo
20	Sem gravidade	Não tem urgência de realizar ação mitigadora	Nulo

Obtido o grau de vulnerabilidade, pode-se concluir se a rede definida para coleta seletiva no município é uma alternativa viável como uma solução para parte do problema de gestão de resíduos sólidos na região.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 MAPA DE USO E COBERTURA DO SOLO

As classificações temáticas geradas pelas imagens de satélite dos anos 2014, 2018 e 2022, resultaram nos mapas de uso e cobertura do solo para cada ano, os quais podem ser visualizados na Figura 6.1. Os valores obtidos das áreas nas diferentes classes temáticas dos mapas possibilitaram a avaliação quantitativa da área em estudo. A Tabela 6.1 indica os valores em quilômetros quadrados (km2) de acordo com a classe temática.

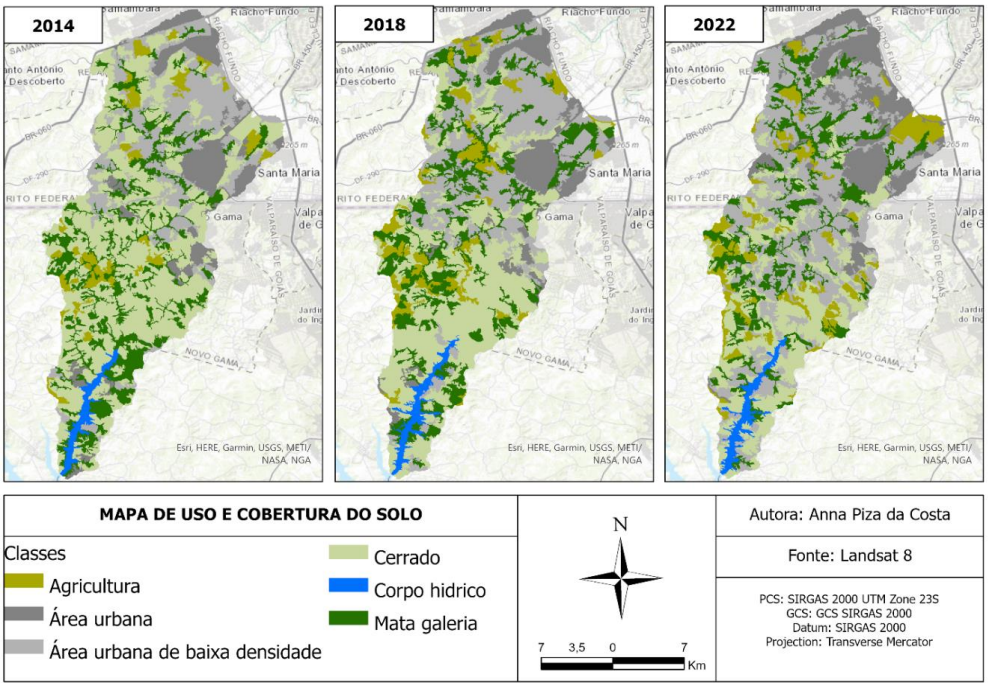


Figura 6.1 Mapa de uso e cobertura para os três anos amostrados.

Tabela 6.1 Evolução das áreas das classes de uso e cobertura do solo.

Classes	Áreas (km²)		
	2014	2018	2022
Corpo hídrico	13,84	13,15	13,03
Área urbana	178,35	209,48	273,51
Cerrado	233,60	194,24	169,17
Mata Galeria	96,49	93,86	88,51
Agricultura	21,94	33,49	52,28

O resultado obtido pelos mapas demonstra um aumento significativo para a expansão urbana e áreas agrícolas (agricultura e pastagem) e a perda decrescente de cobertura natural. O

cerrado é substituído, tendo grande parte de sua área desmatada em um relativo curto espaço de tempo. Observa-se que um dos fatores de maior impacto sobre a bacia é a impermeabilização causada pelo aumento da área urbana.

6.2 VULNERABILIDADE AMBIENTAL

6.2.1 Mapa de Suscetibilidade à Erosão Laminar

Utilizando a Equação Universal de Perda de Solo para estimar a suscetibilidade à erosão laminar, foram obtidos primeiramente os cinco fatores da equação, como demonstrado na Figura 6.2 a seguir.

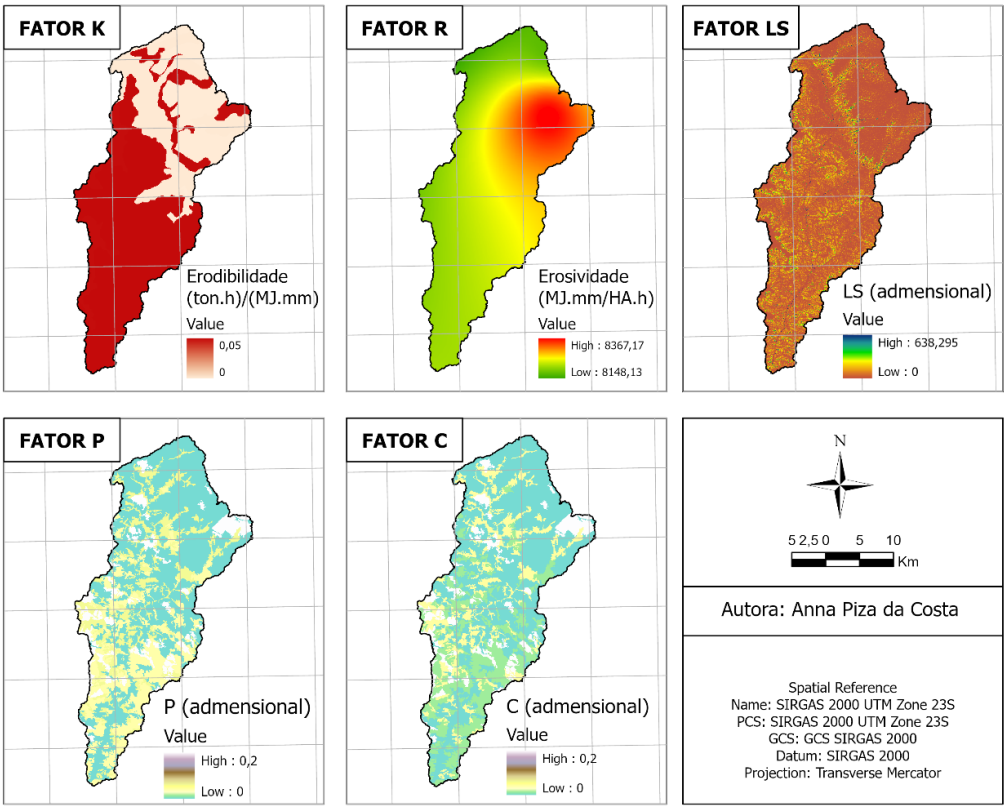


Figura 6.2. Fatores da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS).

O Fator C e o Fator P utilizam como referência o mapa de uso e cobertura do solo de 2022. O fator C reflete diretamente o nível de cobertura vegetal da região, também estando ligado aos valores do fator P que apresenta valores baixos de suscetibilidade.

O Fator LS, obtido através do fator de comprimento de rampa é de grande importância no comportamento da erosão hídrica, pois reflete a velocidade de escoamento superficial. A

maior parte da região analisada possui valor baixo. Isso devido ao seu relevo, de menor declividade.

O métodoswua, de erosividade da chuva, foi realizado com um número reduzido de estações. No entanto, trata-se da melhor aproximação encontrada ao se utilizar apenas as estações georreferenciadas com dados suficientes para integrar e subsidiar esta análise.

O Fator K, de erodibilidade do solo, reflete os valores atribuídos na literatura para o fator K. Sendo valores tipicamente baixos, por isso, entende-se que o município apresenta, predominantemente baixa suscetibilidade à erosão pelo fator K. Na Figura 6.3 estão representados os valores suscetibilidade à erosão laminar.

