

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

**ESCOLHA DE ÁREAS FAVORÁVEIS PARA IMPLANTAÇÃO  
DE ATERRO SANITÁRIO EM PLANALTINA - GO**

**SAMIRA PINHO BEZERRA DE ANDRADE**

**ORIENTADOR: WAGNER SANTOS DE ALMEIDA**

**COORIENTADOR: FRANCISCO JAVIER C. PINEDA**

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA  
AMBIENTAL**

**BRASÍLIA/DF: DEZEMBRO/2020**

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

**ESCOLHA DE ÁREAS FAVORÁVEIS PARA IMPLANTAÇÃO**  
**DE ATERRO SANITÁRIO EM PLANALTINA - GO**

**SAMIRA PINHO BEZERRA DE ANDRADE**

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)**

---

**ELEUDO ESTEVES DE ARAÚJO SILVA JUNIOR, Dr (UNB)**  
**(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**RICARDO TEZINI MINOTI, Dr (UNB)**  
**(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: BRASÍLIA/DF, 08 de Dezembro de 2020.**

## FICHA CATALOGRÁFICA

ANDRADE, SAMIRA PINHO BEZERRA DE  
Escolha de Áreas Favoráveis para Implantação de Aterro Sanitário em Planaltina –  
(GO).

xi/i, 93 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2020)  
Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Aterro Sanitário

2. Vulnerabilidade Ambiental

3. Análise Multicritério

4. SIG

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ANDRADE, S. P. B. (2020). ESCOLHA DE ÁREAS FAVORÁVEIS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO EM PLANALTINA – (GO). Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 93 p.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Samira Pinho Bezerra de Andrade

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Escolha de Áreas Favoráveis para Implantação de Aterro Sanitário em Planaltina – (GO).

GRAU/ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2020

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.

---

Samira Pinho Bezerra de Andrade  
samirapinhob@gmail.com

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter sido e ser o meu sustento em todos os momentos com sua infinita misericórdia e amor, me fortalecendo, me guiando, me dando o equilíbrio necessário para superar as dificuldades, oportunizando esse momento ímpar em minha vida e me permitindo crescer cada vez mais. É e sempre será a minha maior prioridade, sem dúvidas, não chegaria aqui sem Ele.

À minha família, em especial aos meus pais Sandy e Maria do Socorro que em todo o tempo me apoiaram e ajudaram dando todo o suporte para que eu conseguisse e consiga alcançar meus objetivos; também ao meu marido Wallace, que sempre paciente me ajudou, me apoiou e contribuiu diretamente para que eu chegasse até aqui; e a minha irmã Sarah que com sua parceria me auxiliou em muitos momentos e dedicou esforços para que eu pudesse alcançar esse tão desejado sonho.

Ao meu orientador Wagner que com sua vasta experiência e grande conhecimento, me orientou a escolher os melhores caminhos e me deu as dicas necessárias para o sucesso de meu trabalho. Ao meu coorientador Francisco pois sua ajuda foi de grande valia, determinante para a realização deste trabalho de conclusão de curso.

Aos professores e colegas da UnB e da UFCG, foram sem dúvidas importantíssimos para a superação dos desafios, das provas, dos trabalhos, dos projetos. O companheirismo, a solicitude, elementos determinantes para amenizar a dor de todo o esforço empregado nesses anos de trabalho e dedicação para o alcance desse objetivo. Levarei para toda minha vida essa incrível experiência e sem dúvidas será motivo de saudade e muito orgulho.

## RESUMO

### ESCOLHA DE ÁREAS FAVORÁVEIS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO EM PLANALTINA – GO

A escolha de local favorável para implantação de um aterro sanitário que receba adequadamente os resíduos sólidos é tarefa de elevada complexidade, seja para um ou para um consórcio de municípios, em um processo que envolve a análise de diversos fatores físicos, antrópicos e indicadores socioeconômicos que necessitam ser ponderados. Neste trabalho de conclusão de curso de graduação em Engenharia Ambiental, foram utilizados algoritmos de geoprocessamento inseridos em um ambiente computacional de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para realização de uma análise multicritério, a AHP (*Analytic Hierarchy Process*), na identificação de áreas com aptidão para receber um aterro sanitário no município Planaltina – GO. A seleção do local do aterro obedeceu a uma hierarquia estrutural com diferentes critérios divididos em três categorias: ambiental, socioeconômico e fatores físicos. A importância relativa dos critérios foi determinada por uma comparação pareada pelo método AHP, na produção de mapas cartográficos da área estudada, um para aptidão na implantação de aterros sanitários e outro para a vulnerabilidade ambiental, esta com suas respectivas suscetibilidades a processos erosivos, à expansão antrópica e à inundação. A partir desses mapas foram consideradas as restrições estabelecidas pelas Normas Técnicas que resultaram na exclusão de 87% da área do município. Os resultados obtidos mostraram a existência de 31 locais possíveis na área de estudo com elevada adequação para recebimento de um futuro aterro sanitário, enquanto o mapa de vulnerabilidade ambiental apresentou um grau moderado em suas suscetibilidades, para essas possíveis áreas. Ambas as análises fornecem subsídios para escolha de locais favoráveis para implantação de aterro sanitário, ressaltando a necessidade de ensaios geotécnicos complementares *in loco* para a avaliação das condições reais desses possíveis locais apontados pela pesquisa em pauta. A metodologia proposta e aplicada neste trabalho para escolha de locais para a implantação de aterros sanitários pode ser replicada para outras áreas de interesse no País, o que proporcionará a minimização de possíveis medidas de mitigação e de segurança para população de seu entorno, com redução de riscos ambientais na operacionalização dos mesmos.

**Palavras chave:** Aterro sanitário, análise multicritério, SIG, AHP e vulnerabilidade ambiental.

# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	OBJETIVOS.....	3
2.1	OBJETIVO GERAL.....	3
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
2.3	HIPÓTESE .....	3
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1	SANEAMENTO BÁSICO .....	4
3.2	RESÍDUOS SÓLIDOS.....	6
3.2.1	Conceitos, Classificação e Gestão .....	6
3.2.2	Disposição Final dos Resíduos Sólidos .....	8
3.2.3	Caracterização do Aterro Sanitário .....	11
3.3	LEGISLAÇÃO APLICÁVEL AOS RESÍDUOS SÓLIDOS .....	13
3.4	IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS COM APTIDÃO PARA IMPLANTAR O ATERRO SANITÁRIO.....	15
3.4.1	Critérios legais, técnicos e ambientais na escolha de áreas para implantação de um aterro sanitário.....	15
3.4.2	Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e suas aplicações.....	19
3.4.3	Análise Hierárquica de Processos (AHP) aplicada ao SIG.....	22
3.5	VULNERABILIDADE AMBIENTAL.....	25
3.5.1	Suscetibilidade aos Processos Erosivos .....	27
3.5.2	Suscetibilidade a Inundação.....	29
3.5.3	Suscetibilidade a Ação Antrópica .....	29
4	ÁREA DE ESTUDO .....	30
4.1	LOCALIZAÇÃO.....	30
4.2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	31
4.2.1	Região de Desenvolvimento Integrado do Distrito Federal e Entorno	31
4.2.2	Aspectos Físicos.....	32
4.2.3	Breve contextualização da disposição final de RSU do município .....	36

5	METODOLOGIA.....	40
5.1	BANCO DE DADOS .....	41
5.2	MAPAS DE USO E COBERTURA DO SOLO .....	41
5.3	IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS ADEQUADAS PARA ATERROS SANITÁRIOS.....	44
5.3.1	Definição dos Critérios e Restrições para escolha das áreas .....	44
5.3.2	Padronização dos Critérios e Exclusão das Restrições .....	46
5.4	VULNERABILIDADE AMBIENTAL.....	48
5.4.1	Suscetibilidade aos Processos Erosivos .....	49
5.4.2	Suscetibilidade à Inundação.....	52
5.4.3	Suscetibilidade a Ações Antrópicas .....	53
5.5	<i>ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) E ÁLGEBRA DE MAPAS</i> 54	
5.6	EXCLUSÃO DE ÁREAS MENORES AS MÍNIMAS NECESSÁRIAS PARA O ATERRO.....	55
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	57
6.1	MAPA DE USO E COBERTURA DO SOLO .....	57
6.2	MAPA DE APTIDÃO PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO.....	59
6.3	VULNERABILIDADE AMBIENTAL.....	62
6.3.1	Mapa de Suscetibilidade a Erosão Laminar.....	62
6.3.2	Mapa de Suscetibilidade a Erosão Linear .....	63
6.3.3	Mapa de Suscetibilidade à Inundação.....	65
6.3.4	Mapa de Suscetibilidade a Ações Antrópicas .....	66
6.3.5	Mapa de Vulnerabilidade Ambiental .....	66
6.4	ÁREAS FAVORÁVEIS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO.....	68
7	CONCLUSÃO.....	73
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	75

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Disposição final de resíduos urbanos no Brasil por tipo de destinação (t/ano) em 2018.....	10
Figura 3.2 Esquema dos Planos de RS.....	14
Figura 3.3 Relação entre o Geoprocessamento e as Geotecnologias .....	20
Figura 4.1. Mapa de localização do município de Planaltina (GO). .....	30
Figura 4.2. Municípios do Goiás integrantes da RIDE/DF. ....	31
Figura 4.3 Mapa Hidrográfico das principais Sub-Bacias que integram o município de Planaltina – GO. ....	33
Figura 4.4 Mapas de geologia e pedologia da área de estudo. ....	34
Figura 4.5 Mapa de Localização da APA Planalto Central com foco em Planaltina – GO. ....	35
Figura 4.6 Vias de acesso de Planaltina - GO .....	35
Figura 4.7 e 4.8 Células do Aterro sem cobertura diária e chorume fora das lagoas de percolação.....	38
Figura 4.9 Localização do Aterro Sanitário Norte. ....	39
Figura 5.1. Metodologia utilizada.....	40
Figura 5.2. Etapas para elaboração do mapa de uso e cobertura do solo (Adaptado Almeida <i>et al</i> , 2012).....	42
Figura 5.3. Classes da cobertura e do uso da terra (adaptado). Fonte: (IBGE, 2013). .....	43
Figura 5.4. Fluxograma com as categorias para localização de locais para aterros sanitários. ....	44
Figura 5.5 <i>Layers</i> dos critérios utilizados.....	45
Figura 5.6. Critérios: (C1) Área Urbana; (C2) Vias Principais; (C3) Cursos D'água; (C4) APA Planalto Central; (C5) Uso e Cobertura do Solo; (C6) Declividade %; (C7) Pedologia e (C8) Geologia e Restrições.....	47
Figura 6.1 Mapas de Uso e Cobertura do solo. ....	57
Figura 6.2 Gráficos da evolução temporal do uso e cobertura do solo e representação em % para 2020. ....	58
Figura 6.3 Mapa de Aptidão Final para implantação do aterro sanitário. ....	61
Figura 6.4 Fatores da EUPS .....	62
Figura 6.5 Mapa de suscetibilidade a erosão laminar.....	63



Figura 6.6 Mapas de geopedologia e declividade classificados quanto ao grau de suscetibilidade a erosão. ....	64
Figura 6.7 Mapa de suscetibilidade a erosão linear.....	64
Figura 6.8 Mapa de suscetibilidade a inundação.....	65
Figura 6.9 Mapa de Suscetibilidade a ações antrópicas. ....	66
Figura 6.10 Mapa de Vulnerabilidade Ambiental .....	68
Figura 6.11 Gráfico dos métodos de projeção populacional para Planaltina – GO.....	69
Figura 6.12 Áreas de alta aptidão que possuem 50 hectares. ....	70
Figura 6.13 Mapa de comparação entre as áreas favoráveis e o grau de vulnerabilidade...	71

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 As principais fases do ciclo de vida de um aterro sanitário.....	13
Tabela 3.2 Categorias e critérios considerados. ....	16
Tabela 3.3. Escala básica proposta por Thomas Saaty (1977) para AHP. ....	24
Tabela 5.1. Banco de Dados utilizados para a realização do Estudo.....	41
Tabela 5.2 Lista de critérios, restrições, classes utilizadas e níveis de aptidão.....	46
Tabela 5.3 Classificação e valores de aptidão utilizados na AHP para o mapa de Vulnerabilidade Ambiental.....	48
Tabela 5.4 Estações Pluviométricas utilizadas. ....	49
Tabela 5.5 Valores de Erodibilidade do solo. Fonte: Costa (2014).....	50
Tabela 5.6 Valores do Fator P. Fonte: Costa (2014). ....	51
Tabela 5.7 Classificação das Unidades Pedológicas conforme o grau de suscetibilidade a erosão. Fonte: Macedo (2009).....	51
Tabela 5.8 Classificação das Unidades Geológicas conforme o grau de suscetibilidade a erosão. Fonte: Macedo (2009).....	52
Tabela 5.9 Cruzamento matricial considerando a vulnerabilidade das classes geopedológicas e declividade em % (Macedo,2009). ....	52
Tabela 5.10 Graus de vulnerabilidade referentes as classes do mapa de suscetibilidade a ações antrópicas.....	53
Tabela 6.1 Quantitativo das classes de uso e cobertura do solo em km <sup>2</sup> .....	57
Tabela 6.2 e 6.3 Matriz de julgamentos e matriz normalizada.....	59
Tabela 6.4 Tabela dos parâmetros calculados da AHP. ....	59
Tabela 6.5 Pesos finais dos critérios analisados pelo método AHP.....	60
Tabela 6.6 e 6.7 Matriz de julgamentos e matriz normalizada.....	67
Tabela 6.8 Tabela dos parâmetros calculados da AHP. ....	67
Tabela 6.9 Pesos calculados pelo método AHP. ....	67
Tabela 6.10 Calculo da geração de RSU para os próximos 20 anos. ....	69
Tabela 6.11 Calculo da área mínima necessária para o aterro sanitário.....	70

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 3.1 .....	28
Equação 5.1 .....	42
Equação 5.2 .....	49
Equação 5.3 .....	49
Equação 5.4 .....	50
Equação 5.5 .....	50
Equação 5.6 .....	50
Equação 5.7 .....	54
Equação 5.8 .....	54
Equação 5.9 .....	54
Equação 5.10 .....	55
Equação 5.11 .....	55
Equação 5.12 .....	56
Equação 5.13 .....	56

## LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
AIJ	Agregação Individual de Julgamentos
CLP	Combinação Linear Ponderada
CNM	Confederação Nacional de Municípios
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CORSAP	Consórcio de Manejo dos Resíduos Sólidos e das Águas Pluviais da Região Integrada do Distrito Federal e de Goiás
EIA/RIMA	Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental
GIRS	Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto de Pesquisas Espaciais
IPT/CEMPRE	Instituto de Pesquisas Tecnológicas/Compromisso Empresarial para Reciclagem
MINTER	Ministério de Estado do Interior
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.
RS	Resíduos Sólidos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
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

# 1 INTRODUÇÃO

A problemática sobre a geração dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e sua disposição final, vem crescendo gradativamente e ganhando cada vez mais espaço nas pesquisas e discussões técnicas relacionadas a área de saneamento. O crescimento populacional e as mudanças nos padrões de consumo são as principais causas na contribuição para o aumento da geração dos RSU e a disposição final destes resíduos constitui como um dos problemas mais sérios da atualidade, uma vez que está conectada de forma direta à qualidade ambiental e à saúde pública. Nesse contexto, países ainda em desenvolvimento e também subdesenvolvidos, apresentam situação mais crítica, porque neles ainda predominam formas inadequadas de disposição, como por exemplo lixões e aterros controlados (Islam, *et al.*, 2020).

Aterros controlados, segundo Nascimento (2001), seriam uma espécie de “lixões maquiados”, devido apresentarem de forma muito semelhante, os mesmos problemas dos lixões no que tange ao meio ambiente, como por exemplo a contaminação do solo, da água e também a poluição do ar. A prática de dispor de forma inadequada, provém de um passado onde não havia planejamento ambiental, que foi responsável por muitas áreas degradadas. As áreas degradadas, que em geral são abandonadas, tornam-se passivos ambientais para as gerações futuras e claro para a geração presente, seja decorrente da ignorância quanto a nocividade dos efeitos de substâncias químicas na saúde e também no ambiente ou seja por negligência propriamente dita (Rahmat, *et al.*, 2016).

A maneira correta para disposição dos resíduos sólidos urbanos está sendo feita em aterros sanitários, onde desde a construção até a operacionalização e encerramento, são usadas bases norteadas por meio de normas operacionais específicas e critérios de engenharia. Entretanto, no Brasil atualmente somente 39,8% dos municípios detêm a possibilidade de dispor seus resíduos em aterros sanitários, em contrapartida aos 28,9% que dispõem em lixões e os 31,3% que se utilizam de aterros controlados (ABRELPE, 2019).

A falta de locais adequados para aterros sanitários é um dos maiores desafios na maioria das zonas urbanas, o que torna encontrar um local adequado para o aterro sanitário uma etapa importante no processo de gestão de RSU. Etapa esta, que aliada aos crescentes números de critérios intensifica sua complexidade na tomada de decisões, mas também aumenta a probabilidade de sucesso dessa decisão. Para avaliar localizações adequadas de aterros, vários métodos e técnicas de SIG são identificados na literatura (Chang, *et al.*, 2008).

Ainda neste âmbito, a escolha de áreas para ordenação final de resíduos sólidos, é capaz de servir-se de modernas ferramentas computacionais, como por exemplo os algoritmos de geoprocessamento, por onde é possível observar a melhoria na qualidade dos resultados e a simplificação em todo o processo operacional. Buscando coletar, armazenar e processar dados geocodificados, o Geoprocessamento, no manejo da informação georreferenciada, se utiliza de diferentes técnicas, instrumentos, hardware e software (Born, 2013).

A vulnerabilidade ambiental é o resultado da integração de fatores que correspondem a dados como declividade, pedologia, uso do solo, dados esses que correspondem a maioria dos critérios técnicos exigidos pelas normas brasileiras para instalação de aterros sanitários (Ross, 2011). Em resumo, a integração de dados obtidos dos sistemas de informação geográfica e a utilização de ferramentas que agilizem essa integração compõem a avaliação de vulnerabilidade ambiental, permitindo ao pesquisador e observação do dinamismo destes sistemas e os reais riscos a que estes estão susceptíveis (Aquino, *et al.*, 2017).

De tal modo, caracterizadas pela aptidão em analisar complicados problemas, têm-se as ferramentas de apoio à decisão, que se baseiam em critérios aos quais conforme a teoria da decisão, representam um suporte mensurável e avaliável para uma decisão, constituindo assim um fator ou restrição, onde as variáveis são classificadas numa “pontuação” de aptidão que mantém a área primária de análise, não eliminando nenhuma porção (Lupatini, 2002).

Para superar esses desafios, muitos estudos de seleção de aterros têm usado Sistemas de Informação geográfica (SIG) e análises multicritério. O AHP (*Analytic Hierarchy Process*) é uma ferramenta de análise multicritério para a tomada de decisão, que pode ser usada para resolver problemas complexos e contraditórios (Saaty, 1991). O SIG pode facilmente armazenar, recuperar, processar e analisar grandes quantidades de dados em formato digital, espacial ou geográfico, e resumir suas informações em um mapa. O uso das ferramentas SIG e AHP tem a capacidade de gerenciar e processar uma grande quantidade de informações, resolvendo assim o complexo problema de impacto dos critérios definidos (Islam, *et al.*, 2020).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Este trabalho tem como objetivo geral a identificação de áreas favoráveis para implantação de aterro sanitário do Município de Planaltina, no Estado de Goiás, com a utilização de algoritmos de geoprocessamento existentes em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e análise multicritério.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Tendo em vista desenvolver e alcançar o objetivo geral estabelecido, foram definidos os seguintes objetivos específicos em relação à área de estudo:

- Utilizar critérios técnicos e legais a fim de identificar áreas favoráveis para a implantação de aterros sanitários em Planaltina – GO com utilização de análise multicritério;
- Verificar a vulnerabilidade ambiental da área de estudo, inclusive sua suscetibilidade aos processos erosivos laminares e lineares, às áreas de inundação e às ações antrópicas;
- Comparar as áreas identificadas como favoráveis com o grau de vulnerabilidade ambiental gerado;
- Avaliar se o Aterro Sanitário Norte, já instalado em Planaltina – GO, encontra-se em área apta ou inapta segundo os resultados alcançados.

### **2.3 HIPÓTESE**

A fim de cumprir os objetivos gerais e específicos estipulados, delimitou-se a seguinte hipótese:

- Identificação de áreas favoráveis para implantação de aterro sanitário em locais físicos que atendam aos critérios legais e técnicos mostrou-se viável a partir da utilização de SIG e análise multicritério.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 SANEAMENTO BÁSICO

Saneamento é definido como o conjunto de ações que objetiva conservar ou alterar as condições do meio ambiente com o intuito de precaver doenças e favorecer a saúde, melhorar a qualidade de vida da população e à produtividade do indivíduo e facilitar a atividade econômica. No Brasil, o saneamento básico é um direito assegurado pela Constituição e definido pela Lei Federal Nº 14.026/2020 que atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 11.445/2007, como o conjunto dos serviços, infraestrutura e instalações operacionais de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana, drenagem urbana, manejos de resíduos sólidos e de águas pluviais (Instituto Trata Brasil, 2012).

O Saneamento ambiental compreende aspectos que vão além do saneamento básico, englobando o abastecimento de água potável, a coleta, o tratamento e a disposição final dos esgotos e dos resíduos sólidos e gasosos, os demais serviços de limpeza urbana, a drenagem urbana, o controle ambiental de vetores e reservatórios de doenças, a disciplina da ocupação e de uso da terra e obras especializadas para proteção e melhoria das condições de vida (Kronemberger, *et al.*, 2011).

Embora seja comum se usar no Brasil o entendimento de Saneamento Básico como sendo os quatro serviços citados acima, o mais comum é que o saneamento seja visto como sendo os serviços de acesso à água potável, à coleta e ao tratamento dos esgotos. O Art. 3 da Lei nº 11.445/2007 descreve o Saneamento Básico da seguinte maneira:

- (...) conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de:
- a) abastecimento de água potável: constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e respectivos instrumentos de medição;
  - b) esgotamento sanitário: constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente;
  - c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino final do lixo doméstico e do lixo originário da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas;
  - d) drenagem e manejo das águas pluviais urbanas: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas; (BRASIL, 2007).



Em 1967 o Decreto Federal nº 248, uma das primeiras diretrizes no Brasil que instituiu normas sobre o saneamento básico, assentia apenas os serviços de água e esgotamento sanitário como saneamento básico, enquanto os serviços de drenagem urbana e de manejo de resíduos sólidos urbanos (RSU) foram ignorados (BRASIL, 1967). Quando comparadas as frentes de abastecimento de água e o esgotamento sanitário, é justificável considerar e perceber que o manejo de resíduos sólidos ocuparam um posicionamento secundário em relação ao saneamento (Nagashima, *et al.*, 2011).

Pode-se afirmar que a limpeza urbana é o conjunto de atividades de coletas domiciliares de lixo, coleta de material reciclável, resíduos especiais, como por exemplo o resíduo hospitalar. Do mesmo modo, recolhendo os resíduos de origem pública, que são descartes de lixo inadequado e ainda de capina pública e varrição. A manutenção e pintura de meios-fios, roçadas, manutenção em taludes e beira de estradas, a higienização de monumentos e logradouros públicos e limpeza de praias, além da manutenção dos sanitários públicos da cidade também estão incluídos (Furstenau & Fofonka, 2012).

Historicamente, o investimento em saneamento aconteceu de modo pontual no Brasil, sendo predominantemente realizado pelo setor público. Além disso, soma-se o fato de que a ausência de uma definição clara das responsabilidades peculiares à União, Estados, Distrito Federal e Municípios tornou difusa a aplicação dos recursos em saneamento, não respeitando uma visão de planejamento global dos investimentos. O setor também foi marcado pela baixa capacidade de endividamento das organizações estatais e a pequena participação do setor privado (Leoneti, *et al.*, 2011).

De acordo com a ABRELPE (2019), relacionado aos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, o Brasil manteve uma cobertura um pouco acima de 90% de abrangência de coleta de RSU. Contudo, os índices de disposição final ambientalmente adequada ainda são baixos, de forma que 40,9% da geração de RSU, ainda são dispostos em lixões ou aterros controlados. A disposição inadequada de RSU pode gerar custos sociais e custos privados. No Brasil, alagamentos causados pela conjunção mudanças climáticas/disposição inadequada de resíduos que afetam tanto consumidores quanto empresas, quando os danos em infraestrutura são capazes de comprometer o escoamento (Vital, *et al.*, 2014).

O plano de saneamento básico é a ferramenta fundamental da política pública de saneamento e obrigatório para a contratação ou concessão desses serviços. A política e o plano devem ser elaborados pelos municípios individualmente ou organizados em consórcio, e essa responsabilidade não pode ser delegada. O compromisso coletivo da sociedade em

relação à forma de construir o saneamento deve ser expresso no documento. Deve-se então, partir da análise da realidade e traçar os objetivos e estratégias para transformá-la positivamente e, assim, atingir as metas traçadas (Instituto Trata Brasil, 2012).

## **3.2 RESÍDUOS SÓLIDOS**

### **3.2.1 Conceitos, Classificação e Gestão**

A definição de Resíduos Sólidos (RS) é esclarecida pela norma técnica NBR 10.004 da ABNT (2004) como resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Abrangendo os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, os gerados em controle de poluição, além de líquidos que exijam, em face à melhor tecnologia disponível, soluções de tratamento técnica e economicamente inviáveis.

No âmbito da Lei N° 12.305 de 2010, a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) acresce na definição de RS, os gases contidos em recipientes (BRASIL, 2010). Essa definição torna notório o enredamento e a variedade que tange o assunto de RS. Assim, a referida Lei classifica em seu artigo 13 os RS quanto a sua origem e periculosidade da seguinte maneira:

Art. 13. Para os efeitos desta Lei, os resíduos sólidos têm a seguinte classificação:

I - Quanto à origem:

- a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas “a” e “b”;
- d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;
- e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”;
- f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
- h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- i) resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;

II - Quanto à periculosidade:

- a) resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;
- b) resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados na alínea “a”. (BRASIL, 2010).

Entre outras classificações e definições a PNRS conceitua o termo rejeito como os resíduos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada. A norma técnica NBR 10.004 (ABNT, 2004) classifica os resíduos sólidos quanto aos seus potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente.

Portanto, entende-se que a PNRS define resíduo sólido como todo o material, bem, substância ou objeto descartado (sólido ou não) resultante de atividades humanas. E que, se qualifica como rejeito, somente quando esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação, não apresentando outra alternativa senão a disposição final ambientalmente adequada, tendo em vista o fim dos lixões no Brasil.

Desde a origem do ser humano os resíduos sólidos são produzidos, contudo, com as consequências da Revolução Industrial obteve-se um aumento quantitativo e alterações quanto as suas características. Aliado ao contínuo crescimento populacional e ao consumismo de larga escala, essa referida produção continuou impulsionada, refreada apenas, pela capacidade de degradação da natureza que é limitada (Albertin, *et al.*, 2010).

É sabida a grande preocupação dos diversos âmbitos e esferas da sociedade quanto a constante geração de RS e que esse fato acarreta um envolvimento para constituir um ciclo de produção-disposição final apropriado. Assim, somente mediante fundamentação técnica e científica as soluções políticas para seu correto descarte podem ser estabelecidas (Dalmas, *et al.*, 2011). Fato que torna indispensável uma boa gestão e um gerenciamento adequado quando se trata desse assunto.

Segundo Schalch *et al.* (2002), o conceito de gestão de resíduos sólidos abrange atividades referentes à tomada de decisões estratégicas e à organização do setor para esse fim, envolvendo instituições, políticas, instrumentos e meios. Já o termo gerenciamento de resíduos sólidos refere-se aos aspectos tecnológicos e operacionais da questão, envolvendo fatores administrativos, gerenciais, econômicos, ambientais e de desempenho: produtividade e qualidade, por exemplo, e relaciona-se à prevenção, redução, segregação, reutilização,

acondicionamento, coleta, transporte, tratamento, recuperação de energia e destinação final de resíduos sólidos.

