



**USO DO MÉTODO MULTICRITÉRIO PARA TOMADA DE DECISÕES DA
DEFINIÇÃO DE POSSÍVEIS ÁREAS PARA O NOVO ATERRO SANITÁRIO DO
DISTRITO FEDERAL**

ALUNA: JOHANNA AUGUSTA AREND DOS SANTOS

**ORIENTADOR: PROF. ANDRÉ LUÍS BRASIL CAVALCANTE, D.Sc.
COORIENTADOR: PROF. NEWTON MOREIRA DE SOUZA, D.Sc.**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM GEOTECNIA

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA
BRASÍLIA, 30 DE JANEIRO DE 2023**

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

**USO DO MÉTODO MULTICRITÉRIO PARA TOMADA DE DECISÕES DA
DEFINIÇÃO DE POSSÍVEIS ÁREAS PARA O NOVO ATERRO SANITÁRIO DO
DISTRITO FEDERAL**

JOHANNA AUGUSTA AREND DOS SANTOS

ORIENTADOR: PROF. ANDRÉ LUÍS BRASIL CAVALCANTE, D.Sc.

COORIENTADOR: PROF. NEWTON MOREIRA DE SOUZA, D.Sc.

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM GEOTECNIA

PUBLICAÇÃO G.DM 387/2023

BRASÍLIA /DF: JANEIRO/2023

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

**USO DO MÉTODO MULTICRITÉRIO PARA TOMADA DE DECISÕES DA
DEFINIÇÃO DE POSSÍVEIS ÁREAS PARA O NOVO ATERRO SANITÁRIO
DO DISTRITO FEDERAL**

JOHANNA AUGUSTA AREND DOS SANTOS

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO
GRAU DE MESTRE**

APROVADA POR:

**PROF. ANDRÉ LUÍS BRASIL CAVALCANTE, DSc (ENC/FT/UNB)
(ORIENTADOR)**

**PROF. NEWTON MOREIRA DE SOUZA, DSc (ENC/FT/UNB)
(COORIENTADOR)**

**PROF. RAFAEL CERQUEIRA SILVA, DSc (ENC/FT/UNB)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**PROF. ANA CRISTINA SANTOS STRAVA CORREA, DSc (ANA)
(EXAMINADOR EXTERNO)**

DATA: BRASÍLIA/DF, 30 DE JANEIRO DE 2023

FICHA CATALOGRÁFICA

SANTOS, JOHANNA AUGUSTA AREND DOS

Uso do Método Multicritério para Tomada de Decisões da Definição de Possíveis Áreas para o Novo Aterro Sanitário do Distrito Federal [Distrito Federal] 2023.

xiv, 89 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Geotecnia, 2023)

Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Áreas para aterros sanitários

2. Análise Hierárquica de Processos

3. Geoprocessamento

4. Resíduos Sólidos

I. ENC/FT/UnB

II. Mestre

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Santos, J.A.A. (2023). Uso do Método Multicritério para Tomada de Decisões da Definição de Possíveis Áreas para o Novo Aterro Sanitário do Distrito Federal. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-387/2023, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 89 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Johanna Augusta Arend dos Santos

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Uso do Método Multicritério para Tomada de Decisões da Definição de Possíveis Áreas para o Novo Aterro Sanitário do Distrito Federal.

GRAU / ANO: Mestre / 2023

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

Johanna Augusta Arend dos Santos

johannaarends@gmail.com

AE 02 Lote C/D Bloco C Apt. 501 Guará II

CEP 71070-625 - Brasília/ DF – Brasil

DEDICATÓRIA

*A todos que, pelos percalços da pandemia,
não puderam se tornar mestres.*

“Deus te deu a ciência, a fim de que a estendas,
em benefício de nossos irmãos, com tal
devotamento que a ignorância jamais consiga
entenebreecer os caminhos da humanidade.”

Emmanuel - Chico Xavier.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, meu Pai de infinita bondade, e a todos os espíritos protetores que me acompanham nessa jornada, me inspirando com muita força, bom ânimo, energia e calma. Que eu possa ser digna de tanto amor e cuidado.

Agradeço ao meu amor, meu companheiro e futuro marido, Rafael, por toda paciência, amor e dedicação a nós. Eu te amo, meus dias são mais felizes ao seu lado.

Aos meus pais, obrigada por sempre se fazerem presentes por mim, ainda que não estejamos mais morando tão perto. Obrigada por sempre acreditarem em mim, se hoje chego aqui, foi pelos valores que aprendi com vocês. Obrigada a minha irmã, minha maior confidente e amiga, por sempre me escutar e me ajudar, e por trazer ao mundo o mais novo amor da minha vida, Bebel, que só me traz alegrias. Obrigada ao meu cunhado, Ian, por compartilhar a jornada de pós-graduando e me apoiar.

Agradeço ao meu orientador, André Brasil, que me incentivou, aconselhou, acreditou no meu potencial, mesmo quando eu mesma duvidei, e me auxiliou em todos os momentos em que precisei. O seu comprometimento com a ciência e com os alunos é inspirador. Obrigada ao meu coorientador, Newton Moreira, pelas orientações e pela disponibilidade.

Agradeço, ainda, a todos os professores do programa de pós-graduação em geotecnica, por me inspirarem e contribuírem sempre com tanto conhecimento, em especial, aos professores André Assis, Luís Fernando, Manoel Porfírio, Michéle Casagrande e Rafael Cerqueira. Obrigada à Capes pelo financiamento da pesquisa.

Agradeço, também, a toda a minha família, por sempre acreditarem em mim e mandarem boas energias, obrigada tia Joice, Neila, Lucas, Fran, Heitor, minha sogra Ediana, meu sogro Eliézer, Ester, minhas cunhadas, Drica e Lorena, Ravizinho lindo da titia, Eliana, Ademio e Paulo. Vocês fazem parte dessa conquista.

Aos amigos queridos de toda a vida, do marista, da EPSA, da engenharia ambiental, do Litro de Luz e de BH, obrigada por todos os conselhos e por somarem sempre tanto. Aos amigos do Geofluxo, obrigada pelo companheirismo e por sempre estarem dispostos à troca de conhecimentos. À Laura e à Camilla, os dias no PPGG foram melhores com vocês, que sorte a minha é poder ter vocês na Walm/BH também.

Obrigada aos meus amores de quatro patas, meus gatinhos queridos que tornam meus dias mais alegres, Lulu, Alcione, Calvin, Dani e Raju. Obrigada ao meu eterno neném Fred, eu te amo para sempre.

USO DO MÉTODO MULTICRITÉRIO PARA TOMADA DE DECISÕES DA DEFINIÇÃO DE POSSÍVEIS ÁREAS PARA O NOVO ATERRO SANITÁRIO DO DISTRITO FEDERAL

RESUMO

Em 2018, como resultado da publicação da PNRS (2010), foi inaugurado o Aterro Sanitário de Brasília (ASB) no Distrito Federal, que passou a receber os resíduos sólidos gerados na capital. Além disso, foram desenvolvidas diversas iniciativas para a redução do volume de resíduos aterrados. Entretanto, o aterro planejado para treze anos passou a ter uma previsão de pouco mais de dez anos de operação, visto que as ações foram pouco efetivas. Com o aumento de resíduos aterrados observado, em pouco tempo será necessário encontrar outro local para o aterramento dos resíduos. Há também, a possibilidade de expansão do ASB. O presente trabalho avaliou as possibilidades de localização para um novo aterro sanitário para atender a população do DF, considerando-se a Região Integrada de Desenvolvimento (RIDE/DF). Para tanto, foi empregada a Análise Hierárquica de Processos (AHP) e a Lógica Booleana. Ambas as metodologias foram validadas por meio de uma pesquisa bibliográfica de trabalhos com a mesma temática. A AHP foi desenvolvida e os critérios foram definidos e pesados a partir das conclusões provenientes da pesquisa de trabalhos semelhantes. Foram escolhidos onze critérios: Recursos hídricos; Declividade; Solo; Águas Subterrâneas; Áreas de Conservação; Geologia; Rodovias; Distância de Aeroportos; Distância de Núcleos Urbanos; Uso e Cobertura do Solo; Vilas e Vilarejos. O emprego da lógica booleana foi realizado através da interpretação das legislações aplicáveis ao caso, definiu-se, então, critérios restritivos que foram incorporados à AHP com pontuação zero. Foi realizado ainda, um cálculo da área do terreno necessária para aterramento, a fim de atender toda a população do DF ao longo de 20 anos. O desenvolvimento do trabalho foi feito com o auxílio de ferramentas SIG e os dados utilizados foram baixados de portais públicos e de projetos independentes. Gerou-se mapas para cada critério que foram cruzados chegando-se a um mapa com áreas definidas como “inadequadas”, “muito pouco adequadas”, “pouco adequadas”, “adequadas” ou “muito adequadas”. Com esse resultado, foi feito um filtro entre as áreas “muito adequadas” para se chegar a um local que pudesse atender a população prevista. Definiu-se uma região de preferência, localizada na porção sudeste do Distrito Federal.

Palavras-chave: Áreas para aterros sanitários; Análise hierárquica de processos; Geoprocessamento; Resíduos sólidos.

USE OF THE MULTICRITERIA METHOD FOR DECISION MAKING IN THE DEFINITION OF POSSIBLE AREAS FOR THE NEW SANITARY LANDFILL OF THE FEDERAL DISTRICT

ABSTRACT

In 2018 the Brasília Landfill (ASB) was inaugurated in the Federal District as a result of the PNRS (2010) publication, which began to receive the solid waste generated in the capital. In addition, several initiatives were developed to reduce the volume of landfilled waste. However, the landfill that had been planned for thirteen years was now expected to operate for a little more than ten years, since the actions were not very effective. With the observed increase in landfilled waste, it will soon be necessary to find another place to landfill the waste. There is also the possibility of expanding the ASB. The present work evaluated the possibilities of location for a new landfill to serve the population of the DF, considering the Integrated Development Region (RIDE/DF). To this end, Hierarchical Process Analysis (AHP) and Boolean Logic were employed. Both methodologies were validated through bibliographic research of works with the same theme. The AHP was developed and the criteria were defined and weighed based on the conclusions coming from the research of similar works. Eleven criteria were chosen: Water Resources; Slope; Soil; Groundwater; Conservation Areas; Geology; Highways; Distance to Airports; Distance to Urban Centers; Land Use and Land Cover; Towns and Villages. The use of Boolean logic was carried out through the interpretation of the legislation applicable to the case, defining restrictive criteria that were incorporated into the AHP with a zero score. A calculation was also made of the land area needed for the landfill, to serve the entire population of the Federal District over 20 years. The development of the work was done with the help of GIS tools and the data used was downloaded from public portals and independent projects. Maps were generated for each criterion that was crossed, arriving at a map with areas defined as "inadequate", "too little adequate", "little adequate", "adequate" or "very adequate". With this result, a filter was made among the "very suitable" areas to arrive at a location that could meet the expected population. A preferred region was defined, located in the southeastern portion of the Federal District.

Keywords: Areas for landfills; Analytic Hierarchy Process; Geoprocessing; Solid waste.

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 | MOTIVAÇÃO..... | 1 |
| 1.2 | OBJETIVOS..... | 3 |
| 1.3 | ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO..... | 4 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 5 |
| 2.1 | RESÍDUOS SÓLIDOS E SANEAMENTO NO BRASIL..... | 5 |
| 2.1.1 | CONCEITO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E CLASSIFICAÇÃO | 5 |
| 2.1.2 | DISPOSIÇÃO FINAL E TRATAMENTOS..... | 7 |
| 2.1.3 | CONTEXTO HISTÓRICO DOS RESÍDUOS NO BRASIL..... | 9 |
| 2.2 | RESÍDUOS SÓLIDOS NO DISTRITO FEDERAL E ENTORNO | 10 |
| 2.2.1 | HISTÓRICO DO DISTRITO FEDERAL E ENTORNO | 10 |
| 2.2.2 | DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO DF | 16 |
| 2.3 | ÁREA DE ESTUDO: RIDE - DISTRITO FEDERAL | 18 |
| 2.4 | SELEÇÃO DE ÁREAS PARA ATERROS SANITÁRIOS | 21 |
| 2.4.1 | CARACTERÍSTICAS DE ATERROS SANITÁRIOS | 22 |
| 2.4.2 | CRITÉRIOS PARA A IMPLANTAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS | 22 |
| 2.5 | GEOPROCESSAMENTO | 31 |
| 2.5.1 | SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS..... | 32 |
| 2.5.2 | ANÁLISE HIERÁRQUICA DE PROCESSOS PARA A DEFINIÇÃO DE ÁREAS | 34 |
| 3 | MATERIAIS | 38 |
| 4 | MÉTODOS..... | 39 |
| 4.1 | LEVANTAMENTO DE DADOS | 39 |
| 4.2 | CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA | 40 |
| 4.3 | APLICAÇÃO DO MÉTODO..... | 40 |
| 4.4 | ANÁLISE DOS RESULTADOS | 41 |
| 5 | RESULTADOS E ANÁLISES | 42 |
| 5.1 | AHP E LÓGICA BOOLEANA EM TRABALHOS ANTERIORES | 42 |
| 5.2 | DADOS GEOESPACIAIS | 42 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 5.3 | CRITÉRIOS RESTRITIVOS – LÓGICA BOOLEANA..... | 44 |
| 5.4 | PROJEÇÃO DA POPULAÇÃO E ÁREA DO ATERRO SANITÁRIO | 46 |
| 5.5 | CRITÉRIOS CLASSIFICATÓRIOS – AHP | 48 |
| 5.5.1 | ESCOLHA DOS CRITÉRIOS CLASSIFICATÓRIOS..... | 48 |
| 5.5.2 | DEFINIÇÃO AHP..... | 51 |
| 5.6 | MAPAS PARA CADA CRITÉRIO..... | 59 |
| 5.7 | ANÁLISE DOS MAPAS RESULTANTES | 76 |
| 6 | CONCLUSÕES..... | 80 |
| 6.1 | SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS | 81 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 82 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 2.1 Classificação dos resíduos sólidos quanto à origem (modificado PNRS - Brasil, 2010) | 7 |
| Tabela 2.2 Destinação final dos resíduos sólidos nos municípios da RIDE/DF (SNIS, 2021)..... | 12 |
| Tabela 2.3 Etapas de Construção do ASB (SLU, 2022)..... | 17 |
| Tabela 2.4 Estimativas da População Residente nos Municípios da RIDE/DF com data de Referência em 1º de julho de 2021 (IBGE, 2021)..... | 19 |
| Tabela 2.5 Estimativa Populacional para os Municípios da RIDE/DF até 2035 (Universidade de Brasília, 2019)..... | 20 |
| Tabela 2.6 Matriz de comparação pareada para AHP (Saaty, 1990)..... | 35 |
| Tabela 2.7 Exemplo de matriz de comparação pareada (Soares Rezende et al., 2017). 36 | |
| Tabela 2.8 Índice Randômico AHP..... | 37 |
| Tabela 5.1 Fontes de dados geoespaciais utilizados..... | 43 |
| Tabela 5.2 Resumo dos principais pontos das legislações e normas cabíveis..... | 44 |
| Tabela 5.3 Critérios restritivos. | 46 |
| Tabela 5.4 Cálculo da área necessária para o aterro sanitário. | 48 |
| Tabela 5.5 Critérios Classificatórios Encontrados em Trabalhos Diversos. | 49 |
| Tabela 5.6 Matriz AHP..... | 52 |
| Tabela 5.7 Pesos relativos de cada critério escolhido. | 53 |
| Tabela 5.8 Cálculo de consistência da matriz..... | 53 |
| Tabela 5.9 Ratings adotados nos trabalhos analisados..... | 54 |
| Tabela 5.10 Ratings do presente estudo. | 58 |
| Tabela 5.11 Correlação classes adotadas e fornecidas pelo MapBiomias..... | 71 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 2.1 Destino do lixo por região no Brasil (IBGE, 2020). | 9 |
| Figura 2.2 Disposição final de RSU no Brasil em t/ano (modificado de ABRELPE, 2020). | 10 |
| Figura 2.3 Toneladas de resíduos sólidos coletadas por município da RIDE (autor, 2022). | 15 |
| Figura 2.4 Localização ACJ e ASB no Distrito Federal. | 17 |
| Figura 2.5 Localização da área de estudo (Autor, 2022). | 18 |
| Figura 2.6 Principais atividades envolvidas no Geoprocessamento (Rosa, 2013). | 32 |
| Figura 4.1 - Esquema metodológico: escolha de local para implementação de aterro sanitário. | 39 |
| Figura 5.1 Mapa de faixas de distâncias dos recursos hídricos consideradas. | 62 |
| Figura 5.2 Mapa de faixas de declividade consideradas. | 63 |
| Figura 5.3 Mapa de tipos de solo da área de estudo. | 64 |
| Figura 5.4 Mapa de faixas de distâncias dos pontos de captação de água. | 65 |
| Figura 5.5 Mapa de faixas de distâncias das áreas de conservação. | 66 |
| Figura 5.6 Mapa de faixas de distâncias das falhas geológicas. | 67 |
| Figura 5.7 Mapa de faixas de distâncias das rodovias. | 68 |
| Figura 5.8 Mapa de faixas de distâncias de aeroportos e aeródromos. | 69 |
| Figura 5.9 Mapa de faixas de distâncias dos núcleos urbanos/ centro de geração de RSU. | 70 |
| Figura 5.10 Mapa de classes de uso e cobertura do solo (Projeto MapBiomias, 2022). . | 73 |
| Figura 5.11 Mapa de faixas de distâncias das vilas e vilarejos. | 74 |
| Figura 5.12 Mapa de risco de inundação na RIDE/ DF. | 75 |
| Figura 5.13 Mapa de áreas para aterros sanitários na RIDE/ DF. | 76 |
| Figura 5.14 Tamanho das áreas encontradas. | 78 |
| Figura 5.15 Localização geográfica das áreas mais adequadas para aterros sanitários na RIDE/ DF. | 79 |