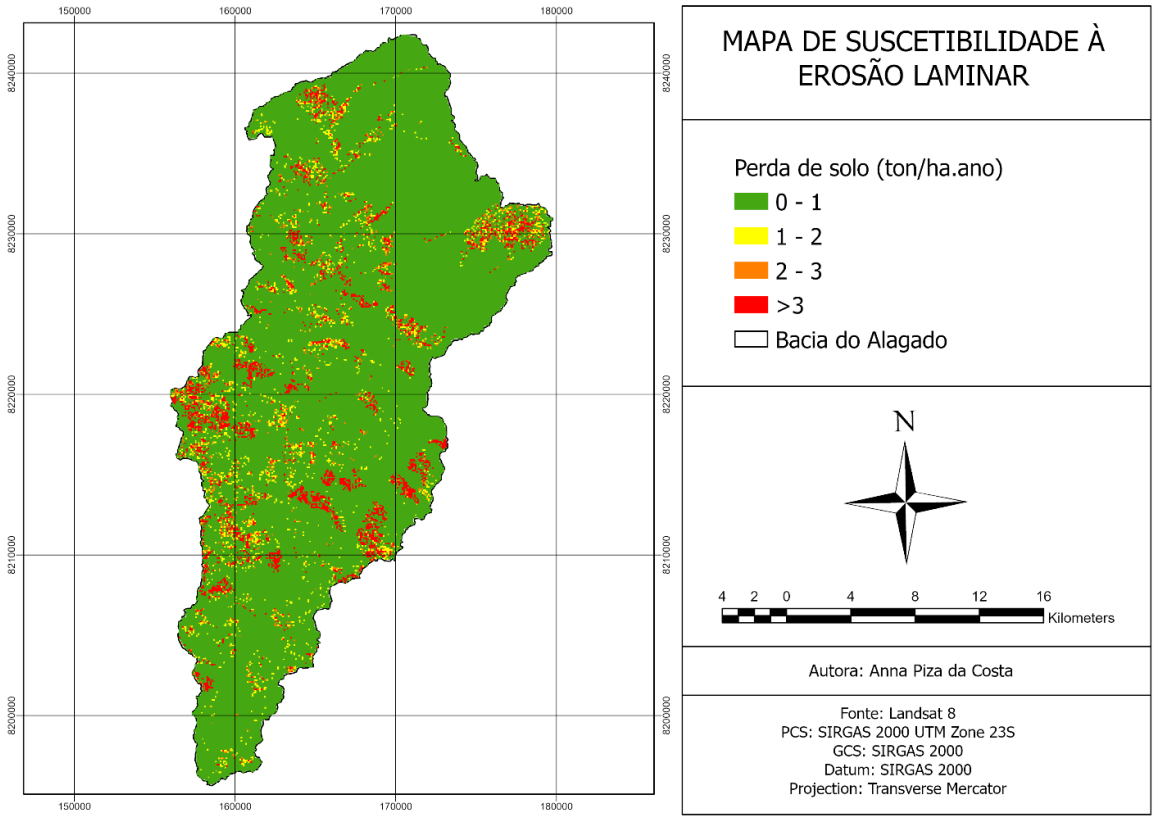


Figura 6.3. Mapa de suscetibilidade à erosão laminar.

Em geral, a área possui uma suscetibilidade baixa à erosão laminar, refletindo os resultados obtidos de cada fator pertencente a EUPS. Por outro lado, caso as resoluções espaciais das imagens utilizadas fossem melhores, e houvessem oportunidade de visitas in loco, o que não foi possível nesse caso, os valores poderiam se elevar e consequentemente alterar os obtidos.

6.2.2 Mapa de Suscetibilidade à Erosão Linear

O mapa de suscetibilidade à erosão linear foi obtido a partir do cruzamento dos mapas de geopedologia e de declividade. Ambos os mapas apresentam em sua maioria grau I a III na extensão da Bacia do Alagado. O cruzamento dos mapas pode ser visualizado na Figura 6.4.

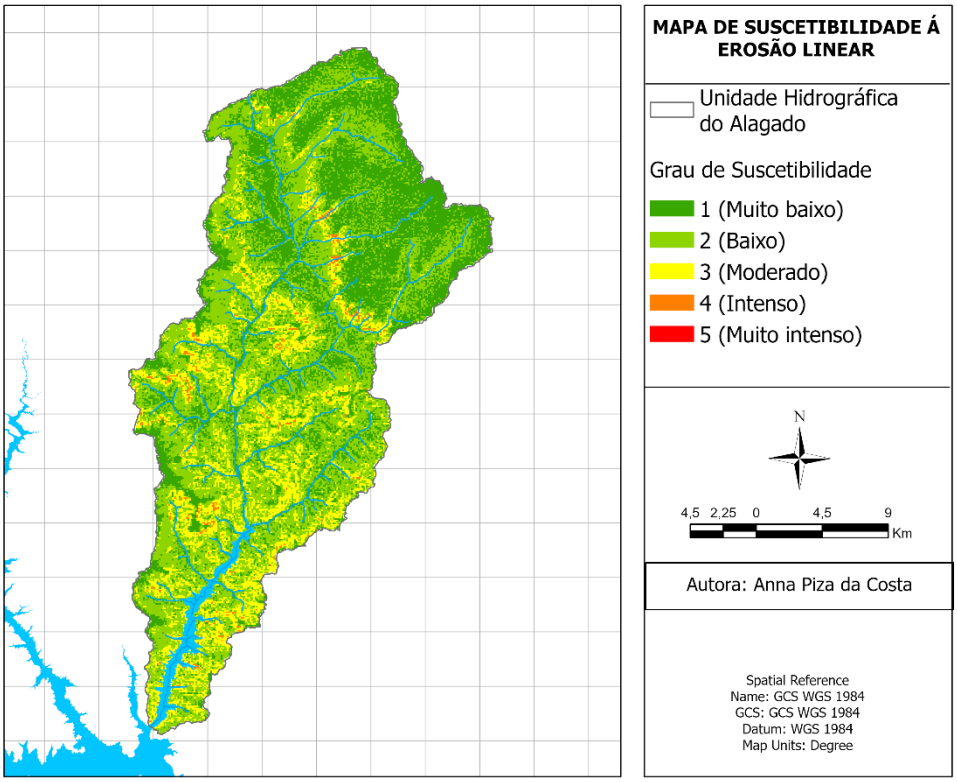


Figura 6.4 Mapa de suscetibilidade a erosão linear.

Percebe-se que as áreas de maior abrangência com valores baixos de suscetibilidade a erosão linear refletem a forte influência da declividade, combinadas com as características de pedologia e geologia da região.

6.2.3 Mapa de Suscetibilidade à Inundação

O mapa de suscetibilidade à inundação, representado na Figura 6.5, foi elaborado usando as distâncias indicadas dos buffers da rede de drenagem e de acordo com o Código Florestal. Quanto maior a distância das linhas de drenagem, menor é a susceptibilidade. O resultado pode ser visualizado, refletindo o risco de inundação no contorno próximo à drenagem do rio alagado. O mapa não se mostrou representativo quando combinado com outros mapas, pois não leva em conta dados de precipitação ou outras características da bacia. Recomenda-se estudos hidrológicos e hidráulicos para melhores resultados.

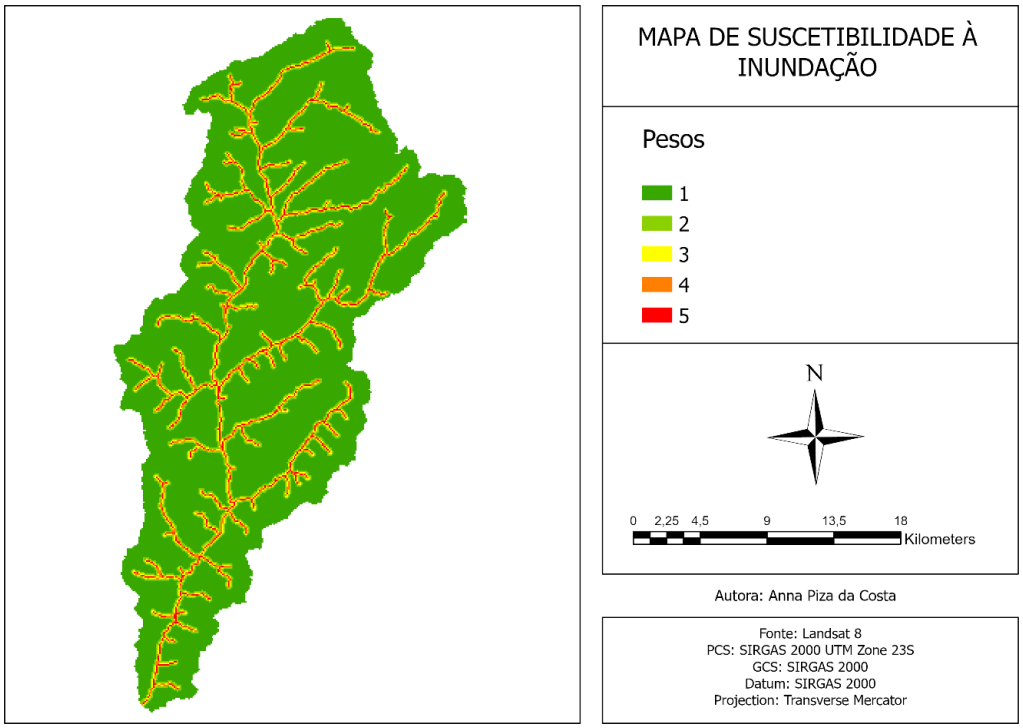


Figura 6.5 Mapa de suscetibilidade à inundação.

6.2.4 Mapa de Suscetibilidade às Ações Antrópicas

A partir da reclassificação dos mapas de uso e cobertura do solo e das variações ocorridas entre os anos de 2014, 2018 e 2022, obteve-se o mapa de suscetibilidade às ações antrópicas apresentado pela Figura 6.6.