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 preconiza a PNRS, 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).

### **3.2.2 Disposição Final dos Resíduos Sólidos**

Para melhor compreensão do assunto, é necessário, primeiramente, considerar o entendimento jurídico dos seguintes termos. Elencados nos incisos VII e VIII, do art. 3º, da Lei 12.305/2010, onde a norma preceitua o seguinte:

Art. 3º. Para os efeitos desta Lei, entende-se por:

(...)

VII - destinação final ambientalmente adequada: destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e do Suasa, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos;

VIII - disposição final ambientalmente adequada: distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

(BRASIL, 2010)

Assim, 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.

Desta forma, é atribuição da esfera pública a limpeza urbana e o manejo dos resíduos sólidos, sob a responsabilidade dos municípios. Porém, a realidade brasileira é outra e preocupante, particularmente em zonas urbanas onde as opções para a destinação final de rejeitos tornam-se cada vez mais difíceis, contribuindo para descarregamentos ilícitos para todo tipo de categoria de resíduos. 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 Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008 realizada pelo IBGE, considerou como unidades de destinação final: aterros controlados, aterros sanitários, unidades de compostagem, unidades de tratamento por incineração, unidades de triagem para reciclagem, vazadouros a céu aberto, vazadouros em áreas alagáveis, entre outras unidades de destinação. Os aterros sanitários, os aterros controlados e os lixões são utilizados no Brasil para a disposição final de RSU. A relação custo-benefício na escolha do tipo de depósito de lixo para os municípios envolve dois componentes com alto potencial poluidor, o lixiviado e o biogás (Mendonça, *et al.*, 2017). O procedimento de disposição dos resíduos sólidos exige estudos e ações que se embasem na correta disposição final em aterros sanitários (Dalmas, *et al.*, 2011).

A ausência ou a inconformidade do sistema de gerenciamento de resíduos termina sendo um reflexo de alguns fatores, tais como a baixa capacidade orçamentária municipal, insuficiência de pessoal especializado, falha das instituições relacionadas as questões municipais e também a distância da população quanto aos problemas ambientais devido a carência de conscientização, resultando na formas incorretas de destinação final (Barros, 2012).

Apesar de anos após o estabelecimento da PNRS com o intuito de encerramento de lixões, ainda é uma realidade a existência desse tipo de disposição. O lixão, ou também comumente chamado de vazadouro a céu aberto, é uma forma inadequada de disposição final de resíduos sólidos, que se caracteriza pela simples descarga do lixo sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública (IPT, 2018). Não existe nenhum controle quanto aos tipos de resíduos depositados e quanto ao local de disposição dos mesmos. Pode haver outros problemas associados, como vetores de veiculação de doenças, a presença de catadores, além de riscos inerentes às características do local.

Já o aterro controlado, de acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, é uma área empregada para a descarga dos RSUs, em que os resíduos são posteriormente cobertos com uma camada de terra, de maneira a evitar danos à saúde pública e minimizar os impactos ambientais, porém sem a devida impermeabilização do solo e ausência de sistemas de captação para percolado e biogás (IBGE, 2010). A condição de um aterro controlado precisa ser tida como provisória, pois pode poluir o ar, águas superficiais e subterrâneas (BRASIL, 2010).

De acordo com Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil realizado pela ABRELPE (2019), apenas 92% dos 79 milhões de toneladas de RSU gerados no Brasil em 2018 foram coletados. Desses resíduos coletados, apenas 59,5% receberam destinação adequada nos aterros sanitários, enquanto cerca de 17,5% ainda vai para lixões como disposição final e 23 % ainda é destinado para aterros controlados. Os dados mostram a disposição final de RSU coletados no Brasil (toneladas/dia), por tipo de destinação, conforme mostra a Figura 3.1.

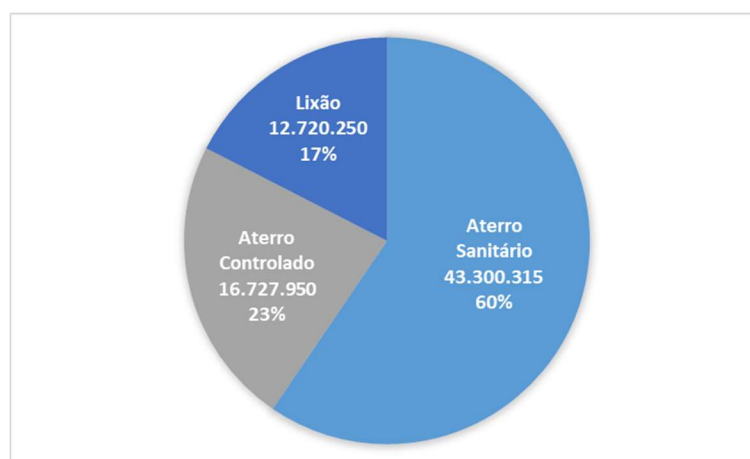


Figura 3.1 Disposição final de resíduos urbanos no Brasil por tipo de destinação (t/ano) em 2018.

Fonte: (ABRELPE, 2019)

Nessa perspectiva, a procura de escolhas tecnológicas de disposição final apropriadas que atendam as demandas e esferas ambiental, sociocultural, política e econômica é algo a ser priorizado. Assim, adequam-se para essas condições os aterros sanitários, aceitos atualmente como preferência técnica para a disposição final dos resíduos, atendendo também aos princípios e objetivos da PNRS.

O conteúdo técnico para aterro sanitário é apresentado pela NBR 8.419 (ABNT, 1992) como uma obra de engenharia que tem como finalidade dispor no solo resíduos na menor área possível, reduzindo ao máximo os impactos ao meio ambiente e sem causar danos à saúde pública e à segurança. Esse procedimento compreende-se sobretudo na

compactação dos resíduos no solo em forma de células, e envolve a impermeabilização do solo por meio de geossintéticos para evitar a propagação do chorume, a compactação e cobertura diária das células, a coleta e o tratamento de gases e do chorume, como as principais técnicas sanitárias responsáveis por evitar os aspectos negativos da disposição final dos rejeitos (Portella & Ribeiro, 2014).

Entretanto, apesar de ser uma opção legalmente elencada, os aterros sanitários apresentam algumas desvantagens, como a geração de odores característicos, a possibilidade de riscos aos trabalhadores, a necessidade de grandes áreas para o empreendimento e ainda a possibilidade de resistência por parte da população circunvizinha, a expressão internacional conhecida como “*Not in My Back Yard*” (NINBY), que significa, “*Não no Meu Quintal*” (Silva, 2018).

É importante salientar que a disposição final dos rejeitos é necessária e devida, mesmo ocorrendo o tratamento dos RSU, ressaltando que essas etapas integram o processo como um todo e por isso não são excludentes, visto que devem ser conduzidos para a disposição final, nesse caso o aterramento, os rejeitos pós sistema de tratamento, de reciclagem e de reaproveitamento, somente após esgotadas essas possibilidades (BRASIL, 2010).

Portella (2014) afirma que a destinação para o aterro sanitário precisa ser associado à coleta seletiva de lixo para reciclagem, o que permite que sua vida útil seja dilatada, além do aspecto altamente positivo de se implantar uma Educação Ambiental, desenvolvendo coletivamente uma consciência ecológica da comunidade. Segundo Barros (2012), é de responsabilidade do setor público o incentivo, o desenvolvimento e a difusão de ações em busca de alternativas para redução, reciclagem e reaproveitamento de RS junto às fontes geradoras, reavaliando as possibilidades, promovendo a diminuição de volumes e garantindo o tratamento antes da disposição final, de modo que sejam aterrados apenas os rejeitos.

### **3.2.3 Caracterização do Aterro Sanitário**

Segundo a NBR 13.896 (ABNT, 1997), a avaliação da adequabilidade de um local a ser utilizado para implantação de um aterro sanitário deve ser tal que os impactos ambientais gerados na sua implantação e operação sejam mínimos. Diante dessa informação e com a finalidade de apresentar algumas informações e termos pertinentes ao assunto, são retratados de maneira básica os seguintes elementos de um aterro sanitário:

**a) Unidades operacionais:**

- Células de lixo domiciliar: é constituída pelos resíduos aterrados e a camada de cobertura;
- Células de lixo hospitalar (caso o Município não disponha de processo mais efetivo para dar destino final a esse tipo de lixo);
- Impermeabilização de fundo (obrigatória) e superior (opcional);
- Camada de cobertura e cobertura final: compõe-se de material inerte formando as células;
- Sistema de coleta e tratamento dos líquidos percolados (chorume): destina-se ao a coleta do chorume e ao encaminhamento para o tratamento adequado do lixiviado;
- Sistema de coleta e queima (ou beneficiamento) do biogás: construído para coletar os gases produzidos no aterro, resultantes dos processos de decomposição da matéria orgânica, além de garantir a queima ou o aproveitamento para geração de energia;
- Sistema de drenagem e afastamento das águas pluviais: garante o escoamento superficial de toda a extensão do aterro;
- Sistemas de monitoramento ambiental, topográfico e geotécnico: o monitoramento visa garantir se o aterro está cumprindo as exigências técnicas e ambientais. É importante em todas as fases do empreendimento;
- Pátio de estocagem de materiais: parte da infraestrutura necessária para o desenvolvimento das atividades operacionais.

**b) Unidades de apoio:**

- Cerca e barreira vegetal;
- Estradas de acesso e de serviço;
- Balança rodoviária e sistema de controle de resíduos;
- Guarita de entrada e prédio administrativo;
- Oficina e borracharia.

Segundo a NBR 13.896 (1997) um aterro sanitário deve possuir um ciclo de vida útil de no mínimo 10 anos. O entendimento das múltiplas fases do ciclo de vida fornece uma melhor percepção dos diferentes aspectos relacionados a esse tipo empreendimento (Stegmann, 1989). As fases centrais que compõe o ciclo de vida de um aterro sanitário são descritas na Tabela 3.1:



Tabela 3.1 As principais fases do ciclo de vida de um aterro sanitário.

<b>FASE</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
<b>Planejamento</b>	Elenca os estudos e investigações preliminares necessárias para o desenvolvimento do projeto. Águas subterrâneas, qualidade do ar, zona insaturada, gerenciamento dos lixiviados, monitoramento ambiental, coleta, tratamento, operações, pesagem, inspeção, projeto, camada final de cobertura, drenagem do escoamento superficial, coleta de gases, sistema de impermeabilização, controle do escoamento superficial, manutenção da paisagem e cobertura, conclusão do aterro sanitário, gerenciamento dos gases, possibilidade de conversão em eletricidade, queima entre outras aplicações.
<b>Construção</b>	Etapas dos trabalhos pertinentes a movimentação de solo, constituição de acessos e instalações e preparo de drenos e impermeabilizações da área a ser preenchida com resíduos.
<b>Operação</b>	Compreende o período entre o aterramento da primeira carga de resíduos até o aterramento da última carga anos depois. Esta fase é caracterizada pela maior intensidade de tráfego, pelos trabalhos nas frentes de aterramento e operação das instalações de controle ambiental.
<b>Conclusão</b>	Referente ao período de tempo entre o esgotamento da capacidade volumétrica do local até o dia em que as instalações de controle ambiental não forem mais necessárias em virtude do decaimento do nível das emissões do aterro.
<b>Armazenamento Final</b>	Corresponde ao estágio em que as emissões decaíram a níveis aceitáveis (na mesma ordem de magnitude dos fluxos encontrados no entorno do aterro). A composição da área aterrada pode ainda diferenciar da composição do ambiente vizinho, entretanto a área não causa impactos sobre o mesmo. Neste estágio, a exemplo de outros locais, a área pode não ser adequada a todos os tipos de uso, entretanto já pode ser utilizada para diversos fins.

### 3.3 LEGISLAÇÃO APLICÁVEL AOS RESÍDUOS SÓLIDOS

A partir da década de 1970 a jurisprudência nacional passou a desempenhar funções como instrumentos para a contribuição na dinâmica relacional entre a comunidade e o meio ambiente, requerendo a execução de modelos e condutas socioambientais adequadas e regulares que fortaleçam o desenvolvimento de culturas e sociedades sustentáveis.

A Constituição Federal, promulgada em 1988, estabelece em seu artigo 23, inciso VI, que “compete à União, aos Estados, ao Distrito Federal e aos Municípios proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer das suas formas”. No artigo 24, estabelece a competência da União, dos Estados e do Distrito Federal em legislar concorrentemente sobre “(...) proteção do meio ambiente e controle da poluição” (inciso VI) e, no artigo 30, incisos I e II, afirma que cabe ao poder público municipal “legislar sobre os assuntos de interesse local e suplementar a legislação federal e a estadual no que couber” (BRASIL, 1988).

Na atualidade, além da Constituição Federal, o Brasil já possui uma legislação ampla (leis, decretos, portarias, etc.) que, por si só, não tem atingido o problema do gerenciamento

integrado de resíduos sólidos. A falta de diretrizes claras, de inter-relação entre as fases que compõem o sistema de gerenciamento e de integração dos diversos órgãos envolvidos com a elaboração e aplicação das leis possibilitam a existência de algumas lacunas e ambiguidades, dificultando o seu cumprimento.

Conforme citado anteriormente, o regulamento brasileiro que trata sobre os RS é a Lei 12.305 de 2010, a PNRS. Esta lei trata com relação aos princípios, objetivos e instrumentos, assim como também as diretrizes referentes à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, compreendendo, inclusive, uma classificação para os resíduos quanto a sua origem e periculosidade. Também, estabelece e decreta as atribuições ao Poder Público, ao Setor Empresarial, a Coletividade, e os instrumentos econômicos cabíveis.

Integra a Política Nacional de Resíduos Sólidos, a Política Nacional do Meio Ambiente e articula-se com a Política Nacional de Educação Ambiental, regulada pela Lei nº 9.795 (2000), com a Política Federal de Saneamento Básico, regulada pela Lei Federal nº 14.026 (2020), e com a Lei nº 11.107 (2005). As regras em relação aos resíduos sólidos devem ser observadas tanto pelas pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, responsáveis, direta ou indiretamente, pela geração de resíduos sólidos e as que desenvolvam ações relacionadas à gestão integrada ou ao gerenciamento de resíduos sólidos.

Os Governos Federal, estaduais e municipais são responsáveis 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 3.2.



Figura 3.2 Esquema dos Planos de RS.

Fonte: (BRASIL, 2010)

### **3.4 IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS COM APTIDÃO PARA IMPLANTAR O ATERRO SANITÁRIO**

#### **3.4.1 Critérios legais, técnicos e ambientais na escolha de áreas para implantação de um aterro sanitário**

Além de atender as necessidades dos municípios de atender a legislação, a seleção de áreas para implantação de um aterro sanitário deve levar em consideração outros fatores, tais como os critérios técnicos das normas, como a NBR 13.896, e as legislações das três instâncias governamentais, planos diretores dos municípios envolvidos, fatores políticos e sociais envolvidos. Também, os fatores econômicos não podem ser deixados em segundo plano, uma vez que é necessário investimento e ocorre a dependência dos recursos municipais que serão usados. Portanto, a escolha dos critérios é rigorosa, exigindo uma cautelosa priorização dos mesmos.

Em seu Art. 23 e inciso VI, a Constituição Federal (1988), estabelece ser de responsabilidade comum da União, dos Estados e Municípios, a proteção do ambiente e o combate à poluição em qualquer de suas formas. Já no Art.30, define que é competência municipal organizar e prestar, diretamente ou sob forma de concessão ou permissão, os serviços públicos de interesse local, o que engloba o manejo dos RSU.

Como critério legal, por exemplo, baseado no Art.19 e inciso II da PNRS o qual esclarece:

Art. 19. O plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos tem o seguinte conteúdo mínimo:

II - Identificação de áreas favoráveis para disposição final ambientalmente adequada de rejeitos, observado o plano diretor de que trata o § 1º do art. 182 da Constituição Federal e o zoneamento ambiental, se houver; (BRASIL, 2010).

A NBR 13.896 (ABNT, 1997), determina os parâmetros mínimos para o projeto, instalação e operação de aterros sanitários no âmbito federal. A nível estadual, o Governo do Estado do Goiás possui a Instrução Normativa (IN) nº 011 (GOIÁS, 2013) que dispõe sobre os procedimentos de Licenciamento Ambiental dos projetos de disposição final dos resíduos sólidos urbanos, na modalidade Aterro Sanitário, nos municípios do Estado de Goiás.

Quanto aos aspectos técnicos, permitem principalmente a identificação de informações físicas da área, o que elenca a necessidade de alguns estudos a serem realizados na região a ser escolhida para a análise de áreas adequadas, que vão desde levantamentos de

dados ambientais, passando pelos estudos de viabilização das áreas mais adequadas até a elaboração do projeto e dos planos de execução do aterro (Carvalho, 2017).

É importante realizar, para estudos nesta área temática, um levantamento do gerenciamento dos resíduos sólidos existente na área analisada, englobando todas as etapas que vão da geração até a destinação final, a fim de se obter um diagnóstico da gestão. Para isso, é fundamental a realização de levantamento de dados qualitativo e quantitativo sobre as atividades de gestão, para o adequado planejamento de melhorias no sistema. É indispensável, também, as informações sobre a geração per capita de resíduos sólidos domésticos, composição gravimétrica dos resíduos, serviços públicos de limpeza executados e informações sobre o crescimento populacional (Barros, 2012).

Por sua vez, os critérios ambientais, deveriam ser considerados como fundamentais na gestão municipal, pois abrangem, em primeiro plano, preocupações relacionadas ao desempenho ambiental do empreendimento, especialmente quanto aos impactos ambientais potenciais (meios físico, biológico e antrópico) relacionados, considerando-se o risco associado às suas diferentes fases (implementação, operação e desativação), sobretudo pela possibilidade de falhas nas medidas de proteção adotadas (Montano, *et al.*, 2012).

Montano *et al.*, (2012) concluiu que “os estudos para localização de aterros sanitários têm se concentrado essencialmente em aspectos técnicos, quando comparados aos demais fatores (sociais e ambientais) que compõem o quadro decisório”. Por conseguinte, visando atender, no mínimo, aos critérios técnicos impostos pelas normas da ABNT (NBR 13.896) todos os condicionantes e restrições relativos às normas da ABNT, assim como os aspectos da legislação atualmente em vigor, estão considerados e classificados em três categorias: socioeconômicos, ambientais e físicos, conforme apresenta a Tabela 3.2.

Tabela 3.2 Categorias e critérios considerados.

<b>Categoria</b>	<b>Crítérios</b>
<b>Socioeconômico</b>	Distância de Áreas Urbanas
	Distância das Vias Principais
	Distância dos cursos D'água
<b>Ambiental</b>	Distância de Unidades de Conservação
	Distância de Aeródromos
<b>Físico</b>	Uso e Ocupação do Solo
	Declividade
	Pedologia
	Geologia

#### 3.4.1.1 Critérios Socioeconômicos

A NBR 13.896 (1997) recomenda o distanciamento mínimo de 500 metros das zonas urbanas e centros populacionais, essa indicação está fundamentada nos possíveis impactos as comunidades. Os aterros sanitários devem estar localizados a uma distância significativa de áreas urbanas e áreas de assentamento rural para reduzir o impacto ambiental relacionado às questões como água, ar e contaminação visual, insetos e vermes, queimadas, e barulho (Islam, *et al.*, 2020).

Outro fator importante desse critério é a distância que a zona urbana representa como centro produtor de resíduos, por isso, distâncias acima de 15 km entre um polo gerador de resíduos e o aterro, tornam os custos de operação elevados. Esses aspectos refletem além da viabilidade econômica da implantação do empreendimento, a preocupação em mitigar os impactos as populações vizinhas. Pois, o odor, poeira e ruído, gerado pela proximidade de locais de aterramento com centros urbanos podem causar impactos na população e a paisagem (Tchobanoglous, *et al.*, 1993).

O acesso a estradas e ligações de transporte é fundamental para reduzir os custos de transporte. Portanto, a proximidade de estradas e ligações de transporte torna-se um fator econômico na localização de aterros. Dessa forma, além de reduzir o custo de entrega e transporte de RSU, também são evitados os custos adicionais de construção de novas estradas. Assim, a norma também reforça que os acessos consistem em fator de evidente importância, uma vez que são utilizados durante toda a sua operação (ABNT, 1997).

#### 3.4.1.2 Critérios Ambientais

Uma vez que o impacto ambiental a ser causado pela instalação do aterro deve ser minimizado, as distâncias dos cursos de água são levadas em consideração. A NBR 13.896 estabelece que “o aterro deve ser localizado a uma distância mínima de 200 m de qualquer coleção hídrica ou curso de água”. Pois a proximidade de um local de aterro para uma fonte de água superficial é assumida ser uma desvantagem porque as atividades de aterro têm o potencial de alterar a quantidade e qualidade de água superficial nas áreas circundantes, através do lixiviado movimento e erosão de resíduos (Islam, *et al.*, 2020).

As Unidades de Conservação (UCs) são espaços territoriais que possuem restrições quanto ao uso. Com isso, essas áreas se tornam inviáveis para a implantação de aterros sanitários conforme estabelecido por Lei Federal (BRASIL, 2000). Em seu Art. 25, a Lei

dispõe que “As unidades de conservação, exceto Área de Proteção Ambiental e Reserva Particular do Patrimônio Natural, devem possuir uma zona de amortecimento”. Além disso, um Estudo de Impacto Ambiental (EIA) é necessário e os padrões ambientais adequados devem ser preservados em todos aspectos da construção e manutenção do aterro próximos a esses locais considerados como áreas sensíveis pela NBR 13.896.

Regulamentada pela Resolução CONAMA nº 4/95, a distância de aeródromos deve ser considerada. São consideradas “Área de Segurança Aeroportuária - ASA” as áreas abrangidas por um determinado raio a partir do “centro geométrico do aeródromo”, por isso, um raio mínimo de 13 km é determinado, visando evitar acidentes ou colisões entre aeronaves e pássaros. Uma vez que o aterro sanitário pode atrair aves ou outros tipos de animais a procura de alimentos (Lourenço, *et al.*, 2015).

#### 3.4.1.3 Critérios Físicos

Tais critérios são importantes na determinação da capacidade de depuração do solo e da velocidade de infiltração (ABNT, 1997). O solo deve apresentar coeficiente de permeabilidade suficientemente baixo para garantir um movimento prolongado de lixiviado do local os aquíferos de águas subterrâneas. Mesmo se construído em um solo de baixa permeabilidade, é apropriado (e exigido de acordo com a NBR 8.419) que o aterro deve possuir camada impermeável para coletar o lixiviado periodicamente.

Assim, áreas com baixa permeabilidade, como argila devem ser preferidas, tornando a pedologia um critério de suma importância. A geologia, por sua vez, deve ser considerada, pois um aterro sanitário construído sobre uma formação de camada permeável, como cascalho, areia ou rocha fraturada pode ser uma séria ameaça à qualidade da água subterrânea. Considera-se desejável a existência, no local, de um depósito natural extenso e homogêneo de materiais com coeficiente de permeabilidade inferior a  $10^{-6}$  cm/s e uma zona não saturada com espessura superior a 3,0 m (ABNT, 1997).

A topografia influencia processos significativos da paisagem, como o solo, qualidade da água, a potencialidade de erosão, taxas de escoamento, entre outros, sendo importante para definir a melhor área para instalação de um aterro. De tal modo, a declividade do terreno deve ser levada em consideração, onde recomendam-se locais com declividade superior a 1% e inferior a 30% (ABNT, 1997). Pois, a área escolhida deve ter um relevo suave, de modo a minimizar a erosão do solo e reduzir os gastos com a limpeza e manutenção dos componentes do sistema de drenagem.

O uso e cobertura do solo, refletem diretamente nas exigências da norma, onde as áreas têm que se localizar numa região onde o uso do solo seja preferencialmente de uso rural (agrícola). O Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos considera que “Se o terreno não for de propriedade da prefeitura, deverá estar, preferencialmente, em área rural, uma vez que o seu custo de aquisição será menor do que o de terrenos situados em áreas industriais”.

### **3.4.2 Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e suas aplicações**

As Geotecnologias empregadas para estudos ambientais consistem num importante grupo de instrumentos que auxiliam distintas demandas do planejamento e da gestão territorial. A capacidade de análise espacial de ambientes urbanos permite um bom conhecimento do uso do solo e proporciona uma maior capacidade de avaliar, planejar e gerenciar a dinâmica dos municípios. Dessa maneira, as geotecnologias mostraram-se ao 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).

Contextualizando o termo Geoprocessamento em geo (terra, superfície, espaço) e processamento (de informações), pode-se definir como o tratamento das informações geográficas, ou de dados georreferenciados, por meio de softwares específicos, normalmente SIG, e cálculos. Ou, ainda, o conjunto de técnicas relacionadas ao tratamento da informação espacial. Este conjunto de atribuições deve fornecer a manipulação, avaliação e geração de produtos (geralmente cartográficos), relacionados à localização de informações sobre a superfície da terra (Piroli, 2010).

O Geoprocessamento é um ramo da área do conhecimento denominada oficialmente de Geomática. Ele engloba o total conjunto de técnicas (ou tecnologias) ligadas à informação espacial, quer seja no tocante a coleta, tratamento e análise desses dados, conforme ilustra o diagrama na Figura 3.3. O uso de algoritmos de geoprocessamento implantados em SIG é amplamente utilizado, principalmente por ser um sistema digital de gerenciamento de dados criado para processar volumes consideráveis de informações espacialmente distribuídas, proveniente de diversas fontes (Medeiros, 2012).

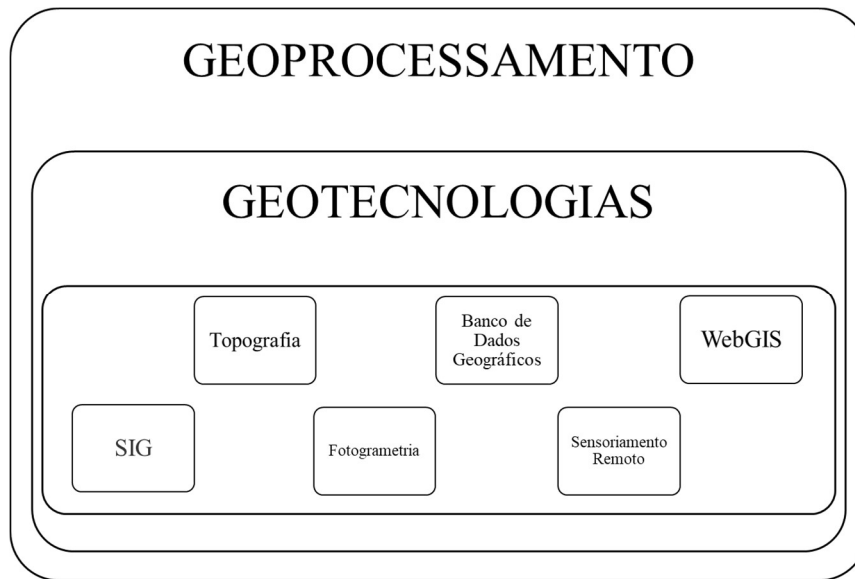


Figura 3.3 Relação entre o Geoprocessamento e as Geotecnologias

Fonte: (Medeiros, 2012)

Um SIG, é formado não apenas de softwares, mas também por metodologias aplicadas, dados a serem coletados e tratados, hardwares específicos de bom desempenho, como por exemplo periféricos com tecnologia de dados como o *Global Positioning System* (GPS) e recursos humanos (que serão responsáveis por operar os programas, manipular os equipamentos e dados e, definir metodologias adequadas). 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).

A partir da evolução do SIG, o procedimento de escolha para locais pré-adequados para implantação de aterros sanitários ocorre basicamente baseado em análise espacial e modelagem matemática. As análises espaciais, por sua vez, utilizam a ampla aplicabilidade do SIG com o uso de algoritmos existentes em geoprocessamento para a pré-seleção de áreas favoráveis. Essas seleções são feitas comumente por meio de classificação temática com a utilização de imagens tipo *raster*, baseadas em critérios escolhidos para classes temáticas ou por meio da exclusão de zonas a serem protegidas (Chang, *et al.*, 2008).