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

| Símbolo ou Abreviação | Significado |
|------------------------------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ABRELPE | Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais |
| AHP | <i>Analytic Hierarchy Process</i> (Análise Hierárquica de Processos) |
| ANA | Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico |
| APA | Áreas de Proteção Ambiental |
| APP | Área de Proteção Permanente |
| ARIE | Áreas de Relevante Interesse Ecológico |
| ASB | Aterro Sanitário de Brasília |
| Aterro JCB | Aterro Controlado do Jockey Clube de Brasília |
| CAR | Cadastro Ambiental Rural |
| cm/s | Centímetros por segundo |
| CPRM | Serviço Geológico do Brasil |
| DF | Distrito Federal |
| Embrapa | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |
| ESRI | <i>Environmental Systems Research Institute</i> |
| ha | Hectares |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IDE-Sisema | Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos |
| Km ² | Quilômetros quadrados |
| LI | Licença de Instalação |
| LO | Licença de Operação |
| LP | Licença Prévia |
| m | Metros |
| MCTIC | Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações |
| NBR | Norma Brasileira |
| Nº ou nº | Número |
| NOVACAP | Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil |
| OCA | Órgão de Controle Ambiental |
| ONU | Organização das Nações Unidas |
| <i>OpenStreetMaps</i> | Mapa Aberto de Ruas |
| PDGIRS | Plano Distrital de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos |
| PMGIRS | Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos |
| PNAD | Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua |
| PNMA | Política Nacional de Meio Ambiente |

| | |
|-----------------|--|
| PNRS | Política Nacional de Resíduos Sólidos |
| RDO | Resíduos Sólidos Domiciliares |
| Ride ou RIDE | Região Integrada de Desenvolvimento |
| RM | Região Metropolitana |
| RPU | Resíduos de Limpeza Urbana |
| RSU | Resíduos Sólidos Urbanos |
| SAD69 | <i>South American Datum</i> |
| SEDUH | Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Habitação |
| SEMA | Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Distrito Federal |
| SGB | Sistema Geodésico Brasileiro |
| SIG | Sistemas de Informações Geográficas |
| SISDIA | Sistema Distrital de Informações Ambientais |
| SISNAMA | Sistema Nacional do Meio Ambiente |
| SLU ou SLU - DF | Serviço de Limpeza Urbana do Distrito Federal |
| SNIS | Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento |
| SNUC | Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza |
| SNVS | Sistema Nacional de Vigilância Sanitária |
| Terracap | Companhia Imobiliária de Brasília |
| WGS | <i>World Geodetic System</i> |
| ZEE | Zoneamentos Ecológico-Econômicos |

1 INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO

A partir da publicação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), estabeleceram-se o fim dos lixões a céu aberto no Brasil e a adoção de alternativas ambientalmente corretas para a destinação final de resíduos sólidos. Dentre as possibilidades, destacam-se, a utilização de aterros sanitários e obras de engenharia, projetadas sob critérios técnicos específicos, para a disposição dos resíduos que não puderam ser encaminhados para a reciclagem ou a reutilização. Além dessa opção, há a possibilidade de incinerar os resíduos, mas, nesse caso, as cinzas geradas pela queima dos resíduos precisam ser também dispostas em aterros sanitários.

O descarte de resíduos no Distrito Federal (DF) foi feito, por mais de 50 anos, no Aterro Controlado do Jôquei Clube de Brasília (Aterro JCB), que também ficou conhecido como Lixão da Estrutural. O local não foi devidamente preparado para receber esses resíduos, tornando-se um risco para a população do DF, tendo em vista o potencial de contaminação do ar, do solo e dos mananciais que o cercam. Em 2018, o Aterro JCB passou a receber somente resíduos da construção civil e o restante dos resíduos gerados no DF passou a ser encaminhado para o Aterro Sanitário de Brasília (ASB), inaugurado no mesmo ano (SLU – DF, 2018).

O projeto do ASB contava com diversas medidas de redução dos resíduos encaminhados para a disposição final. Havia a perspectiva de um aumento nos resíduos levados para a reciclagem, de maior conscientização da população quanto à redução de geração de resíduos. Havia, também, a expectativa de implementação da Lei Distrital nº 5.610 (Distrito Federal, 2016) que dispõe sobre grandes geradores, além do aumento da compostagem de orgânicos puros, uso de novas tecnologias e acordos com municípios do entorno que possuíssem aterros sanitários. Alguns pontos foram implementados, como a lei de grandes geradores e os esforços para o aumento da coleta seletiva, mas outros pontos, como o aumento do quantitativo dos resíduos processados em usinas de tratamento e a redução efetiva do volume de resíduos aterrados, não sofreram um impacto significativo de 2018 a 2020 (SLU – DF, 2020).

No ano de 2020, houve um aumento do quantitativo de resíduos aterrados em decorrência da pandemia, que levou à suspensão da coleta seletiva por alguns meses. A quantidade de resíduos domiciliares aterrados foi de 800.872 t em 2019, para 821.090 t em 2020 (SLU – DF, 2019, 2020). Dessa forma, o volume de resíduos encaminhados ao

ASB foi superior ao esperado. De acordo com o Relatório de 2019 do SLU, caso a demanda de aterramento de resíduos se mantivesse a mesma de 2019 ao longo dos anos, a vida útil do ASB seria reduzida para pouco mais de dez anos. Isto posto, com o aumento de resíduos aterrados observado, percebe-se, que a necessidade de se encontrar um novo local para destinação final dos resíduos sólidos do DF se torna cada vez mais próxima. O cenário de incertezas, associado à pandemia, reforça ainda mais essa situação.

Adjacente ao ASB, existe uma gleba, de aproximadamente 600.000 m², a ser destinada, pela Companhia Imobiliária de Brasília (Terracap), à ampliação do aterro, o que aumentaria a vida útil do aterro em aproximadamente 20 anos. Entretanto, essa área ainda não foi cedida ao SLU, e a expansão urbana pode levar a resultados divergentes ao longo dos anos (SLU – DF, 2020). Adicionalmente, nos municípios integrantes da RIDE-DF, há somente quatro aterros sanitários. Portanto, o presente trabalho busca explorar as possibilidades de localização e definir, com base em uma análise multicritério espacializada, qual seria a melhor opção para implantação de um novo aterro sanitário na RIDE DF. A metodologia utilizada será desenvolvida a partir das legislações existentes e da análise das pesquisas mais recentes realizadas nesse campo de estudos.

Para definir o local desse novo projeto, é preciso realizar uma análise espacial das possíveis áreas. Há diversos critérios que devem ser levados em consideração, para que o local escolhido se enquadre nas exigências legais, dispostas: na NBR 8419 (ABNT, 1996); NBR 13896 (ABNT, 1997); na Lei Federal nº 6.938 que define a Política Nacional de Meio Ambiente (BRASIL, 1981); na Lei Federal nº 9.985 sobre Unidades de Conservação (BRASIL, 2000); na Lei Federal 12.651 (BRASIL, 2012); nas resoluções CONAMA 001, 005 e 237 (CONAMA, 1986, 1988, 1997); entre outros mecanismos regulatórios, inclusive estaduais e municipais. Além de respeitar as normativas legais, a área deve apresentar as condições técnicas, ambientais e econômicas favoráveis. Pontos como declividade, tipo de solo, distância adequada de centros urbanos, otimização de rotas de coleta e economia de combustível devem ser levados em consideração.

As diretrizes legais e os critérios mencionados precisam ser organizados e ponderados, definindo-se quais os pontos mais relevantes e os menos decisivos para realizar essa escolha. A avaliação pode sofrer modificações de acordo com a realidade do local estudado, levando à necessidade de uma análise comparativa de importância

entre os fatores, para o estudo de caso. Dentro dessa perspectiva, de análises multicritério, em 1990, Saaty propôs uma metodologia denominada *Analytic Hierarchy Process* (AHP), em que os fatores são dispostos em uma estrutura hierárquica, sendo ponderados par a par. Essa metodologia foi amplamente aplicada ao longo dos anos e tem servido de base para boa parte dos estudos relacionados à definição de locais para aterros sanitários, por conseguinte, essa será a abordagem empregada no presente trabalho.

A AHP será realizada em um ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), em que é possível ter uma visualização espacial do problema estudado, possibilitando a inserção da análise multicritério nos dados geográficos, tornando o processo de escolha mais prático e eficiente. Os programas SIG empregados contam com diversas ferramentas que facilitam o diagnóstico em conjunto com a AHP. Diversas pesquisas no Brasil e no mundo têm seguido a abordagem aqui descrita, como, por exemplo, os trabalhos de: Strava Corrêa (2001), Nascimento (2012), Felicori *et al.* (2016), Carvalho (2017), Pinheiro (2019) e Carvalho *et al.* (2019) no Brasil; Chabuk *et al.* (2017) no Iraque; Randazzo *et al.* (2018) na Itália; Ajibade *et al.* (2019) na Nigéria; Islam *et al.* (2020) em Bangladesh; e Majid & Mir (2021) na Índia. Essa pesquisa, portanto, apresenta-se como uma importante contribuição ao correto manejo de resíduos sólidos no DF, em especial, por se encaixar em um dos setores prioritários de projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovações no Brasil no período de 2020 a 2023 – o saneamento básico – (MCTIC, 2020); bem como nos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, definidos pela Organização das Nações Unidas (ONU) (United Nations, 2021).

1.2 OBJETIVOS

A presente pesquisa tem como objetivo geral definir áreas prioritárias para implantação de novo aterro sanitário para o Distrito Federal, dentro da RIDE/DF, com base em uma análise multicritérios e com o uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

De modo a atender o objetivo geral, propõe-se os seguintes objetivos específicos:

- Realizar uma revisão teórica quanto aos métodos empregados para a escolha de áreas para aterros sanitários no Brasil e no mundo;

- Escolher e definir a metodologia de análise de critérios a ser seguida, com base na pesquisa realizada e de forma que seja possível a utilização de um ambiente SIG;
- Analisar e prever a evolução do uso e da ocupação do solo na RIDE/DF ao longo do tempo;
- Definir os critérios restritivos e o peso relativo de cada critério classificatório escolhido para a análise da região;
- Avaliar a possibilidade de expansão do Aterro Sanitário de Brasília para o terreno adjacente;
- Escolher as áreas mais adequadas para a localização de um novo aterro sanitário na RIDE/DF.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Essa dissertação está dividida em seis capítulos. O Capítulo 1 contém a introdução com a motivação do estudo, bem como os objetivos e a estrutura da dissertação. No Capítulo 2 apresenta-se a revisão bibliográfica, com a contextualização dos resíduos sólidos no Brasil e no Distrito Federal e Entorno, o detalhamento da área de estudo, RIDE/DF, os principais pontos que envolvem a escolha de uma área para aterro sanitário e a definição de conceitos de geoprocessamento, assim como da Análise Hierárquica de Processos.

No Capítulo 3 são descritos os materiais empregados no desenvolvimento do trabalho, com as fontes dos dados compilados e os programas computacionais utilizados. No Capítulo 4 são apresentados os métodos, com o detalhamento de cada fase do trabalho: levantamento de dados, caracterização da área, aplicação do método e análise dos resultados. O Capítulo 5 contém os resultados obtidos, com a discussão e a análise desses. No Capítulo 6 são apresentadas as conclusões e as sugestões de trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para o desenvolvimento do presente trabalho, fez-se necessário um estudo situacional do saneamento no Brasil e na área de interesse da pesquisa, o Distrito Federal e entorno. Além disso, foi preciso realizar um apanhado teórico dos critérios e metodologias que têm sido empregadas em análises espaciais, dedicadas à seleção de áreas para a disposição final de resíduos sólidos. Portanto, neste capítulo, serão abordados os principais aspectos conceituais e as condições legais associadas ao tema desta pesquisa.