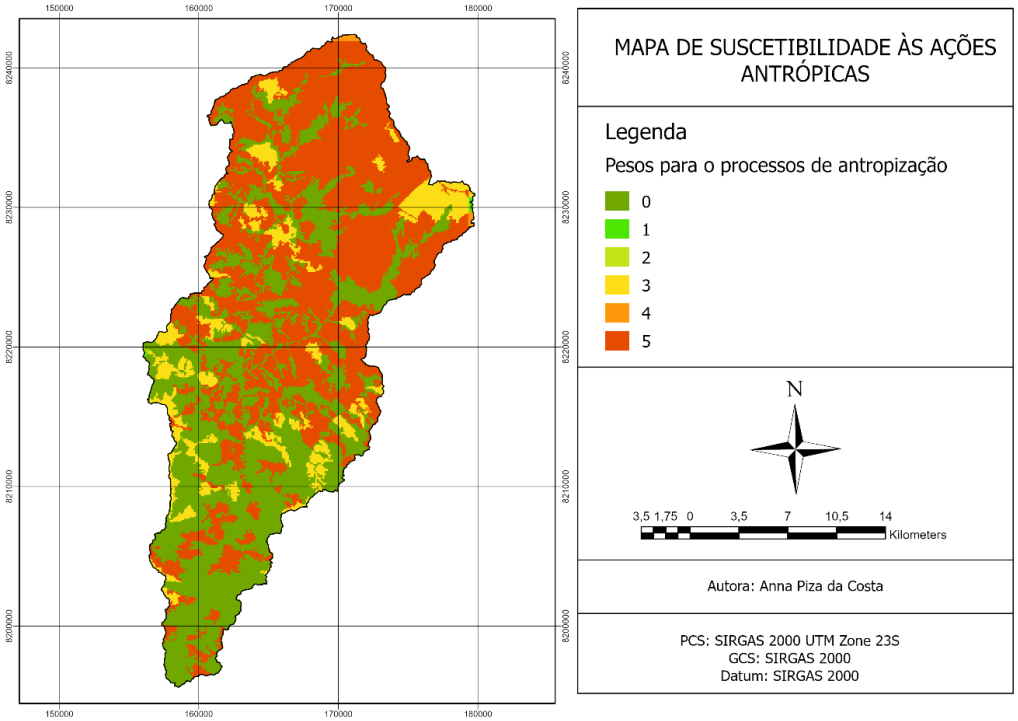


Figura 6.6 Mapa de suscetibilidade a ações antrópicas.

Observa-se que o quantitativo de crescimento urbano foi significativo entre os anos analisados, apresentando alta suscetibilidade antrópica. Na Figura 6.7 é possível ver o avanço da antropização através dos anos estudados.

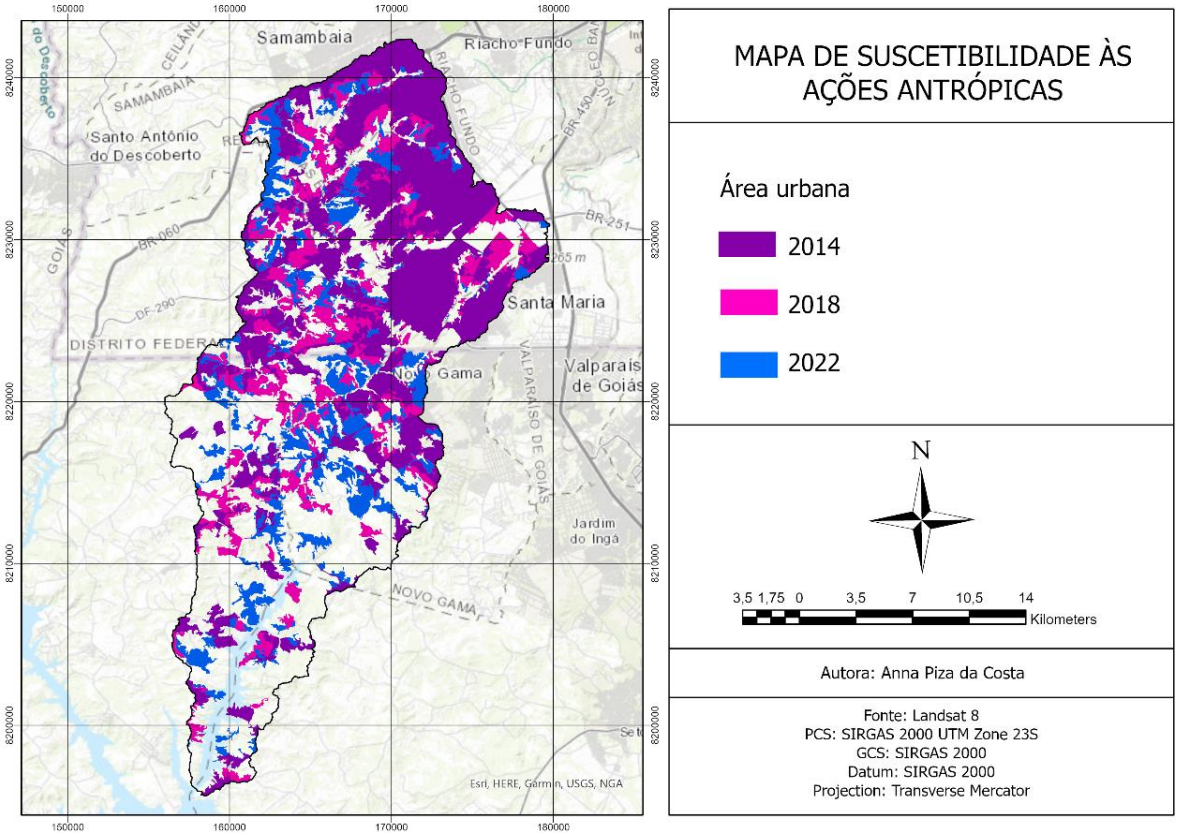


Figura 6.7 Mapa do avanço da antropização.

6.2.5 Mapa de Vulnerabilidade Ambiental

O resultado final da combinação dos mapas de erosão laminar (EA), erosão linear (EI), suscetibilidade à inundação (IN) e suscetibilidade às ações antrópicas (AA) é o mapa de vulnerabilidade ambiental. Para sua confecção, os valores de cada um dos mapas foram reclassificados em uma escala de I a V, sendo I vulnerabilidade muito baixa e V muito intensa. Em seguida, foram combinados para formar o mapa de vulnerabilidade ambiental, representado na Figura 6.8.

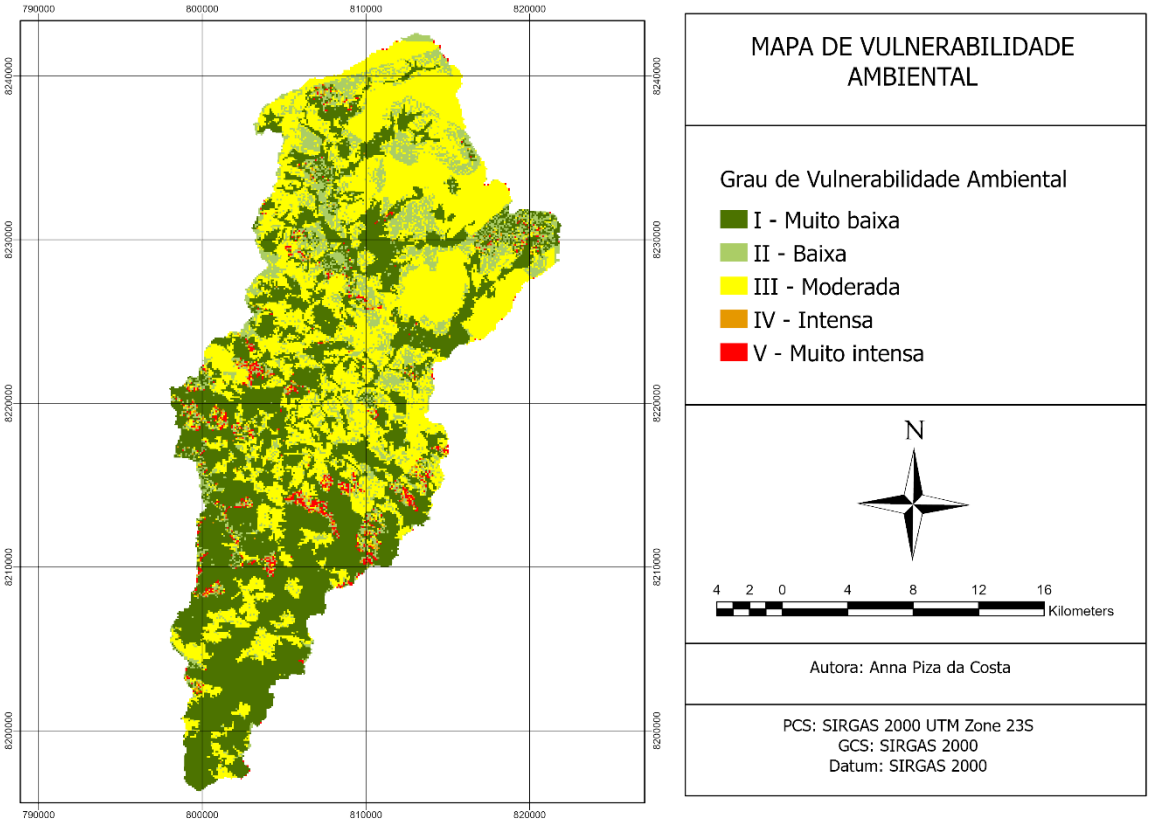


Figura 6.8 Mapa de vulnerabilidade ambiental.

Para integrar todos os parâmetros do método AHP, uma tabela de comparação foi construída e realizada de acordo com a metodologia apresentada no item 5.2, conforme pode ser visto na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 Matriz de julgamentos.