É indispensável um banco de dados para que se desempenhe a funcionalidade do SIG, cuja criação e formação está sujeito ao projeto que vai ser realizado e dos aspectos, apontadores e variáveis que serão utilizados. Os dados necessários são acessíveis e podem ser adquiridos em órgãos governamentais, Secretarias, Prefeituras, Concessionárias e outros, todavia, pode-se encontrar dificuldades para encontrar alguns dados sendo necessário



produzi-los ou gerá-los o que exigirá tempo, prazos e até custos necessários para elaboração (Born, 2013).

Os dados utilizados em SIG compreendem dois elementos, um banco de dados espacial que descreve a forma e a posição das feições e um banco de dados de atributos (descritivo), descrevendo 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).

Quando comparado à realidade, o formato vetorial é uma tentativa de reprodução exata de um elemento ou objeto, por meio de um ou mais vetores. Elementos gráficos que podem ser apresentados por pontos, linhas ou polígonos são pertencentes a sistemas de coordenadas bidimensionais (X,Y) ou tridimensional (X,Y,Z). Os três elementos geométricos básicos (pontos, linhas e polígonos) utilizados, os pontos são um parte coordenadas, enquanto as linhas são o conjunto de pelo menos dois pontos e os polígonos são pontos agrupados que possuem a primeira e última coordenada em comum (Nascimento, 2012). Esses elementos geométricos formam arquivos chamados de *shapefiles*.

No formato raster a reprodução do espaço é por meio de uma matriz A (i,j) composto de i colunas e j linhas, onde cada fator possui um número de linha, um número de coluna e um valor referente ao atributo estudado, sendo que cada célula é individualmente acessada pelas suas coordenadas da matriz (Câmara, *et al.*, 2001). As células podem ser chamadas de *pixels* “*Picture element*”, ou seja, elemento da imagem. A representação matricial considera que a superfície da área analisada é plana e a resolução espacial depende da área abrangida no terreno por cada célula individualmente. Consequentemente, quanto mais células se utilizar para representar uma área, melhor será a sua resolução espacial, porém, será necessário um maior espaço de armazenamento (Born, 2013).

As imagens de satélite 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. Assim, essas imagens representam grande utilidade nos estudos de diferentes escalas relativas a identificação, análise e interpretação de aspectos do meio físico. 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 resultante 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).

Como já aludido, o método de escolha de locais favoráveis para a disposição final de RS envolve múltiplos processos e instrumentos. Sendo, ultimamente, mais utilizado o SIG para diagnóstico espacial integrado com métodos de análise multicritério. Para a decisão de áreas potenciais para aterros sanitários neste trabalho, devem ser aplicadas as ferramentas do SIG integrado ao método de análise multicritério, conhecido como Análise Hierárquica de Processos (AHP). O SIG pode ser aplicado, pois os critérios envolvidos podem ser representados como planos de dados geográficos.

### **3.4.3 Análise Hierárquica de Processos (AHP) aplicada ao SIG**

O sistema de apoio a decisão é uma das funcionalidades mais importantes de um SIG, amparando na constituição de mapas de aptidão por meio de múltiplos critérios, além de atender decisões sobre escolha de localização quando há diversos objetivos envolvidos. A relação do SIG e de métodos de apoio a decisão permitem a tomada de decisão de um modo mais fundamentado, uma vez que o usuário tem a sua disposição dados/informações mais acessíveis e com maior flexibilidade (Lourenço, *et al.*, 2015).

Segundo Lupatini (2002) “Atualmente as decisões relacionadas às questões ambientais, exigem cada vez mais uma tomada de decisão racional comprometida com o atendimento de diversos aspectos, que muitas vezes apresentam interesses divergentes”, como sociais e econômicos, por exemplo. Para Saaty (1980), a vida de cada um é a totalidade de suas decisões, seja no segmento profissional ou individual, o que transforma, como se decide tão expressivo como o que se decide, podendo decisões tomadas ligeiramente se refletirem desastrosamente, enquanto a morosidade na decisão pode resultar em oportunidades perdidas. Porém, como decidir é fundamental, uma abordagem sistemática e compreensiva para a tomada de decisão deve ser utilizada.

A tomada de decisão versa essencialmente na escolha de uma alternativa entre diferentes opções existentes, acompanhando determinadas etapas antecipadamente

estabelecidos 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, *et al.*, 2001). Deste modo, cada critério é uma função matemática que mede o desempenho das ações potenciais com relação a um determinado aspecto.

Diante das diversas estruturas existentes de sistemas de apoio a decisão, Westmacott (2001) e Shim, *et al.* (2002) identificam uma estrutura básica comumente utilizada. Essa estrutura tradicional é constituída em termos de base de dados, interface com o usuário e base de modelos.

- Interface com usuário: é a única parte do sistema de apoio à decisão com a qual o usuário irá ter contato, exercendo uma importante função na utilização do sistema. A interação entre o usuário e o sistema, constitui um aspecto de grande importância tendo em vista a própria definição dos sistemas de apoio à decisão.
- Base de dados: a base de dados é utilizada nas operações de gerenciamento de dados (armazenamento, atualização, recuperação e processamento), nela estão contidos todos os dados e informações que irão alimentar o modelo.
- Base de modelos: atualmente existe uma grande diversidade de modelos (estruturais, matriciais, numéricos, matemáticos, espaciais, etc.) e técnicas de modelagem, a definição destes depende sobretudo das necessidades do usuário, dos objetivos do sistema e ainda dos recursos financeiros e tempo disponível.

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 matemática 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 AHP incide numa metodologia de alternativa fundamentada na lógica de comparação pareada. Nesse processo, os distintos critérios que influenciam a tomada de decisão são checados dois a dois, sendo atribuído um valor de julgamento à relação entre eles, de acordo com uma escala pré-definida (Moreira, *et al.*, 2001).

A AHP, conforme Saaty descreve, exibe como dados básicos: os critérios que são conjuntos finitos de opções para análise do objetivo principal, a hierarquia que é o ordenamento a nível hierárquico do conjunto de critérios, as comparações par a par que são a comparação de alternativas usando determinado critério indicativo da preferência de uma alternativa a outra e, por último a escala fundamental que permite associar as alternativas em grau de importância.

A Tabela 3.3, representa a escala fundamental para comparação pareada (Saaty, 1991) utilizada como pesos em uma AHP, onde o valor 1 indica o mesmo nível de igualdade, em que o valor “9” indica uma extrema importância ou superioridade e seu valor proporcionalmente inverso “1/9” indica uma extrema inferioridade. E assim respectivamente para os valores 3,5 e 7. Os valores 2, 4, 6, 8 são valores intermediários nessa escala.

Tabela 3.3. Escala básica proposta por Thomas Saaty (1977) para AHP.

<b>Intensidade de Importância de uma escala absoluta</b>	<b>Definição</b>	<b>Explicação</b>
1	Igual Importância	Duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância moderada de uma opção sobre a outra	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma atividade em detrimento de outra
5	Importância essencial ou forte	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma atividade em detrimento de outra
7	Importância muito forte	Uma atividade é fortemente favorecida e sua dominância é demonstrada na prática.
9	Extrema importância	A evidência favorecendo uma atividade sobre outra é a ordem mais alta possível de afirmação.
2,4,6,8	Valores intermediários entre dois julgamentos adjacentes	Usada apenas quando necessário.
Recíprocos	Se a atividade “i” recebe a atribuição de um dos números acima quando comparado com a atividade “j”, então “j” tem o valor recíproco quando comparado com “i”.	

A associação do SIG com o AHP ocorre quando se empregam os pesos dos critérios determinados pelo método multicritério que são representados, nesse caso, como planos de

dados geográficos ou planos de informações. Para a integração dos critérios com base na abordagem multicritério, vários métodos vêm sendo utilizados e, dentre esses, estão os métodos da Combinação Linear Ponderada (CLP) e da Média Ponderada Ordenada (MPO) (Malczewski, 2000).

Entre os métodos de avaliação multicritério, a CLP admite, após a padronização e ponderação das variáveis, a compensação entre todos os fatores, conforme peso ou grau de importância. Os critérios são agregados e combinados num processo de ponderação entre os mesmos (Born, 2013). Os pesos (ou valoração) assumidos governam a compensação, de acordo com Eastman (1998, p. 188) “o grau com que um fator pode compensar outro, entretanto, é determinado pelo peso”.

“Os critérios são de dois tipos: os restritivos, que limitam absolutamente as alternativas em análise e os fatores, que aumentam ou diminuem a potencialidade de uma alternativa específica” (Eastman, 2001). Na CLP, os critérios são padronizados em uma escala numérica comum, recebem pesos e são combinados por meio de uma média ponderada, uma vez que os mapas de critérios (fatores e restrições) tenham sido gerados, é uma simples questão de multiplicar cada mapa de critério (isto é, cada célula, ou pixel, de cada mapa) pelo seu peso e, então, somar os resultados (Eastman, 2001).

Para este projeto, busca-se empregar, a tecnologia 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 locais favoráveis para implantação de aterro sanitário, e assim, identificar as áreas mais favoráveis diante dos níveis de aptidão obtidos. É válido ressaltar que este estudo é para fase de planejamento do empreendimento para sua possível implantação, os critérios são atribuídos visando garantir as delimitações técnicas e legislativas, porém são necessárias pesquisas complementares para outras fases.

### **3.5 VULNERABILIDADE AMBIENTAL**

O termo "vulnerabilidade ambiental" pode ser entendido 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 (Aquino, *et al.*, 2017). A suscetibilidade está relacionada ao nível de exposição do sistema natural às mudanças ambientais, à sensibilidade (avaliada com base na avaliação do potencial impacto ambiental causado pela exposição) e à capacidade da sociedade de responder ao meio ambiente com medidas de ajuste a essas mudanças (Milanezi & Pereira, 2016).

Para a produção de mapas de vulnerabilidade ambiental, Ross (2011) sugeriu integrar diferentes elementos territoriais (geografia, geologia, declividade, corpo d'água) 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 este 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.

Em relação a aplicabilidade do termo, por representar o comportamento e as repostas dos processos de uso do solo, os dados de vulnerabilidade natural dão subsídio à tomada de decisão por parte de órgãos governamentais ou privados quando se trata da análise da área estudada (Souza, *et al.*, 2010). De tal modo, para o estudo de localização de áreas favoráveis para aterro sanitário, a caracterização da vulnerabilidade ambiental é um fator a ser considerado, pois, segundo Ross (2011), a vulnerabilidade ambiental é o resultado da integração de fatores que correspondem a dados como declividade, pedologia, uso do solo, dados esses que correspondem a maioria dos critérios técnicos exigidos pela NBR 13.896.

Para classificar a vulnerabilidade ambiental de uma área, é necessário o uso de técnicas de análise multicritério, devido à complexidade dos fatores que a influenciam. O método AHP acima citado atende a essa necessidade, pois permite avaliar a importância de um fator sobre o outro, ou seja, compara critérios antrópicos ou naturais que interferem no meio ambiente (Diniz, 2016). Em resumo, a integração de dados obtidos dos sistemas e a utilização de ferramentas que agilizem essa integração compõem a avaliação de vulnerabilidade ambiental, permitindo ao pesquisador e observação do dinamismo destes sistemas e os reais riscos a que estes estão susceptíveis (Aquino, *et al.*, 2017).

Na determinação da vulnerabilidade ambiental, neste estudo, têm-se à suscetibilidade aos processos erosivos lineares e lineares 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 (Camapum, *et al.*, 2006). Além dos processos erosivos será considerado áreas suscetíveis aos usos antrópicos baseado na geração e análise a cada 10 anos dos mapas de uso e cobertura da região e a suscetibilidade à inundação.

### **3.5.1 Suscetibilidade aos Processos Erosivos**

Os processos erosivos que serão 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.

#### **3.5.1.1 Erosão Laminar**

O uso de modelos empíricos para estimar a perda de solo é uma prática imprescindível, especialmente abrangendo o mercado da agricultura. 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 das 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 suprimindo 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 equação é definida como:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

Equação 3.1

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).

Desta maneira, para estimar-se as perdas de solos, devem ser considerados fatores como a erosividade causada pela chuva por intermédio da precipitação pluviométrica, a erodibilidade dos tipos de solos, a declividade e o comprimento de rampa, o uso do solo e práticas conservacionistas complementares.

#### 3.5.1.2 Erosão Linear

No caso da erosão linear, foi 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).



### **3.5.2 Suscetibilidade a Inundação**

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. 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.

Para analisar a vulnerabilidade ambiental deste estudo, a suscetibilidade a inundações é uma variável a ser analisada, existindo alguns métodos que podem utilizar os parâmetros do terreno 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 metodologia 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 a inundação.

### **3.5.3 Suscetibilidade a Ação Antrópica**

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). Este estudo irá analisar a combinação de áreas onde existe 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.

## 4 ÁREA DE ESTUDO

### 4.1 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo, objeto da presente pesquisa, é o município de Planaltina de Goiás que se localiza na região Leste do Estado de Goiás e está inserida entre os 242 municípios do presente Estado. De acordo com estimativa dos dados do IBGE (2020) a população do município encontra-se atualmente com 90.640 habitantes com uma densidade demográfica de 32,06 habitantes por Km<sup>2</sup>. O Município goiano de Planaltina foi criado pela Lei nº 52 de 19 de março de 1981, constituído por 3 distritos: Planaltina, Córrego Rico e São Gabriel de Goiás, e está inserido na região do Entorno do Distrito Federal (DF) estando situada à apenas 20 km do DF e a 63 km da Capital Federal (Brasília), conforme pode ser visualizado na Figura 4.1.

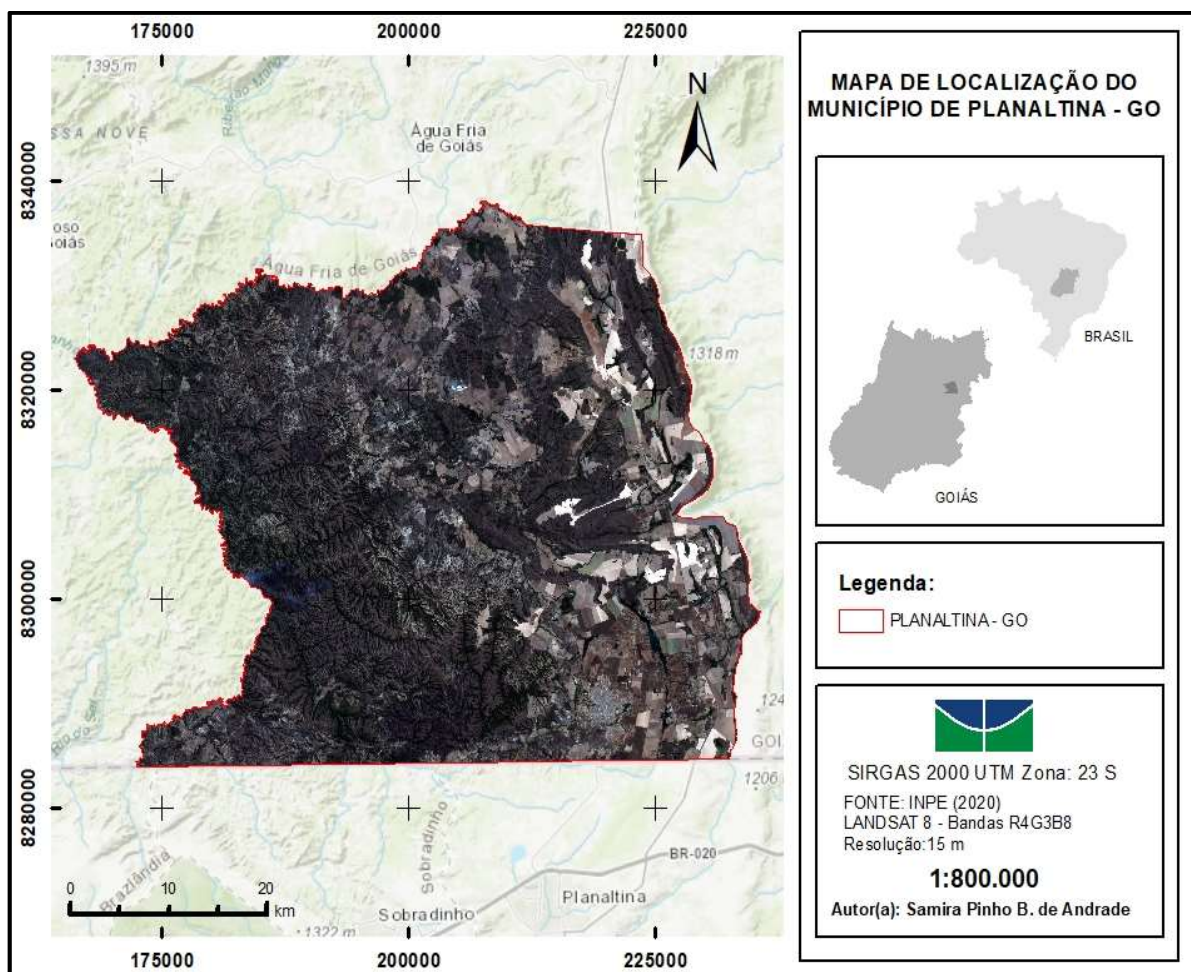


Figura 4.1. Mapa de localização do município de Planaltina (GO).

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 4.2.1 Região de Desenvolvimento Integrado do Distrito Federal e Entorno

Com o intuito de atenuar as diferenças existentes nos serviços de saneamento básico ofertados pelo Distrito Federal e também pela Área Metropolitana de Brasília (AMB), a Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno – RIDE/DF, foi criada com o advento da Lei Complementar n. 94/88, sendo regulamentada pelo Decreto n. 2.710/99, e posteriormente alterada pelo Decreto n. 3.445/2000. Além disso, tem objetivos claros como por exemplo a proteção ao meio ambiente, uso, parcelamento e ocupação do solo, educação e cultura, controle da poluição ambiental, dentre outros.

Sua composição é estabelecida com a presença do Distrito Federal, 3 municípios de Minas Gerais e mais 19 de Goiás. Tais municípios possuem semelhanças, assim como apresentam relações de reciprocidade com o Distrito Federal. No ano de 2018, a Lei Complementar nº 163, de 14 de junho de 2018, foi sancionada e com isso houve a inclusão de mais 10 municípios de Goiás, a Figura 4.2 mostra os municípios do Goiás integrantes da RIDE/DF com destaque para Planaltina.

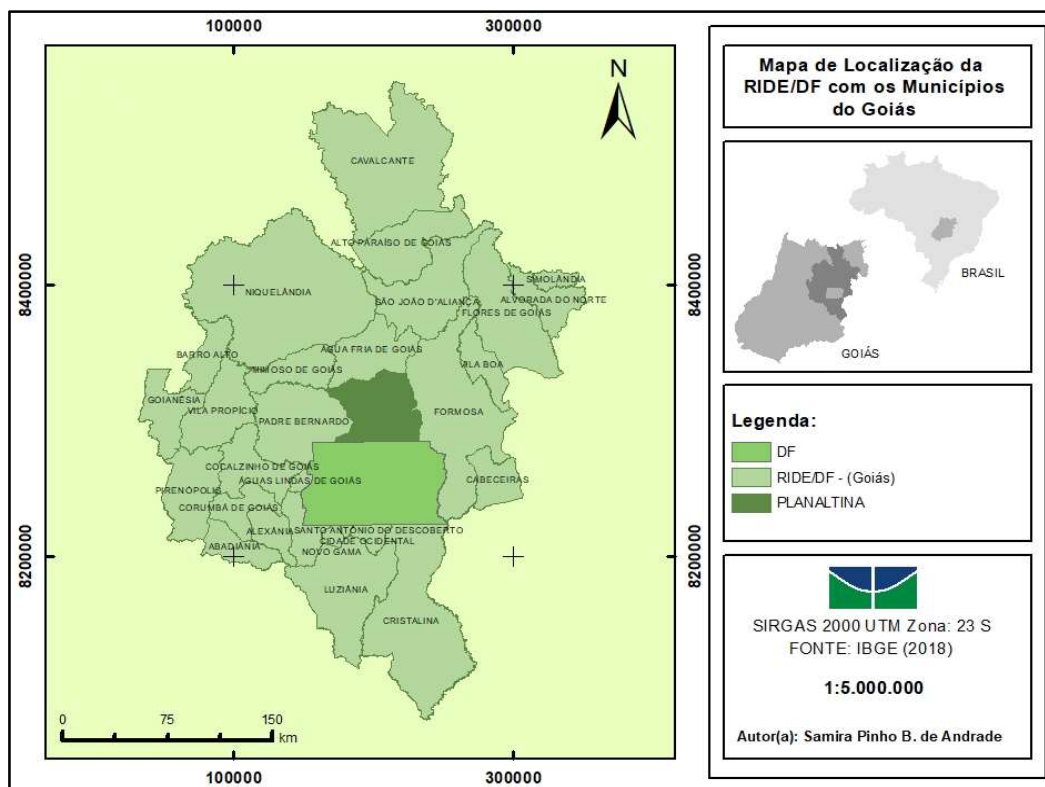


Figura 4.2. Municípios do Goiás integrantes da RIDE/DF.

A RIDE/DF detém como objetivo a harmonização e articulação das ações administrativas da União, dos Estados e dos Municípios para promover projetos que busquem estimular a economia de territórios com baixo desenvolvimento, conseguindo assim primar a destinação de recursos públicos para propiciar iniciativas e investimentos que venham a reduzir as diferenças sociais e que estejam em consonância com o interesse local acordados entre os entes participantes.

O CORSAP (Consórcio Público de Manejo dos Resíduos Sólidos e das Águas Pluviais da Região Integrada do Distrito Federal e Goiás), foi criado com a proposta de desenvolver a gestão associada e ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e das águas pluviais na região, viabilizando também a coleta seletiva, a destinação final dos resíduos não reciclados e a reciclagem. Trata-se de uma pessoa jurídica de direito público que possui natureza de autarquia do tipo associação pública o que faz menção o art. 41, IV do Código Civil Brasileiro, componente da administração indireta dos Entes Federados que a constituem, com prazo indeterminado de duração. A chegada da Lei Distrital n. 4.948, de 11 de outubro de 2012, trouxe em sua disposição a confirmação do protocolo de intenções do referido consórcio.

#### **4.2.2 Aspectos Físicos**

O clima da região, segundo a classificação climática de Koeppen (1990), compreende: clima tropical de savanas, clima tropical de altitudes entre 1.000 e 1.200 metros com temperatura do mês mais frio inferior a 18°C e meses mais quentes com média superior a 22°C, chuva de verão e seca no inverno, e o clima tropical. A precipitação anual média é da ordem de 1.600 mm. Em outubro inicia-se a estação chuvosa, em que a ação mecânica das gotas de chuva sobre a superfície do solo ressecado pela prolongada estação seca pode provocar erosão com maior intensidade nas áreas mais inclinadas. Nos meses que se seguem, o escoamento pluvial passa a atuar mais intensamente até o mês de maio, quando as chuvas já são escassas (EMBRAPA, 2001).

De acordo com EMBRAPA (2013), “O Cerrado é um bioma do tipo biócoro savana. Em outros termos, é a expressão brasileira de uma complexa formação vegetal tropical”. O bioma cerrado abrange toda a área do município, do Distrito Federal, assim como os Estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso do Sul, parte do Mato Grosso, Oeste da Bahia e Oeste de Minas Gerais, Paraná, Piauí e São Paulo. Nesse bioma 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 (Lynch, 2009).

Planaltina, localizada na Bacia Hidrográfica do rio Maranhão, constitui um importante corredor natural que liga a Estação Ecológica de Águas Emendadas ao Distrito Federal e outras reservas naturais do Estado de Goiás. Apesar dos esforços para estabelecer e manter áreas protegidas, a expansão do centro urbano ameaça à integridade da bacia hidrográfica (Rocha, 2017). O sistema hidrológico da cidade é caracterizado por cursos d'água e sistemas lacustres, apresentando características típicas de drenagem em áreas de planalto, onde são comuns desníveis e vales recortados, conforme mostrado na Figura 4.3.

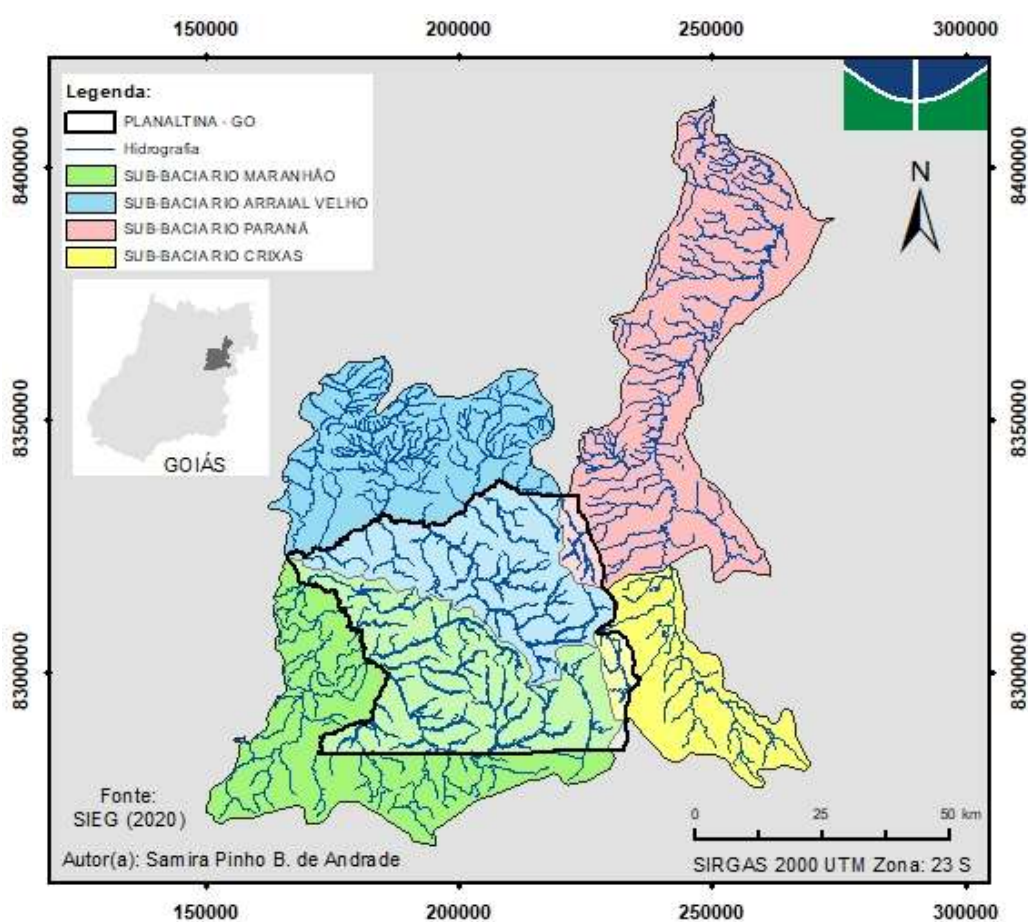


Figura 4.3 Mapa Hidrográfico das principais Sub-Bacias que integram o município de Planaltina – GO.

Existem três importantes unidades litoestratigráficas que ocorrem no âmbito da Faixa de Dobramento Brasília a Planaltina, os grupos Canastra, Paranoá e Bambuí. Do conjunto de rochas presentes, ocorre, por toda a área municipal, o surgimento de rochas carbonáticas associadas que, do ponto de vista geológico, o aspecto mais importante é a presença de processos cársticos. A carstificação é decorrente da dissolução das rochas carbonáticas pelas águas de infiltração de chuvas, o que é responsável pela formação de vazios no maciço

rochoso em profundidade que acarretam problemas de riscos geotécnicos, perda de solo fértil e problemas de qualidade das águas subterrâneas (Rocha, 2017). A Figura 4.4 apresenta os mapas de geologia e de pedologia da região.