2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS E SANEAMENTO NO BRASIL

O saneamento básico, definido como um direito humano fundamental pela Organização das Nações Unidas (*United Nations General Assembly*, 2010) abrange quatro eixos: o abastecimento de água potável; o esgotamento sanitário; a limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos; e a drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, segundo a Lei Federal nº 11.445 (BRASIL, 2007). A escolha de um local para um aterro sanitário, foco da presente pesquisa, se encaixa no eixo de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos. Dessa forma, será feita uma contextualização situacional do Brasil nesse aspecto específico, de disposição final de resíduos sólidos.

2.1.1 CONCEITO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E CLASSIFICAÇÃO

Os conceitos de resíduos sólidos e de lixo têm se confundido ao longo dos anos na história brasileira, sendo ambos, para boa parte da população, materiais descartados pela atividade humana, doméstica, social e industrial que devem ser jogados fora, por não possuírem mais valor. Há, ainda, um descaso quanto à destinação final desses materiais e os danos que poderiam causar ao meio ambiente. Para estudiosos desse campo, a diferença fundamental entre os dois conceitos, de lixo e resíduos, seria a possibilidade de reaproveitamento que há para os resíduos, de tal forma que esses deveriam ser conceituados enquanto sobras de processos produtivos. Esse novo olhar para os resíduos sólidos lança luz às novas perspectivas, como a reciclagem e o reaproveitamento (Voichicoski & Morales, 2010; Hempe & Noguera, 2012).

A gestão dos resíduos sólidos no Brasil foi, por um longo tempo, tratada de forma segmentada e pontual, até a publicação da Lei nº 12.305 ((BRASIL, 2010), que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). De acordo com o inciso XVI do artigo 3º dessa Lei, definem-se resíduos sólidos como:

“material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.”

Ainda no artigo 3º da PNRS, no inciso XV, tem-se a definição de rejeitos:

“resíduos sólidos 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 PNRS determina, no artigo 9º, que a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos deve ser a última opção na ordem de prioridade da gestão e do gerenciamento de resíduos sólidos. Deve-se sempre priorizar a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos. Segundo a NBR nº 10.004 (ABNT, 2004), os resíduos sólidos são classificados em resíduos classe I (perigosos) e resíduos classe II (não perigosos), sendo esta última subdividida em não inertes, classe II A, e inertes, classe II B.

São classificados como resíduos perigosos aqueles que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas podem apresentar periculosidade — risco à saúde pública ou risco ao meio ambiente —, inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade. Os de classe II A, definidos como não inertes, são aqueles que não se enquadram na classe I e que podem ser combustíveis, biodegradáveis ou solúveis em água. Por sua vez, os resíduos inertes, de classe II B, são aqueles que, ensaiados segundo o teste de solubilização apresentado pela NBR 10006/2004, não apresentam qualquer de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, excetuando os padrões de cor, turbidez, sabor e aspecto (ABNT, 2004).

Além das classes acima descritas, os resíduos também são classificados na PNRS (2010) quanto a sua origem e quanto a sua periculosidade. A primeira classificação foi detalhada na Tabela 2.1 e a segunda se assemelha à da NBR 10.004, definindo resíduos como não perigosos ou perigosos, sendo estes últimos: 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.

Essas diferentes classificações influenciam também na forma correta de disposição final dos resíduos, tema do item 2.1.2. A presente pesquisa será direcionada somente para os resíduos sólidos urbanos — resíduos domiciliares e de limpeza urbana —, que demandam a disposição em aterros sanitários, portanto, não serão aqui exploradas as formas de disposição final ideais para os demais tipos de resíduos.

Tabela 2.1 Classificação dos resíduos sólidos quanto à origem (modificado PNRS - Brasil, 2010)

| Resíduos | Definição |
|---|---|
| a) domiciliares | os originários de atividades domésticas em residências urbanas; |
| b) limpeza urbana: | os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana; |
| c) sólidos urbanos: | os englobados nas alíneas “a” e “b”; |
| d) estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: | os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”; |
| e) serviços públicos de saneamento básico: | os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”; |
| f) industriais: | os gerados nos processos produtivos e instalações industriais; |
| g) serviços de saúde: | os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama) e do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS); |
| h) 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) agrossilvopastoris: | os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades; |
| j) serviços de transportes: | os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira; |
| k) mineração: | os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios. |

2.1.2 DISPOSIÇÃO FINAL E TRATAMENTOS

A PNRS (BRASIL, 2010) define disposição final ambientalmente adequada como a distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais

específicas, evitando danos ou riscos à saúde pública e à segurança e minimizando os impactos ambientais. Além disso, a legislação exige que sejam definidas metas para a eliminação e recuperação de lixões. Essas metas devem constar nos planos estaduais de resíduos sólidos. Em 2020, a Lei Nº 14.026 (BRASIL, 2020) atualizou os prazos definidos pela PNRS (BRASIL, 2010), estabelecendo datas limites para a adequação da disposição final de resíduos sólidos nos municípios do Brasil. No caso dos Municípios que não elaboraram plano intermunicipal de resíduos sólidos ou plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos, a data definida foi de 31 de dezembro de 2020. Para os outros, com plano de gestão e que disponham de mecanismos de cobrança que garantam sua sustentabilidade econômico-financeira, as datas limites estabelecidas variam de acordo com a população do município, segundo o Censo 2010:

- Capitais de Estados e Municípios integrantes de Região Metropolitana (RM) ou de Região Integrada de Desenvolvimento (Ride) de capitais: 2 de agosto de 2021;
- Municípios com população superior a 100.000 (cem mil) habitantes, bem como para Municípios cuja mancha urbana da sede municipal esteja situada a menos de 20 (vinte) quilômetros da fronteira com países limítrofes: 2 de agosto de 2022;
- Municípios com população entre 50.000 (cinquenta mil) e 100.000 (cem mil) habitantes: 2 de agosto de 2023;
- Municípios com população inferior a 50.000 (cinquenta mil) habitantes: 2 de agosto de 2024.

A lei determina, também, que, em casos em que a disposição final ambientalmente adequada de rejeitos em aterros sanitários não for economicamente viável, podem-se adotar outras soluções. No entanto, é preciso que essas alternativas sejam adotadas de acordo com as normas técnicas e operacionais estabelecidas pelo órgão competente, evitando danos ou riscos à saúde pública e à segurança e minimizando os impactos ambientais. Podem ser utilizadas ainda, tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, desde que tenha sido comprovada a viabilidade técnica e ambiental e com a implantação de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental. Essas exigências legais com relação à disposição final de resíduos sólidos evidencia a importância de infraestruturas

adequadas para tal, que são, preferencialmente, aterros sanitários (BRASIL, 2010, 2020).

2.1.3 CONTEXTO HISTÓRICO DOS RESÍDUOS NO BRASIL

De acordo com a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua- PNAD (IBGE, 2020), a coleta de lixo diretamente por serviço de limpeza vem aumentando gradativamente ao longo dos anos. Em 2016, a coleta era presente em 82,7% dos domicílios no Brasil, passando para 84,4% em 2019. De 2018 para 2019, a expansão da coleta direta do lixo foi de 3,6%, representando um crescimento de 2,1 milhões de domicílios atendidos por esse serviço. Esse movimento foi acompanhado pela redução da participação da coleta em caçamba de serviço de limpeza nas regiões. Apesar do aumento da taxa de coleta direta, em 2019, havia ainda 5,4 milhões de domicílios no país cujo destino do lixo era a queima na propriedade, em especial no Norte e Nordeste. Além disso, em 883 mil domicílios eram utilizados outros destinos, como: lixo enterrado na propriedade, lixo jogado em terreno baldio ou logradouro ou outro destino. Na Figura 2.1 pode-se observar as diferenças do destino dos resíduos por região no Brasil.

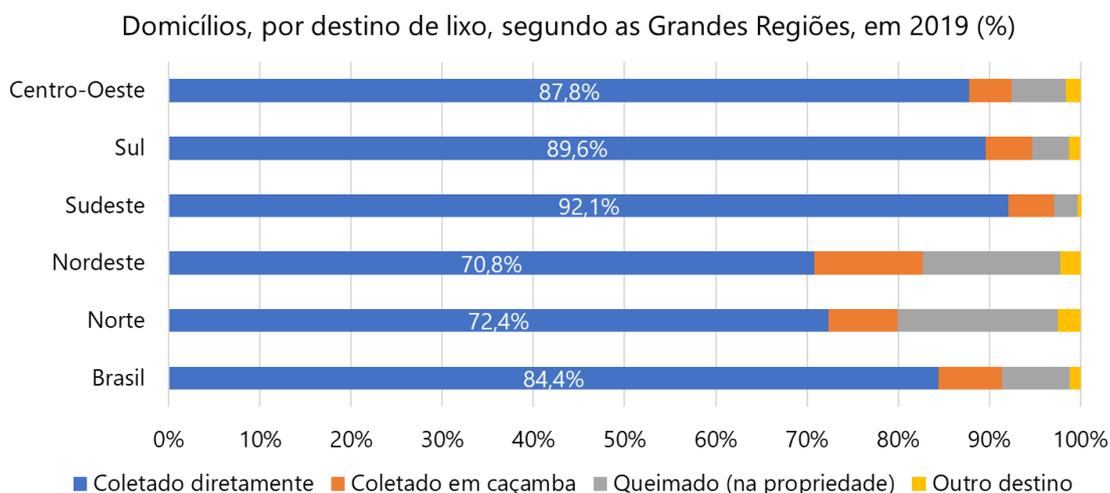


Figura 2.1 Destino do lixo por região no Brasil (IBGE, 2020).

Além desse cenário, boa parte dos resíduos coletados no país não é encaminhada ao destino adequado. Segundo o Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil (ABRELPE, 2020), a maior parte dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) coletados no país foi destinada para aterros sanitários na última década, com um aumento de 10 milhões de toneladas, conforme ilustra a Figura 2.2. Entretanto, percebe-se que a quantidade de resíduos encaminhados para locais inadequados, também cresceu, de 25 milhões para 29

milhões de toneladas por ano. Portanto, há uma tendência a se adotar a destinação adequada no país, mas a prática de deposição de resíduos em locais inadequados segue ainda muito presente na sociedade.

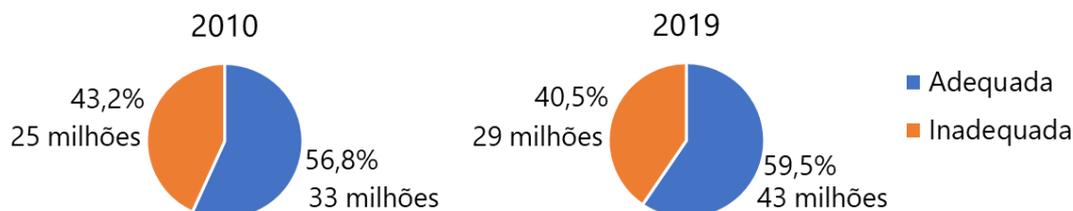


Figura 2.2 Disposição final de RSU no Brasil em t/ano (modificado de ABRELPE, 2020).

É importante destacar que as recentes mudanças, a evolução gradual da disposição final de resíduos ao longo dos últimos anos, são um reflexo da publicação da PNRS (BRASIL, 2010). A partir disso, os municípios começaram a se mobilizar para cumprir com as exigências básicas: elaboração de Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) e extinção dos lixões. Levando em consideração a publicação da lei, o progresso observado depois de 2010 está ocorrendo, na realidade, em um ritmo muito lento. No Distrito Federal e entorno, focos do presente estudo, ocorreram algumas mudanças nos anos seguintes à publicação da lei.

2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS NO DISTRITO FEDERAL E ENTORNO

2.2.1 HISTÓRICO DO DISTRITO FEDERAL E ENTORNO

Com a publicação da PNRS, a elaboração de planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos para o Distrito Federal e os Municípios, passou a ser uma exigência legal. Ademais, a Lei Federal determina a necessidade do estabelecimento de Políticas de Resíduos Sólidos dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios. Portanto, no DF, foi promulgada a Lei Distrital n.º 5.418 (Distrito Federal, 2014), que institui a Política Distrital de Resíduos Sólidos, e, em 2018, foi publicado o Plano Distrital de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PDGIRS) (Governo de Brasília, 2018).

Os resíduos sólidos urbanos no DF são de responsabilidade do Poder Público e abrangem os Resíduos Sólidos Domiciliares (RDO) e volumosos e os Resíduos de Limpeza Urbana (RPU). Já os Resíduos Especiais são de responsabilidade do gerador. De acordo com o exposto no PDGIRS (Governo de Brasília, 2018), a geração per capita

de resíduos sólidos domiciliares em 2015 foi de 0,88 kg/hab.dia, mas, considerando-se os estudos de projeção populacional, estima-se que, em 2037, serão gerados, aproximadamente, 1.300.000 t de resíduos domiciliares, dos quais 372.000 t serão de recicláveis. Além dos resíduos sólidos domiciliares, há a geração de resíduos de limpeza urbana no DF, que são de responsabilidade do Serviço de Limpeza Urbana (SLU-DF), da Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil (NOVACAP) e das Administrações Regionais. Para esse tipo de resíduos, há também uma perspectiva de aumento de geração ao longo dos anos, com uma projeção de aproximadamente 1,4 milhões de toneladas para o ano 2037 (Governo de Brasília, 2018).

No Entorno do DF há uma Região Integrada de Desenvolvimento (RIDE) do Distrito Federal e Entorno, que foi instituída pela Lei Complementar nº 94 (BRASIL, 1998). A sua área de abrangência compreende o Distrito Federal, 29 municípios do Estado de Goiás e quatro municípios do Estado de Minas Gerais: Abadiânia, Água Fria de Goiás, Águas Lindas de Goiás, Alexânia, Alto Paraíso de Goiás, Alvorada do Norte, Barro Alto, Cabeceiras, Cavalcante, Cidade Ocidental, Cocalzinho de Goiás, Corumbá de Goiás, Cristalina, Flores de Goiás, Formosa, Goianésia, Luziânia, Mimoso de Goiás, Niquelândia, Novo Gama, Padre Bernardo, Pirenópolis, Planaltina, Santo Antônio do Descoberto, São João d'Aliança, Simolândia, Valparaíso de Goiás, Vila Boa e Vila Propício, no Estado de Goiás; e de Arinos, Buritis, Cabeceira Grande e Unaí, no Estado de Minas Gerais.