PAR A PAR - CRITÉRIOS				
	AA	**EA**	**EI**	**IN**
AA	1	3	4	7
EA	1/3	1	2	6
EI	1/4	1/2	1	5
IN	1/7	1/6	1/5	1

Após julgamento dos critérios de acordo com a importância relativa, foram calculados os parâmetros do método AHP, seguido do Índice de Consistência (IC) e Razão de Consistência (RC), objetivando um valor menor que 0,1 para o RC. Como RC = 0,056, os resultados podem ser considerados satisfatórios pois RC < 0,1. Os pesos obtidos para os 4 parâmetros, segundo a matriz de julgamentos, e usados, em seguida, pela ferramenta de álgebra de mapas constam na Tabela 6.3.

Tabela 6.3 Pesos calculados pelo método AHP.

	Preferência	**Critério**
AA	**0,544**	Suscetibilidade à Erosão Laminar
EA	**0,249**	Suscetibilidade à Erosão Linear
EI	**0,159**	Suscetibilidade a Inundação
IN	**0,048**	Suscetibilidade a Ações Antrópicas

Observa-se que a região apresenta, majoritariamente, grau de muito baixa a moderada suscetibilidade a vulnerabilidade ambiental sendo este um bom parâmetro para subsidiar estudos e pesquisas. Os locais que apresentaram valores superiores de vulnerabilidade ambiental podem ser entendidos como possíveis causas da degradação que justificam-se pelo crescimento populacional e pelo aumento da densidade demográfica, considerando o manejo inadequado dos solos, desmatamentos, falta de infraestrutura para habitação, e pela erosão laminar (Aquino, *et al*., 2017).

6.3 SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE GESTÃO DE RSU

De posse da área de maior vulnerabilidade na área de estudo, foi possível selecionar um município onde foi feita a aplicação do Sistema de Avaliação de Gestão de RSU. O município escolhido foi o Novo Gama. A partir do resultado do SAD-GRSU, foi possível ter uma maior clareza da real situação que o Novo Gama se encontra. Segundo estudos, dentre todos os componentes do saneamento básico, os resíduos sólidos são o principal problema no município de Novo Gama, e merecem uma atenção especial.

O município possui uma população aproximada de 119.000 pessoas e conta com uma área

de 192,89 km². A Natureza Jurídica do Responsável pelos resíduos sólidos é a Administração Pública Direta. Foi aberto um edital em outubro de 2022, para a contratação de uma empresa especializada para a execução indireta dos serviços de limpeza urbana no município de Novo Gama. No entanto, a licitação consta como “adiada”.

Tendo isso em mente, e a partir dos resultados obtidos em 2017 na aplicação do SAD-GRSU, foi possível ampliar a análise no nível dos indicadores utilizados. A seguir serão destrinchados alguns pontos considerados.

Quanto a legislação e planejamento, o município possui uma Política de Meio Ambiente e PMGIRS em elaboração, que indica um avanço, porém longe de ser o ideal. Já na atmosfera Institucional, possui estrutura organizacional deficitária, sem regulação e fiscalização quanto ao manejo de RSU, apesar de ter funcionários com dedicação exclusiva com as questões GRSU.

Em relação à estrutura física, o município possui equipamentos e veículos para atividades de campo que atendem parcialmente as necessidades, no entanto com uma base de dados inexistente e sem a utilização de softwares relacionados a área, como por exemplo de Geoprocessamento.

Indo para a dimensão operacional do resultado obtido pelo ID-GRSU, observa-se uma situação crítica. O Novo Gama não possui Coleta Seletiva, conta uma área de triagem que necessita de manutenção e que não atende o percentual de redução necessário. Foi constatado que no local existe o Aterro Sanitário do Novo Gama, mas foi possível concluir que não atende o necessário.

Os resultados das respostas do questionário diagnóstico do município avaliado forneceram o índice ID-GRSU 0,22. Conforme faixa de valores apresentada na Tabela 5.7, esse valor consiste em um nível de gestão baixo. O objetivo principal da gestão de RSU deve ser sempre minimizar seus impactos negativos na saúde humana e no meio ambiente. Pensando nisso, foi aprofundada a análise da dimensão operacional do município.

A gestão proativa é uma abordagem integrada e preventiva para lidar com o gerenciamento de resíduos sólidos. Ela envolve a identificação, coleta, transporte, tratamento e disposição

adequada dos resíduos. A gestão proativa de resíduos sólidos é fundamental para garantir a sustentabilidade ambiental e a qualidade de vida das comunidades. Assim, para seguir com a análise da vulnerabilidade da rede envolvida na gestão de resíduos sólidos, o foco dado foi no fator Coleta Seletiva e Triagem do SAD-GRSU.

6.4 REDE DE TRANSPORTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS

6.4.1 Caracterização da rede

Considerando que a coleta seletiva se trata de uma atividade de refinamento do sistema e necessita de um bom funcionamento do mesmo para se obter a eficiência necessária, a fim de facilitar a identificação dos arcos e trechos da região em questão, a rede escolhida foi a de transporte rodoviário do município, que inclui as rodovias estaduais e federais. Isso porque facilita o acesso do veículo responsável pela coleta. Além disso, visando atender a população do Novo Gama, foram considerados os limites dos principais logradouros e vias do município. Na Figura 6.9 se apresenta a rede em estudo com a identificação dos pontos mencionados.

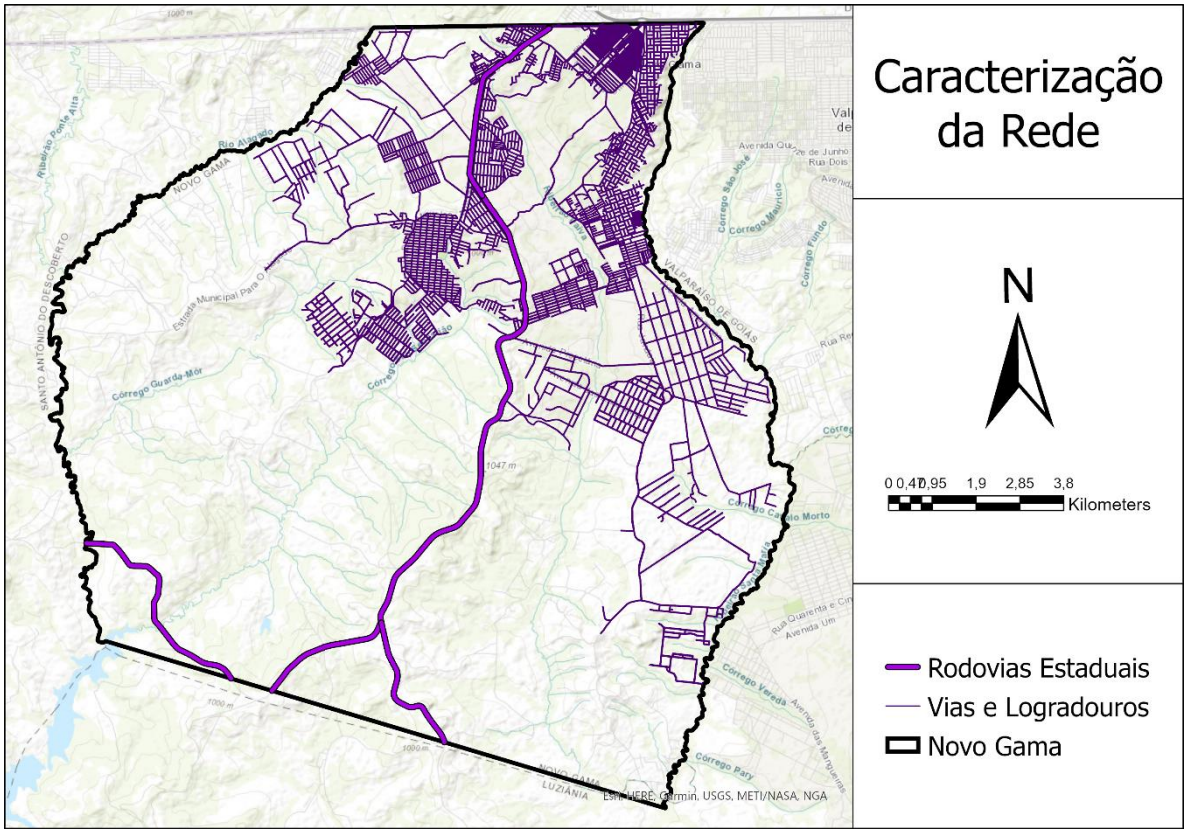


Figura 6.9 Caracterização da rede.

É importante salientar que poderiam ser considerados arcos da rede os pontos de coleta já

existentes no município. No entanto, não foram encontrados pontos existentes na bibliografia utilizada. Hoje não se tem mapeada a rede de gestão de resíduos no município, sendo esse um reflexo do grau indicado no Sistema de Avaliação de Gestão de RSU.