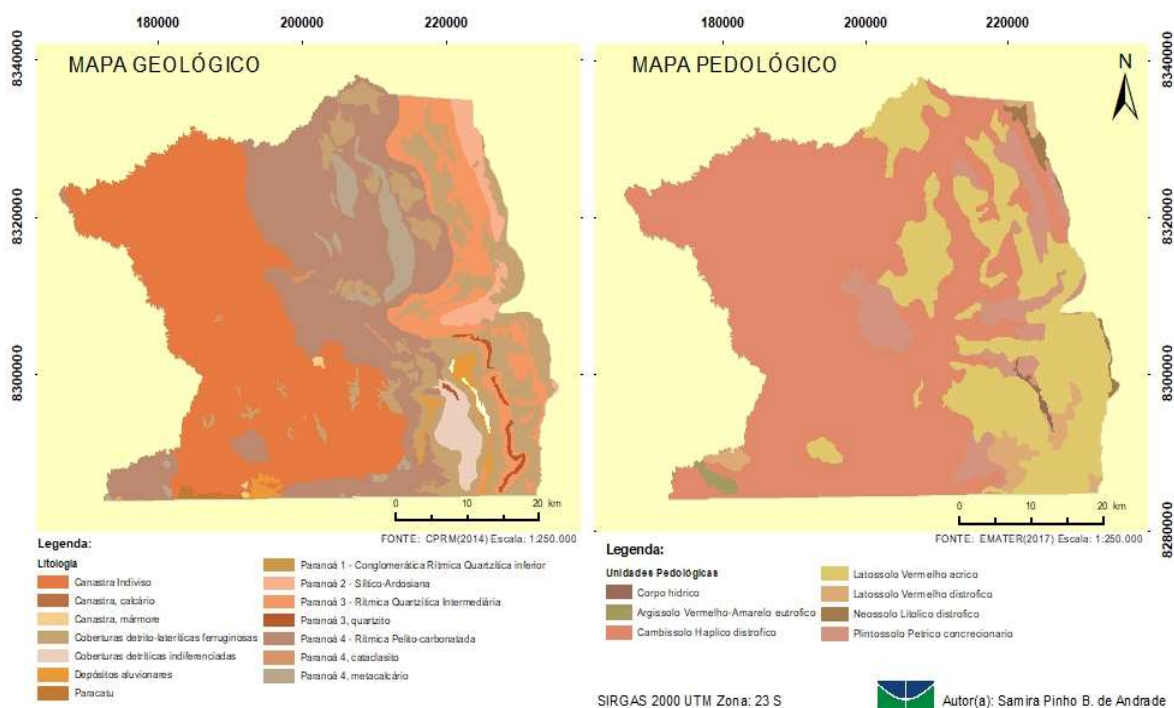


Figura 4.4 Mapas de geologia e pedologia da área de estudo.

O município está inserido na Área de Proteção Ambiental (APA) do Planalto Central, que visa refletir as diretrizes de proteção ambiental e evidenciar as características de proteção do solo e da vegetação da área. A APA do Planalto Central foi inserida em território de relevante interesse nacional e regional, pois além de abrigar a capital federal, as nascentes de diversos cursos d'água constituem as três principais bacias hidrológicas do país - São Francisco, Araguaia Tocantins e Paraná (ICMBIO, 2015).

A área da APA é de 504.160 hectares, sendo o Distrito Federal de 375.480 hectares e o Estado de Goiás de 128.680 hectares. Esses valores equivalem a 65,72% da área do DF e 0,37% do território do GO, incluindo os municípios de Padre Bernardo e Planaltina. Desde o seu Plano de manejo em 2015, a APA possui zoneamento ambiental, “O zoneamento justifica-se pela necessidade de controle de cada espaço para preservação ou para o uso sustentável de parcelas do território” (ICMBIO, 2015). A Figura 4.5 ilustra a localização e o zoneamento da APA.

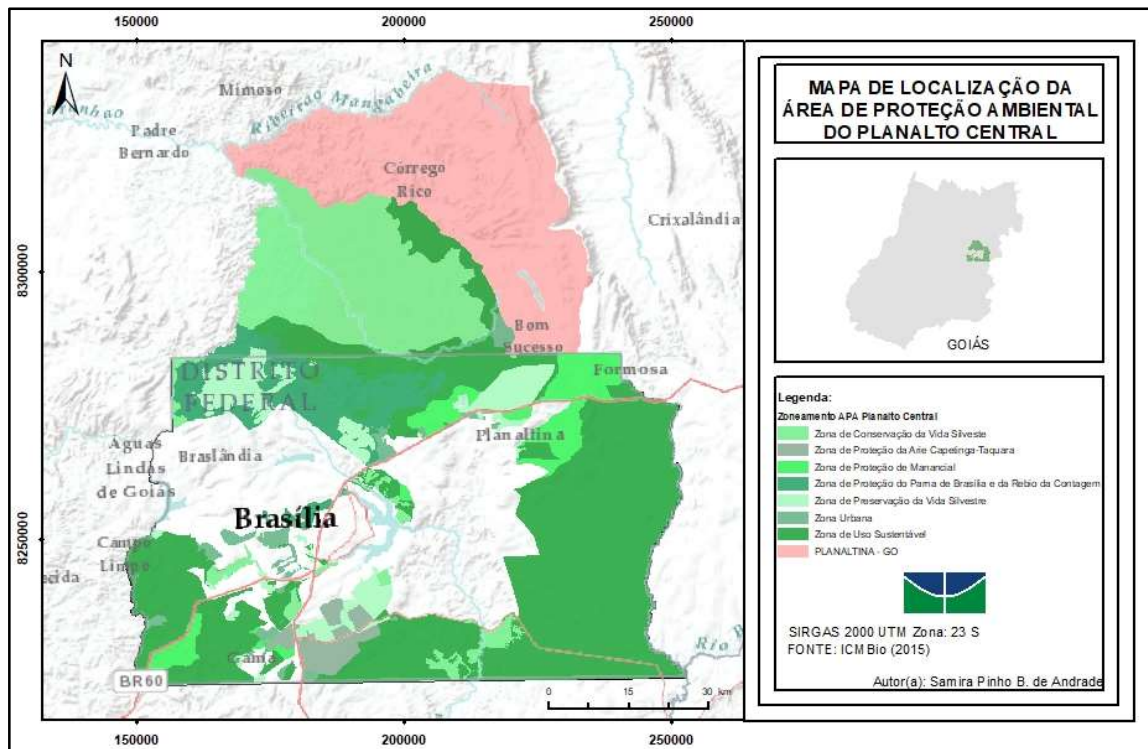


Figura 4.5 Mapa de Localização da APA Planalto Central com foco em Planaltina – GO.

Em relação a infraestrutura, o município se encontra em estado precário com relação ao Distrito Federal que é limítrofe à região (Rocha, 2017). Conforme pode ser visualizado na Figura 4.6, existem apenas duas vias principais pavimentadas com ajuste aos demais caminhos carroçáveis e ao arruamento urbano.

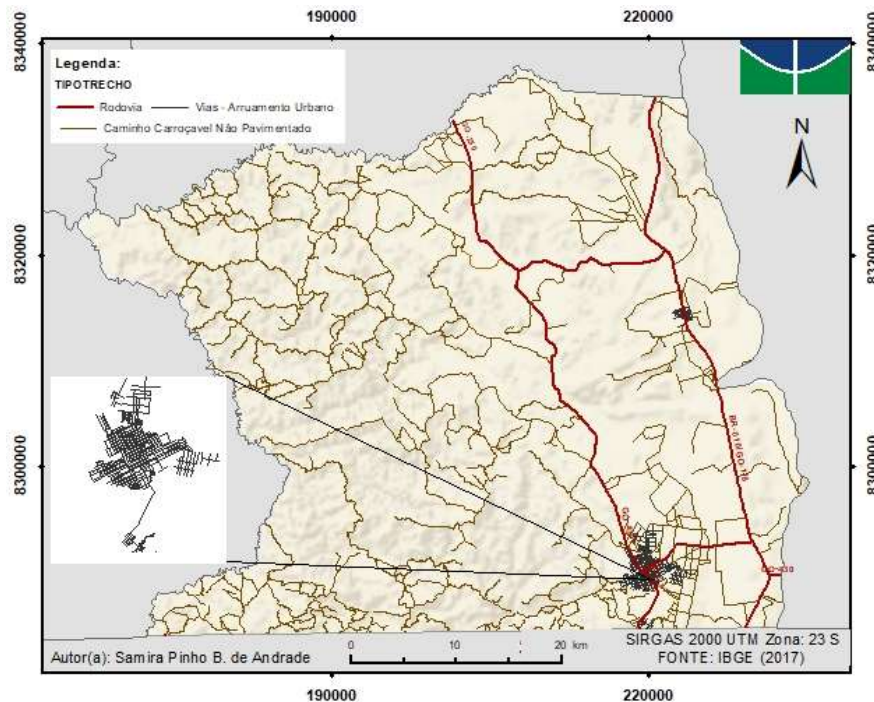


Figura 4.6 Vias de acesso de Planaltina - GO

### 4.2.3 Breve contextualização da disposição final de RSU do município

Em relação a disposição final dos RSU do município, é interessante elencar algumas informações históricas pertinentes para uma melhor visualização da atual situação municipal nesse aspecto. Em 2009, começou a se discutir no âmbito da Secretaria Municipal do Meio Ambiente a implantação de um complexo industrial de RS, em que foi discutida a possibilidade de um consórcio onde facilitaria a implantação de uma usina de RS em Planaltina.

No dia 12 de março de 2012, após o processo licitatório, o Município celebrou o contrato de Parceria Público-Privada (PPP) com a empresa Hannover Tecnologia e Gestão Ambiental Ltda, firmado em 28/06/2012, com vigência de 30 (trinta) anos, e tendo por objeto à implantação de usina de gasificação dos resíduos sólidos urbanos, industriais, industriais tóxicos, hospitalares, os resíduos da construção civil e de demolição gerados diariamente, bem como o processamento de todo os rejeitos já depositados no lixão do Município.

Já em 2015 foi lançada a elaboração de estudos jurídicos visando viabilizar à disposição final de resíduos sólidos urbanos gerados na região abrangida pelo CORSAP-DF/GO, em especial no aterro sanitário situado no Município de Planaltina de Goiás. Em seu texto, foram elencados e contextualizados a dinâmica de um consórcio e as especificações quantitativas e qualitativas dos resíduos do DF que seriam destinados ao aterro sanitário de Planaltina, na época, gerido pela empresa Hannover (PROJETO 914BRZ2016 – ELABORAÇÃO DE ESTUDOS EM REGULAÇÃO DE, 2015).

Em seu texto, que foi enviado para análise jurídica, pode-se citar o seguinte trecho:

Síntese dos pareceres jurídicos constantes do processo nº 094.00045/2015  
Foi instaurado no âmbito do Distrito Federal, o processo nº 094.00045/2015, sendo interessado o Serviço de Limpeza Urbana – SLU, tendo por objeto a possibilidade jurídica da celebração de ajuste com o Município de Planaltina de Goiás, para o envio de parte dos rejeitos da coleta dos resíduos sólidos domiciliares do Distrito Federal. Todos os resíduos sólidos do referido Município são destinados a uma empresa concessionária, em razão da celebração de um Contrato de Parceria Público-Privada, na modalidade concessão administrativa, visando o processamento na Usina de gaseificação dos resíduos para a cogeração de energia elétrica (PROJETO 914BRZ2016 – ELABORAÇÃO DE ESTUDOS EM REGULAÇÃO DE, 2015).

A finalidade era a possibilidade de dispor parte dos resíduos sólidos domiciliares gerados no DF, conforme previsto no Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do DF, “está prevista a disposição de rejeitos gerados no Distrito Federal, em aterros sanitários instalados fora do DF, localizados nas regiões sul e norte”. Pois assim, além de atender a legislação e orientações da Lei 12.305 (2010), essa iniciativa deu início ao processo de



finalização das atividades irregulares praticadas no Lixão do Jóquei bem como em relação ao futuro Aterro Oeste, que aumentaria o prazo de sua vida útil e reduziria os custos do aterro distrital. Na época, o DF ainda não possuía Plano de Gerenciamento de RS que foi elaborado posteriormente em 2018.

Anos após o início do funcionamento do aterro em Planaltina, em 2017, foram identificadas irregularidades junto a gestão. Solicitado pelo Ministério Público do Estado de Goiás, o IBAMA realizou vistoria técnica ambiental no referido empreendimento pela Informação Técnica nº 7/2017-NUBIO-DF/DITEC-DF/SUPES-DF. A visita revelou, dentre as inconformidades que o aterro apresentava, que a área está inserida em Área de Preservação Ambiental, na APA Planalto Central sob competência do ICMBio e que, também, apresentava deposição dos resíduos das obras de construção civil em erosão localizada na cidade, no início da erosão e próxima de casas condenadas (desocupadas).

Até que em 2018 o Ministério Público do Goiás solicitou a prefeitura municipal de Planaltina esclarecimentos que se trata da situação do Consórcio Público de Manejo dos Resíduos Sólidos e das Aguas Pluviais da Região Integrada do Distrito Federal e Goiás - CORSAP, para conhecimento e providências com ênfase na atribuição na defesa do Meio Ambiente.

Em resposta a solicitação jurídica, a prefeitura elencou em síntese as principais informações pertinentes ao estudo (Ofício nº 69/2018 , 2018):

“No que tange as recomendações relacionadas ao CORSAP, imperioso destacar que esta Prefeitura **não firmou nenhuma parceria, convenio ou ajuste de qualquer natureza junto ao consorcio**, nem tampouco repassa valores, sob qualquer natureza, ao Consorcio.

O aterro municipal era administrado por empresa vencedora de PPP ocorrido em 2012. Ocorre que foram identificados vícios no processo licitatório, bem como violações contratuais, motivando a rescisão unilateral do contrato e o ajuizamento de ação de reintegração de posse, objetivando a retomada da posse pelo Município. (...)

Retomada a posse pelo Município, vislumbrou-se que o então parceiro privado não estava realizando a gestão do aterro a contento, uma vez que o imóvel apresentava características de lixão.” (Ofício nº 69/2018).

Assim, confirmando a não parceria ou qualquer tipo de convênio e identificando ilícitos por parte da empresa Hannover o município retomou a gestão do aterro no município. Com efeito, segundo laudo elaborado pelos técnicos da Secretaria de Cidades, Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de Goiás - SECIMA-GO, atual Secretaria Estadual de Meio Ambiente, a gestora anterior do aterro, Hannover Ltda, deixou de cumprir diversas determinações da Prefeitura constantes no Termo de Compromisso Ambiental, dentre as quais destaca-se algumas inconformidades:

- Ausência de cobertura diária dos resíduos sólidos, circunstância que resulta em proliferação de macro e micro vetores de doenças infecciosas (Figura 4.7);
- Extrapolação do limite das lagoas de percolação do chorume, tendo sido observada a presença de percolado na rede água pluvial (Figura 4.8);
- Espalhamento de resíduos nas áreas adjacentes;
- Recebimento de lixo hospitalar e de empreendimentos particulares do DF.



Figura 4.7 e 4.8 Células do Aterro sem cobertura diária e chorume fora das lagoas de percolação.

A prefeitura afirma que atualmente o serviço é terceirizado mediante contrato emergencial que vigora até a apresentação de solução que contemple as necessidades da municipalidade, sempre respeitando as questões ambientais. Então, diante destas circunstâncias foi aberto o chamamento público para solicitar a apresentação de estudos técnicos, ambientais, econômico-financeiros e jurídicos, relativos ao tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos urbanos, de responsabilidade do Município, na modalidade de PPP ou outro legalmente admitido (Ofício nº 69/2018 , 2018). A Figura 4.9 mostra a atual situação do aterro bem como a sua localização.

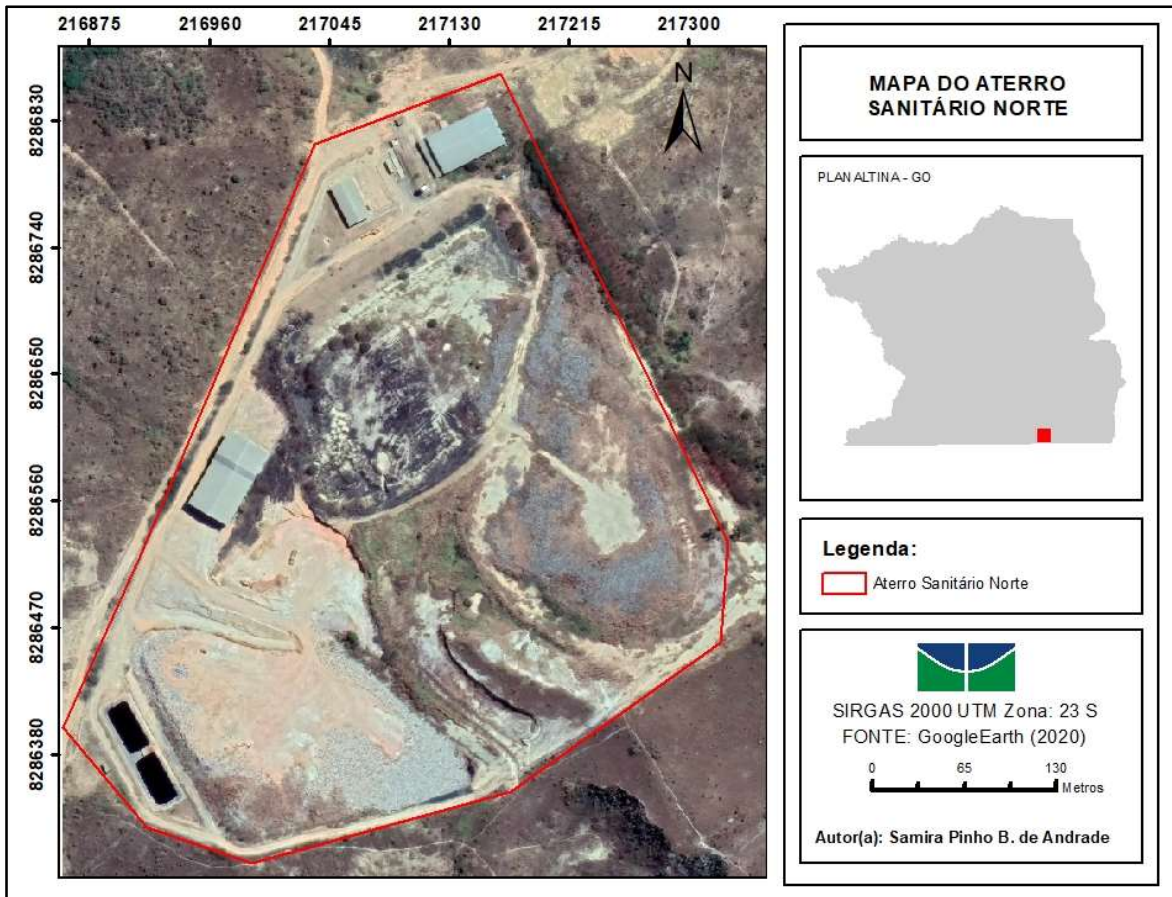


Figura 4.9 Localização do Aterro Sanitário Norte.

## 5 METODOLOGIA

O estudo foi organizado em duas etapas metodológicas, sendo que a primeira versa sobre a delimitação dos critérios e aquisição de dados, a segunda trata sobre a identificação de áreas potenciais para aterros sanitários. A Figura 5.1 exibe o fluxograma das atividades que foram desenvolvidas ao longo desta pesquisa.

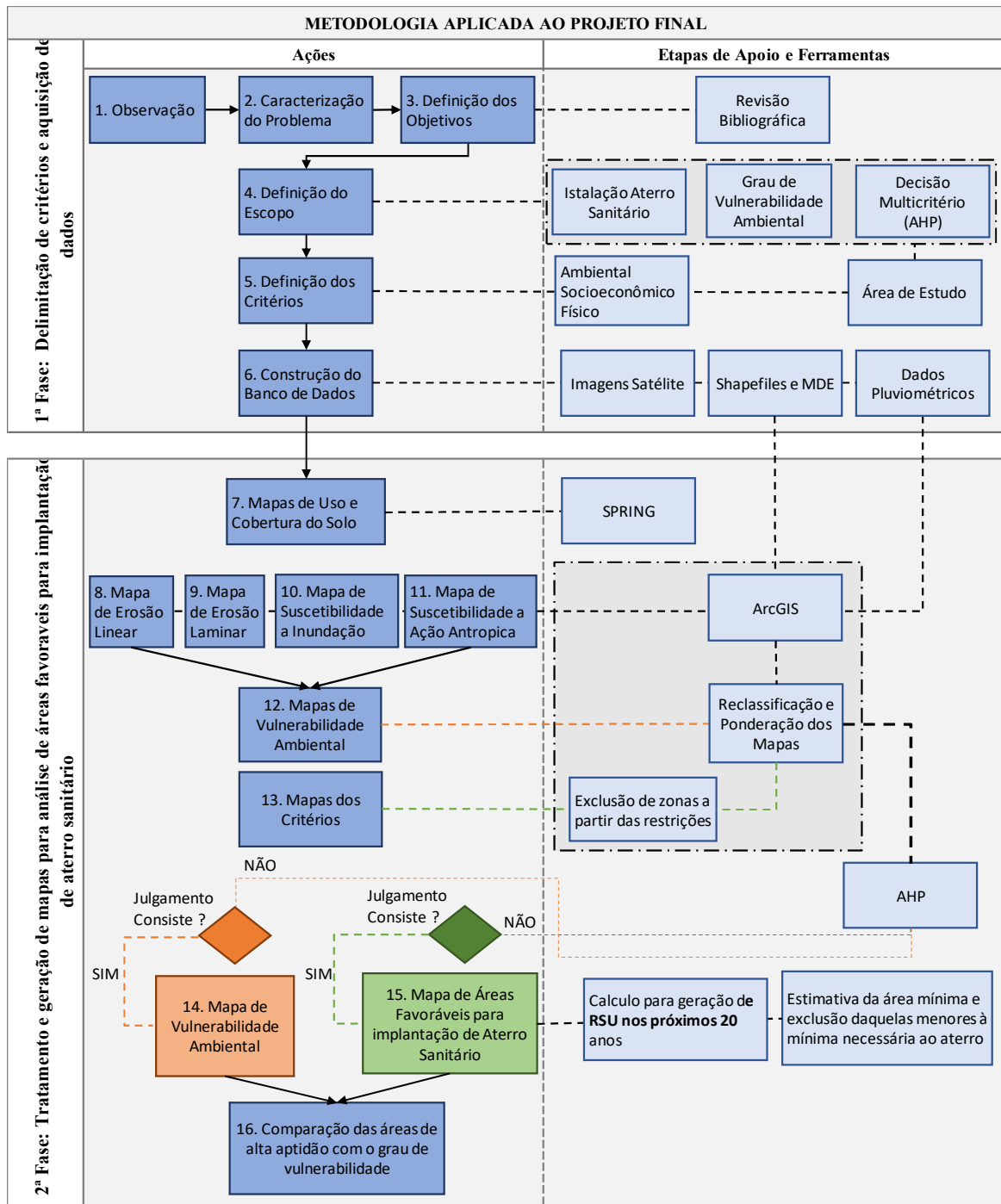


Figura 5.1. Metodologia utilizada.

## 5.1 BANCO DE DADOS

Em prol do desenvolvimento deste estudo, foi necessário estabelecer um banco de dados digitais georreferenciados para a execução das atividades conforme mostrado na Figura 5.1. Estes dados, já listados, estão descritos na Tabela 5.1. Sendo necessário para manipulação e execução, os softwares ArcGIS (*Geographic Information System* – GIS) versão 10.6 (licença estudante UnB) e o Sistema de Processamento de Imagens Georreferenciadas (SPRING), desenvolvido pela Divisão de Processamento de Dados (DPI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), versão 5.5.6.

Tabela 5.1. Banco de Dados utilizados para a realização do Estudo.

IMAGENS RASTER		
DADO	RESOLUÇÃO	FONTE
Imagens multiespectrais do satélite Landsat 5 do ano de 2009.	30 m	INPE
Imagens multiespectrais do satélite Landsat 7 do ano de 2000.	30 m	USGS
Imagens multiespectrais do satélite Landsat 8 do ano de 2020.	30 m	INPE
Imagem raster do <i>Shuttle Radar Topography Mission</i> (SRTM) – MDE.	90 m	EMBRAPA
SHAPEFILES e MAPAS TEMÁTICOS		
DADO	ESCALA	FONTE
Limites Municipais	1:100.000	
Hidrografia	1:100.000	
Unidades de Conservação	1:250.000	SIEG/GO
Malha Viária	1:100.000	
Pedologia	1:250.000	
Geologia	1:250.000	
DADOS NUMÉRICOS		
DADO	FONTE	
Pluviometria	ANA	
Geração <i>per capita</i> de RSU	ABRELPE e PERS/GO	
População do Município	IBGE (2018)	

## 5.2 MAPAS DE USO E COBERTURA DO SOLO

Os mapas de uso e cobertura do solo dos anos 2000, 2010 e 2020 foram elaborados de acordo com a metodologia proposta por (Almeida, *et al.*, 2012) conforme está apresentado na Figura 5.2, as técnicas utilizadas estão descritas a seguir, esta etapa foi realizada em ambiente do *software* SPRING:

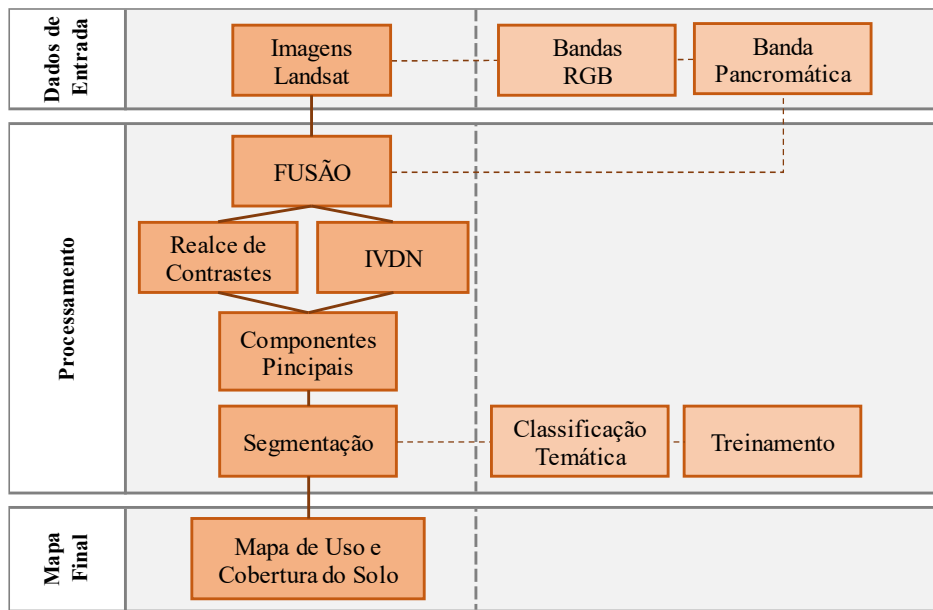


Figura 5.2. Etapas para elaboração do mapa de uso e cobertura do solo (Adaptado Almeida *et al*, 2012).

A fusão de imagens corresponde a fusão da banda pancromática de resolução espacial de 15 metros com as bandas multiespectrais do satélite Landsat 8. O realce de contrastes tem como objetivo melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais da imagem que apresentam critérios subjetivos ao olho humano, consiste em uma modificação radiométrica em cada pixel para aumentar a discriminação visual dos objetos na imagem. O realce de contraste foi realizado por transformação linear do histograma.

Já, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) é um a operação aritmética, expressa pela Equação 5.1 disponibilizada pela ferramenta no SPRING, utilizando as bandas espectrais do vermelho (R) e do infravermelho próximo (IR), obtendo uma melhor descrição das áreas de vegetação conforme explicitado na Equação 4.1 (INPE, 2010).