A RIDE DF foi criada a partir da ideia de incentivos a mecanismos de cooperação intergovernamentais. Esta RIDE constitui-se em uma região administrativa composta por três unidades federativas (DF, Goiás e Minas Gerais), que visa à realização do planejamento conjunto de serviços públicos comuns a esses entes, em especial em infraestrutura e geração de empregos. A regulamentação da Lei Complementar nº 94 (BRASIL, 1998), que instituiu a RIDE-DF, foi iniciada com o Decreto nº 7.469 (BRASIL, 2011), que propunha uma ação administrativa articulada entre os estados e a União na área definida como RIDE- DF (IPEA, 2014).

Consideram-se interesse da RIDE os serviços públicos comuns aos municípios que a compõem, que são correlacionados às seguintes áreas: infraestrutura, geração de emprego, renda, serviços públicos e infraestrutura; geração de empregos e capacitação profissional; saneamento básico, em especial o abastecimento de água, a coleta e o tratamento de esgoto e o serviço de limpeza pública; uso, parcelamento e ocupação do solo; transportes e sistema viário; proteção ao meio ambiente e controle da poluição

ambiental; aproveitamento de recursos hídricos e minerais; saúde e assistência social; educação e cultura; produção agropecuária e abastecimento alimentar; habitação popular; serviços de telecomunicação; turismo; e segurança pública (BRASIL, 2011).

As informações sobre a gestão e o manejo de resíduos sólidos nos municípios da RIDE DF e Entorno são muito limitadas, com exceção das informações disponibilizadas pelo Serviço de Limpeza Urbana do Distrito Federal (SLU-DF). Segundo o Plano Regional de Saneamento Básico RIDE DF e Entorno (Universidade de Brasília, 2019), os dados dos municípios da região estão disponíveis somente no portal do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS).

O portal do SNIS foi atualizado recentemente, com dados de 2020, referentes a cada município do país. Essa coleta de informações foi realizada diretamente com os municípios, de forma que, em alguns casos, não se obteve retorno até o final do prazo. Além disso, eventualmente, os dados obtidos com os municípios são fornecidos por pessoas leigas com relação à diferença entre as alternativas de disposição final de resíduos. Ainda assim, o portal funciona como uma ferramenta comparativa. Em toda a RIDE-DF, a responsabilidade pelo gerenciamento dos resíduos é do próprio município. Os dados referentes a esses municípios, que dizem respeito a destinação final dos resíduos sólidos, estão descritos na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 Destinação final dos resíduos sólidos nos municípios da RIDE/DF (SNIS, 2021).

| Município de localização | UF | Nome da unidade | Tipo de unidade, segundo o município informante | Operador | Início de operação | Recebe de outros municípios | Unidade em operação no ano de referência |
|--------------------------|----|------------------------------------|---|-------------------|--------------------|-----------------------------|--|
| Abadiânia | GO | - | - | - | - | - | - |
| Água Fria de Goiás | GO | - | - | - | - | - | - |
| Águas Lindas de Goiás | GO | Aterro Sanitário | Lixão | | 2004 | | Não |
| Alexânia | GO | Aterro Controlado de Alexânia - GO | Aterro Controlado | Prefeitura ou SLU | 2014 | Não | Sim |
| Alto Paraíso de Goiás | GO | Lixão | Lixão | Prefeitura ou SLU | 1994 | Não | Sim |
| Alvorada do Norte | GO | Lixão de Alvorada do Norte | Lixão | Prefeitura ou SLU | 2014 | Não | Sim |
| Arinos | MG | Utc - Usina de Reciclagem e | Aterro Controlado | Prefeitura ou SLU | 2014 | Não | Sim |

| Município de localização | UF | Nome da unidade | Tipo de unidade, segundo o município informante | Operador | Início de operação | Recebe de outros municípios | Unidade em operação no ano de referência |
|--------------------------|----|--|---|--------------------------|--------------------|-----------------------------|--|
| | | Compostagem De Lixo | | | | | |
| Barro Alto | GO | Lixão | Lixão | Prefeitura ou SLU | 2014 | Não | Sim |
| Brasília | DF | Aterro do Jóquei | Aterro Controlado | | 1963 | | Não |
| Brasília | DF | Unidade de Recebimento de Entulhos - URE | Aterro de Resíduos da Construção Civil (=Inertes) | Empresa privada | 2018 | Não | Sim |
| Brasília | DF | Aterro Sanitário de Brasília | Aterro Sanitário | Empresa privada | 2017 | Não | Sim |
| Buritiz | MG | Aterro Controlado | Lixão | | 2009 | | Não |
| Cabeceira Grande | MG | Aterro Controlado | Lixão | Prefeitura ou SLU | 2014 | Não | Sim |
| Cabeceiras | GO | Lixão Municipal de Cabeceiras | Lixão | Prefeitura ou SLU | 2009 | Não | Sim |
| Cavalcante | GO | Lixão | Lixão | Prefeitura ou SLU | 1990 | Não | Sim |
| Cidade Ocidental | GO | Aterro Sanitário | Aterro Sanitário | Consórcio intermunicipal | 2008 | Sim | Sim |
| Cocalzinho de Goiás | GO | Aterro Controlado | Aterro Controlado | Prefeitura ou SLU | 2003 | Não | Sim |
| Cocalzinho de Goiás | GO | Depósito a Céu Aberto | Lixão | | 2003 | | Não |
| Corumbá de Goiás | GO | Lixão | Lixão | Prefeitura ou SLU | 2013 | Não | Sim |
| Cristalina | GO | Lixão de Cristalina | Lixão | Prefeitura ou SLU | 2006 | Não | Sim |
| Flores de Goiás | GO | Lixão | Lixão | Prefeitura ou SLU | 2000 | Não | Sim |
| Formosa | GO | Lixão | Lixão | Empresa privada | 2000 | Não | Sim |
| Goianésia | GO | Aterro Sanitário de Goianésia | Aterro Sanitário | Prefeitura ou SLU | 2003 | Não | Sim |
| Luziânia | GO | SEMARH/LUZ | Lixão | Empresa privada | 2000 | Não | Sim |
| Mimoso de Goiás | GO | - | - | - | - | - | - |
| Niquelândia | GO | Aterro Controlado | Lixão | Prefeitura ou SLU | 2010 | Não | Sim |
| Novo Gama | GO | Aterro Controlado Novo Gama | Lixão | Prefeitura ou SLU | 2007 | Não | Sim |
| Padre Bernardo | GO | Aterro Controlado | Aterro controlado | Empresa privada | 2014 | Não | Sim |
| Padre Bernardo | GO | Aterro Sanitário Ouro Verde | Aterro sanitário | Empresa privada | 2018 | Sim | Sim |

| Município de localização | UF | Nome da unidade | Tipo de unidade, segundo o município informante | Operador | Início de operação | Recebe de outros municípios | Unidade em operação no ano de referência |
|---------------------------------|-----------|--------------------------------|--|-------------------|---------------------------|------------------------------------|---|
| Pirenópolis | GO | Lixão de Pirenópolis | Lixão | Prefeitura ou SLU | 1997 | Não | Sim |
| Planaltina | GO | Aterro Sanitário Municipal | Lixão | Prefeitura ou SLU | 1994 | Não | Sim |
| Santo Antônio do Descoberto | GO | Lixão de Santo Descoberto | Lixão | Empresa privada | 2014 | Não | Sim |
| São João d'Aliança | GO | - | - | - | - | - | - |
| Simolândia | GO | Aterro Sanitário de Simolândia | Lixão | Prefeitura ou SLU | 2000 | Não | Sim |
| Unaí | MG | Aterro Controlado | Aterro controlado | Prefeitura ou SLU | 2014 | Não | Sim |
| Unaí | MG | Lixão Fazenda Capim Branco | Lixão | | 2009 | | Não |
| Valparaíso de Goiás | GO | Lixão do Pacaembú | Lixão | | 1986 | | Não |
| Vila Boa | GO | - | - | - | - | - | - |
| Vila Propício | GO | Lixão | Lixão | Prefeitura ou SLU | 2015 | Não | Sim |

Percebe-se que, em toda a RIDE-DF, há somente quatro aterros sanitários, portanto, todos os demais municípios estão em desacordo com a meta estabelecida no Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Governo Federal, 2020), de, até 2024, não haver nenhum município dispondo RSU em aterro controlado e lixões. Há vinte e três lixões, dezoito em operação, e seis aterros controlados, cinco em operação, na região. Há apenas dois aterros sanitários que recebem resíduos de outros municípios, um privado e somente um operado por meio de um consórcio intermunicipal, apesar dos incentivos legais para tal, como disposto na lei nº 12.305 que institui a PNRS (BRASIL, 2010). Somente o DF, dentre as localidades estudadas conta com um processo mais estruturado destinado aos catadores de resíduos, com organização e infraestruturas instaladas. Assim, há uma demanda de readequação da disposição de resíduos sólidos na região, para que a meta seja cumprida.

No que diz respeito ao volume de resíduos coletados nos municípios da RIDE DF, foi realizada uma comparação na Figura 2.3 com as informações de coleta do SNIS (2021), referentes ao ano de 2020. Percebe-se que o DF tem a maior geração de resíduos da RIDE no ano analisado, com 834.531 toneladas coletadas, além disso, os municípios que coletam mais resíduos fazem fronteira com o DF, Águas Lindas de Goiás, Formosa,

Planaltina, Cristalina e Cidade Ocidental, com exceção de Goianésia e Unaí, que estão localizados um pouco mais distantes. O foco de maior volume de resíduo coletado, destacado na Figura 2.3, evidencia essa realidade. Dos municípios citados que fazem divisa com o Distrito Federal, somente a Cidade Ocidental possui aterro sanitário, os demais locais dispõem os resíduos de forma inadequada. O volume de resíduos coletados nos demais municípios inseridos no círculo de maior demanda, ainda é muito menor do que o gerado no DF, de tal forma que, a necessidade desses locais poderia ser atendida por um aterro sanitário voltado para a população do Distrito Federal, sem uma redução significativa da vida útil. Portanto, a construção de um novo aterro sanitário seria benéfica não só para Brasília/DF, como também para os demais municípios.

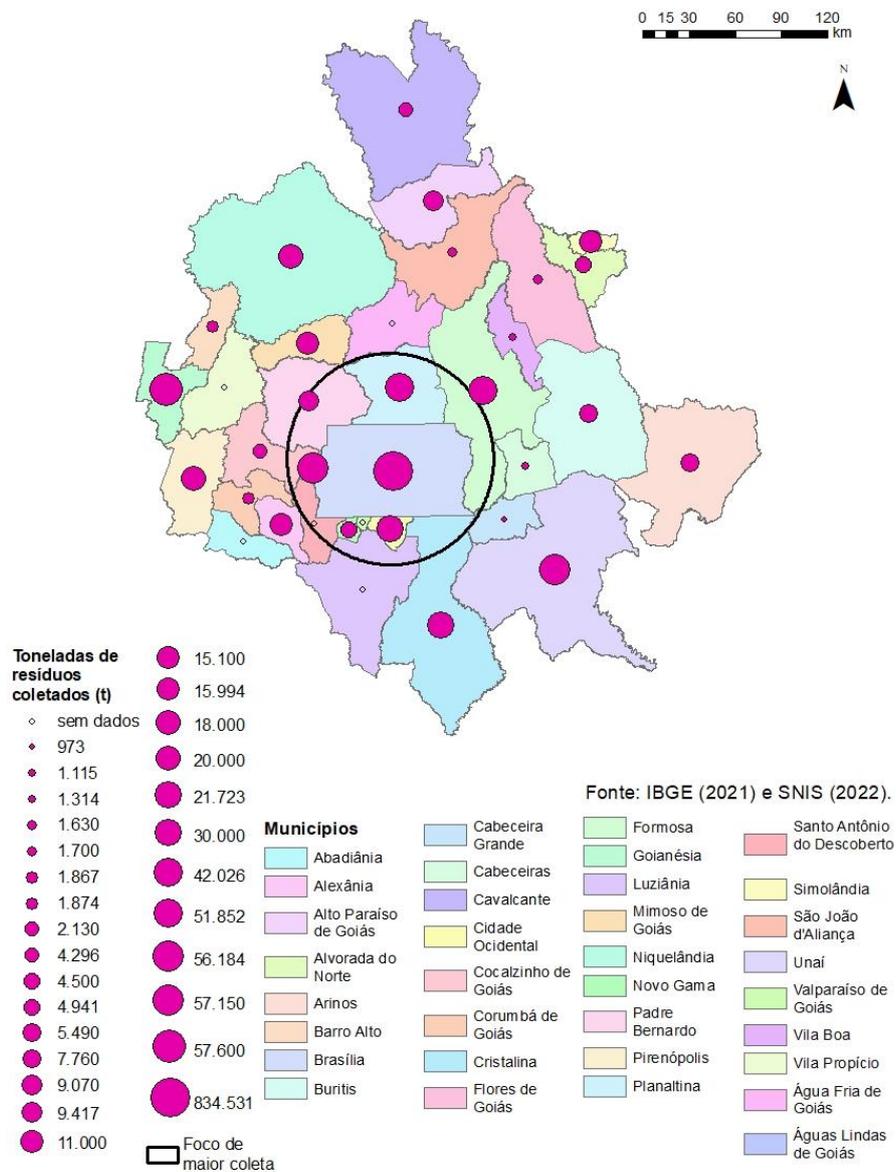


Figura 2.3 Toneladas de resíduos sólidos coletadas por município da RIDE (autor, 2022).

A partir do histórico de geração e tratamento dos resíduos sólidos dos municípios que compõem a RIDE/ DF, conclui-se que há ainda uma carência de infraestrutura adequada para suprir a demanda. Isso ocorre não somente pela situação atual, em que não há o devido tratamento e descarte de resíduos para boa parte dos municípios, como também pelo crescimento populacional e pela projeção de geração de resíduos na região, que tende a aumentar exponencialmente.

2.2.2 DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO DF

A disposição final dos resíduos gerados no Distrito Federal foi, por mais de 50 anos, no Lixão da Cidade Estrutural – definido pela Associação Internacional de Resíduos Sólidos (ISWA) como o segundo maior lixão do mundo. Ao longo dos anos, o lixão passou a ser chamado de Aterro Controlado do Jóquei Clube de Brasília (ACJ), por ter recebido algumas melhorias. Entretanto, essas medidas foram paliativas, dado o risco de contaminação e toda a problemática ambiental e social associada a esse local, estudada em diversos trabalhos como Arend dos Santos (2019), Diniz (2019) e Nisiyama (2019). Em 2017, iniciou-se o processo de encerramento do ACJ, com a inauguração e início de operação do Aterro Sanitário de Brasília (ASB), localizado a 15° 51' 34" de latitude Sul e a 48° 09' 10" de longitude Oeste, que passaria a receber todos os rejeitos do DF. Em 2018, em resposta a um compromisso assumido pelo Governo do DF com a ISWA, o ACJ foi encerrado e passou a receber somente resíduos da construção civil (SLU – DF, 2018). As localizações do ACJ e do ASB foram identificadas na Figura 2.4.