6.4.2 Identificação dos arcos mais importantes da rede

Para o município do Novo Gama não foram encontrados pré-requisitos definidos pelo Estado de Goiás para haver coleta seletiva. Dessa forma, para obter a localização de possíveis pontos de coleta, foram considerados alguns critérios adotados no Distrito Federal. O SLU verifica a trafegabilidade interna das vias e realiza um planejamento técnico-operacional para realização do serviço. Segundo a Instrução Normativa N°02 (SLU, 2021), de março de 2021, transitam pelas vias caminhões coletores compactadores de 19 m³ e dimensões aproximadas de 3,6 metros de altura e 9,5 metros de comprimento, sendo necessário viabilizar o acesso do caminhão com estas dimensões e possibilitar a desobstrução das vias de tráfego e áreas para manobras do veículo. Assim, primeiramente foram traçados pontos pelas principais vias da rede de forma estratégica. Estes, a princípio, consistiriam em possibilidades de localização dos pontos a serem distribuídos pelos município, para acesso do caminhão.

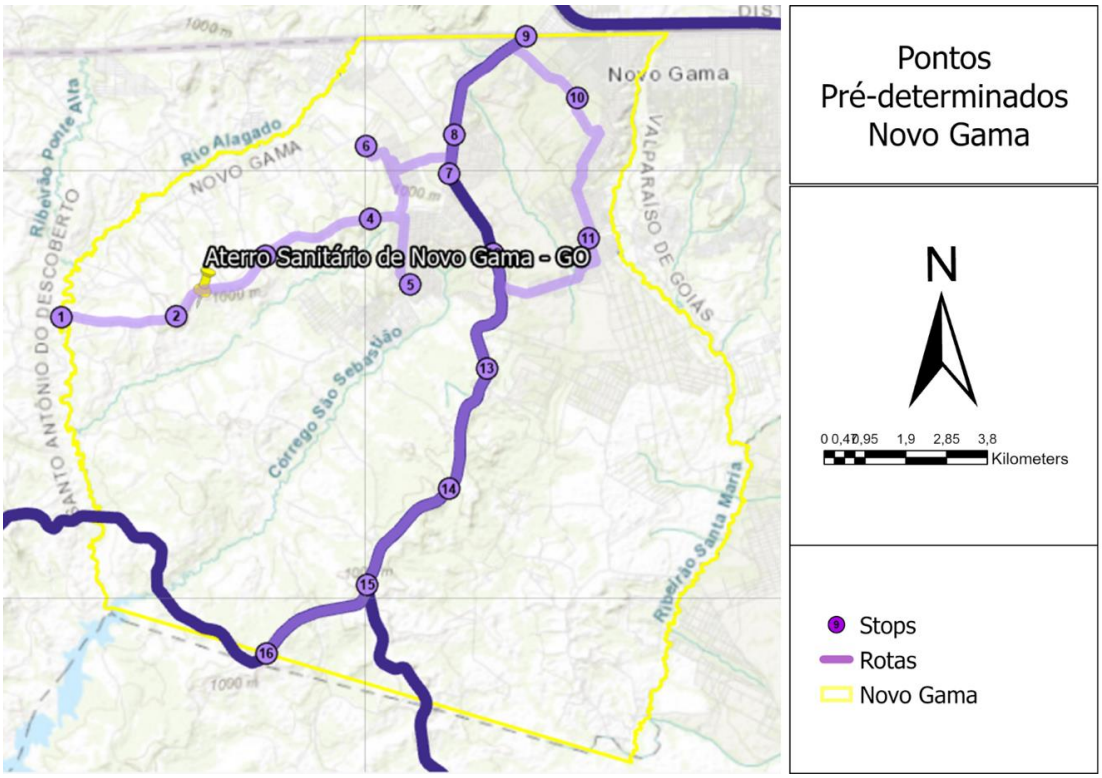


Figura 6.10 Pontos distribuídos pela rede.

Em seguida, é importante considerar a distância dos pontos ao Aterro Sanitário do Novo

Gama, local de transbordo dos rejeitos. Este consiste em um fator essencial, pois o tempo de descarregamento no transbordo é considerado na viagem realizada pelo caminhão, que possui um tempo pré-determinado. Essa etapa foi realizada a partir da ferramenta Alocação de Local *(Location Allocation)* do ArcGIS Network Analyst, que auxilia a encontrar os melhores locais para instalações atenderem a um conjunto de locais de demanda.

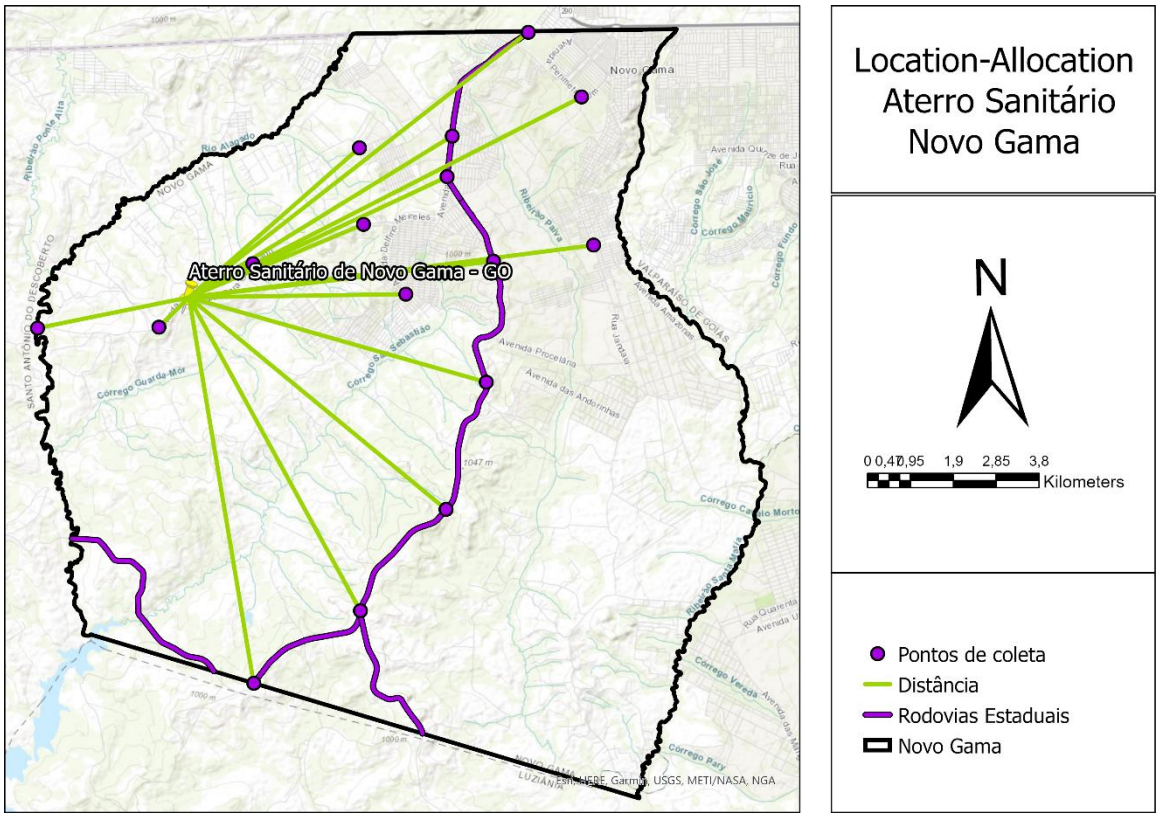


Figura 6.11 Alocação dos pontos em relação ao Aterro Sanitário de Novo Gama.

Outro critério aqui considerado foi a acessibilidade à população. Através da ferramenta Service Area, foi possível mapear a área que os pontos definidos atenderam, considerando o tempo de caminhada. O tempo máximo aplicado foi de 15 minutos, dando preferência ao conforto e satisfação da população, incentivando um comportamento pró-ambiental. Assim, foram definidas 3 faixas:

- $\leq$ 5 minutos
- 5 a 10 minutos
- 10 a 15 minutos

O resultado pode ser visto na Figura 6.12.