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

Em que, R é a banda correspondente à região do espectro eletromagnético da faixa do vermelho e IR a banda correspondente à região do espectro eletromagnético da faixa do infravermelho próximo. As componentes principais são um processamento digital baseado em algoritmos estatísticos, em que são usadas as bandas espectrais originais dos satélites para gerar um novo conjunto de imagens por meio de uma matriz de covariância entre as bandas, o que reduz a redundância espectral, ou seja, produz um novo conjunto de imagens com informações concentradas em três únicas imagens para a fase seguinte no processo de produção de mapas temáticos, a segmentação (INPE, 2010). A segmentação da imagem é

um processo que separa a imagem em conjuntos de pixels contíguos distribuídos bidireccionalmente e uniformes, permitindo a criação de fronteiras de pixels que serão utilizadas na fase de treinamento da classificação temática. A segmentação foi realizada utilizando a imagem do IVDN, as imagens dos componentes principais, as imagens com as bandas fusionadas e realçadas.

Na classificação temática das imagens serão utilizadas as três primeiras bandas de componentes principais, por possuírem mais de 85% das informações espectrais das bandas originais, a imagem produto do IVDN e a imagem segmentada. O algoritmo usado para a classificação foi o classificador Bhattacharya, um classificador supervisionado em que foram delimitadas amostras do uso e cobertura do solo para treinar o classificador, calculando a média e a matriz de covariância de cada classe temática, posteriormente, cada segmento ficou classificado como uma classe de uso e cobertura do solo.

As imagens do satélite Landsat 5 necessitaram ser georreferenciadas por meio da técnica de registro de imagens por pontos de controle do SPRING, utilizando como referência as coordenadas da imagem do Landsat 8. As classes temáticas adotadas para elaboração dos mapas de uso e cobertura do solo foram: Florestal, campestre, corpo d'água, solo exposto, área agrícola, pastagem e área urbanizada. As classes são representadas segundo a classificação de cores do sistema nacional sugerido pelo Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013) conforme mostra a Figura 5.3.

NÍVEL I	NÍVEL II	
<b>1. Áreas Antrópicas Não Agrícolas</b>	<b>1.1</b>	<b>Área Urbanizada</b>
<b>2. Áreas Antrópicas Agrícolas</b>	<b>2.1 e 2.2</b>	<b>Cultura Temporaria e Permamnete</b>
	<b>2.3</b>	<b>Pastagem</b>
<b>3. Áreas de Vegetação Natural</b>	<b>3.1</b>	<b>Florestal</b>
	<b>3.2</b>	<b>Campestre</b>
<b>4. Água</b>	<b>4.1</b>	<b>Corpo d'Água Continental</b>
<b>5. Outras Áreas</b>	<b>5.1</b>	<b>Solo Exposto</b>

Figura 5.3. Classes da cobertura e do uso da terra (adaptado). Fonte: (IBGE, 2013).

## 5.3 IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS ADEQUADAS PARA ATERROS SANITÁRIOS

### 5.3.1 Definição dos Critérios e Restrições para escolha das áreas

Nesta etapa metodológica foi realizado a definição dos critérios para o levantamento dos locais favoráveis para a instalação de aterro sanitários. Após o levantamento bibliográfico, os critérios foram subdivididos em categorias, as quais possuem restrições. As restrições têm como finalidade cumprir os parâmetros técnicos, legais e ambientais, restringindo o espaço de solução do problema, excluindo as áreas restritivas correspondentes a cada critério, enquanto as categorias definem, a partir dos critérios, o grau de adequabilidade dos locais analisados. A Figura 5.4 apresenta o fluxograma com os critérios utilizados.

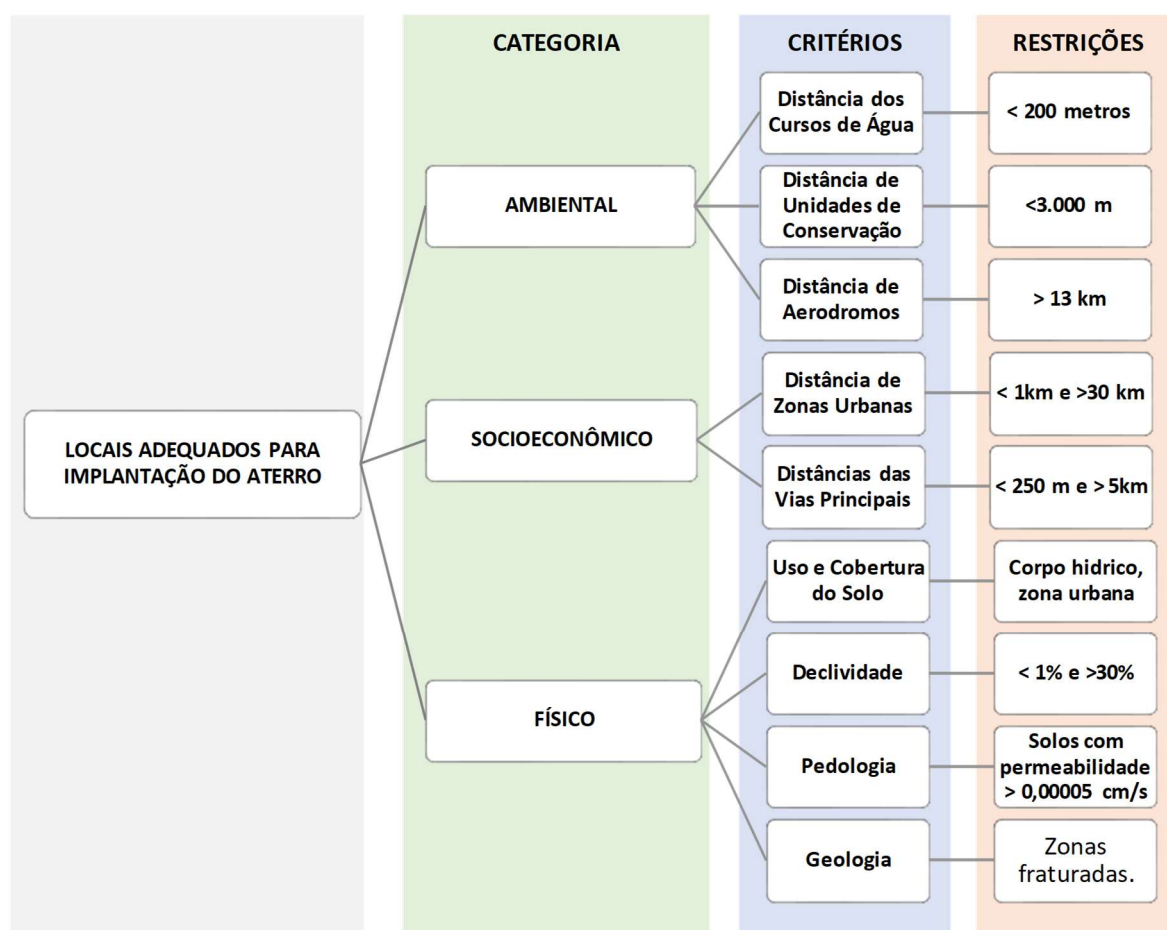


Figura 5.4. Fluxograma com as categorias para localização de locais para aterros sanitários.

Tais escolhas foram baseadas nos aspectos legais, ambientais e socioeconômicos, conforme estabelece os parâmetros técnicos na NBR 13.896/97, a Lei nº 9.985 de âmbito



nacional e o Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos, segundo elencado no item 3.4.1. Para cada critério foi criado um *layer* em ambiente SIG, para a utilização nas próximas etapas, conforme pode ser visualizado na Figura 5.5.

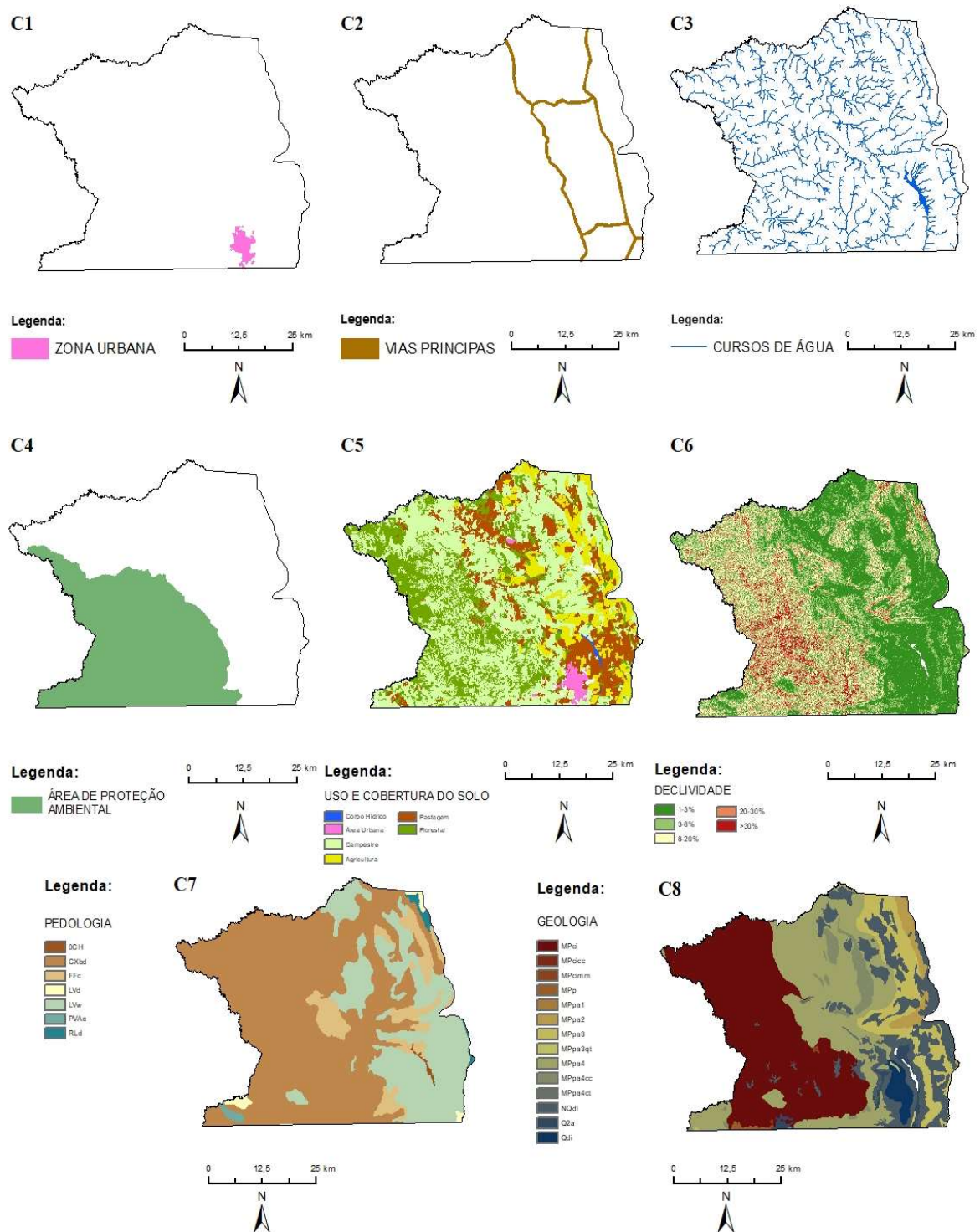


Figura 5.5 Layers dos critérios utilizados.

### 5.3.2 Padronização dos Critérios e Exclusão das Restrições

Geralmente, os diferentes critérios possuem unidades de representação diferentes o que não permite a agregação de informações, tornando-os incompatíveis, sendo necessária a padronização (Born, 2013). Por meio da reclassificação dos mapas que estão em formato matricial (tipo *raster*), utilizando a ferramenta *Reclassify* do ArcGIS, foram aplicadas notas de uma escala de 0 a 5. Os critérios foram classificados utilizando os valores mínimos exigidos nas normas e escalonados de menos apto a mais apto dentro do intervalo de valores.

Após classificados, os grupos de critérios e as variáveis que os compõem foram pontuados em cinco categorias de adequação: (1) muito baixa, (2) baixa, (3) média, (4) alta e (5) muito alta, seguindo o escalonamento com um grau de adequação a partir da restrição até a sua última classe. A Tabela 5.2 lista os critérios e os seus níveis de aptidão considerados na escolha de áreas para locação de um aterro sanitário, em seguida a Figura 5.6 apresenta o mapa gerado para cada critério e suas respectivas restrições.

Categoria	Critérios	Restrição	Classes	Nível de Adequação
Socioeconômico	Distância da área urbana	Áreas com distância < 1 km e > 30 km	1 - 5 km	1
			5 - 10 km	3
			10 - 15 km	4
			15 - 20 km	5
			20 - 30 km	2
	Distância das vias principais	Áreas com distância < 250 m e > 5 km	0,25 - 0,5 km	1
0,5 - 1 km			2	
1 - 2 km			5	
2 - 3 km			4	
3 - 5 km			3	
Ambiental	Distância dos cursos d'água	Áreas com distância < 0,2 km	0,2 - 0,3 km	1
			0,3 - 0,4 km	2
			0,4 - 0,5 km	3
			0,5 - 0,6 km	4
			> 0,6 km	5
	Distância de Unidades de Conservação	Áreas com distância < 3 km	3 - 5 km	1
5 - 7 km			2	
7 - 9 km			3	
9 - 10 km			4	
> 10 km			5	
Distância de aeródromos	Áreas com distância < 13 km	-	-	
Físico	Uso e Ocupação do Solo	Corpo hídrico lântico, zona urbana	Florestal	1
			Campestre	3
			Agricultura	4
			Pastagem	5
			1 - 3%	5
	Declividade	Áreas com declividade <1% e >30 %	3 - 8%	4
			8 - 20 %	3
			20 - 30%	2
			Cam bissolo	3
			Plintossolo	2
Pedologia	Solos com permeabilidade superior a 0,00005 cm/s	Latossolo	5	
		Argissolo	4	
		Neossolo	3	
		MPc e Moci c m	4	
		Geologia	Litologia de origem arenosa e fraturada	MPP e MPpA
1,2,3,4	3			
Q2a e Qd2a	1			
NQd	2			

Tabela 5.2 Lista de critérios, restrições, classes utilizadas e níveis de aptidão.

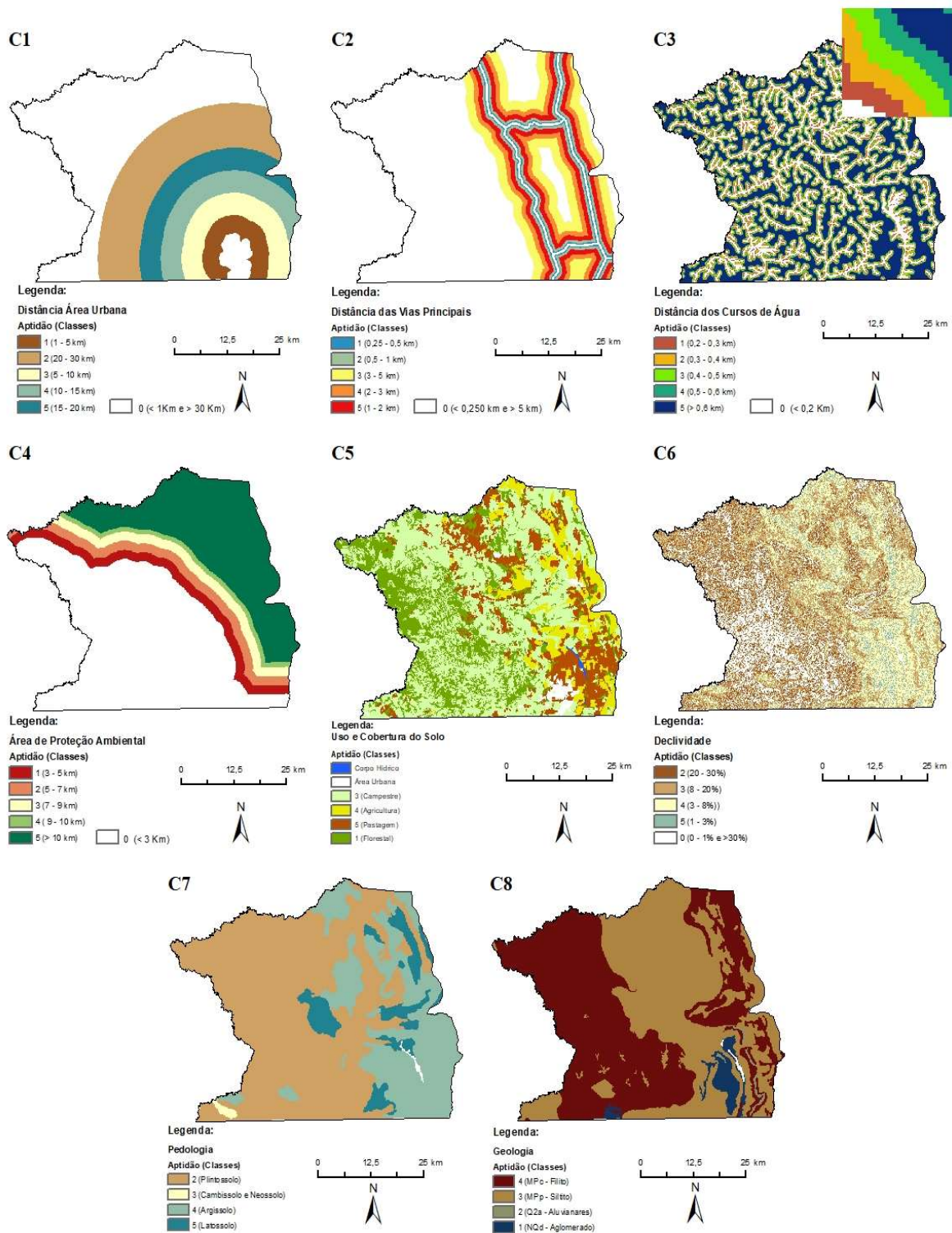


Figura 5.6. Critérios: (C1) Área Urbana; (C2) Vias Principais; (C3) Cursos D'água; (C4) APA Planalto Central; (C5) Uso e Cobertura do Solo; (C6) Declividade %; (C7) Pedologia e (C8) Geologia e Restrições.

O critério de distância de aeródromos não foi utilizado nesta pesquisa, pois o aeródromo mais próximo do município está localizado no município vizinho de Formosa

com uma distância de 17 km, o que ultrapassa o valor exigido pela Resolução CONAMA nº 4/95, o que resultaria em um *layer* com valor único de aptidão. Por conseguinte, os critérios utilizados foram ponderados conforme a comparação pareada pelo método AHP descrito no item 5.5.

#### 5.4 VULNERABILIDADE AMBIENTAL

O mapa de vulnerabilidade ambiental foi produzido com base na utilização do método AHP, integralizando o mapa de suscetibilidade à erosão laminar, o mapa de suscetibilidade à erosão linear e o mapa de suscetibilidade à inundação e o mapa de suscetibilidade às ações antrópicas, por meio da ferramenta álgebra de mapas do ArcGIS.

Os mapas foram classificados com grau de suscetibilidade de I a V conforme proposto por Crepani *et al* (2001), em: I - Muito baixa; II – Baixa; III – Moderada; IV – Alta e V - Muito alta, para assim, gerando o mapa final de vulnerabilidade ambiental de acordo com a ponderação atribuída pelo método de análise multicritério do item 5.5 desta pesquisa. A classificação e os valores atribuídos a cada critério estão descritos na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 Classificação e valores de aptidão utilizados na AHP para o mapa de Vulnerabilidade Ambiental.

MAPAS		GRAU	VALOR PIXEL
EA	EROSÃO LAMINAR	I	1
		II	2
		III	3
		IV	4
		V	5
EI	EROSÃO LINEAR	I	1
		II	2
		III	3
		IV	4
		V	5
IN	INUNDAÇÃO	I	1
		II	2
		III	3
		IV	4
		V	5
AA	AÇÃO ANTRÓPICA	I	1
		II	2
		III	3
		IV	4
		V	5

## 5.4.1 Suscetibilidade aos Processos Erosivos

### 5.4.1.1 Mapa de Erosão Laminar

O mapa de erosão laminar foi gerado utilizando a equação EUPS descrita no item 3.5.1.1, com a utilização da ferramenta Álgebra dos Mapas em ambiente SIG. Para tal, o mapa do fator R da equação foi construído baseado na Equação 5.2, que considera o índice de erosão média mensal.

$$EI_{30} = 67,3655 * (r^2/p)^{0,85} \quad \text{Equação 5.2}$$

Onde  $EI_{30}$  é a média mensal do índice de erosividade em (MJ.mm)/(ha.h),  $r$  é a média do total mensal de precipitação em (mm) e  $P$  é a média do total anual de precipitação em (mm). Logo o fator R é calculado utilizando a Equação 5.3.

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

Em que  $i$  equivale aos meses do ano, logo  $i=1$  (janeiro) e  $i=12$  (dezembro) para o cálculo do índice de erosão médio mensal. Para tanto, foram utilizados os valores de precipitação média anual e mensais de 10 estações pluviométricas, conforme descritas na Tabela 5.4. Após quantificados e georreferenciados, tais valores de precipitação foram interpolados por meio da ferramenta de Krigagem no ArcGIS obtendo-se assim os índices de erosividade (R) para a área de estudo.

Tabela 5.4 Estações Pluviométricas utilizadas.

COD	ESTACAO	SÉRIE	Latitude (Sul)	Longitude (Oeste)
1547003	Formosa	1998 - 1964	-15,55	-47,34
1547016	CPAC - PRINCIPAL	2015 - 1973	-15,58	-47,7
1547027	São Gabriel	2013 - 1995	-15,2328	-47,5739
1547030	Faz. Rio de Janeiro	2007 -1999	-15,23	-47,6964
1547049	Rio Maranhao	2019-2009	-15,49	-47,6858
1547050	Ribeirao Palmeiras	2019-2009	-15,53	-47,74
1547051	Sonhem	2019-2009	-15,5231	-47,8158
1548001	Mimoso	2019-1973	-15,06	-48,17
1548036	Rio do Sal	2019-2000	-15,5	-48,14
1549011	Goianesia (USINA)	1998-1984	-15,2167	-48

O fator  $k$ , erodibilidade do solo, foi obtido de acordo com dados da bibliografia de Costa (2014), para as classes de solo mostrados na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 Valores de Erodibilidade do solo. Fonte: Costa (2014).

SIGLA	CLASSE PEDOLOGICA	FATOR K
CXbd	Cambissolo Haplico Tb distrofico	0,024
FFc	Plintossolo Petrico concrecionario	0,004
LVd	Latossolo Vermelho distrofico	0,006
LVw	Latossolo Vermelho acrico	0,009
PVAe	Argissolo Vermelho-Amarelo eutrofico	0,033
RLd	Neossolo Litolico distrofico	0,057

O fator LS foi calculado utilizando o mapa de declividade em porcentagem e com o mapa de fluxo acumulado, ambos gerados a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) do SRTM. A declividade foi gerada mediante a utilização da ferramenta *Slope* e o fluxo acumulado com a combinação das ferramentas *Flow Direction* que determina a direção de fluxo e, em seguida, a *Flow Accumulation*. A Equação 5.4 foi utilizada para tal cálculo.

$$LS = \left( \frac{FA * C}{22,13} \right)^{0,4} * \left( \frac{\text{sen}(Slope)}{0,0896} \right)^{1,3} \quad \text{Equação 5.4}$$

Sendo,

FA = Fluxo Acumulado;

C = *CellSize* que corresponde ao tamanho da célula do MDE;

*Slope* = Declividade em radianos, calculada para cada pixel.

Para o fator C, foi utilizado a metodologia proposta por Durigon *et al.* (2014), onde os valores de C são calculados a partir do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) que permitiu diferenciar a vegetação de outros tipos de cobertura do solo gerando valores de acordo com a cobertura vegetal. O cálculo foi realizado utilizando-se a bandas 3 (Vermelho, R) e 4 (Infravermelho Próximo, NIR) do satélite LandSat 8 pela Equação 5.5, enquanto a Equação 5.6 fornece os valores de C.

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} \quad \text{Equação 5.5}$$

$$C = \left( \frac{-NDVI + 1}{2} \right) \quad \text{Equação 5.6}$$

Por fim, para os valores de P, foram utilizados os valores propostos por Costa (2014), pela reclassificação do Mapa de Uso e Cobertura do Solo, conforme mostra a Tabela 5.6.

Tabela 5.6 Valores do Fator P. Fonte: Costa (2014).

<b>Classe Uso e Cobertura do Solo</b>	<b>FATOR P</b>
Corpo Hidrico	1
Área Urbana	0,7
Solo Exposto	0,08
Pastagem	0,3
Agricultura	0,4
Florestal	0,9
Campestre	0,8

#### 5.4.1.2 Mapa de Erosão Linear

O mapa de suscetibilidade à erosão linear foi criado a partir da metodologia de Macedo (2009) com a utilização dos mapas de pedologia, geologia e declividade. Inicialmente, foi realizada a classificação dos mapas de pedologia e geologia de acordo com as características de textura e espessura do solo. De modo que, os solos que apresentam pouco suscetibilidade a erosão, como a argila, foram classificados em grau I, enquanto solos profundos e arenosos, receberam classificação intermediária a alta. A classificação seguiu os valores atribuídos por Macedo (2009), conforme pode ser visualizado na Tabela 3.1Tabela 5.7:

Tabela 5.7 Classificação das Unidades Pedológicas conforme o grau de suscetibilidade a erosão. Fonte: Macedo (2009).

<b>SIGLA</b>	<b>CLASSE PEDOLOGICA</b>	<b>GRAU</b>
CXbd	Cambissolo Haplico Tb distrofico	III
FFc	Plintossolo Petrico concrecionario	IV
LVd	Latossolo Vermelho distrofico	II
LVw	Latossolo Vermelho acrico	II
PVAe	Argissolo Vermelho-Amarelo eutrofico	I
RLd	Neossolo Litolico distrofico	V

A Tabela 5.8 fornece os valores de classificação da suscetibilidade a processos erosivos para as unidades geológicas seguindo a mesma metodologia de Macedo (2009).

Tabela 5.8 Classificação das Unidades Geológicas conforme o grau de suscetibilidade a erosão. Fonte: Macedo (2009).

<b>SIGLA</b>	<b>GRUPO GEOLÓGICO</b>	<b>GRAU</b>
Mpci	Canastra Indiviso	III
Mpcicc	Canastra Calcário	IV
Mpcimm	Canastra Mámore	III
MPp	Paracatu	III
MPpa1	Conclomerática Ritmica	IV
MPpa2	Paranoá 2	III
MPpa3	Paranoá 3	III
MPpa3qt	Paranoá 3	I
MPpa4	Paranoá 4	III
MPpa4cc	Paranoá 4	IV
MPpa4ct	Paranoá 4	III
NQdl	Coberturas Dentricas	IV
Q2a	Depositos Alunianares	V
Qdi	Coberturas Dentricas	IV

Após a classificação e reclassificação com a utilização da ferramenta *Reclassify*, os mapas foram cruzados gerando o mapa geopedológico, o qual foi posteriormente cruzado com o mapa de declividade, a metodologia se baseou no cruzamento matricial utilizado por Macedo (2009). As classes resultantes do mapa de suscetibilidade a erosão linear estão descritas na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 Cruzamento matricial considerando a vulnerabilidade das classes geopedológicas e declividade em % (Macedo,2009).

		<b>CLASSES GEOLÓGICAS</b>					
<b>CLASSES PEDOLÓGICAS</b>	<b>GRAU</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>V</b>	
	<b>I</b>	I	I	III	II	III	
	<b>II</b>	I	II	III	II	III	
	<b>III</b>	I	II	III	III	III	
	<b>IV</b>	II	III	III	IV	IV	
	<b>V</b>	III	III	IV	IV	V	
		<b>DECLIVIDADE</b>					
<b>CLASSES GEOPEDOLÓGICAS</b>	<b>GRAU</b>	<b>I(0-6)</b>	<b>II(6-12)</b>	<b>III(12-20)</b>	<b>IV(20-30)</b>	<b>V(&gt;30)</b>	
	<b>I</b>	I	I	III	II	III	
	<b>II</b>	I	II	III	II	III	
	<b>III</b>	I	II	III	III	III	
	<b>IV</b>	II	III	III	IV	IV	
	<b>V</b>	III	III	IV	IV	V	

#### 5.4.2 Suscetibilidade à Inundação



O mapa de suscetibilidade à inundação foi realizado mediante o cruzamento dos mapas de declividade, uso e cobertura do solo e hipsométrico. O *layer* hipsométrico foi gerado pela ferramenta *Hillshade*, por meio do MDE. O mapa de uso e cobertura foi escalonado de acordo com o nível de impermeabilização do solo com valores de 1 a 5 (menos impermeável a mais impermeável), para o de declividade e hipsométrico foram usados os valores reais de declive (%) e elevação do terreno, respectivamente. Assim, os mapas foram cruzados pelo  lgebra de Mapas com pesos equivalentes para cada um gerando o mapa final de suscetibilidade a inundações, que por sua vez foi dividido em cinco categorias, classificando as áreas em graus de probabilidade de risco.