Com uma área total de aproximadamente 760.000 m², ou 76 ha, o ASB foi projetado para a disposição de rejeitos em quatro etapas, que somadas resultariam em 13,3 anos de operação. Esse planejamento contava com uma redução significativa do quantitativo de resíduos aterrados, o que dependia da melhoria e da expansão da coleta seletiva, do aumento da compostagem de orgânicos puros, da implementação da Lei de Grandes Geradores, Lei Distrital nº 5.610 (Distrito Federal, 2016) e dos acordos com municípios do entorno que possuíssem aterros sanitários e outras tecnologias (Governo de Brasília, 2018). Essas medidas têm sido implementadas, entretanto, não no ritmo esperado. Além disso, a pandemia do novo Corona Vírus – COVID-19, observada a partir de dezembro de 2019 na China e que chegou ao Brasil em fevereiro de 2020 perdurando até 2022, gerou um cenário de incertezas e mudanças na geração dos resíduos sólidos. O comparativo de resíduos aterrados entre os anos de 2019 e 2020

mostra um aumento de 20.218 t de um ano para o outro (SLU – DF, 2019, 2020). No relatório do SLU – DF de (SLU – DF, 2019), afirma-se que, caso a demanda de aterramento de resíduos se mantivesse a mesma de 2019 ao longo dos anos, a vida útil do ASB seria reduzida para pouco mais de dez anos. Dado o aumento de aterramento observado, percebe-se que a necessidade de se encontrar um novo local para disposição final dos resíduos sólidos do DF, torna-se cada vez mais próxima.

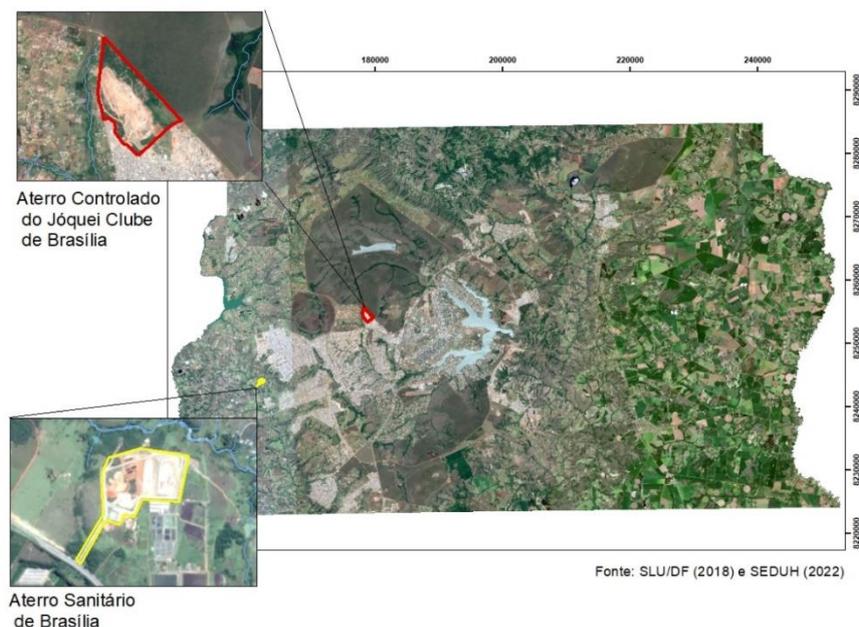


Figura 2.4 Localização ACJ e ASB no Distrito Federal.

O projeto de construção do ASB previa a segmentação da disposição de rejeitos em quatro etapas. Na Tabela 2.3, sistematiza-se a área de cada etapa, a capacidade de recebimento de rejeitos e a vida útil estimada. Até o final de 2021, o ASB já havia recebido 3.131.262 toneladas de resíduos. Em janeiro de 2020 foi implantada a segunda fase da Etapa 2 do ASB. Toda a área destinada a essa etapa (122.000 m²) foi compactada e impermeabilizada, com conclusão desses serviços em outubro de 2020. Em agosto de 2020, foi iniciado o aterramento de resíduos da segunda fase da Etapa 2, que tinha previsão de encerramento para outubro de 2022 (SLU, 2022).

Tabela 2.3 Etapas de Construção do ASB (SLU, 2022).

| Etapa | Área (m²) | Capacidade (t) | Vida Útil (anos) |
|----------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Etapa 1 | 110.000 | 1.872.000 | 3,10 |
| Etapa 2 | 122.000 | 1.990.000 | 3,20 |
| Etapa 3 | 88.000 | 1.596.000 | 2,60 |
| Etapa 4 - Coroamento | - | 2.672.000 | 4,40 |
| Total | 320.000 | 8.130.000 | 13,3 |

2.3 ÁREA DE ESTUDO: RIDE - DISTRITO FEDERAL

Com a inauguração de Brasília, em 1960, a região Centro-Oeste passou a ser mais povoada. O adensamento populacional passou a ocorrer inicialmente no interior do Distrito Federal e nas cidades a ele adjacentes, processo que se intensificou no início da década de 1970 com a consolidação da transferência da Capital. A expansão dessa área ocorreu de forma polinucleada e esparsa no território no Distrito Federal, perpassando posteriormente seus limites político-administrativos e abrangendo um espaço de influência direta em municípios do Estado de Goiás, formando o aglomerado urbano da Área Metropolitana de Brasília (CODEPLAN, 2013).

A RIDE/DF foi instituída anos depois, pela Lei Complementar nº 94 (BRASIL, 1998), com a consolidação dessa expansão urbana e diante da necessidade de organização e planejamento integrado da região que se configurou com a transferência da Capital para o hoje território do Distrito Federal. Ao longo dos anos, a RIDE/DF passou por processos de expansão com a adição de novos municípios. Em 2022, conta com 29 municípios do Goiás e de Minas Gerais, além do Distrito Federal, e encontra-se, majoritariamente, no Centro-Oeste Brasileiro. O polígono em que a referida área está situada encontra-se definido pelas coordenadas 47° 37' 30" O e 13° 6' 33" S; 45° 33' 34" O e 15° 41' 34" S; 47° 30' 47" O e 17° 22' 13" S; 49° 21' 13" O e 15° 20' 24" S. A região pode ser visualizada na Figura 2.5.

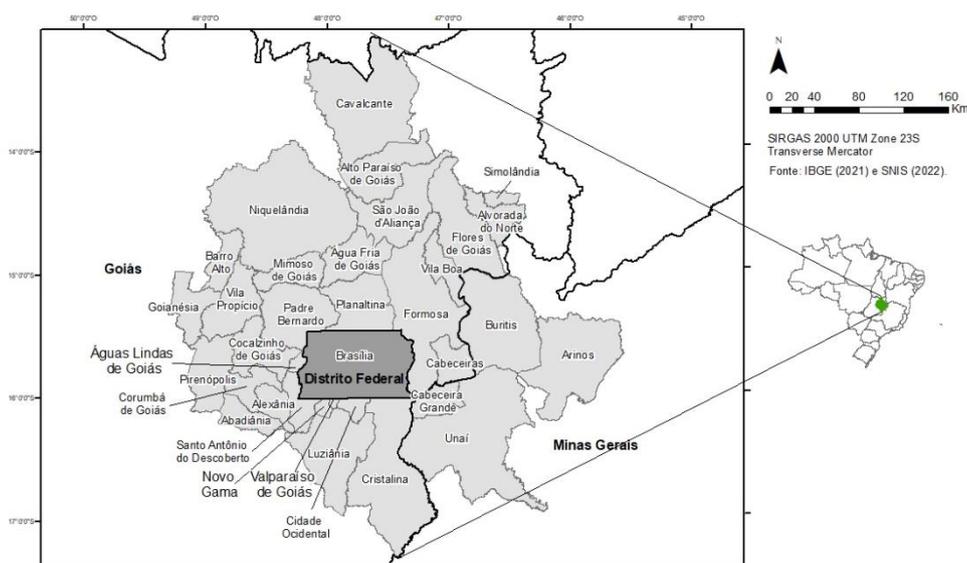


Figura 2.5 Localização da área de estudo (Autor, 2022).

O quantitativo populacional de cada município da RIDE/DF foi compilado, a partir de dados estimados de população disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. As estimativas podem ser analisadas na Tabela 2.4, organizada em ordem decrescente. Percebe-se que Brasília/DF, consolidada como uma das maiores metrópoles do Brasil, representa 65% da população da RIDE, com um número de habitantes significativamente maior que o próximo município mais populoso, Águas Lindas de Goiás/GO.

Tabela 2.4 Estimativas da População Residente nos Municípios da RIDE/DF com data de Referência em 1º de julho de 2021 (IBGE, 2021).

| Nome do Município | UF | População Estimada | | |
|-----------------------------|----|--------------------|--------------------------------|--|
| | | Habitantes | Habitantes por km ² | Percentual de habitantes em relação ao total da RIDE |
| Brasília | DF | 3.094.325 | 537 | 65,03% |
| Águas Lindas de Goiás | GO | 222.850 | 1.162 | 4,68% |
| Luziânia | GO | 214.645 | 54 | 4,51% |
| Valparaíso de Goiás | GO | 175.720 | 2.858 | 3,69% |
| Formosa | GO | 125.705 | 22 | 2,64% |
| Novo Gama | GO | 119.649 | 622 | 2,51% |
| Planaltina | GO | 91.345 | 36 | 1,92% |
| Unai | MG | 85.461 | 10 | 1,80% |
| Santo Antônio do Descoberto | GO | 76.871 | 81 | 1,62% |
| Cidade Ocidental | GO | 74.370 | 191 | 1,56% |
| Goianésia | GO | 72.045 | 47 | 1,51% |
| Cristalina | GO | 61.385 | 10 | 1,29% |
| Niquelândia | GO | 47.064 | 5 | 0,99% |
| Padre Bernardo | GO | 35.011 | 11 | 0,74% |
| Alexânia | GO | 28.360 | 33 | 0,60% |
| Pirenópolis | GO | 25.218 | 11 | 0,53% |
| Buritis | MG | 25.179 | 5 | 0,53% |
| Abadiânia | GO | 20.873 | 20 | 0,44% |
| Cocalzinho de Goiás | GO | 20.771 | 12 | 0,44% |
| Arinos | MG | 17.850 | 3 | 0,38% |
| Flores de Goiás | GO | 17.415 | 5 | 0,37% |
| São João d'Aliança | GO | 14.423 | 4 | 0,30% |
| Barro Alto | GO | 11.643 | 11 | 0,24% |
| Corumbá de Goiás | GO | 11.223 | 11 | 0,24% |
| Cavalcante | GO | 9.740 | 1 | 0,20% |
| Alvorada do Norte | GO | 8.749 | 7 | 0,18% |
| Cabeceiras | GO | 8.098 | 7 | 0,17% |
| Alto Paraíso de Goiás | GO | 7.751 | 3 | 0,16% |
| Cabeceira Grande | MG | 7.025 | 7 | 0,15% |

| Nome do Município | UF | População Estimada | | |
|--------------------|----|--------------------|--------------------------------|--|
| | | Habitantes | Habitantes por km ² | Percentual de habitantes em relação ao total da RIDE |
| Simolândia | GO | 6.895 | 20 | 0,14% |
| Vila Boa | GO | 6.451 | 6 | 0,14% |
| Vila Propício | GO | 5.941 | 3 | 0,12% |
| Água Fria de Goiás | GO | 5.843 | 3 | 0,12% |
| Mimoso de Goiás | GO | 2.575 | 2 | 0,05% |
| TOTAL | | 4.758.469 | | |

No Plano Regional de Saneamento Básico Região Integrada de Desenvolvimento (RIDE) DF e Entorno (Universidade de Brasília, 2019) foi feita uma projeção populacional dos municípios pertencentes à RIDE, na época da publicação, Tabela 2.5. Ainda que a previsão realizada não tenha sido exata até 2021, percebe-se que a taxa de crescimento é bem menor para o restante dos municípios do que para Brasília/DF. Na busca por informações relativas à RIDE/DF foram encontrados poucos estudos desenvolvidos para a região, frequentemente há lacunas para alguns municípios ou informações desatualizadas, como é o caso dos dados do SNIS (Figura 2.3) e do Plano Regional de Saneamento Básico da RIDE (Tabela 2.5). De tal forma que a análise de disposição de resíduos sólidos da RIDE inteira se tornou inviável.