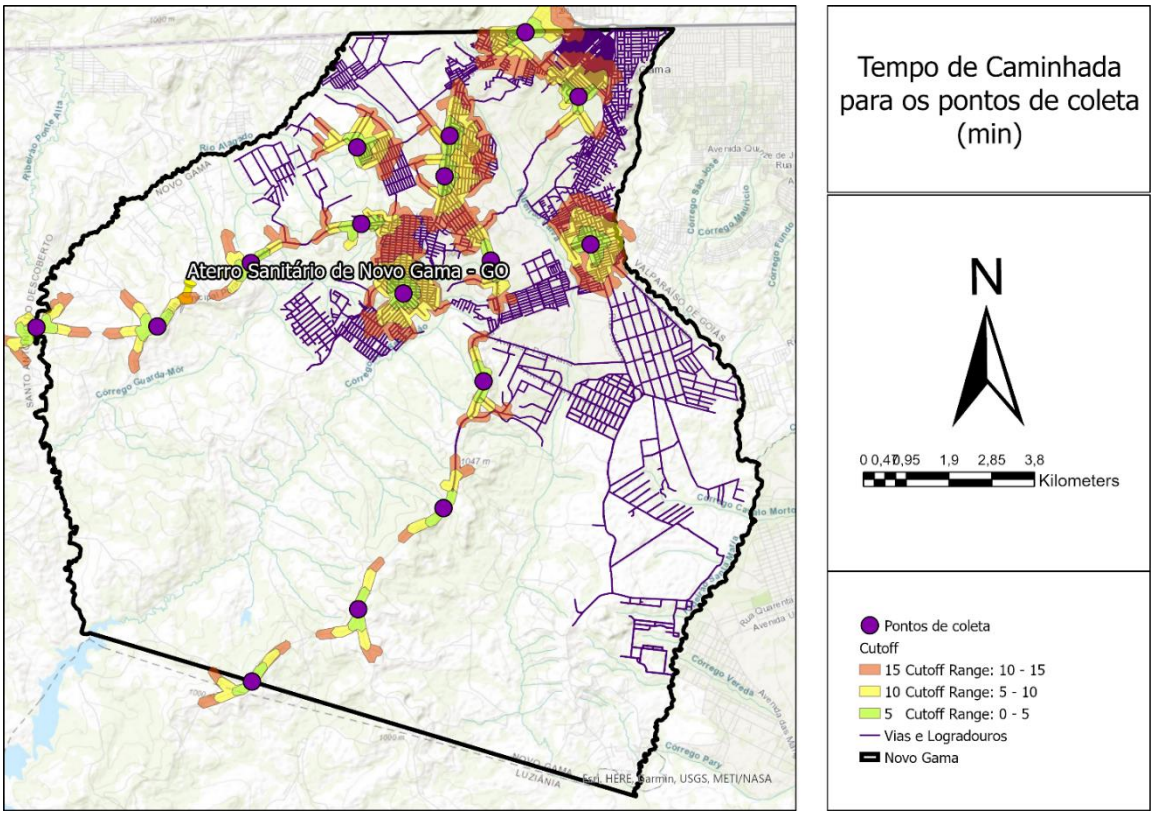


Figura 6.12 Área atendida pelos pontos de coleta definidos.

Avaliando todos os critérios foi possível definir um arco crítico na rede levantada. A área dos pontos 7 e 8 atendem todos os requisitos: passam por uma rodovia, são acessíveis à população e são bem localizados considerando o Aterro Sanitário do Novo Gama.

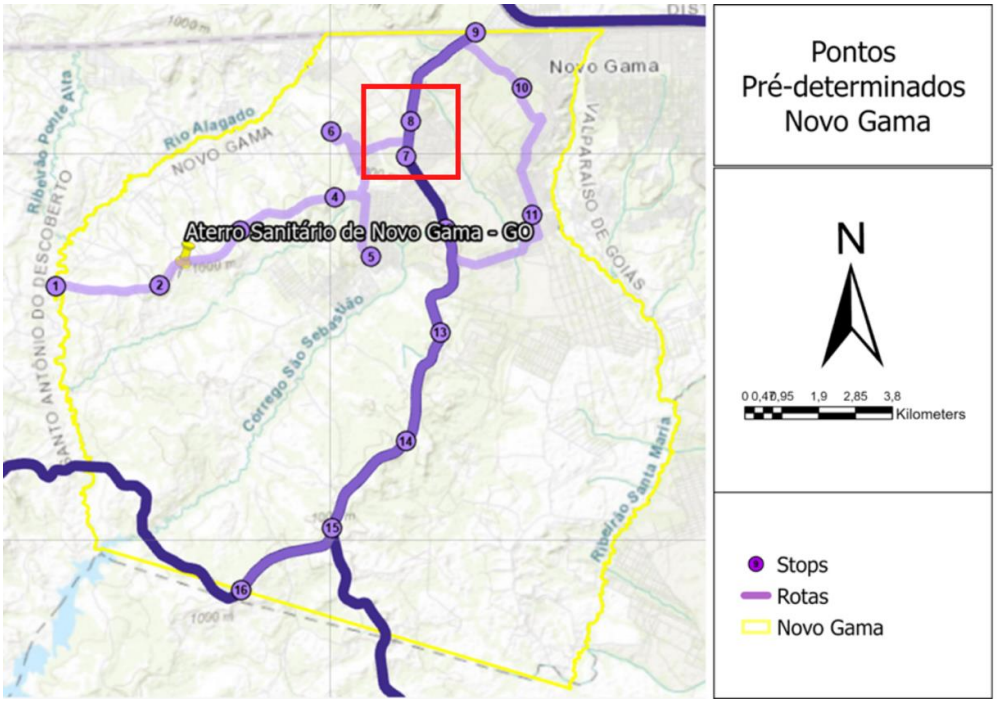


Figura 6.13 Trecho crítico da rede.

6.4.3 Criação e avaliação de cenários de interrupção na rede

Considerando que o trajeto primário do caminhão seria pela rodovia estadual, o cenário de interrupção aplicado foi entre dois pontos considerados críticos na rede, representado pela linha em vermelho no mapa da Figura 6.14. Além disso, foi considerada a centralidade para garantir o acesso rápido da população ao ponto de coleta. O resultado pode ser visto na Figura 6.14.

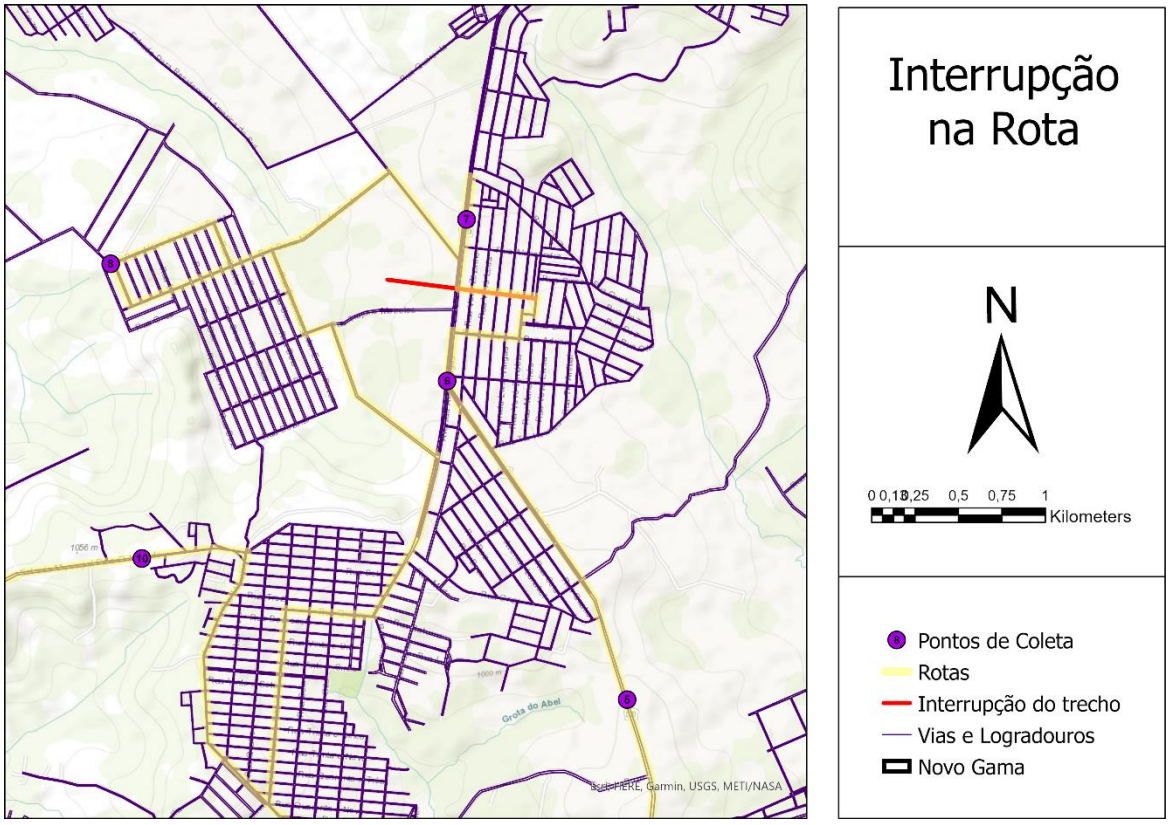


Figura 6.14 Cenário de interrupção na rede.

O resultado demonstra que o caminhão teria que optar por rotas alternativas por fora da rodovia, dificultando assim o acesso e aumentando o tempo de viagem. Importante salientar que nem sempre as vias são do tamanho viável para a passagem do caminhão, e portanto pode ocorrer uma situação em que a coleta pode não ser feita, gerando assim um incômodo para a população e acúmulo de resíduos.