### 5.4.3 Suscetibilidade a Ações Antrópicas

O mapa de suscetibilidade a ações antrópicas foi produzido a partir dos mapas gerados de uso e cobertura do solo dos anos 2000, 2009 e 2020. Os graus de vulnerabilidade foram estabelecidos seguindo as modificações antrópicas causadas no decorrer do tempo pela a análise dos referidos mapas, para as classes de área urbana, agricultura e pastagem. Essa progressão temporal foi entendida em transformações que antes eram naturais, como florestal e campestre, e transformadas ou modificadas pelo ser humano. Tal atribuição pode ser visualizada na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 Graus de vulnerabilidade referentes as classes do mapa de suscetibilidade a ações antrópicas.

CLASSES	GRAU
�reas antropizadas entre 2000 e 2010	III
�reas Antropizadas entre 2010 e 2020	V
Agricultura	III
Pastagem	IV
Campestre	II
Florestal	I

Para as áreas de atividade humana entre 2010 e 2020, foi atribuído um peso maior pois são áreas que ainda estão em processo de consolidação e são mais afetadas pelo processo de antropogenicidade.  reas de pastagem e agricultura têm maior probabilidade de serem afetadas pelo processo de erosão e tendem a ocorrer em áreas com pouca declividade. Para áreas modificadas antes de 2010, levando em consideração o processo de urbanização já consolidado, o peso atribuído foi menor. Já para a categoria solo exposto, não foi considerada devido aos baixos valores de modificação durante os anos.

## 5.5 ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) E ÁLGEBRA DE MAPAS

Esta etapa foi realizada para o cálculo dos pesos dos critérios para o mapa de aptidão das áreas para implantação de aterro sanitário e para o peso dos mapas que compuseram o mapa de vulnerabilidade ambiental. Após a definição das classes e níveis de aptidão e de vulnerabilidade dentro de cada mapa e reclassificação dos valores, ponderou-se as variáveis de acordo com o grau de importância relativa entre os critérios.

Foi utilizada a técnica baseada na lógica da comparação pareada, no qual os critérios que influenciam a tomada de decisão são comparados dois-a-dois. A matriz quadrada ( $n \times n$ ) de comparação entre os “ $n$ ” critérios (fatores) foi construída para cada caso, na qual as linhas e as colunas corresponderam aos critérios avaliados (na mesma ordem ao longo das linhas e das colunas). O preenchimento considerou o grau de importância relativo entre os pares de critérios.

O autovetor fornece a ordem de prioridade e o autovalor é a medida de consistência do julgamento. O método da análise hierárquica busca o autovalor máximo,  $\lambda_{MAX}$ , que pode ser calculado pela multiplicação da matriz de julgamentos pelo vetor coluna de prioridades computado  $w$ , seguido da divisão desse novo vetor encontrado,  $Aw$ , pelo primeiro vetor  $w$ , chegando-se ao valor de  $\lambda_{MAX}$ , segundo a Equação 5.7.

$$M_p * w = \lambda_{MAX} * w \leftarrow \lambda_{MAX} = \text{valor médio do vetor } \frac{M_p * w}{w} \quad \text{Equação 5.7}$$

Onde,

$M_p$ , é a matriz de comparação inicial (não normalizada) e  $w$  é o vetor de prioridades dos critérios.

Após o agrupamento da matriz global de julgamentos, foi calculada a matriz normalizada aplicando a Equação 5.8, que consiste em dividir cada valor da coluna da matriz pela soma dos pesos dessa coluna. A partir da matriz normalizada, o peso final de cada critério é calculado pela média aritmética de cada linha da matriz normalizada utilizando a Equação 5.9.

$$\bar{w}_i(C_j) = \frac{c_{ij}}{\sum_{i=1}^m c_{ij}} \quad i = 1, \dots, m \quad \text{Equação 5.8}$$

$$\bar{w}(C) = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{w}_i(C_j)}{m} \quad \text{Equação 5.9}$$

Onde  $C$  é o peso atribuído na comparação pareada dos critérios.

Após a comparação pareada, foi necessário calcular o índice de consistência (IC) da avaliação e a razão de consistência (RC), conforme mostra a Equação 5.10 e 5.11. Como regra geral, se a razão de consistência for menor do que 0,1, então há consistência para prosseguir com os cálculos do AHP. Se for maior do que 0,1 recomenda-se que julgamentos sejam refeitos até que o valor da consistência aumente.

$$I.C. = \frac{\lambda_{MAX} - n}{n - 1} \quad \text{Equação 5.10}$$

$$RC = \frac{IC}{IA} \quad \text{Equação 5.11}$$

Em que, IA é o índice aleatório tabelado que varia de acordo com a quantidade de critérios utilizados.

Por fim, após os pesos gerados para cada critério, a soma ponderada é realizada com o auxílio da ferramenta de Álgebra de Mapas em ambiente SIG, gerando o mapa de aptidão geral da região, os resultados forneceram um mapa raster com células variando entre valores mínimo e máximo de aptidão (1 a 5), e o mapa de vulnerabilidade ambiental variando em valores de baixa a intensa (1 a 5) para o grau de vulnerabilidade.

## **5.6 EXCLUSÃO DE ÁREAS MENORES AS MÍNIMAS NECESSÁRIAS PARA O ATERRO**

Objetivando uma vida útil de 20 anos, foi necessário estimar o crescimento populacional e a contínua geração de RSU (volume) durante o período para calcular a área mínima do aterro sanitário. Para estimar a população do município em 2040, utilizou-se os dados dos Censos Demográficos do IBGE dos anos 1991, 2000 e 2010. São considerados os seguintes métodos, para projeção populacional: método aritmético, método da projeção geométrica, método da taxa decrescente de crescimento e o logístico. Porém, o método utilizado foi o de taxa decrescente de crescimento.

Na projeção aritmética, o crescimento populacional ocorre segundo uma taxa constante. Enquanto na projeção geométrica o crescimento populacional é função da população existente a cada instante. Utilizado para estimativas de menor prazo. O ajuste da curva pode ser também feito por análise da regressão, calculada de acordo com a Equação 5.12 e 5.13.

$$P_t = P_0 \cdot e^{K_g \cdot (t-t_0)}$$

Equação 5.12

Onde:

$P_t$ : População estimada no tempo  $t$ .

$P_0$ : População no penúltimo censo demográfico.

$K_g$ : Taxa de crescimento anual (%).

$t$ : Ano para o qual se deseja estimar a população.

$t_0$ : Ano do penúltimo censo demográfico.

$$k_g = \frac{\ln(P_1) - \ln(P_0)}{t_1 - t_0}$$

Equação 5.13

Onde:

$P_1$ : População no último censo demográfico.

$t_1$ : Ano do último censo demográfico.

Com o objetivo de estimar a geração de resíduos sólidos nos próximos 20 anos multiplicou-se a população projetada (hab.) de cada ano, obtida pela Equação 5.13, pelo índice de geração per capita de resíduos sólidos urbanos (kg/hab/dia) disponível pela ABRELPE (2019), obtendo a quantidade estimada de RSU que o aterro sanitário vai suportar, com o somatório dos resíduos gerados nos 20 anos de vida útil do mesmo.

Com o objetivo de estimar a área necessária para o aterro sanitário, considerou-se a adição de 20% na quantidade estimada de resíduos, devido ao volume de resíduos utilizados como cobertura diária no aterro sanitário, obtendo a quantidade total de resíduos. Além, das camadas de fundo e impermeabilização.

O cálculo do volume total de resíduos obtido foi realizado dividindo a quantidade dos resíduos pela massa específica dos resíduos compactados e a obtenção da área útil, que corresponde a área de disposição final dos resíduos, por meio da divisão do volume total de resíduos pela altura útil. Esse cálculo vai permitir a eliminação dos locais que não atendem a área mínima necessária. Foram considerados um valor 30 % para a área operacional e uma zona de segurança de 500 metros recomendada pela EPA (2016), que funciona como um *buffer* ou uma zona tampão para minimizar possíveis impactos adversos.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 MAPA DE USO E COBERTURA DO SOLO

As classificações temáticas geradas pelas imagens de satélite dos anos 2000, 2010 e 2020, resultou 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 (km<sup>2</sup>) de acordo com a classe temática.

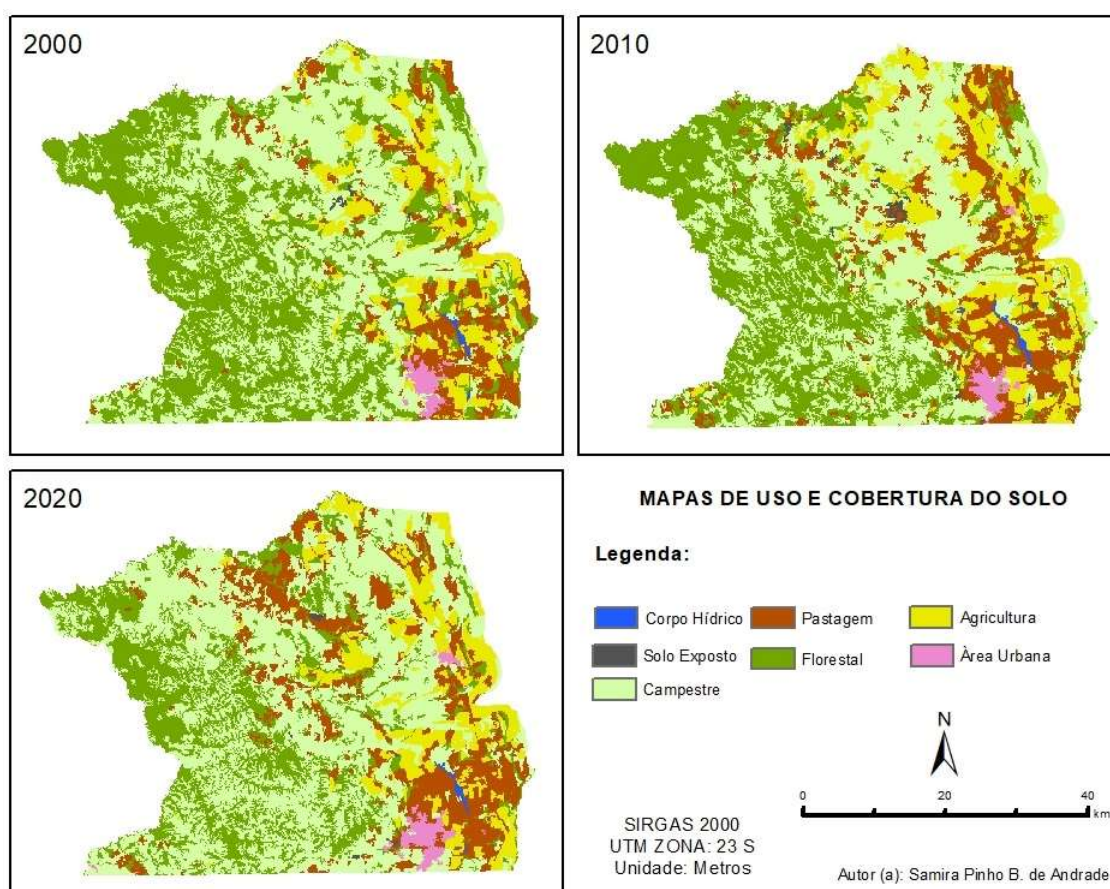


Figura 6.1 Mapas de Uso e Cobertura do solo.

Tabela 6.1 Quantitativo das classes de uso e cobertura do solo em km<sup>2</sup>.

Uso e Cobertura do Solo	Área (km <sup>2</sup> )		
	2000	2010	2020
Florestal	696,18	595,82	510,07
Campestre	844,96	777,47	701,80
Agricultura	266,62	453,50	500,92
Pastagem	399,93	453,50	601,10
Área Urbana	264,52	272,49	291,73
Corpos D'água	107,08	92,24	68,68

Era esperado, para esta análise, o aumento significativo para a expansão urbana e áreas agrícolas (agricultura e pastagem) e a perda decrescente de cobertura natural (florestal e campestre) diante dos dados de crescimento populacional, tendência à urbanização e pelo aumento da busca de áreas cultiváveis. É importante considerar a influência nos resultados pelo uso de diferentes satélites para cada ano e a sazonalidade que a região apresenta, podendo apresentar algumas variações entre os anos estudados devido à diferença da resolução espacial e do período de registro das imagens de satélite.

Contudo, observou-se que a expansão urbana não sofreu um grande avanço em áreas circundantes a já existentes e nem a ocupação de outras áreas além da sua zona adjacente, mantendo a característica da região. Enquanto as áreas agrícolas, com a maior representatividade, somando mais de 40 % da área do município, apresentou um grande avanço. Com destaque para a pastagem, que apresentou um significativo crescimento seguido da categoria de agricultura, conforme ilustra os gráficos na Figura 6.2.

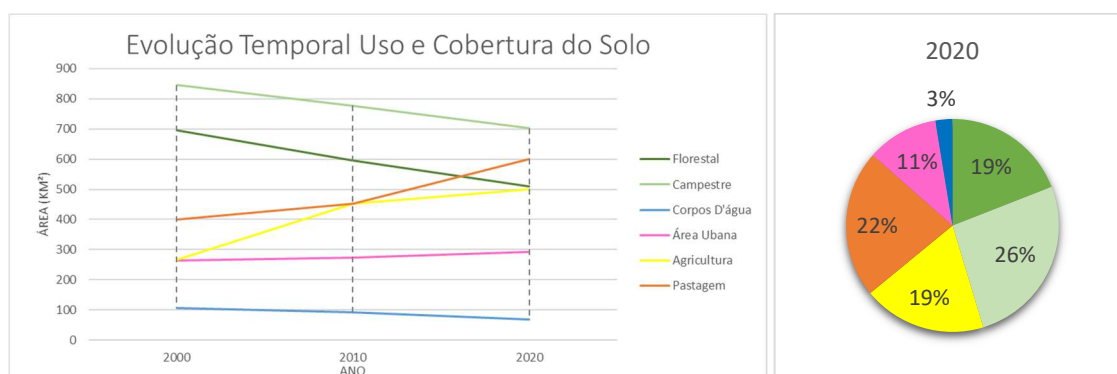


Figura 6.2 Gráficos da evolução temporal do uso e cobertura do solo e representação em % para 2020.

É possível observar graficamente a tendência do crescimento das áreas de agricultura e pastagem na região em detrimento de outras áreas. Tal avanço antrópico foi muito significativo nesse período de 20 anos, principalmente entre os anos de 2010 a 2020 em que as áreas de pastagem ultrapassaram as áreas do tipo florestal.

Os corpos de água obtiveram uma perda da sua área que pode ser explicada pelo aumento das zonas agrícolas ao decorrer dos anos. Já as áreas de cobertura natural, apresentaram perda expressiva das suas áreas, com destaque para a campestre que representa o cerrado da região. A área florestal também, teve diminuição ao decorrer dos anos representando atualmente 19% da área total, o que indica a necessidade de preservação e recuperação dessas áreas.

## 6.2 MAPA DE APTIDÃO PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO

A partir dos *layers* classificados de distância de área urbana (C1), distância das vias principais (C2), distância dos cursos de água (C3), distância de Unidades de Conservação (C4), uso e cobertura do solo (C5), declividade (C6), pedologia (C7) e geologia (C8), incluindo as restrições, a análise multicritério foi realizada. Para integrar todos os parâmetros do método AHP, a tabela de comparação pareada foi construída o julgamento realizado de acordo com a metodologia apresentada no item 5.5, conforme pode ser visto nas Tabelas 6.2 e 6.3.

Tabela 6.2 e 6.3 Matriz de julgamentos e matriz normalizada.

PAR A PAR - SUBCRITÉRIOS									NORMALIZAÇÃO								
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
C1	1	1/2	1/7	1/5	1/2	1/7	2	3	C1	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,06	0,06	0,08
C2	2	1	1/5	2	3	1/5	4	5	C2	0,08	0,08	0,05	0,23	0,12	0,08	0,13	0,13
C3	7	5	1	2	7	1/2	7	8	C3	0,28	0,39	0,24	0,23	0,29	0,19	0,22	0,21
C4	5	1/2	1/2	1	6	1/3	6	7	C4	0,20	0,04	0,12	0,12	0,25	0,13	0,19	0,18
C5	2	1/3	1/7	1/6	1	1/6	3	4	C5	0,08	0,03	0,03	0,02	0,04	0,06	0,10	0,10
C6	7	5	2	3	6	1	8	9	C6	0,28	0,39	0,47	0,35	0,25	0,39	0,25	0,23
C7	1/2	1/4	1/7	1/6	1/3	1/8	1	2	C7	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,05	0,03	0,05
C8	1/3	1/5	1/8	1/7	1/4	1/9	1/2	1	C8	0,01	0,02	0,03	0,02	0,01	0,04	0,02	0,03

Após o julgamento dos critérios de acordo com a importância relativa e a normalização da matriz, 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. Conforme pode ser visto na Tabela 6.4, o valor de 0,0667 foi alcançado indicando que o julgamento foi satisfatório.

Tabela 6.4 Tabela dos parâmetros calculados da AHP.

MÉDIA	RESULTADO	$\lambda$	$\lambda_{max}$	IC	RA	RC
0,044	0,3658	8,3004				
0,112	1,0206	9,1372				
0,256	2,3753	9,2673				
0,153	1,3404	8,7779				
0,058	0,4739	8,1818	8,6579	0,0940	1,41	0,0667
0,326	2,9406	9,0111				
0,030	0,2443	8,2188				
0,021	0,1777	8,3685				

Assim, o conjunto de pesos dos critérios foi alcançado por meio da comparação pareada. Sabendo-se que a atribuição de valores foi realizada de maneira subjetiva, após consultar as normativas sobre o assunto. Os valores obtidos revelaram a importância da declividade em 32 %, seguido da distância dos cursos de água em 25 % e da distância das unidades de conservação em 15 %, revelando um maior peso para os fatores ambientais quando somados, conforme mostra a Tabela 6.5.

Tabela 6.5 Pesos finais dos critérios analisados pelo método AHP.

<b>CÓD.</b>	<b>Preferência</b>	<b>Critério:</b>
C1	<b>0,0441</b>	Distância da área urbana
C2	<b>0,1117</b>	Distância das vias principais
C3	<b>0,2563</b>	Distância dos cursos d'água
C4	<b>0,1527</b>	Distância de Unidades de Conservação
C5	<b>0,0579</b>	Uso e Ocupação do Solo
C6	<b>0,3263</b>	Declividade
C7	<b>0,0297</b>	Pedologia
C8	<b>0,0212</b>	Geologia

O critério de distância das vias principais obteve 11 % de importância, uma vez que os custos com transporte e a infraestrutura das vias é um aspecto importante diante da logística de um aterro sanitário. Uso e cobertura do solo, pedologia e geologia se mostraram os quatro critérios com menor peso no processo de identificação de áreas adequadas, revelando uma importância menor para os fatores físicos. Tal importância pode ser justificada pela possibilidade de obras de engenharia e tecnologia que possibilitam modificações e/ou construções que podem melhorar tais critérios.

Já a distância da área urbana, apresentou apenas 4,4 % de importância, um valor relativamente baixo quando comparado com o de distância das vias principais. Porém, pode ser explicado pelo fato do município ser em sua maioria de uso agrícola com apenas um núcleo urbano, o que centraliza de qualquer maneira as atividades para essa região.

As restrições dos critérios utilizados resultaram na eliminação de 87 % da área do município, refletindo como áreas proibidas para a implantação de aterro sanitário. Esse valor, significativamente alto confirma a importância de estudos de localização de empreendimentos de médio de grande porte como um local para disposição de RSU. Com a utilização dos pesos dos critérios, obteve-se o mapa de aptidão final conforme mostra a Figura 6.3.



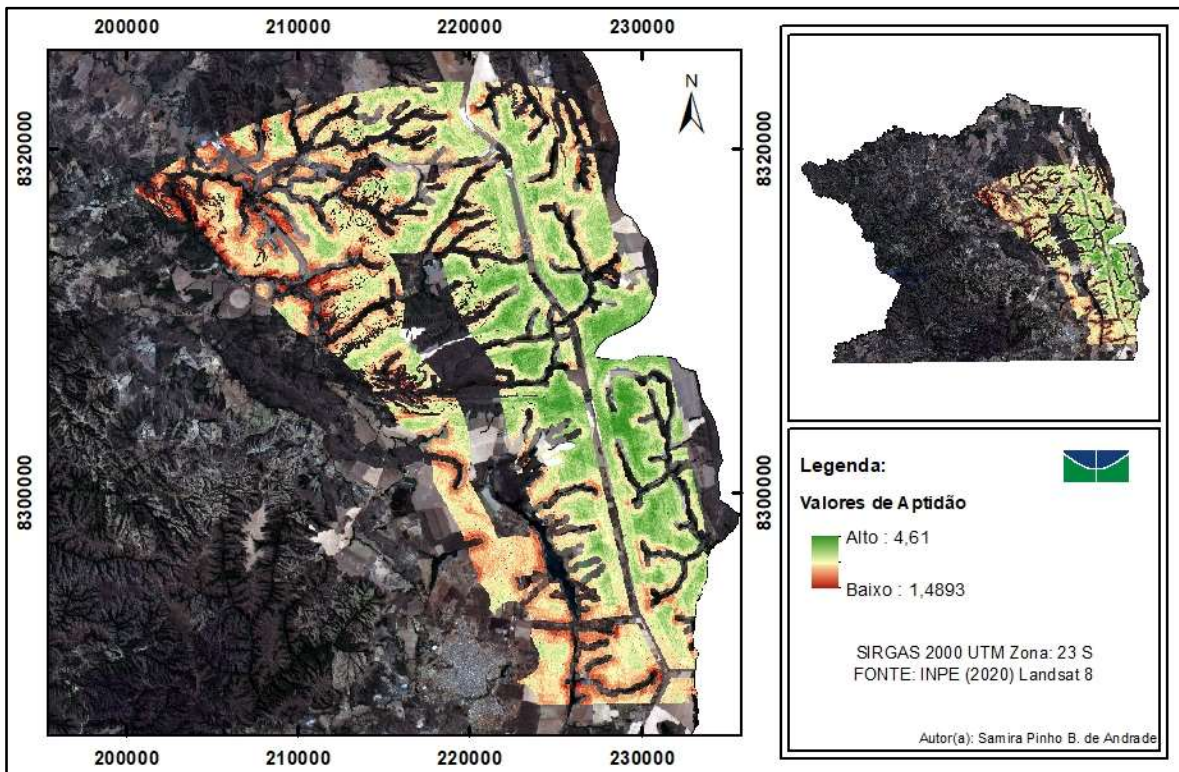


Figura 6.3 Mapa de Aptidão Final para implantação do aterro sanitário.

Os valores de aptidão foram escalonados em (1) muito baixa, (2) baixa, (3) média, (4) alta e (5) muito alta, o mapa de aptidão forneceu níveis de adequação com valores entre 1,48 (muito baixa) a 4,61 (alta). O que demonstra que nenhum local no município se enquadra como muito alta aptidão, enquanto concentra os valores de alta aptidão na região sudeste do mapa próximo a extensão da BR-010 e do limite do município com a região de Formosa – GO.

Foram consideradas como resultados satisfatórios, apenas as áreas classificadas em alta aptidão (com valores maiores ou igual a 4). Pode-se perceber que estão em zonas que apresentam baixa declividade, próximo a via principal, com uma considerável distância da APA Planalto Central e obedecendo as distâncias dos cursos de água. Em sua maioria, a localização se deu em áreas agrícolas o que favorece a preservação das áreas campestres, ou seja, do cerrado.

Os valores entre muito baixa e média aptidão, estão configurados principalmente em áreas distantes da zona urbana o que torna uma vantagem em relação ao impacto que o empreendimento causaria no ambiente social e uma desvantagem na questão logística. Outros critérios que pesaram, para tais resultados, foram a distância de unidades de conservação e uso e cobertura do solo.

## 6.3 VULNERABILIDADE AMBIENTAL

### 6.3.1 Mapa de Suscetibilidade a Erosão Laminar

Os fatores calculados para a composição do mapa erosão laminar estão ilustrados na Figura 6.4, estes fatores compõem a Equação Universal de Perda do Solo (EUPS) conforme explicitado no item 3.5.1.1.

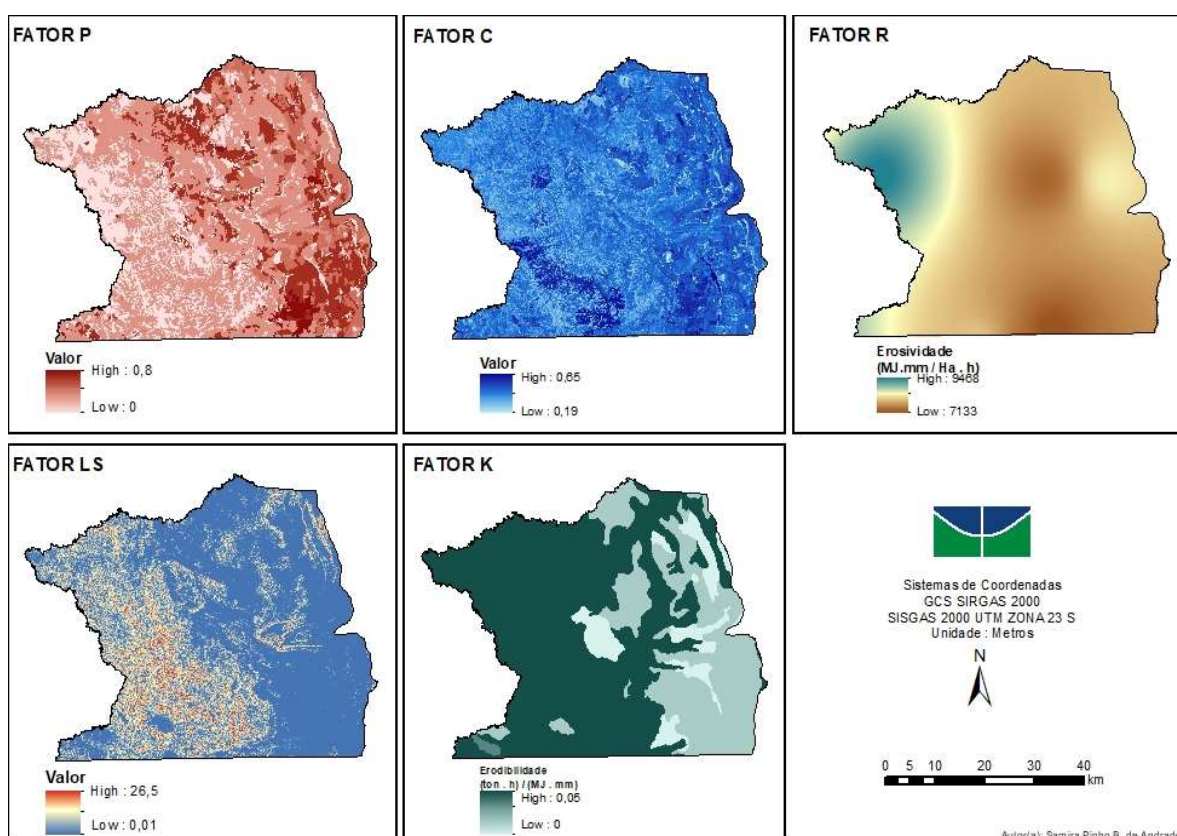


Figura 6.4 Fatores da EUPS

Os valores do fator R variaram de 7133 a 9468 MJ.mm/ha.ano, bem próximos aos calculados por Aquino *et al.* (2012), com os maiores valores concentrados na região norte do município. Já o mapa 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.