Tabela 2.5 Estimativa Populacional para os Municípios da RIDE/DF até 2035 (Universidade de Brasília, 2019)

| RIDE DF | População | | | | | Taxas de crescimento | | | | | |
|------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2010-2015 | 2015-2020 | 2020-2025 | 2025-2030 | 2030-2035 |
| 310930 Buritis | 22.737 | 24.351 | 25.090 | 25.654 | 26.033 | 26.333 | 1,37% | 0,60% | 0,44% | 0,29% | 0,23% |
| 317040 Unai | 77.565 | 82.887 | 85.324 | 87.184 | 88.433 | 89.423 | 1,33% | 0,58% | 0,43% | 0,28% | 0,22% |
| 3109451 Cabeceira Grande | 6.453 | 6.861 | 7.048 | 7.190 | 7.286 | 7.362 | 1,23% | 0,54% | 0,40% | 0,26% | 0,21% |
| 520010 Abadiânia | 15.757 | 18.069 | 19.619 | 21.024 | 22.267 | 23.462 | 2,74% | 1,65% | 1,38% | 1,15% | 1,05% |
| 520017 Água Fria de Goiás | 5.090 | 5.507 | 5.787 | 6.040 | 6.264 | 6.480 | 1,57% | 0,99% | 0,86% | 0,73% | 0,68% |
| 520025 Águas Lindas de Goiás | 159.378 | 187.072 | 205.636 | 222.467 | 237.355 | 251.666 | 3,20% | 1,89% | 1,57% | 1,30% | 1,17% |
| 520030 Alexânia | 23.814 | 26.135 | 27.691 | 29.101 | 30.349 | 31.549 | 1,86% | 1,16% | 0,99% | 0,84% | 0,78% |
| 520400 Cabeceiras | 7.354 | 7.829 | 8.147 | 8.436 | 8.691 | 8.937 | 1,25% | 0,80% | 0,70% | 0,60% | 0,56% |
| 520549 Cidade Ocidental | 55.915 | 64.229 | 69.802 | 74.855 | 79.324 | 83.621 | 2,77% | 1,66% | 1,40% | 1,16% | 1,05% |
| 520551 Cocalzinho de Goiás | 17.407 | 19.115 | 20.260 | 21.298 | 22.216 | 23.099 | 1,87% | 1,16% | 1,00% | 0,84% | 0,78% |
| 520580 Corumbá de Goiás | 10.361 | 10.961 | 11.363 | 11.728 | 12.050 | 12.360 | 1,13% | 0,72% | 0,63% | 0,54% | 0,51% |
| 520620 Cristalina | 46.580 | 53.300 | 57.805 | 61.889 | 65.501 | 68.974 | 2,70% | 1,62% | 1,37% | 1,13% | 1,03% |
| 520800 Formosa | 100.085 | 112.236 | 120.381 | 127.766 | 134.298 | 140.577 | 2,29% | 1,40% | 1,19% | 1,00% | 0,91% |
| 521250 Luziânia | 174.531 | 194.039 | 207.116 | 218.972 | 229.459 | 239.540 | 2,12% | 1,30% | 1,11% | 0,94% | 0,86% |
| 521305 Mimoso de Goiás | 2.685 | 2.715 | 2.735 | 2.753 | 2.769 | 2.785 | 0,22% | 0,15% | 0,13% | 0,12% | 0,11% |
| 521523 Novo Gama | 95.018 | 106.677 | 114.492 | 121.578 | 127.846 | 133.871 | 2,31% | 1,41% | 1,20% | 1,01% | 0,92% |
| 521560 Padre Bernardo | 27.671 | 31.129 | 33.447 | 35.549 | 37.408 | 39.194 | 2,36% | 1,44% | 1,22% | 1,02% | 0,93% |
| 521730 Pirenópolis | 23.006 | 24.444 | 25.408 | 26.282 | 27.055 | 27.798 | 1,21% | 0,77% | 0,68% | 0,58% | 0,54% |
| 521760 Planaltina | 81.649 | 87.474 | 91.379 | 94.919 | 98.050 | 101.060 | 1,38% | 0,87% | 0,76% | 0,65% | 0,60% |
| 521975 Santo Antônio do Descoberto | 63.248 | 69.988 | 74.506 | 78.602 | 82.226 | 85.708 | 2,03% | 1,25% | 1,07% | 0,90% | 0,83% |
| 522185 Valparaíso de Goiás | 132.982 | 153.255 | 166.844 | 179.166 | 190.064 | 200.540 | 2,84% | 1,70% | 1,42% | 1,18% | 1,07% |
| 522220 Vila Boa | 4.735 | 5.495 | 6.004 | 6.466 | 6.875 | 7.268 | 2,98% | 1,77% | 1,48% | 1,23% | 1,11% |
| 530010 Brasília | 2.570.160 | 2.914.830 | 3.223.048 | 3.512.409 | 3.773.409 | 4.031.605 | 2,52% | 2,01% | 1,72% | 1,43% | 1,32% |
| <i>Total</i> | <i>3.724.181</i> | <i>4.208.598</i> | <i>4.608.931</i> | <i>4.981.328</i> | <i>5.315.230</i> | <i>5.643.209</i> | <i>2,45%</i> | <i>1,82%</i> | <i>1,55%</i> | <i>1,30%</i> | <i>1,20%</i> |

No presente trabalho, em vista da ausência de informações para todos os municípios da RIDE, a busca de um local para aterro sanitário será centrada no

atendimento a demanda proveniente do Distrito Federal, a mais crítica da região. Entretanto, como as taxas de geração de resíduos dos demais municípios são pouco significativas, entende-se que seria possível também suprir a demanda de aterramento, caso seja de interesse de alguns municípios mais próximos do local em que o aterro for inserido. Ainda assim, em vista da falta de dados atualizados para os demais municípios, o quantitativo de resíduos sólidos que será utilizado como base, de acordo com a projeção populacional, é o do Distrito Federal. Serão utilizados os dados do IBGE (2021) para estimar o crescimento populacional ao longo dos anos. Conforme a Tabela 2.4, o DF tem uma população estimada de 3,1 milhões de habitantes e tinha, em 2015, uma geração per capita de 0,88 quilogramas de resíduos sólidos por dia (Governo de Brasília, 2018; IBGE, 2022).

A RIDE/DF está localizada na região central do Brasil, é totalmente ocupada pelo Cerrado, segundo maior bioma da América do Sul, e comporta a nascente das três maiores bacias do Brasil. A região é conhecida como a savana mais rica do mundo, com 11.627 espécies de plantas e 2.566 espécies de animais. Na região prevalece o Clima Tropical Brasil Central, apresentando verões chuvosos, invernos com pouca chuva e eventos de estiagem. No período em que ocorre precipitação, de outubro ao início de maio, a umidade relativa do ar é alta, com mais de 70%. Os meses de maio a setembro caracterizam-se por uma baixa umidade, que chega a menos de 20%, em dias quentes. As temperaturas médias variam entre 20°C e 28°C ao longo do ano. Durante o inverno, massas de ar polar vindas do sul do planeta formam as frente frias e causam a diminuição da temperatura, podendo ocasionar períodos de vários dias com frio e temperaturas mínimas de cerca de 13°C. A média de precipitação nos meses mais chuvosos, novembro e dezembro, é de 200 e 300 mm/mês para a região de estudo (Governo do Distrito Federal, 2021; INMET, 2021).

2.4 SELEÇÃO DE ÁREAS PARA ATERROS SANITÁRIOS

Nesse item serão discutidos os pontos mais determinantes para a escolha de uma área para aterro sanitário. Primeiro é preciso definir qual tipo de resíduo esse aterro vai receber, para então, consultar as definições legais quanto à disposição final desse tipo de resíduo. Além disso, é necessário avaliar os diferentes aspectos – sociais, econômicos e ambientais – que influenciam na escolha do local, bem como o peso relativo de cada um desses pontos.

2.4.1 CARACTERÍSTICAS DE ATERROS SANITÁRIOS

A NBR 10.004 (ABNT, 2004) separa os resíduos sólidos em perigosos e não perigosos. Essa diferenciação também é adotada em outras normativas, tal que, os resíduos perigosos, de Classe I, recebem uma norma específica de acondicionamento - NBR 12235 (ABNT, 1992) - e uma de aterramento - NBR 10157 (ABNT, 2018) -, enquanto o aterramento dos resíduos não perigosos, Classe II A e B - não inertes e inertes, respectivamente - passa a ser regulamentado por outra norma, a NBR 13896 (ABNT, 1997). Além dessa norma, há também a NBR 8419 (ABNT, 1996), que define as diretrizes para a apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, que fazem parte dos resíduos não perigosos. Portanto, há características diferentes entre os tipos de aterros, critérios a serem adotados e legislações pertinentes, que devem ser levados em consideração antes da seleção do local para um aterro. Como a presente pesquisa está focalizada somente na disposição final de resíduos sólidos urbanos, não foram ponderados os aspectos referentes à outras classes de resíduos.

2.4.2 CRITÉRIOS PARA A IMPLANTAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS

A fim de escolher um local para a disposição final de resíduos sólidos, faz-se necessário revisitar as definições legais. É preciso considerar aspectos sociais, econômicos, políticos e ambientais, priorizando sempre o menor risco à saúde humana e o menor impacto ambiental possível. Ademais, as características do local devem ser em função do tipo de resíduos que ali serão aterrados. Como a presente pesquisa é focalizada somente na deposição de resíduos sólidos urbanos, não serão explorados aqui os critérios referentes a deposição de resíduos especiais, como por exemplo, resíduos hospitalares ou resíduos industriais.

Dentre as legislações brasileiras que devem ser levadas em consideração na escolha de um local para implementação de um aterro sanitário destacam-se:

- NBR 8419 (ABNT, 1996) – Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos - Procedimento
- NBR 13896 (ABNT, 1997) – Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação;
- Lei Federal nº 6.938 (BRASIL, 1981) – Estabelece a Política Nacional de Meio Ambiente;
- Lei Federal nº 9.985 (BRASIL, 2000) – Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza;

- Lei Federal 12.651 (BRASIL, 2012) – Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa;
- Resolução CONAMA 001 (CONAMA, 1986) – Define as situações e estabelece os requisitos e condições para desenvolvimento de Estudo de Impacto Ambiental – EIA e respectivo Relatório de Impacto Ambiental – RIMA;
- Resolução CONAMA 005 (CONAMA, 1988) – Dispõe sobre o licenciamento ambiental de obras de saneamento;
- Resolução CONAMA 237 (CONAMA, 1997) – Dispõe sobre conceitos, sujeição, e procedimento para obtenção de Licenciamento Ambiental.

Como critérios para a localização de um aterro sanitário, exige-se que o local seja tal que: o impacto ambiental a ser causado pela instalação do aterro seja minimizado; a aceitação da instalação pela população seja maximizada; esteja de acordo com o zoneamento da região; e possa ser utilizado por um longo intervalo de tempo, necessitando apenas de um mínimo de obras para início da operação. Para que essas premissas sejam alcançadas, é necessário levar em consideração os seguintes aspectos, tais como: topografia; geologia e tipos de solos existentes; recursos hídricos; clima; vegetação; acessos; tamanho disponível e vida útil; custos; e distância mínima de núcleos populacionais (ABNT, 1997). O processo de escolha desses locais foi discutido em diversos trabalhos anteriores, como Strava Corrêa (2001), Souza (2004), Nascimento (2012) e Carvalho (2017), a partir do uso de geoprocessamento e de análises multicritérios, como a *Analytic Hierarchy Process* (AHP).

2.4.2.1 NBR 8419 (ABNT, 1996) – APRESENTAÇÃO DE PROJETOS DE ATERROS SANITÁRIOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS – PROCEDIMENTO.

A NBR 8419 (ABNT, 1996) fixa as condições mínimas exigíveis para a apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. A norma estabelece que deve ser apresentada uma estimativa detalhada dos custos de implantação do aterro sanitário, bem como da operação e manutenção deste. O projeto do aterro deve ser encaminhado ao Órgão Seccional Estadual de Controle da Poluição e Proteção Ambiental – OECPA, com os seguintes documentos: carta solicitando a análise do projeto e parecer, assinada por representante legal da prefeitura do município onde se localiza o aterro sanitário.

Na justificativa da escolha do local destinado ao aterro sanitário, deve ser considerado o seguinte: zoneamento ambiental; zoneamento urbano; acessos;

vizinhança; economia de transporte; titulação da área escolhida; economia operacional do aterro sanitário (jazida, etc.); infraestrutura urbana; bacia e sub-bacia hidrográfica onde o aterro sanitário se localizará. Com relação à localização e caracterização topográfica, deve ser apresentado um levantamento planialtimétrico, em escala não inferior a 1:2000, com indicação da área do aterro sanitário e sua vizinhança, locando-o relativamente a pontos geográficos conhecidos, tais como ruas, estradas, ferrovias, rios e mananciais de abastecimento. Deve ser apresentado, também, um levantamento planialtimétrico da área do aterro sanitário, em escala não inferior a 1:1000.

No que tange à caracterização geológica e geotécnica, deve ser apresentada investigação geológica e geotécnica do terreno envolvido no aterro sanitário, que contribua objetivamente para a avaliação dos riscos de poluição das águas e das condições de estabilidade dos maciços. As informações referentes à geologia, natureza dos solos e da água subterrânea são assim relacionadas: a litologia, as estruturas, o perfil, a espessura do solo, sua granulometria, sua homogeneidade e permeabilidade, posição e dinâmica do lençol freático, qualidade e importância econômica das águas subterrâneas, importância do terreno em termos de recarga de água subterrânea, os riscos de ruptura ou erosão acentuada do terreno de fundação e/ou dos terrenos adjacentes. Para a caracterização climatológica, devem ser apresentados valores mensais preexistentes correspondentes ao maior período de observação da precipitação e evapotranspiração. Com o objetivo de caracterizar o uso de água e solo, devem ser indicados os usos dos corpos de água próximos, bem como dos poços e outras coleções hídricas.

2.4.2.2 NBR 13896 (ABNT, 1997) – ATERROS DE RESÍDUOS NÃO PERIGOSOS – CRITÉRIOS PARA PROJETO, IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO.

A NBR 13896 (ABNT, 1997) fixa as condições mínimas exigíveis para projeto, implantação e operação de aterros de resíduos não perigosos, de forma a proteger adequadamente as coleções hídricas superficiais e subterrâneas próximas, bem como os operadores destas instalações e populações vizinhas. A norma define critérios para a localização de um aterro de resíduos não perigosos, partindo do pressuposto que se buscam minimizar o impacto ambiental; a aceitação da instalação pela população maximizada; o local de acordo com o zoneamento da região; e a possibilidade de ser utilizado por um longo tempo com intervenções mínimas.

Com relação à topografia, recomenda-se locais com declividade superior a 1% e inferior a 30%, porém, acima de 30% pode ser utilizado a critério do Órgão de Controle Ambiental (OCA). Para a geologia e tipos de solo existentes, é preciso considerar a capacidade de depuração do solo, a velocidade de infiltração, e considera-se desejável um depósito natural extenso e homogêneo de um material de coeficiente de permeabilidade inferior a 10^{-6} cm/s além de uma zona não saturada com espessura superior a 3,0 m.

Para os Recursos Hídricos, a distância mínima exigida é de 200 m de qualquer coleção hídrica ou curso d'água, tal distância pode ser alterada a critério do OCA - Órgão de Controle Ambiental. O estudo macroscópico da vegetação é importante, visto que ela pode atuar de forma favorável com relação a aspectos da redução do fenômeno de erosão, da formação de poeira e do transporte de odores. É preciso garantir acessos, utilizados durante toda a operação do aterro. Em um projeto como o de um aterro sanitário, o tamanho disponível e a vida útil encontram-se inter-relacionados e recomenda-se a construção de aterros com vida útil mínima de 10 anos. Os custos variam com o tamanho e o método construtivo do aterro e configuram peça fundamental de escolha, portanto, é necessário realizar um cronograma físico-financeiro para análise de viabilidade econômica do empreendimento.

A distância mínima de núcleos populacionais deve ser superior a 500 m, podendo ser alterada a critério do OCA - Órgão de Controle Ambiental. Há, ainda, critérios obrigatórios. O aterro não deve ser executado em áreas sujeitas a inundações, em períodos de recorrência de 100 anos. Entre a superfície inferior do aterro e o mais alto nível do lençol freático deve haver uma camada natural de espessura mínima de 1,50 m de solo insaturado. O nível do lençol freático deve ser medido durante a época de maior precipitação pluviométrica da região. O aterro deve ser executado em áreas onde haja predominância no subsolo de material com coeficiente de permeabilidade inferior a 5×10^{-5} cm/s. Pode ser alterado, não excedendo 10^{-4} cm/s a critério do OCA. Os aterros só podem ser construídos em áreas de uso conforme legislação local de uso do solo.