6.4.4 Classificação da rede segundo a sua vulnerabilidade

Considerando a rota alternativa sugerida pelo Network Analyst, o impacto no trajeto do caminhão é baixo, pois, como demonstra a Figura 6.15, as rotas alternativas ainda estão a menos de 15 minutos da rota primária do veículo. Na imagem, é possível visualizar as áreas

a menos de 15 minutos de viagem do caminhão. Sendo assim, causa um impacto leve. Já em relação ao conforto do usuário, vem a depender das vias que o caminhão adotaria como rota alternativa. Considerando que esta poderia ser adotada, o impacto aos usuários seria baixo, pois não haveria um acúmulo considerável de resíduos. Essa etapa foi realizada a partir da ferramenta Área de Serviço *(Service Area)* do ArcGIS Network Analyst, que permite encontrar uma região que abrange os pontos acessíveis

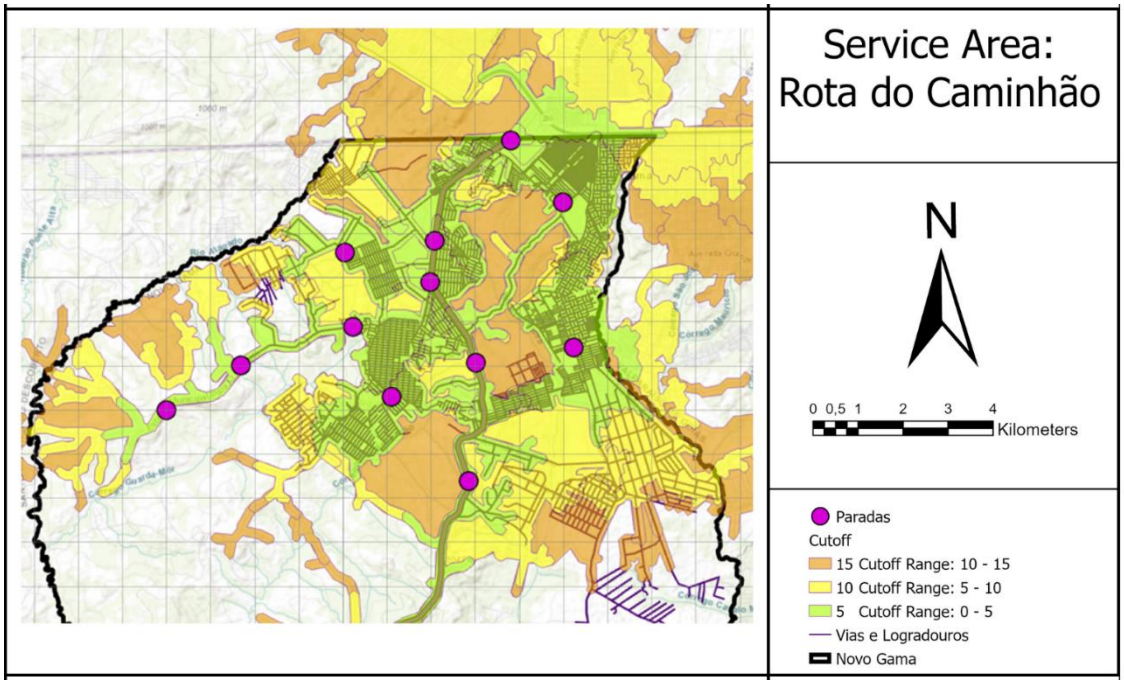


Figura 6.15 Tempo do trajeto do caminhão.

Assim, tendo como referência os valores definidos na Tabela GUT no item 5.2.4, o impacto no arco é de 20, classificando o grau de vulnerabilidade da interrupção definida como baixo. Ou seja, poderia ser considerada sua implementação pois vem a ser uma opção de solução para o problema de disposição inadequada de resíduos sólidos, fator agravante na gestão de RSU no município. É importante enfatizar que para esta avaliação da vulnerabilidade não foram levadas em consideração as larguras das vias alternativas, sendo este um critério que vem a depender do veículo disponibilizado para a coleta. No cenário analisado, a utilização da rota alternativa sugerida é viável.

Nesse sentido, a rota vem a ser uma solução para o problema em questão, a Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos, diante do diagnóstico do estado atual feito a partir do Sistema de Avaliação.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados mostram que, apesar das limitações, o uso de modelos empíricos relacionados ao SIG podem ser usados como uma ferramenta eficaz para avaliar a vulnerabilidade ambiental de uma região. A análise hierárquica de processos possibilitou a combinação por álgebra de mapas de suscetibilidade à erosão laminar e linear, de suscetibilidade às ações antrópicas e de suscetibilidade à inundação em um único mapa de vulnerabilidade ambiental. Sendo os julgamentos adotados considerados coerentes, a atribuição do maior peso ao mapa de suscetibilidade às ações antrópicas foi crucial na medição do impacto da urbanização, permitindo que a metodologia retratasse adequadamente a situação na Bacia do Alagado, tanto no Distrito Federal como em Goiás. A análise confirmou portanto que o estudo da vulnerabilidade ambiental é um método eficaz para auxiliar no planejamento territorial ambiental, podendo analisar as potencialidades e limitações do ambiente.

De posse da vulnerabilidade ambiental da Bacia, foi possível escolher um município em situação mais agravante para avançar com a análise da gestão de resíduos sólidos, sendo este um fator significativo na conservação do meio ambiente. A aplicação do Sistema de Avaliação de Gestão de RSU permitiu ter uma maior clareza da real situação que se encontra o Novo Gama, município vulnerável da área de estudo. Com um índice de gestão baixo, fica evidente a necessidade de amadurecimento e infraestrutura. A fundamentação de políticas, programas e projetos que promovam a redução, reutilização e reciclagem de resíduos, bem como a educação e sensibilização da população são essenciais para uma gestão proativa de resíduos sólidos, fundamental para garantir a sustentabilidade ambiental e a qualidade de vida das comunidades.

A análise da rede do município Novo Gama, em conclusão, demonstrou a importância do monitoramento da rede de coleta de resíduos sólidos no planejamento estratégico e na infraestrutura do município. Foi possível identificar os arcos críticos e avaliar o impacto gerado por eventual interrupção destes. Além disso, a comparação entre as situações antes e depois da interrupção permitiu avaliar a funcionalidade da coleta definida a partir dos critérios levantados e o impacto aos usuários.

Os resultados se mostraram valiosos para a tomada de decisão e otimização da rede. É importante destacar a necessidade de continuidade deste tipo de estudo para manter a eficiência e garantir a satisfação da população.

Para melhores resultados, uma avaliação econômica do processo de construção da rede de coleta de resíduos é necessária para determinar o custo e o benefício da implementação de uma coleta seletiva de resíduos. Assim, é possível identificar se de fato a coleta seletiva é viável financeiramente e se oferece retornos positivos a longo prazo, considerando tanto os benefícios financeiros quanto ambientais.

Finalmente, pode-se concluir que a gestão de resíduos sólidos deve acompanhar a evolução da ação antrópica, que foi evidente na construção deste trabalho. Foi observado o crescimento da área urbana, com consequente aumento da população, que influencia diretamente na geração de resíduos sólidos. A análise de vulnerabilidade ambiental, portanto se confirma como uma ferramenta eficaz no fornecimento de informações que auxiliam a tomada de decisões informadas sobre gestão ambiental e desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, Lucijane Monteiro de; GRANEMANN, Sérgio Ronaldo; GARTNER, Ivan; BERNADES, Ricardo Silveira (2000). **Escolha de um programa de controle da qualidade da água para consumo humano: aplicação do Método AHP**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 4, nº 2 (2000): 257-262.

ACERO, J.L.; RODRIGUEZ, E.; MERILUOTO, J. (2005). **Kinetics of reactions between chlorine and the cyanobacterial toxins microcystins.** *Water Research,* **39**(8), 1628-1638.

AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS, ENERGIA E SANEAMENTO BÁSICO DO DISTRITO FEDERAL. (2011). **Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal** - PGIRH. 2011.

ALMEIDA, W. S.; SOUZA, N. M.; CAMAPUM DE CARVALHO, J. (2012). **Produção de carta geotécnica preliminar da capacidade de infiltração de água no solo em uma área do entorno do reservatório da usina hidrelétrica de Corumbá IV (GO)**. In: CAMAPUM DE CARVALHO, J.; GITIRANA JUNIOR., G. de F. N.; CARVALHO, E. T. L. (Org.). **Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais.** 1ed. Brasília: Universidade de Brasília, v. 4, p. 581-606. 2012.

ALMEIDA, Wagner Santos de *et al.* (2017). **Capítulo 14: Vulnerabilidade e modelagem ambiental em bacias hidrográficas**. In: SALES, Maurício Martines *et al.* Erosão em borda de reservatório. Goiânia-GO: Gráfica UFG, 2017. v. 3, ISBN 978-85-495-0118-9.

ALVARES, Clayton Alcarde *et al*. **Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ANDRADE, Samira Pinho Bezerra de. (2020). **Escolha de áreas favoráveis para implantação de aterro sanitário em Planaltina-GO**. 2020.

ANDRADE, Samuel Lacerda de *et al.* (2014). **Elaboração de um mapa de risco de inundações da bacia hidrográfica do córrego São Pedro, área urbana de Uberlândia-MG**. Caderno de Geografia, Uberlândia, MG, v. 24, n. 41, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (2015). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil - 2015**. São Paulo, SP. 92 p. Disponível: <http://www.abrelpe.org.br/panorama_apresentacao.pdf>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10006: **Solubilização de Resíduos - Procedimento**. Rio de Janeiro-RJ, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10007: **Amostragem de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro-RJ, 2004. BAPTISTA, C. F. N.7

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR-10004. **Resíduos Sólidos: Coletânea de Normas.** Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS CATADORES E CATADORAS DE MATERIAIS RECICLÁVEIS (ANCAT), **Pragma Soluções Sustentáveis**: Anuário da Reciclagem. 2021. Disponível em: http://anuariodareciclagem.eco.br/interna.

BARROS, R.T.V. **Elementos de Gestão de Resíduos Sólidos**. 1. Belo Horizonte: Tessitura, 2012.

BERDICA, Katja; MATTSSON, **An introduction to road vulnerability: what has been done, is done and should be done." Transport policy** 9.2 (2002): 117-127.