O fator LS é de suma importância no comportamento da erosão hídrica, pois reflete a velocidade de escoamento superficial. Cerca de mais de 50 % da região analisada apresenta valores abaixo de 13, o que sugere níveis de baixo a moderado quanto a suscetibilidade. No

entanto, os outros 50 % da área apresentam valores de LS superiores a 13, representando os locais onde o fluxo superficial é mais elevado. O fator C reflete diretamente o nível de cobertura vegetal da região, também estando ligado aos valores do fator P que apresenta valores altos de suscetibilidade.

A distribuição espacial da perda de solo, mediante o cruzamento de todos os fatores, pela álgebra de mapas, pode ser visualizado como o mapa de suscetibilidade a erosão laminar na Figura 6.5. Seus valores são avaliados de maneira qualitativa, devido às limitações da EUPS quanto ao seu potencial erosivo, adotando-se a classificação por meio dos intervalos utilizados por Diniz (2016). No município estudado, há o predomínio para suscetibilidade grau I em torno de 50% da área, e de grau III a V nos outros 50%, confirmando as características dos fatores utilizados como LS, K e R.

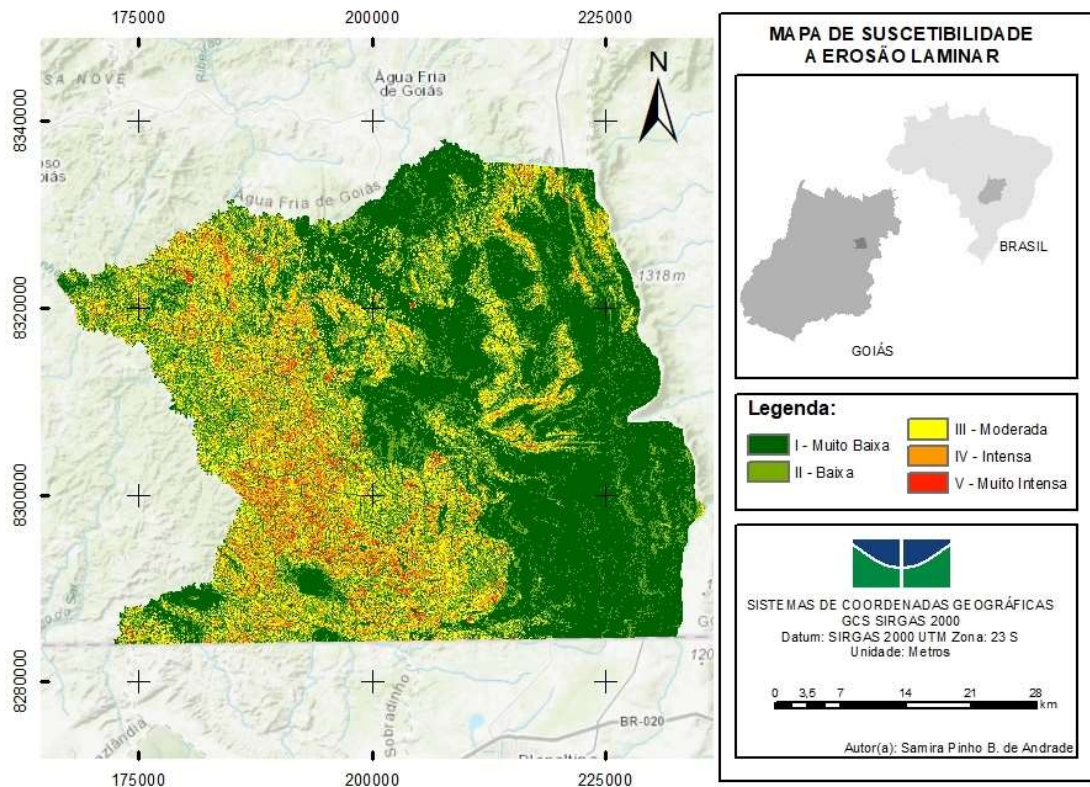


Figura 6.5 Mapa de suscetibilidade a erosão laminar.

### 6.3.2 Mapa de Suscetibilidade a Erosão Linear

O mapa de suscetibilidade a erosão linear foi obtido a partir do cruzamento matricial dos mapas de geopedologia e de declividade, expressos na Figura 6.6. Ambos os mapas apresentam grau III a V na região oeste do município, enquanto na região leste os valores de suscetibilidade variam de I a II. Tais atributos, levam em consideração as características do

solo da região apresentando um valor considerável de suscetibilidade a erosão. O cruzamento dos mapas pode ser visualizado na Figura 6.7.

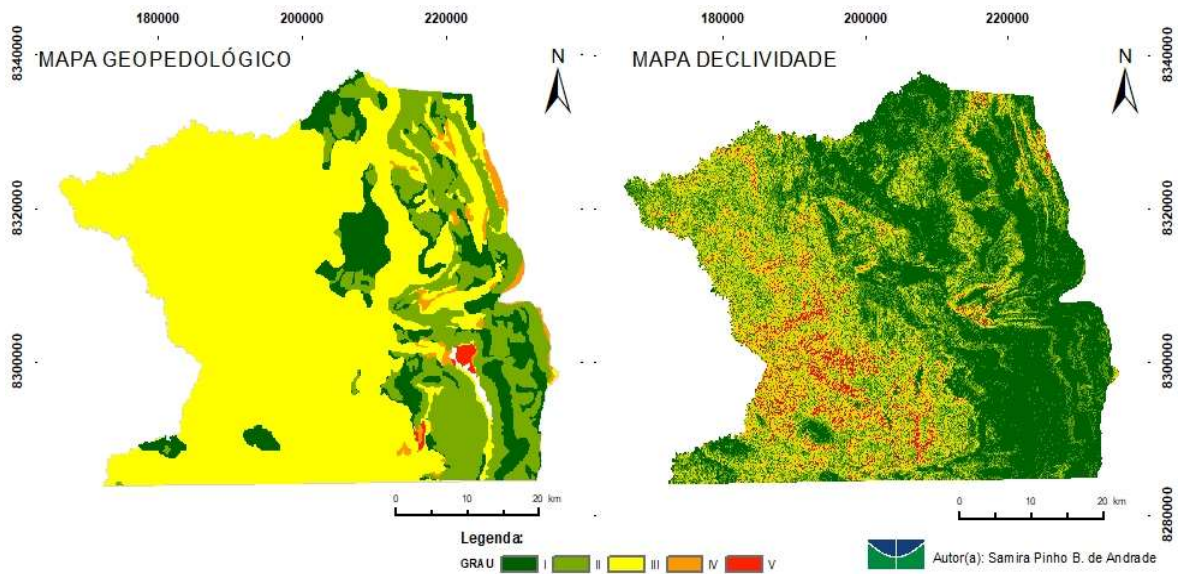


Figura 6.6 Mapas de geopedologia e declividade classificados quanto ao grau de suscetibilidade a erosão.

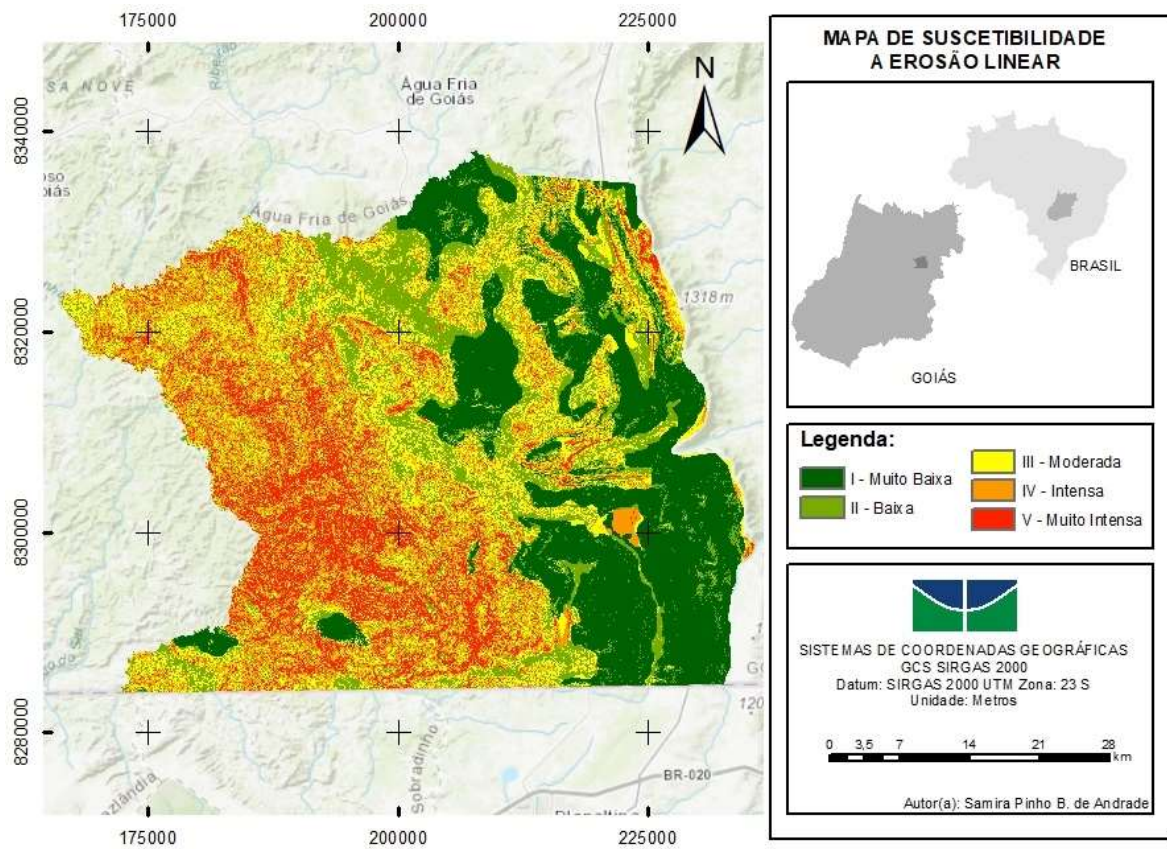


Figura 6.7 Mapa de suscetibilidade a erosão linear.

Percebe-se que as áreas de maior abrangência com valores de moderada a intensa suscetibilidade a erosão linear refletem a forte influência da declividade, combinadas com as características de pedologia e geologia da região. Tais regiões abrangem as áreas de deflexão topográfica e cursos de água que podem ser agentes influenciadores no processo de erosão linear.

### 6.3.3 Mapa de Suscetibilidade à Inundação

O mapa de suscetibilidade a inundação, foi gerado a partir da hipsometria, declividade e impermeabilização do uso e cobertura do solo. O resultado pode ser visualizado na Figura 6.8, refletindo o risco de inundação próximo ao corpo hídrico da região combinado com a impermeabilização gerada pela área urbana. O que ocasiona um grau IV nessas regiões, e de muito baixo a baixo nas demais áreas, sendo um reflexo das bordas das zonas de uso muito impermeável como as áreas urbanas. Porém, recomenda-se estudos hidrológicos e hidráulicos para melhores resultados.

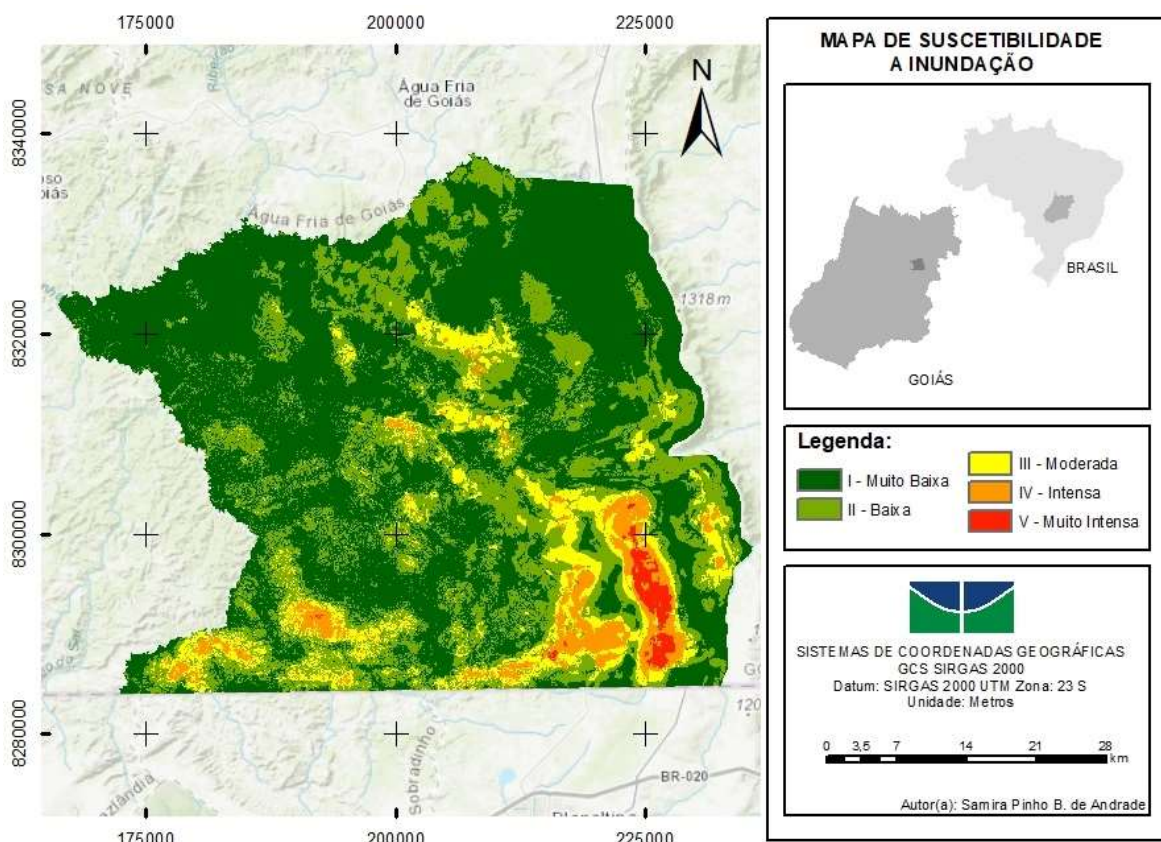


Figura 6.8 Mapa de suscetibilidade a inundação.

### 6.3.4 Mapa de Suscetibilidade a Ações Antrópicas

A partir da reclassificação dos mapas de uso e cobertura do solo e das variações ocorridas entre os anos de 2000, 2010 e 2020, obteve-se o mapa de suscetibilidade a ações antrópicas apresentado pela Figura 6.9.

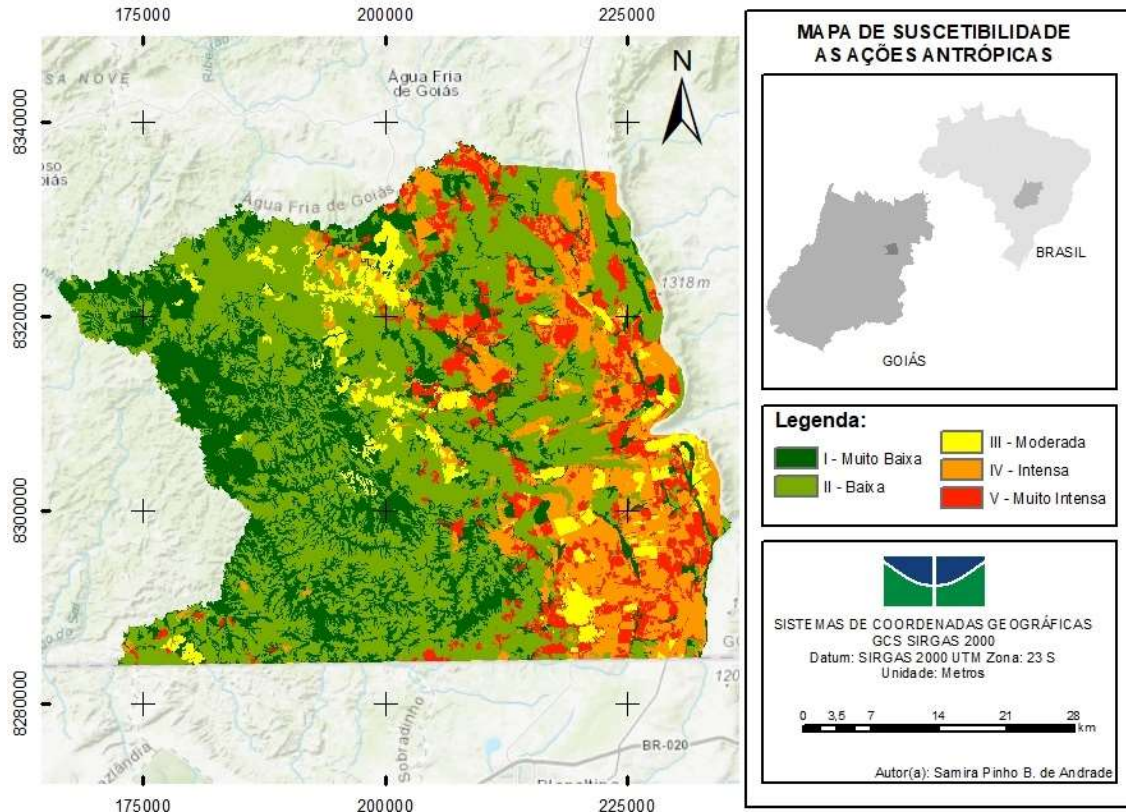


Figura 6.9 Mapa de Suscetibilidade a ações antrópicas.

Observa-se que o ambiente foi antropizado, principalmente, devido a modificação da paisagem pelo avanço do uso do solo para pastagem e agricultura, sendo áreas com graus de moderado a intensa suscetibilidade. O quantitativo de crescimento urbano não foi muito significativo entre os anos analisados, apresentando moderada suscetibilidade antrópica.

### 6.3.5 Mapa de Vulnerabilidade Ambiental

A partir dos layers classificados de suscetibilidade a erosão laminar (EA), a erosão linear (EI), a ações antrópicas (AA) e a inundação (IN), a análise multicritério foi realizada. Para integrar todos os parâmetros do método AHP, a tabela de comparação pareada foi construída o julgamento realizado de acordo com a metodologia apresentada no item 5.5, conforme pode ser visto nas Tabelas 6.6 e 6.7.

Tabela 6.6 e 6.7 Matriz de julgamentos e matriz normalizada.

PAR A PAR - CRITÉRIOS					NORMALIZAÇÃO				
	EA	EI	IN	AA		EA	EI	IN	AA
EA	1	7	3	2	EA	0,51	0,44	0,41	0,57
EI	1/7	1	1/3	1/5	EI	0,07	0,06	0,05	0,06
IN	1/3	3	1	1/3	IN	0,17	0,19	0,14	0,09
AA	1/2	5	3	1	AA	0,25	0,31	0,41	0,28

Após o julgamento dos critérios de acordo com a importância relativa e a normalização da matriz, 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. Conforme pode ser visto na Tabela 6.8, o valor de 0,0228 foi alcançado indicando que o julgamento foi satisfatório.

Tabela 6.8 Tabela dos parâmetros calculados da AHP.

MÉDIA	RESULTADO	$\lambda$	$\lambda_{max}$	IC	RA	RC
<b>0,480</b>	1,963	4,093				
<b>0,059</b>	0,240	4,045	4,064	<b>0,0214</b>	0,9000	<b>0,0238</b>
<b>0,147</b>	0,589	4,015				
<b>0,314</b>	1,290	4,104				

Assim, o conjunto de pesos dos critérios foi alcançado por meio da comparação pareada. Os pesos obtidos para os 4 parâmetros, segundo a matriz de julgamentos, e usados, em seguida, pela ferramenta de álgebra de mapas do constam na Tabela 6.9.

Tabela 6.9 Pesos calculados pelo método AHP.

COD	Prefêrência	Crítério:
EA	<b>0,4800</b>	Suscetibilidade a Erosão Lamar
EI	<b>0,0590</b>	Suscetibilidade a Erosão Linear
IN	<b>0,1470</b>	Suscetibilidade a Inundação
AA	<b>0,3140</b>	Suscetibilidade a Ações Antrópicas

Os valores obtidos revelaram a importância EA em 48 %, seguido da AA em 31,4 % e da IN em 15 %, e o menor peso para EI com 5,9% de importância, a soma ponderada dos fatores resultou no mapa de vulnerabilidade ambiental, conforme mostra a Figura 6.10.

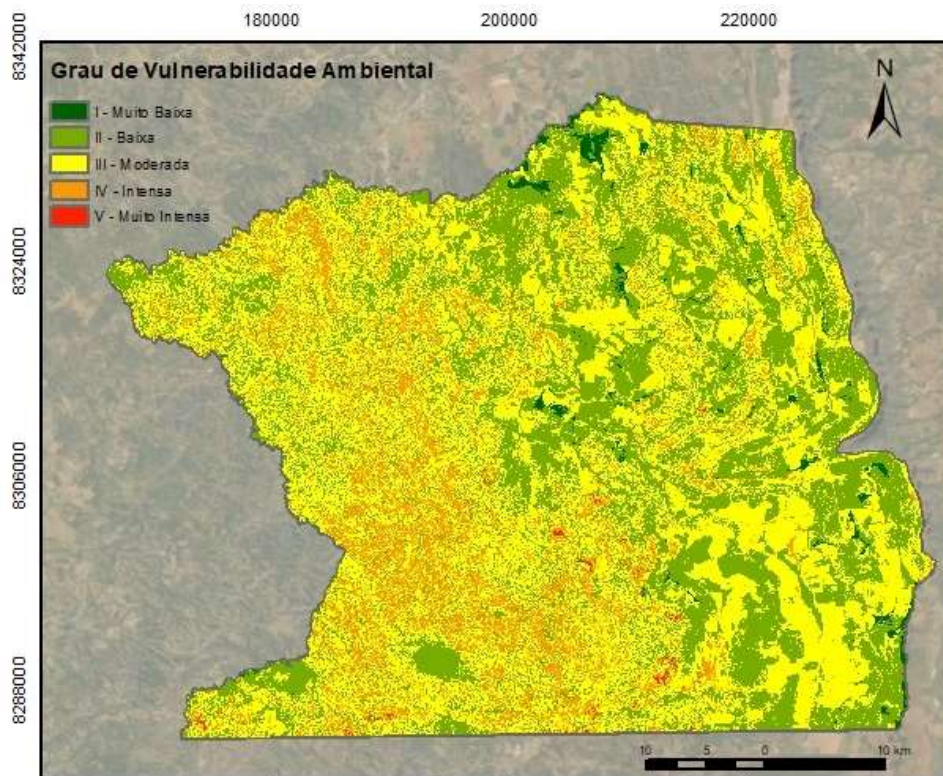


Figura 6.10 Mapa de Vulnerabilidade Ambiental

De acordo com a Figura 6.10, o grau de vulnerabilidade predominante é o moderado (II), representado por áreas correspondentes ao tipo campestre e florestal. As áreas com o grau de vulnerabilidade alto (IV) referem-se às áreas de elevada declividade e características de solo erosivo, enquanto que o grau de vulnerabilidade baixo (I) e muito baixo (II) estão relacionados, com as áreas agrícolas, principalmente de agricultura.

Observa-se que a região apresenta, majoritariamente, grau de muito baixa a moderada suscetibilidade a vulnerabilidade ambiental sendo um bom parâmetro para subsidiar estudos e pesquisas. No entanto, esses valores são 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).

#### 6.4 ÁREAS FAVORÁVEIS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO

A projeção populacional utilizada pelo método decrescente, forneceu um quantitativo de 120.265,74 habitantes para o município de Planaltina no ano de 2040, que considera uma



população de saturação de 175.797,1 habitantes. A Figura 6.11 mostra os valores calculados por diferentes métodos populacionais, o método decrescente foi escolhido por estimar igualmente ao IBGE para o ano de 2020, além de apresentar valores mais aproximados do verdadeiro.

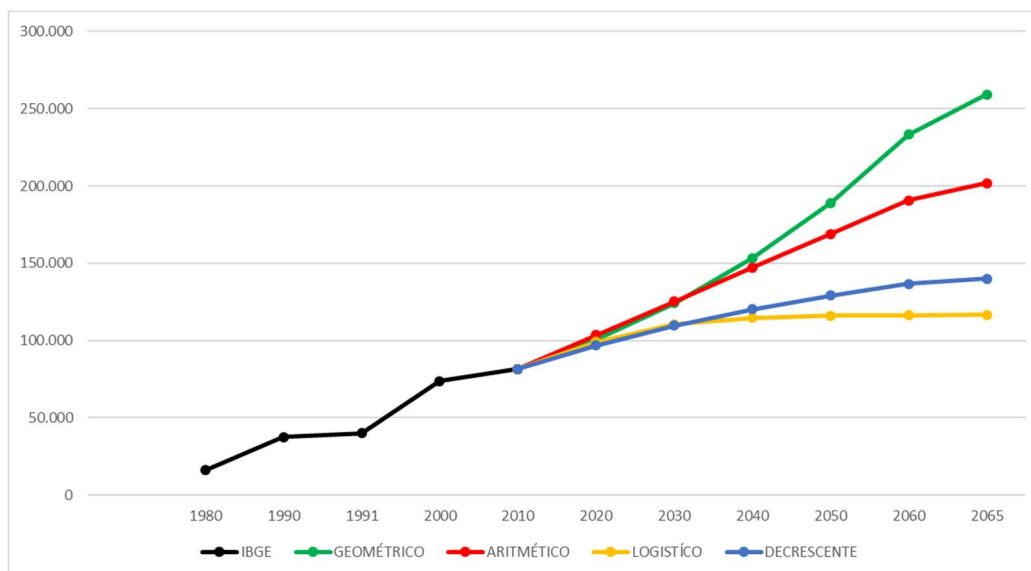


Figura 6.11 Gráfico dos métodos de projeção populacional para Planaltina – GO.

Após a estimativa da população para os próximos 20 anos, obteve-se uma geração acumulada de 634 mil toneladas de RSU para o período, o que permitiu calcular a área mínima necessária para o aterro, conforme mostra os valores nas Tabelas 6.10 e 6.11.

Tabela 6.10 Calculo da geração de RSU para os próximos 20 anos.

FLUXO GERAÇÃO DE RSU PARA O ATERRO EM 20 ANOS							VOLUME		
Ano	i	População no ano i [hab]	Geração de RSU [t/dia]	RSU [kg/hab/dia]	Quantidade para Aterramento no ano inicial	Quantidade para Aterramento	Volume compactado disposto no aterro [m³/ano]	Volume compactado disposto no aterro [m³/dia]	Volume compactado acumulado disposto no aterro [m³]
2018		85.841							
2019		90.841							
2020	1	96.841	68,81	0,74	25.116,23	26.775,15	26.775,15	73,36	26.775,15
2021	2	98.218	68,81	0,74		27.155,94	27.155,94	74,40	53.931,09
2022	3	99.571	69,40	0,74		27.530,10	27.530,10	75,42	81.461,19
2023	4	100.901	69,93	0,74		27.897,73	27.897,73	76,43	109.358,92
2024	5	102.207	70,41	0,74		28.258,94	28.258,94	77,42	137.617,86
2025	6	103.491	70,85	0,74		28.613,86	28.613,86	78,39	166.231,72
2026	7	104.752	70,94	0,74		28.962,58	28.962,58	79,35	195.194,29
2027	8	105.992	72,10	0,75		29.305,22	29.305,22	80,29	224.499,51
2028	9	107.209	73,25	0,75		29.641,88	29.641,88	81,21	254.141,40
2029	10	108.406	74,41	0,75		29.972,67	29.972,67	82,12	284.114,07
2030	11	109.581	77,03	0,75		30.297,69	30.297,69	83,01	314.411,77
2031	12	110.736	78,51	0,75		30.617,05	30.617,05	83,88	345.028,81
2032	13	111.871	79,05	0,75		30.930,83	30.930,83	84,74	375.959,64
2033	14	112.986	79,58	0,75		31.239,13	31.239,13	85,59	407.198,77
2034	15	114.082	80,12	0,75		31.542,06	31.542,06	86,42	438.740,84
2035	16	115.158	80,64	0,75		31.839,71	31.839,71	87,23	470.580,55
2036	17	116.216	81,17	0,75		32.132,16	32.132,16	88,03	502.712,71
2037	18	117.255	81,69	0,76		32.419,51	32.419,51	88,82	535.132,22
2038	19	118.277	82,22	0,76		32.701,85	32.701,85	89,59	567.834,07
2039	20	119.280	82,73	0,76		32.979,27	32.979,27	90,35	600.813,34
2040	21	120.266	84,07	0,76		33.251,84	33.251,84	91,10	634.065,18
<b>Quantidade de RSU gerado em 20 anos [t] =</b>						<b>634.065,18</b>			

Tabela 6.11 Cálculo da área mínima necessária para o aterro sanitário.