Quanto ao isolamento da área, deve haver uma faixa de proteção sanitária *non-aedificant* de no mínimo 10 m de largura. Os acessos internos e externos devem ser protegidos, executados e mantidos de maneira a permitir sua utilização sob quaisquer condições climáticas. O local do aterro deve ter iluminação e força (energia) de modo a permitir uma ação de emergência mesmo à noite, além de possibilitar o uso imediato dos diversos equipamentos (bombas, compressores etc.). O local deve possuir sistema

de comunicação interno e externo, para pelo menos permitir o seu uso em ações de emergência.

Com relação à proteção das águas subterrâneas e superficiais, é imprescindível a presença de um sistema de monitoramento para manter qualidade das águas subterrâneas. Nos casos em que os parâmetros do aquífero apresentarem-se naturalmente em concentrações superiores aos da legislação, o OCA pode estabelecer padrões para cada caso. O aterro precisa contar com um sistema de desvio de águas superficiais da área do aterro capaz de suportar uma chuva de pico de cinco anos. As emissões gasosas devem ser minimizadas, promovendo a captação e tratamento adequado das eventuais emanções.

2.4.2.3 LEI FEDERAL Nº 6.938 (BRASIL, 1981) – ESTABELECE A POLÍTICA NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (PNMA).

A PNMA (BRASIL, 1981) apresenta, já nos seus princípios, pontos como: racionalização do uso do solo, do subsolo, da água e do ar; planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais; proteção dos ecossistemas, com a preservação de áreas representativas; controle e zoneamento das atividades potencial ou efetivamente poluidoras; acompanhamento do estado da qualidade ambiental; proteção de áreas ameaçadas de degradação. Todos esses princípios influenciam diretamente a escolha de uma área para aterro sanitário.

Indo além, dentre os objetivos da Lei Federal nº 6.938 (BRASIL, 1981), constam: a definição de áreas prioritárias de ação governamental relativa à qualidade e ao equilíbrio ecológico, atendendo aos interesses da União, dos Estados, do Distrito Federal, dos Territórios e dos Municípios; o estabelecimento de critérios e padrões de qualidade ambiental e de normas relativas ao uso e ao manejo de recursos ambientais; a difusão de tecnologias de manejo do meio ambiente, a divulgação de dados e informações ambientais e a formação de uma consciência pública sobre a necessidade de preservação da qualidade ambiental e do equilíbrio ecológico. Assim, essa lei serve como uma orientação para as ações dos Governos da União, Estados, do Distrito Federal e dos Municípios no que se relaciona com a preservação da qualidade ambiental e a manutenção do equilíbrio ecológico.

A PNMA estabelece o zoneamento ambiental, além de áreas de proteção ambiental, de relevante interesse ecológico e reservas extrativistas. Define, também, que dependerão de prévio licenciamento ambiental a construção, a instalação, a ampliação e

o funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental.

2.4.2.4 LEI FEDERAL Nº 9.985 (BRASIL, 2000) – INSTITUI O SISTEMA NACIONAL DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DA NATUREZA.

A Lei nº 9.985 (BRASIL, 2000) define unidade de conservação como espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção.

As unidades de conservação integrantes do SNUC dividem-se em dois grupos, com características específicas, Unidades de Proteção Integral e Unidades de Uso Sustentável. O objetivo básico das Unidades de Proteção Integral é preservar a natureza, admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais, com exceção dos casos previstos nesta Lei. No caso das Unidades de Uso Sustentável, o objetivo é compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais. Dentre as Unidades de Proteção Integral, encontram-se as categorias: Estação Ecológica; Reserva Biológica; Parque Nacional; Monumento Natural; e Refúgio de Vida Silvestre. Dentre as categorias de Unidade de Uso Sustentável encontram-se: Área de Proteção Ambiental; Área de Relevante Interesse Ecológico; Floresta Nacional; Reserva Extrativista; Reserva de Fauna; Reserva de Desenvolvimento Sustentável; e Reserva Particular do Patrimônio Natural.

Dentre as categorias citadas, em nenhuma das Unidades de Proteção Integral, é permitida a realização de alterações profundas, que comprometeriam ou colocariam em risco a proteção dos ecossistemas. Quanto às Unidades de Uso Sustentável, nas Áreas de Proteção Ambiental (APA) e nas Áreas de Relevante Interesse Ecológico (ARIE), há alguma flexibilidade com relação ao uso das áreas, nas demais, o uso é restrito. Ainda de acordo com a referida lei, são proibidas, nas unidades de conservação, quaisquer alterações, atividades ou modalidades de utilização em desacordo com os seus objetivos, o seu Plano de Manejo e os seus regulamentos. Nos casos de licenciamento ambiental de empreendimentos de significativo impacto ambiental, assim considerado pelo órgão ambiental competente, com fundamento em estudo de impacto ambiental e

respectivo relatório - EIA/RIMA, o empreendedor é obrigado a apoiar a implantação e manutenção de unidade de conservação do Grupo de Proteção Integral.

2.4.2.5 LEI FEDERAL 12.651 (BRASIL, 2012) – DISPÕE SOBRE A PROTEÇÃO DA VEGETAÇÃO NATIVA.

A Lei 12.651 (BRASIL, 2012) estabelece normas gerais sobre a proteção da vegetação, áreas de Preservação Permanente e as áreas de Reserva Legal. Apresenta como parte dos seus princípios a afirmação do compromisso soberano do Brasil com a preservação das suas florestas e demais formas de vegetação nativa. Bem como, a preservação da biodiversidade, do solo, dos recursos hídricos e da integridade do sistema climático, para o bem-estar das gerações presentes e futuras; além da ação governamental de proteção e uso sustentável de florestas. O que consagra o compromisso do País com a compatibilização e harmonização entre o uso produtivo da terra e a preservação da água, do solo e da vegetação.

Na mesma lei, define-se Área de Proteção Permanente (APP) como uma área protegida, coberta, ou não, por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas. Considera-se APP as faixas marginais de cursos d'água que devem ser preservadas e são definidas variando de acordo com a largura dos corpos d'água. A NBR 13896 (ABNT, 1997) já apresenta uma restrição de distância mínima de qualquer coleção ou curso d'água de 200 metros. Complementarmente, a Lei 12.651 (BRASIL, 2012) apresenta uma restrição de 500 (quinhentos) metros de faixa marginal de APP, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros.

Consideram-se, ainda, de preservação permanente, quando declaradas de interesse social por ato do Chefe do Poder Executivo, as áreas cobertas com florestas ou outras formas de vegetação destinadas a uma ou mais das seguintes finalidades: conter a erosão do solo e mitigar riscos de enchentes e deslizamentos de terra e de rocha; proteger as restingas ou veredas; proteger várzeas; abrigar exemplares da fauna ou da flora ameaçados de extinção; proteger sítios de excepcional beleza ou de valor científico, cultural ou histórico; formar faixas de proteção ao longo de rodovias e ferrovias; assegurar condições de bem-estar público; auxiliar a defesa do território nacional, a critério das autoridades militares; proteger áreas úmidas, especialmente as de importância internacional.

A vegetação situada em Área de Preservação Permanente deverá ser mantida pelo proprietário da área, mas, tendo ocorrido supressão de vegetação, é obrigatório promover a recomposição da vegetação, ressalvados os usos autorizados previstos na Lei 12.651 (BRASIL, 2012). A intervenção ou a supressão de vegetação nativa em Área de Preservação Permanente somente ocorrerá nas hipóteses de utilidade pública, de interesse social ou de baixo impacto ambiental previstas na mesma lei. Todo imóvel rural deve manter área com cobertura de vegetação nativa, a título de Reserva Legal, tal que, para territórios fora da Amazônia Legal, essa área corresponda a 20% da área do imóvel. Segundo a legislação, todos os Estados deveriam elaborar e aprovar seus Zoneamentos Ecológico-Econômicos - ZEE segundo a metodologia unificada, estabelecida em norma federal, até 2017. A supressão de vegetação nativa para uso alternativo do solo, tanto de domínio público quanto de domínio privado, dependerá do cadastramento do imóvel no Cadastro Ambiental Rural (CAR), registro público eletrônico de âmbito nacional obrigatório para todos os imóveis rurais. e de prévia autorização do órgão estadual competente do Sisnama. Para o caso de áreas de servidão ambiental, é vedada, durante o prazo de vigência da servidão ambiental, a alteração da destinação da área, nos casos de transmissão do imóvel a qualquer título, de desmembramento ou de retificação dos limites do imóvel.

2.4.2.6 RESOLUÇÃO CONAMA 001 (CONAMA, 1986) – DEFINE AS SITUAÇÕES E ESTABELECE OS REQUISITOS E CONDIÇÕES PARA DESENVOLVIMENTO DE ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL – EIA E RESPECTIVO RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL – RIMA.

Na Resolução CONAMA 001 (CONAMA, 1986) define-se que aterros sanitários são um dos tipos de empreendimento que apresentam a necessidade de elaboração de estudo de impacto ambiental e respectivo relatório de impacto ambiental. O foco da resolução é definir os pontos de maior importância para a elaboração desses estudos. Portanto, esses pontos foram estudados na presente pesquisa, visto que alguns deles influenciam diretamente na escolha do local para a construção de um aterro sanitário.

Devem-se, então, definir os limites da área geográfica a ser direta ou indiretamente afetada pelos impactos, denominada área de influência do projeto, considerando, em todos os casos, a bacia hidrográfica na qual se localiza. É preciso

considerar os planos e programas governamentais, propostos e em implantação na área de influência do projeto, e sua compatibilidade.

Dentre as atividades técnicas mínimas que devem ser desenvolvidas no Estudo de Impacto Ambiental, destacam-se o diagnóstico ambiental da área de influência do projeto, a completa descrição e a análise dos recursos ambientais e suas interações, tal como existem, de modo a caracterizar a situação ambiental da área, antes da implantação do projeto. Para tanto, consideram-se o meio físico, o meio biológico e o meio socioeconômico. Para o meio físico - o subsolo, as águas, o ar e o clima -, destacam-se os recursos minerais, a topografia, os tipos e as aptidões do solo, os corpos d'água, o regime hidrológico, as correntes atmosféricas. No meio biológico e os ecossistemas naturais - a fauna e a flora -, destacam-se as espécies indicadoras da qualidade ambiental, de valor científico e econômico, raras e ameaçadas de extinção e as áreas de preservação permanente. E para o meio socioeconômico - o uso e ocupação do solo, os usos da água e a sócio economia -, destacam-se os sítios e monumentos arqueológicos, históricos e culturais da comunidade, as relações de dependência entre a sociedade local, os recursos ambientais e a potencial utilização futura desses recursos. Os pontos destacados pela resolução foram incorporados aos critérios classificatórios considerados na presente pesquisa.

2.4.2.7 RESOLUÇÃO CONAMA 005 (CONAMA, 1988) – DISPÕE SOBRE O LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE OBRAS DE SANEAMENTO.

A resolução (CONAMA, 1988) define obras de disposição final de resíduos sólidos de origem doméstica, pública e industrial como obras sujeitas a licenciamento ambiental. Tal que, na elaboração do projeto o empreendedor deverá atender aos critérios e parâmetros estabelecidos previamente pelo órgão ambiental competente.

2.4.2.8 RESOLUÇÃO CONAMA 237 (CONAMA, 1997) – DISPÕE SOBRE CONCEITOS, SUJEIÇÃO, E PROCEDIMENTO PARA OBTENÇÃO DE LICENCIAMENTO AMBIENTAL.

A Resolução CONAMA 237 (CONAMA, 1997) reitera que obras de tratamento e destinação de resíduos sólidos urbanos devem passar pelo processo de licenciamento ambiental. Nesse processo, o empreendimento precisa obter: uma Licença Prévia (LP), em que a localização e a concepção do projeto é aprovada, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação; uma Licença de Instalação (LI), autorizando a

instalação do empreendimento de acordo com as especificações constantes nos planos, programas e projetos aprovados; e uma Licença de Operação (LO), em que se autoriza a operação da atividade ou empreendimento após a confirmação do cumprimento do que consta nas licenças anteriores.

Ainda de acordo com a resolução, no procedimento de licenciamento ambiental, deverá constar, obrigatoriamente, a certidão da Prefeitura Municipal, declarando que o local e o tipo de empreendimento ou atividade estão em conformidade com a legislação aplicável ao uso e à ocupação do solo e, quando for o caso, é necessária a autorização para a supressão de vegetação e a outorga para o uso da água, emitidas pelos órgãos competentes. Os estudos necessários ao processo de licenciamento deverão ser realizados por profissionais legalmente habilitados, às expensas do empreendedor.

Percebe-se, portanto, que, para a obtenção das licenças (LP, LI e LO) de um aterro sanitário, é fundamental que a escolha do local de instalação seja estudada por profissionais especializados, que devem verificar o uso e a ocupação do solo, bem como as áreas passíveis de supressão vegetal e a outorga para o uso de água. Todos esses fatores citados foram considerados no processo de escolha de locais do presente trabalho, especificamente os critérios de uso e ocupação do solo, áreas de conservação, distância de corpos hídricos e águas subterrâneas.

2.5 GEOPROCESSAMENTO

O advento da informática possibilitou o desenvolvimento de geotecnologias, permitindo a utilização de computadores para o processamento de grandes volumes de bases de dados, gerando os mais diversos produtos cartográficos. Nesse contexto, o geoprocessamento pode ser definido como uma disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional. (Câmara *et al.*, 2001).

Em linhas gerais, o geoprocessamento pode ser aplicado por profissionais que trabalham com cartografia digital, processamento digital de imagens e sistemas de informação geográfica. Embora essas atividades sejam diferentes, elas estão intimamente inter-relacionadas, usando na maior parte das vezes as mesmas características de *hardware*, ainda que utilizem *softwares* distintos, conforme a Figura 2.6 (Rosa, 2013).