BERDICA, Katja; MATTSSON, Lars-Göran. **Vulnerability: a model-based case study of the road network in Stockholm. Critical infrastructure: reliability and vulnerability**, p. 81-106, 2007.

BESEN, G.R; JACOBI, P.R. (2011). Manual técnico de pedologia. **Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade.** 2. ed. Estudos Avançados 25, nº 71. Rio de Janeiro. Jan-Abr 2011. p135-158.

BINDER, F V. (1994). **Sistemas de Apoio à Decisão**. São Paulo: Érica, 1994.

BORN, Viviane. (2013). **Avaliação da Aptidão de Áreas para a Instalação de Aterro Sanitário com o uso de Ferramentas de Apoio à Decisão por Múltiplos Critérios**. Monografia apresentada para a obtenção de título de Bacharel em Engenharia Ambiental (Centro Universitário Univates). 2013. 103p.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. Lei n° 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências, 2010.

BRASIL. Lei nº11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico**, 2007.

BRASIL. Ministério das Cidades (2013). **Plano Nacional de Saneamento Básico** (PLANSAB). Brasília, DF. 2013. 173p.

BRASIL. Portaria n.º 3916/MS/GM, de 30 de outubro de 1998. **Política nacional de medicamentos**. Diário oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 10 julho 1998.

BRASIL (2016). Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Secretária de Planejamento e Assuntos Econômicos. **Plano Plurianual de Investimentos** (PPA) 2012-2015: dados abertos. 2016.

CAMPAGNOLI F. (2002). **A aplicação do assoreamento na definição de geoindicadores ambientais em áreas urbanas**: exemplo na Bacia do Alto Tietê, SP. 2002. 195 p. Tese de Doutorado, Escola Politécnica - USP. São Paulo. 2002. 195p.

CARVALHO, Renei Rocha de. (2017). **Aplicação de Análise Multicritério em Ambiente**

de Geoprocessamento no Estudo de Áreas para Implantação de Aterros Sanitários. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos (UNB). Julho 2017.

CREPANI, Edison *et al.* (2001). **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: Inpe, 2001.

CUNHA FILHO, M. S. (2014). **Avaliação da Vulnerabilidade da Rede de Transporte Rodoviário de Carga no Brasil**. Dissertação de Mestrado em Transporte, Publicação: T.DM: 011A/2014, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 150p

DA SILVA, Maria Sonia Lopes. **Estudos da erosão**. EMBRAPA-CPATSA, 1995.

DE AQUINO, A.F; PALETTA, F.C; DE ALMEIDA, J.R. (2017). **Vulnerabilidade ambiental**. São Paulo: Blucher, 2017.

DINIZ, Mariana dos Santos. (2016). **Estudo da vulnerabilidade e modelagem ambiental para previsão de processos erosivos no entorno de reservatórios**: o estudo de caso do Ribeirão Sarandi – UHE Corumbá IV, GO. 2016. 84 f., il. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental) —Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

DURIGON, V. L. *et al.* (2014). **NDVI time series for monitoring RUSLE cover management factor in a tropical watershed**. International Journal of Remote Sensing, v. 35, n. 2, p. 441-453, 2014.

EASTMAN, R. J. **Decision support: decision strategy analysis.** Idrisi 32: Guide to GIS and image processing. Worcester: Clark Labs, Clark University 2, 2001

ENSSLIN, L; NETO, G.M; NORONHA, S.M. **Apoio à decisão**: metodologia para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas. Florianópolis: Insular, 2001.

FERRAZ, J. F. (2008). **Modelo para avaliação da gestão municipal integrada de resíduos sólidos urbanos.** Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Campinas, SP. 2008. 41p.

GHARFALKAR. (2015). **Mangesh *et al.* Analysis of waste hierarchy in the European waste directive 2008/98/EC**. *Waste management*, v. 39, p. 305-313, 2015.

IBGE (2010), **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico** 2008. Rio de Janeiro.

IBGE. (2013). **Manual Técnico de Uso da Terra**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Fonte: biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf

INPE. (2006). **Manuais - Tutorial de Geoprocessamento.** (I. N. Espaciais, Produtor). disponível em SPRING: http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_sen.html. Acesso em 01 de 11 de 2019.

KLAUS, O. L. (2014). **Potencial de aproveitamento de resíduos sólidos urbanos da mesorregião oeste do Paraná para geração de energia elétrica**. Dissertação Koeppen, W. “Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt.” Geographic Zeitschrift 6 (1990): 657-679.

LACERDA FILHO, J.V; REZENDE, A.; SILVA, A. (2000). **Geologia e recursos minerais do Estado de Goiás e do Distrito Federal**. 2000.

MARCHI, C. M. D. F. (2015). **Novas perspectivas na gestão do saneamento: apresentação de um modelo de destinação final de resíduos sólidos urbanos**. Revista Brasileira de Gestão Urbana, 7(1), 91-105. jan./abr. 15p.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. (2012). **Plano Nacional de Resíduos Sólidos** (Planares). Brasília, DF, 2012. 106p.

MOORE, I.; BURCH, G (1986). **Physical basis of the length-slope factor in the universal**

soil loss equation. In: Soil science society of America Journal. p- 1294-1298. 1986.

MORAES, I; FERREIRA, H; OLIVEIRA, A.S**.** (2010). **A utilização do SIG como ferramenta para indicação de áreas possíveis a implantação de aterro sanitário na região metropolitana de Belém - PA.** III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2010.

NAGASHIMA, L.A; JÚNIOR, C.B; ARAÚJO, C.C; SILVA, E.T; HOSHIKA, C. (2011). **Gestão** integrada **de resíduos sólidos urbanos – uma proposta para.** Acta Scientiarum Technology 33, nº 1. 2011. p39-47.

NOGUEIRA, Ismael Turíbio. (2021) **Avaliação de áreas de riscos ambientais causadas por processos erosivos na bacia hidrográfica do Ribeirão Mestre D'Armas como indicador ambiental do ordenamento territorial**. ix, 85 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental). 2021.

PIPICANO, E. F. (2014). **Análise da vulnerabilidade da rede de transporte de sistemas de operação exclusiva em corredores de ônibus – BRT com base na medida de centralidade**. Dissertação de Mestrado em Transportes, Publicação T.DM – 008A/2014, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 103p.

PORTO, Júnia de Oliveira. (2017) **Desenvolvimento de um sistema de avaliação da gestão integrada de resíduos sólidos urbanos**: aplicação à região sul da RIDE/DF e Entorno. 2017.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. (1994). **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados**. Revista do departamento de geografia. 1994. v. 8, p. 63-74.

ROSSOL, C. D., SCALON FILHO, H., BERTÉ, L. N., JANDREY, P. E., SCHWANTES, D., GONÇALVES JR, A. C. (2012). **Caracterização, classificação e destinação de resíduos da agricultura**. Scientia Agraria Paranaensis, 2012. 11(4), 33-43

SAATY, T. L. (1991). Método de Análise Hieráquica. São Paulo, 1991. Makron Books.

SAATY, T.L. (2009). **Decision making with the analytic hierarchy and network process** (AHP/ANP). In: Theory and applications of the analytic network process: decision making with benefits, opportunities, costs, and risks. 2ed. Pittsburgh, USA: RWS Publications, 2009. p.1-46.45p."

SALAZAR, Juan Pablo Catamuscay. (2015). **Determinação de cenários futuros de uso e cobertura do solo e sua influência na vulnerabilidade ambiental**: o caso do Município de Formosa–Goiás. 2015.

SÁNCHEZ, Luis Enrique. (2013). **Avaliação de Impacto Ambiental**: Conceitos e Métodos. 2ª. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

SANTOS, G. O. (2009). **Interfaces do lixo com o trabalho, a saúde e o ambiente**: Artigo de revisão. Revista Saúde e Ambiente, v. 10, n. 2, p. 26-35, 2009.

SCHALCH, V; LEITE, W.C.A; JÚNIOR, J.L.F; CASTRO, M.C.A.A. (2002). **Gestão e Gerenciamento de Residuos Sólidos.** Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos, 2002. p97.

SCHMIDT, A. M. A. (1995). **Processo de apoio à tomada de decisão - abordagens**: AHP E Macbeth. Dissertação (Mestrado) - UFSC, 1995.

SICHE, R.; AGOSTINHO, F.; ORTEGA, E.; ROMEIRO, A. (2007). **Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países**. Ambiente & Sociedade v.X. n.2, 2007, p.137-148. Campinas, SP.

SILVA FILHO, C.R.V.; SOLER, F.D. (2013). **Gestão de resíduos sólidos: o que diz a lei.** 2ª edição. Editora Trevisan. São Paulo, SP. 2013. 244p.

SILVA, Victor Alexsander Oliveira (2018). **Análise de alternativas para minimização de impactos no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos**: estudo de caso no Distrito

Federal. 2018.

TUCCI, Carlos EM; BERTONI, Juan Carlos (2003). **Inundações urbanas na América do Sul**. Ed. dos Autores, 2003.

VALLADARES, Gustavo Souza *et al.* (2012). **Modelo multicritério aditivo na geração de mapas de suscetibilidade à erosão em área rural**. Pesquisa agropecuária brasileira, v. 47, p. 1376-1383, 2012.