DIMENSIONAMENTO CÉLULA PARA 20 ANOS				
DADOS				
Fator compactação	Inclinação talude	Altura camada [m]	Altura camada de cobertura [m]	Camadas de cobertura necessárias
1 t/m <sup>3</sup>	1	5	1	4,0
CÉLULA INFERIOR (DE FUNDO)				
a	b	h	A	B
100	100	10	200	200
CÉLULA SUPERIOR				
a	b	h	A	B
100	100	20	200	200
CAMADAS DE COBERTURA (Cc) E IMPERMEABILIZANTE (Ci)				
Volume Cc [m <sup>3</sup> ]		Volume Ci [m <sup>3</sup> ]		
93.333,33		46.666,67		
ÁREA NECESSARIA CÉLULA [m <sup>2</sup> ]				40.000
ÁREA UNIDADE DE APOIO [m <sup>2</sup> ] - 30%				12.000
BUFFER ZONE (m) =				500
COMPRIMENTO/LADO (m) =				228,04
ÁREA TOTAL (m <sup>2</sup> ) =				504100
ÁREA TOTAL (m <sup>2</sup> ) =				50,41

Portanto, a área mínima necessária para o aterro com vida útil de 20 anos é de 50 ha. A partir do mapa de aptidão final, foi gerado um grid que compreendeu polígonos de área equivalente a fim de excluir as áreas que não atendessem essa demanda. As áreas utilizadas foram a de valor acima de 4 (alta aptidão) que forneceram um total de 31 áreas favoráveis para implantação de aterro sanitário, conforme mostra a Figura 6.12

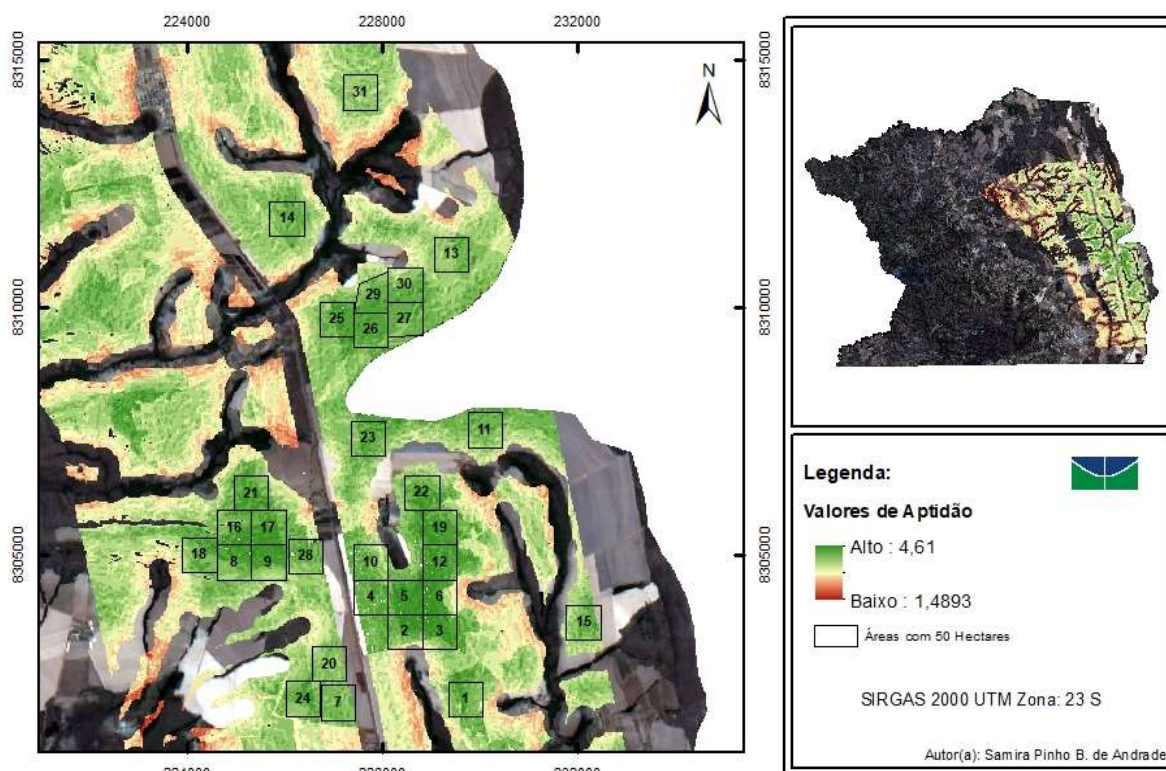


Figura 6.12 Áreas de alta aptidão que possuem 50 hectares.

Enumeradas de 1 a 31, as áreas identificadas como favoráveis estão localizadas próximas a via BR-010, com baixa declividade e em áreas do tipo agricultura e pastagem, o que revela que atendeu as principais normas técnicas, além de cumprir as restrições estabelecidas. Totalizando uma área de 1.550 hectares identificados como alta aptidão, confirmando que as características e propriedades dos locais apresentados corroboram com a metodologia utilizada nesta pesquisa.

A Figura 6.13 apresenta as 31 áreas identificadas como favoráveis e a comparação com o grau de vulnerabilidade gerado para a mesma região, servindo como um parâmetro auxiliar no processo de escolha das áreas.

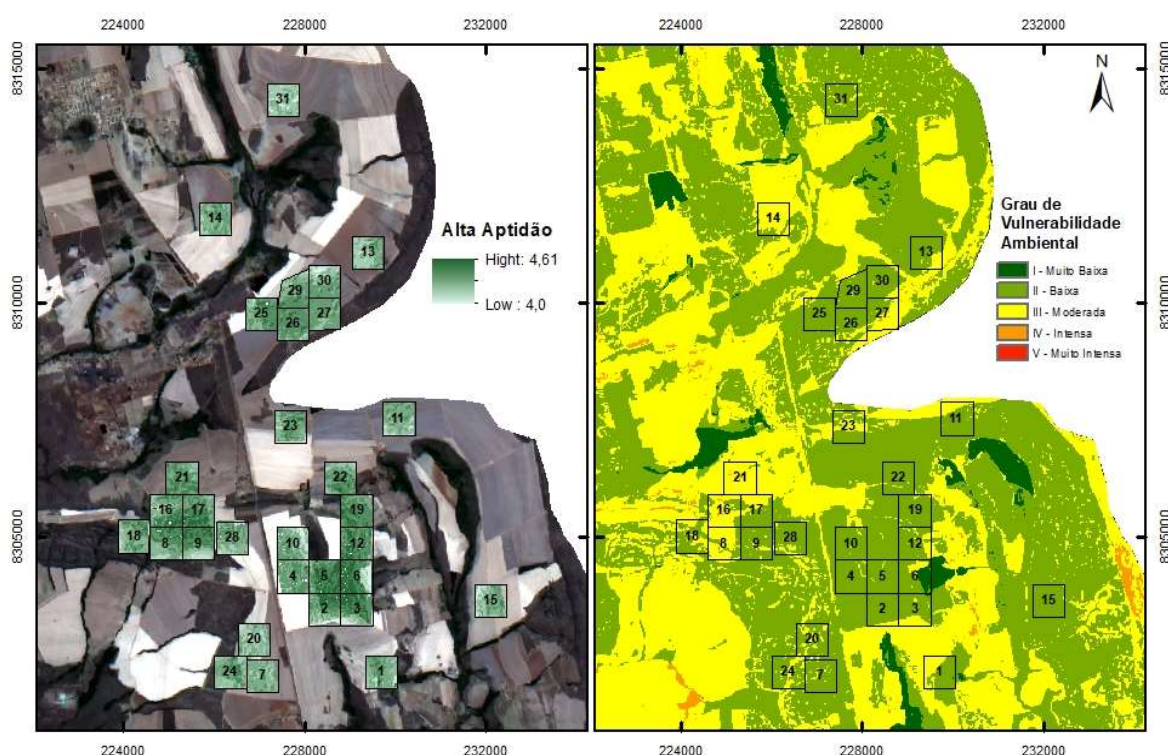


Figura 6.13 Mapa de comparação entre as áreas favoráveis e o grau de vulnerabilidade.

A comparação permite identificar que a maioria das áreas enumeradas de 1 a 31, enquadram-se no grau de baixa vulnerabilidade ambiental, com exceção das áreas 8, 14, 16, 21, 27 e 1 que apresentam moderada vulnerabilidade. Os resultados demonstram que é necessária e fundamental a realização de visitas, experimentos e atividades in loco que analisem as reais condições das áreas identificadas, uma vez que os dados utilizados podem possuir variações como permeabilidade do solo.

Do ponto de vista da gestão territorial, a localização da melhor área para deposição de RSU é decisiva. Os resultados obtidos apresentam a integração de aspectos ambientais,

socioeconômicos e físicos, além da utilização de um parâmetro extra como auxiliador no processo decisivo que é o mapa de vulnerabilidade ambiental.

Para o Aterro Sanitário Norte, foi identificado que o mesmo se encontra dentro da área da APA Planalto Central, ou seja, uma área restritiva à implantação de aterros sanitários. Utilizando o mapa de aptidão e de vulnerabilidade ambiental gerados, verifica-se a existência de possibilidades de áreas que poderiam ser utilizadas para a disposição final de resíduos no município. Verifica-se, também, a necessidade de fechamento do atual aterro, com medidas de recuperação da área indevidamente utilizada.

## 7 CONCLUSÃO

Os resultados mostram que, apesar das limitações quantitativas, o uso de modelos empíricos, como a equação EUPS, relacionados ao SIG podem ser usados como uma ferramenta eficaz para avaliar a vulnerabilidade à erosão do solo, a fim de determinar a taxa de erosão hídrica causada pelo uso atual do solo. Assim como os mapas de susceptibilidade à erosão linear, mapas de susceptibilidade a inundações e de ações antrópicas, como ferramentas que visam subsidiar análises ambientais.

A análise confirmou que o estudo da vulnerabilidade ambiental é um método eficaz para auxiliar no planejamento territorial ambiental, podendo analisar as potencialidades e limitações do meio ambiente. Por meio da análise de variáveis físicas e dados obtidos em estudo de campo, também é possível entender melhor os processos que podem levar à degradação da área, bem como as áreas mais favoráveis e menos favoráveis para sua ocupação.

Conforme indicado pelas características da região a área de estudo é considerada de alto valor ambiental por estar localizada na APA Planalto Central, por também possuir vasta paisagem natural, características típicas do Cerrado, e grande biodiversidade.

Os resultados mostraram que a análise multicritério, mais especificamente o método AHP, fornece uma abordagem flexível para lidar com questões quantitativas, qualitativas e contraditórias complexas e, combinada com o SIG, fornece uma ferramenta poderosa para localizar áreas favoráveis para aterros sanitários de RSU. Assim, diferentes critérios podem ser usados com sucesso para determinar a adequação do terreno para selecionar o local do aterro sanitário de RSU. Multiplicar a camada de restrição com base na exclusão das áreas restritivas elimina a fraqueza do método AHP em ignorar áreas não exploráveis na determinação do local apropriado para o aterro.

O mapa final de adequação de terrenos para aterro em Planaltina - GO apresentou 31 locais identificados como de alta aptidão, nos quais o melhor local pode ser selecionado por estudos aprofundados e observação de campo. Apesar de subjetivo, a vantagem desse método é que, como o valor do julgamento da comparação de paridade é baseado na experiência, intuição e dados físicos, a AHP pode lidar com os aspectos qualitativos e quantitativos dos problemas de tomada de decisão. Portanto, a aplicação do processo de hierarquia analítica incorpora e mede todos os fatores importantes, sejam tangíveis ou

intangíveis, qualitativos ou quantitativos, e podem ser usados para se aproximar de modelos realistas.

Em relação à aplicabilidade, ao uso das ferramentas e do auxílio do mapa de vulnerabilidade ambiental no processo de seleção de um aterro favorável, concluiu-se que os parâmetros utilizados foram válidos e suficientes para garantir que o objetivo final fosse alcançado. Considerando as áreas vulneráveis aos impactos ambientais, os métodos aqui utilizados são úteis para o apoio a tomada de decisões, a até a replicação em outras áreas de estudo com o objetivo de evitar elevadas degradações ambientais e minimizar possíveis ações de mitigação e compensação. Recomenda –se, um estudo para verificar os impactos causados pela locação do Aterro Sanitário Norte em Área de Proteção Ambiental.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. (1992). NBR 8. 419 Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos. *Associação Brasileira de Normas Técnicas*.
- ABNT. (1997). NBR 13.896 Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação. *Associação Brasileira de Normas Técnicas*.
- ABNT. (2004). NBR 10.004 Resíduos Sólidos - Classificação. *Associação Brasileira de Normas Técnicas*.
- ABRELPE. (2019). Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019*, 68.
- AbreuI, L. M., GranemannII, S. R., GartnerIII, I., & Bernardes, R. S. (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(2), 257-262. doi:10.1590/S1415-43662000000200021
- Albertin, R. M., Moraes, E., Neto, G. D., De Angelis, B. L., Corveloni, E., & Silva, F. F. (Dez de 2010). Diagnóstico da gestão dos resíduos sólidos urbanos do município de Flórida Paraná. *Agroambiente*, 4(2), 118-125. doi:dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v4i2.378
- Almeida, W. S., Souza, N. M., & Carvalho, J. C. (2012). Produção de Carta geotécnica preliminar da Capacidade de infiltração de água no solo em uma área do entorno do reservatório da usina hdreletrica de Corumbá IV (GO). Em J. C. Carvalho, G. F. Junior, & E. T. Carvalho, *Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais* (1 ed., pp. 581-606). Brasília: Universidade de Brasilia.
- Andrade, S. L., Ferreira, V. d., & Silva, M. M. (2014). Elaboração de um mapa de risco de inundações da bacia hidrográfica do córrego São Pedro, área urbana de Uberlândia-MG. *Caderno de Geografia*, 24.
- Aquino, A. R., Paletta, F. C., Almeida, J. R., Lange, C. N., Lima, C. M., Amorim, E. P., . . . Bordon, I. C. (2017). *Vulnerabilidade Ambiental* (1ª ed.). São Paulo: Blucher.
- Barros, R. T. (2012). *Elementos de Gestão de Resíduos Sólidos* (1 ed.). Belo Horizonte: Tessitura.
- Binder, F. V. (1994). *Sistemas de Apoio à Decisão*. São Paulo: Érica.
- Born, V. (Novembro de 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, 103.*
- BRASIL. (1967). Decreto-Lei Nº 248, de 28 de Fevereiro de 1967. *Institui a Política Nacional de Saneamento Básico, cria o Conselho Nacional de Saneamento Básico e dá outras providências.*
- BRASIL. (1988). Constituição Federal, promulgada em 5 de Outubro de 1988. *Constituição da República Federativa do Brasil.*
- BRASIL. (2000). Lei nº 9.985, de 18 de Julho de 2000. *Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências.*
- BRASIL. (2005). Lei nº 11.101, de 6 de Abril de 2005. *Dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos e dá outras providências.*
- BRASIL. (2007). Lei nº 11.445, de 5 de Janeiro de 2007. *Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico.*
- BRASIL. (2010). Lei nº 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.*
- Camapum, J. C., Sales, M. M., Souza, N. M., & Melo, M. T. (2006). *Processos erosivos no Centro-Oeste Brasileiro* (1ª ed.). Brasília: FINATEC.
- Câmara, G., Davis, C., & Monteiro, A. M. (2001). *Introdução à Ciência da Geoinformação* (2ª ed.). São José dos Campos: INPE.
- Carvalho, R. R. (Julho de 2017). Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos (UNB). *Aplicação de Análise Multicritério em Ambiente de Geoprocessamento no Estudo de Áreas para Implantação de Aterros Sanitários.*
- Chang, N.-B., Parvathinathan, G., & Breeden, J. B. (2008). Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region. *Journal of environmental Management*, 87, 139-153.
- Costa, B. d. (2014). *Perda de solo na bacia hidrográfica do Córrego Rico – SP, utilizando técnicas de geoprocessamento.* Jaboticabal: Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista.
- Crepani, E., Medeiros, J. S., Filho, P. H., Florenzano, T. G., Duarte, V., & Barbosa, C. C. (2020). *Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico – econômico e ao ordenamento territorial.* São José dos Campos: INPE.



- Dalmas, F. B., Goveia, S. S., Oliveira, F. R., Amaral, C. H., & Macedo, A. B. (2011). Geoprocessamento aplicado à gestão de resíduos sólidos na UGRHI-11 - Ribeira de Iguape e Litoral Sul. *Geociências*, 30(2), 285-299.
- Diniz, M. d. (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. *Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental*.
- Durigon, V. L., Carvalho, D., Oliveira, P. T., & Antunes, M. A. (2014). NDVI time series for monitoring RUSLE cover management factor in a tropical watershed. *International Journal of Remote Sensing*, II(35), 441-453.
- Eastman, R. J. (2001). Decision support: decision strategy analysis. *Idrisi 32: Guide to GIS and image processing. Worcester: Clark Labs, Clark University*, 2, 22.
- EMBRAPA. (2001). *CNPF*. Acesso em 2020, disponível em <https://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>
- Ensslin, L., Neto, G. M., & Noronha, S. M. (2001). *Apoio à decisão: metodologia para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas*. Florianópolis: Insular.
- EPA. (2016). *Environmental Guidelines Solid waste landfills*. NSW Environment Protection Authority. Fonte: Environmental Guidelines Solid waste landfills: <https://www.epa.nsw.gov.au/~media/EPA/Corporate%20Site/resources/waste/solid-waste-landfill-guidelines-160259.ashx>
- Furstenau, B. B., & Fofonka, L. (Março-Maio de 2012). Limpeza Urbana e Manejo de Resíduos Sólidos: As impressões ao observar espaços urbanos em duas cidades brasileiras e seis capitais européias. *Educação Ambiental em Ação*(39).
- Gharfalkar, M., Court, R., Campbell, C., Ali, Z., & Hillier, G. (Mai de 2015). Analysis of waste hierarchy in the European waste directive 2008/98/EC. *Waste Management*, 39, 305-313. doi:doi.org/10.1016/j.wasman.2015.02.007
- GOIÁS. (2010). Instrução Normativa N° 05 de 2010. *Dispões sobre o licenciamento ambiental dos projetos disposição final dos resíduos sólidos urbano na modalidade Aterro Sanitário Simplificado, nos municípios do Estado de Goiás*.
- GOIÁS. (2013). Instrução Normativa N° 11 de 2013. *Dispõe sobre os procedimentos de licenciamento ambiental dos projetos de disposição final dos resíduos sólidos urbanos na modalidade Aterro Sanitário dos municípios do Estado de Goiás*.

- IBGE. (2010). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Pesquisa nacional de saneamento básico : 2008, Coordenação de População e Indicadores Sociais*.
- 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](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf)
- ICMBIO. (2015). *Resumo Executivo. Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental do Planalto Central*. Brasília: MMA.
- INPE. (2006). *Manuais - Tutorial de Geoprocessamento*. (I. N. Espaciais, Produtor) Acesso em 01 de 11 de 2019, disponível em SPRING: [http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao\\_sen.html](http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_sen.html)
- Instituto Trata Brasil. (2012). *Manual do Saneamento Básico*. Acesso em 12 de 11 de 2019, disponível em <http://www.tratabrasil.org.br/datafiles/uploads/estudos/pesquisa16/manual-imprensa.pdf>
- IPT. (2018). *Lixo Municipal: Manual de gerenciamento integrado*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas Do Estado de São Paulo, São Paulo.
- Islam, M., Kashem, S., & Morshed, S. (2020). Integrating spatial information technologies and fuzzy analytic hierarchy process (F-AHP) approach for landfill siting. *City and Environment Interactions*, 7(ISSN 2590-2520).
- Jacobi, P. R., & Besen, G. R. (Jan-Abr de 2011). Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. *Estudos Avançados*, 25(71), 135-158.
- Koepfen, W. (1990). Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt. *Geographic Zeitschrift*, 6, 657-679.
- Kronemberger, D. P., Pereira, R. d., de Freitas, E. V., Scarcello, J. A., & Junior, J. C. (2011). Saneamento e meio ambiente. Em *Atlas de saneamento 2011*. IBGE.
- Leoneti, A. B., Prado, E. L., & Oliveira, S. V. (2011). Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI. *Revista de Administração Pública*, 45(2), 48.
- Lixões e Aterros pertencentes aos municípios do entorno do Distrito Federal (2017).
- Lourenço, W. R., Silva, C. D., Sales, C. J., Medeiros, A. G., & Otero, A. R. (2015). Metodologia para seleção de áreas aptas à instalação de aterros sanitários consorciados utilizando SIG. *Ciência e Natureza*, 37(4), 122-140.

- Lupatini, G. (2002). Dissertação de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (UFSC). *Desenvolvimento de um Sistema de Apoio à Decisão em Escolha de áreas para Aterros Sanitários*.
- Lynch, L. d. (2009). *Genesis and geochemistry of soils within a karstic area in the cerrado region of Planaltina de Goiás*. 2009. 167 f. Tese (Doutorado em Fertilidade do solo e nutrição de plantas. Viçosa: UFV.
- Macedo, Í. L. (2009). *Estudo de modelos em ambiente de geoprocessamento para a previsão de Erosão e Assoreamento de Reservatórios: o caso da Bacia do Rio Indaiá - UHE Três Marias*. Brasília: UNB.
- Malczewski, J. (2000). On the use of Weighted Linear Combination method in GIS: common and best practice approaches. *Transactions in GIS*, 4(1), 5-22.
- Medeiros, A. M. (2012). *Artigos sobre Conceitos em Geoprocessamento*. Acesso em 28 de Outubro de 2019, disponível em <http://www.clickgeo.com.br/wp-content/uploads/2012/09/E-book-Artigos-sobre-Conceitos-em-Geoprocessamento-Anderson-Medeiros.pdf>
- Mendonça, D. d., Zang, W. A., & Zang, J. W. (Jul-Set de 2017). Efeitos e danos ambientais da disposição de resíduos sólidos na área do lixão e aterro controlado no município de Inhumas-GO. *Geografia*, 27(50), 486-499.
- Milanezi, C. H., & Pereira, J. G. (2016). Caracterização da Vulnerabilidade Ambiental na Microbacia Do Córrego Azul, Ivinhema – MS. *Geografia (Londrina)*, 25(1), 43-63.
- Montaño, M., Raniere, V. E., Schalch, V., Fontes, A. T., Castro, M. A., & Souza, M. P. (2012). Integração de critérios técnicos, ambientais e sociais em estudos de alternativas locais para implantação de aterro sanitário. *Engenharia Ambiental e Sanitária*, 17(1), 61-70.
- Monteiro, J. H., Figueiredo, C. E., Melo, M. A., Brito, J. C., & Almeida, T. P. (2001). *Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos*. Rio de Janeiro: IBAM.
- 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*.
- Moreira, F. R., Barbosa, C., Câmara, G., & Filho, R. A. (2001). Inferência geográfica e suporte à decisão. Em G. Câmara, C. Davis, & A. M. Monteiro, *Introdução à Ciência da Geoinformação* (Vol. 9, pp. 241-286). São José dos Campos.

- Nagashima, L. A., Júnior, C. d., de Araújo, C. C., da Silva, E. T., & Hoshika, C. (2011). Gestão integrada de resíduos sólidos urbanos – uma proposta para. *Acta Scientiarum Technology*, 33(1), 39-47. doi:doi.org/10.4025/actascitechnol.v33i1.581
- Nascimento, V. F. (2012). Proposta para Indicação de Áreas para implantação de aterro sanitário no município de Bauru - SP, utilizando multi-critério de decisão e técnicas de geoprocessamento. *Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista*, 203.
- Ofício nº 69/2018 (2018).
- Piroli, E. L. (2010). *Introdução ao geoprocessamento* (1 ed., Vol. 1). Ourinhos: Universidade Estadual Paulista - Unesp.
- Portella, M. O., & Ribeiro, J. J. (2014). Aterros sanitários: aspectos gerais e destino final dos resíduos. *Revista Direito Ambiental e Sociedade*, 4(1), 115-134.
- PROJETO 914BRZ2016 – ELABORAÇÃO DE ESTUDOS EM REGULAÇÃO DE (2015).
- Rahmat, Z. G., Niri, M. V., Alavi, N., Goudarzi, G., Babaei, A. A., Baboli, Z., & Hosseinzadeh, M. (2016). Landfill Site Selection using GIS and AHP: a Case Study: Behbahan, Iran. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 21(1), 111-118.
- Rocha, A. C. (2017). *Proposição de uma adequação para a Rede De Abastecimento de Água de Planaltina-Go em função da sua Expansão Urbana*. UNB: Monografia de Projeto Final.
- Ross, J. L. (2011). ANÁLISE EMPÍRICA DA FRAGILIDADE DOS AMBIENTES NATURAIS ANTROPIZADOS. *Revista do Departamento de Geografia*, 8, 63-74.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill.
- Saaty, T. L. (1991). *Método de Análise Hierárquica*. São Paulo: Makron Books.
- Salazar, J. P. (2015). *Determinação de cenários futuros de uso e cobertura do solo e sua influência na vulnerabilidade ambiental: o caso do Município de Formosa – GO*. Brasília: Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos)—Universidade de Brasília.
- Sánchez, L. E. (2013). *Avaliação de Impacto Ambiental: Conceitos e Métodos* (2ª ed.). São Paulo: Oficina de Textos.
- Schalch, V., Leite, W. C., Júnior, J. L., & Castro, M. A. (2002). *Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos*. Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos.
- Schmidt, A. M. (1995). Processo de apoio à tomada de decisão - abordagens: AHP E Macbeth. *Dissertação (Mestrado) - UFSC*.

- Shim, J. P., Warkentin, M., Courtney, J. F., Power, D. J., & Sharda, R. (2002). Past, Present, and Future of Decision Support Technology. *Decision Support Systems*, 111-116.
- Silva, V. A. (2018). *Análise de alternativas para minimização de impactos no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos - estudo de caso no Distrito Federal*. Brasília: Monografia de Projeto Final. Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.
- Souza, G. F., Santos, K. R., Carvalho, L. A., & Silva, L. F. (2010). Vulnerabilidade natural da paisagem em função das áreas de plantio de cana-de-açúcar. *Geografia*, 19(3), 51-65.
- Stegmann, R. (1989). Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact. Em Thomas, *Christensen* (Vol. 1, pp. 11-18). London: Academic Press. doi:doi.org/10.1016/B978-0-12-174255-3.50006-2
- Sumathi, V. R., Natesan, U., & Sarkar, C. (2008). GIS-based approach for optimized siting of municipal solid. *Waste Management*, 28, 147-160.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. A. (1993). *Integrated Solid Waste Management, Engineering Principles and Management Issues*. New York: McGraw-Hill.
- Tricart, J. (1977). Ecodinâmica. *Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, Rio de Janeiro*, 91.
- Vital, M. F., Pinto, M. A., & Ingouville, M. (Set de 2014). Estimativa de investimentos em aterros sanitários para atendimento de metas estabelecidas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos entre 2015 e 2019. *Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social*, 40, 43-92.
- Westmacott, S. (2001). Developing decision support systems for integrated coastal management in the tropics: Is the ICM decision-making environment too complex for the development of a useable and useful DSS? *Journal of Environmental Management*(62), 55-74.