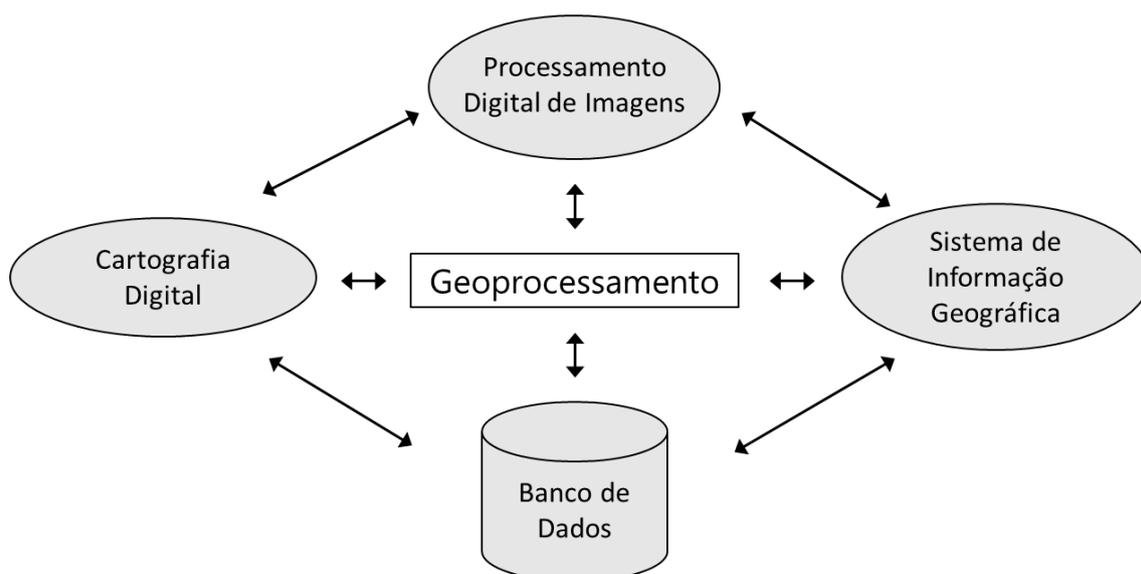


Figura 2.6 Principais atividades envolvidas no Geoprocessamento (Rosa, 2013).

Segundo o descrito em Rosa (2013), a cartografia digital pode ser entendida como a tecnologia destinada à captação, à organização e ao desenho de mapas (MicroStation, MaxiCAD, AutoCAD, etc.), enquanto que o processamento digital de imagens pode ser entendido como o conjunto de procedimentos e técnicas destinadas à manipulação numérica de imagens digitais que tem por finalidade corrigir distorções dessas e melhorar o poder de discriminação dos alvos, como exemplo, pode-se citar os programas ERDAS, PCI, ENVI, por exemplo. Os sistemas de informação geográfica, por sua vez, são destinados à aquisição, ao armazenamento, à manipulação, à análise e à apresentação de dados referenciados espacialmente (ArcGIS, ArcVIEW GIS, MapINFO, SGI, etc.). No presente trabalho foi utilizado o Sistemas de Informação Geográfica.

2.5.1 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

De acordo com Rosa (2013), Sistema de Informações Geográficas pode ser definido como um sistema destinado à aquisição, ao armazenamento, à manipulação, à análise, à simulação, à modelagem e à apresentação de dados referidos espacialmente na superfície terrestre, integrando diversas tecnologias. Portanto, permite que tarefas, que, outrora eram realizadas manualmente, sejam automatizadas, facilitando a realização de análises complexas, a partir da integração de dados de diferentes fontes.

As análises de geoprocessamento são realizadas em ambientes de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), sistemas de informações destinados a trabalhar com dados referenciados a coordenadas espaciais. Esses ambientes virtuais permitem a manipulação de dados geograficamente referenciados e seus respectivos atributos, bem

como, a integração desses dados em diversas operações de análise geográfica (Câmara *et al.*, 2001).

Os SIGs apresentam três aplicações fundamentais na área geográfica, e podem ser usados como: ferramenta para produção de mapas, e geração e visualização de dados espaciais; suporte para análise espacial de fenômenos; e para a combinação de informações espaciais e de banco de dados geográficos, que têm funções de armazenamento e recuperação de informações espaciais (Piroli, 2010).

Os sistemas de informações geográficas são aplicativos de computador, que têm, como característica principal, a capacidade de efetuar análise de informações geográficas e a respectiva representação espacial. O desenvolvimento dos SIGs foi atrelado ao próprio desenvolvimento da tecnologia e da informática, com os primeiros SIGs surgindo na década de 1940, passando por grandes avanços nas décadas de 1970 e 1980. Em 1982, foi lançado o Arc/Info pela ESRI (*Environmental Systems Research Institute*), programa até hoje muito difundido ao redor do mundo. Além desse, outros programas foram lançados e aprimorados, e ainda se mantêm atualizados, como o SPRING e o Google Earth (Piroli, 2010).

Os SIGs possuem ambientes virtuais em que se pode realizar operações sobre dados, utilizando operadores, que são conjuntos de programas ou módulos que atuam sobre a base de dados para atender aos requerimentos dos usuários, no que diz respeito à análise da informação espacial. É possível realizar operações de medidas de distância, de áreas, zonas de influência, operações aritméticas em mapas, funções trigonométricas, operações booleanas, conversões *raster-vetor-raster*, processamento de imagens, transformação de coordenadas, traçado de redes, tratamento de dados altimétricos (declives, vertentes, curvas de nível, MDT), operações com polígonos, linhas e pontos, criação, consulta e gerenciamento de banco de dados, entre diversas outras. Com um SIG é possível elaborar mapas, modelar, fazer buscas e analisar uma grande quantidade de dados, todos mantidos em um único banco de dados. Dessa forma, os SIGs são ideais para análises espaciais, como a escolha de um local para implementação de um aterro sanitário, em que é necessário levar em conta diferentes aspectos (Câmara *et al.*, 2001; Piroli, 2010; Rosa, 2013).

2.5.2 ANÁLISE HIERÁRQUICA DE PROCESSOS PARA A DEFINIÇÃO DE ÁREAS

No universo do geoprocessamento, podem-se empregar análises multicritérios. A análise multicritério é uma ferramenta matemática que permite comparar diferentes alternativas, fundamentadas em vários critérios, com o objetivo de direcionar os tomadores de decisão para uma escolha ponderada, como exemplos de métodos multicritérios pode-se citar a álgebra de mapas, a álgebra booleana e a lógica fuzzy (Roy, 1996). Saaty (1990) desenvolveu um método denominado Análise Hierárquica de Processos (AHP). Tal método é usualmente aplicado para a avaliação, por profissionais especializados, de pesos atribuídos a critérios em um processo de decisão. É um método de comparação par a par que, apesar de complexo, pode gerar resultados mais confiáveis para a escolha de áreas para a construção de aterros sanitários. A AHP é um procedimento para atribuição de pesos, que depois precisa ser combinado à superposição indexada ou à álgebra de mapas para aplicação em ambiente SIG.

Na AHP os fatores são arranjados, depois de selecionados, em uma estrutura descendente de um objetivo global para critérios, subcritérios e alternativas em níveis sucessivos. Para a construção do problema é preciso incluir detalhes suficientemente relevantes: para representar o problema; considerar o ambiente que o compõe; identificar as questões ou atributos que contribuem para a solução; e identificar os participantes associados com o problema. A organização dos objetivos, atributos, questões e partes interessadas numa hierarquia serve dois propósitos: fornece uma visão global das complexas relações inerentes à situação; e ajuda o decisor a avaliar se as questões em cada nível são da mesma ordem de grandeza, por isso ele pode comparar tais elementos com precisão. A hierarquia não precisa estar inteiramente conectada, ou seja, um elemento em um determinado nível não precisa funcionar como um critério ou atributo para todos os elementos em níveis abaixo. Cada nível pode representar um corte diferente do problema (Saaty, 1990).

Ainda segundo Saaty (1990), é preciso, entretanto, hierarquizar as alternativas gradualmente, de modo que se torne significativo compará-las entre si em relação aos elementos do nível superior seguinte. Após os julgamentos sobre o impacto de todos os elementos e prioridades serem computados para a análise como um todo, por vezes, alguns elementos, de menor relevância, podem ser descartados, devido ao seu impacto relativamente pequeno no objetivo global. As prioridades podem então ser recalculadas

ao longo de todo o processo, com ou sem alterar os restantes julgamentos. Os passos principais da AHP são descritos como:

- 1) Estruturação do problema – conhecer os valores do tomador de decisão, definindo uma hierarquia com objetivos, critérios e alternativas.
- 2) Decomposição do problema – organizar os elementos da matriz de modo a formar uma estrutura hierárquica, onde se devem verificar os objetivos e os critérios.
- 3) Estabelecer as prioridades – as prioridades dos critérios são definidas por comparação pareada, em relação ao nível hierárquico superior.
- 4) Síntese – determinação da melhor alternativa a partir da combinação dos resultados.
- 5) Análise de sensibilidade – avaliação da consistência do resultado das alternativas, verificando possíveis fragilidades que podem ser geradas com alterações na prioridade de um critério, constatando assim, o impacto no resultado. Para critérios que apresentem sensibilidade, deve-se realizar uma nova análise do especialista, para confirmar a avaliação.

A escala proposta por Saaty (1990), utilizada para fazer os julgamentos, é dada na Tabela 2.6, ela varia de 1 (um) a 9 (nove), tal que os números representam o grau de importância de um determinado atributo em comparação com outro e, a cada número, associa-se uma escala verbal que visa facilitar o entendimento durante a atribuição dos pesos. Para estabelecer uma comparação com base no grau de importância das variáveis, a partir da escala de pesos (valores), constrói-se uma matriz de comparação definindo as importâncias mútuas. Como exemplo, é possível visualizar na Tabela 2.7 uma matriz quadrada com valores recíprocos, mas, na diagonal, os valores são unitários, pois cada variável comparada a ela mesma é igual à unidade (Soares Rezende *et al.*, 2017).

Tabela 2.6 Matriz de comparação pareada para AHP (Saaty, 1990).

| Valores | Importância Mútua | Explicação |
|---------|---|--|
| 1 | Igual importância | As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo. |
| 3 | Importância pequena de uma sobre outra | A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra. |
| 5 | Importância grande ou essencial | A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra. |
| 7 | Importância muito grande ou demonstrada | Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra, sua dominação de importância é demonstrada na prática. |

| Valores | Importância Mútua | Explicação |
|---------|------------------------|--|
| 9 | Importância absoluta | A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza. |
| 2,4,6,8 | Valores intermediários | Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições. |

Tabela 2.7 Exemplo de matriz de comparação pareada (Soares Rezende *et al.*, 2017).

| Critérios | C1 | C2 | C3 | C4 |
|-----------|-----|-----|----|-----|
| C1 | 1 | 3 | 5 | 7 |
| C2 | 1/3 | 1 | 3 | 1/3 |
| C3 | 1/5 | 1/3 | 1 | 1/5 |
| C4 | 1/7 | 3 | 5 | 1 |

Após a comparação pareada dos critérios, faz-se o cálculo da matriz normalizada, pelo somatório dos elementos de cada coluna e divisão de cada elemento da coluna pela respectiva somatória. Então, são calculados os pesos relativos para cada critério, os quais correspondem às médias das linhas da matriz normalizada (Saaty, 1990; Carvalho, 2017).

Por fim, realizam-se a determinação da importância relativa de cada critério e a validação da consistência destas operações. Se o índice de consistência for igual ou inferior a 0,1, dependendo do número de critérios utilizados, significa que existe coerência na comparação par a par, porém, se for maior, recomenda-se que os julgamentos sejam refeitos até que a consistência aumente (Saaty, 1980; Medeiros, 2022). O Índice de Consistência (*IC*) é definido a partir de:

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \quad (2.1)$$

onde:

λ_{max} = Autovalor;

n = Dimensão da matriz.

Ainda segundo Saaty (1980), conclui-se o AHP com a avaliação da razão de consistência (*RC*), que relaciona o Índice de Consistência em relação ao Índice Randômico, que varia com o tamanho “ n ” da amostra, conforme a razão:

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (2.2)$$

onde:

IC = Índice de Consistência;

$IR = \text{Índice Randômico.}$

Os valores de IR foram determinados em laboratório, para matrizes de ordem 1° a 15° ordem, conforme descrito na Tabela 2.8.

Tabela 2.8 Índice Randômico AHP

| Nº Ordens | 1° | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° | 7° | 8° | 9° | 10° | 11° | 12° | 13° | 14° | 15° |
|-----------|----|----|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| IR | 0 | 0 | 0,58 | 0,9 | 1,12 | 1,24 | 1,32 | 1,41 | 1,45 | 1,49 | 1,51 | 1,48 | 1,56 | 1,57 | 1,59 |

Saaty (1980) menciona que o valor de RC deve ser menor ou igual a 10% para que haja consistência na comparação par a par, porém, se for maior, precisa-se realizar uma nova comparação pareada dos critérios.

O AHP tem sido adotado em diversos trabalhos no Brasil e em outros países, em que foram realizadas análises espaciais semelhantes à da presente pesquisa, e será empregado também nesse estudo. Essa análise pode ser aplicada em um SIG de forma combinada à lógica Booleana, em que os critérios devem ser adaptados à lógica binária (0 ou 1), sendo mais usual para situações restritivas ou eliminatórias, como critérios legais de restrição de uso de determinadas áreas. (Gonçalves, 2007; Aquino, 2018).

3 MATERIAIS

A fim de se escolher uma área para a implementação de um aterro sanitário na RIDE-DF, realizou-se uma revisão bibliográfica, buscando identificar trabalhos conduzidos na mesma linha de pesquisa, que buscavam os melhores locais para a construção de aterro, a partir de ferramentas de geoprocessamento combinadas a análises multicritério. Esses trabalhos foram utilizados como base para o processo de escolha de área.

Além disso, construiu-se um banco de dados com informações georreferenciadas da área de estudo. Esses dados foram obtidos dos portais estaduais e nacionais de metadados, como o GeoPortal, plataforma da Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Habitação (SEDUH), que reúne as mais variadas informações como diretrizes urbanísticas, curvas de nível, unidades de conservação, uso e ocupação do solo, ordenamento territorial, hidrografia, sistema viário, entre outros dados cartográficos do DF. Há, também, o Sieg Mapas e a Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-Sisema), que, semelhante ao Geoportal, reúnem os dados geoespaciais dos estados de Goiás e Minas Gerais, respectivamente. Ademais, foram empregados dados disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, pela Agência Nacional de Águas – ANA, Serviço Geológico do Brasil – CPRM, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Sistema Distrital de Informações Ambientais (Sisdia) da Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Distrito Federal (SEMA), MapBiomas e Mapa Aberto de Ruas (*OpenStreetMaps*).

Para o desenvolvimento do trabalho, foram empregados os programas computacionais: ArcGIS 10.8.1 da *Environmental Systems Research Institute* (ESRI), disponibilizado pela Universidade de Brasília para os estudantes; Python versão 3.9.4, associado ao ArcGIS, como linguagem de programação; Google Earth Pro versão 7.3, disponibilizado pela empresa Google; e o Excel 365, que faz parte do pacote Microsoft 365, da empresa Microsoft.

4 MÉTODOS

As principais fases da metodologia desse trabalho estão esquematizadas na Figura 4.1. Ela foi elaborada com base nos trabalhos de Souza (1997), Samizava *et al.* (2008) Nascimento (2012), Barakat *et al.* (2017), Carvalho (2017), Yousefi *et al.* (2018), Carvalho *et al.* (2019) Pinheiro (2019), Majid & Mir (2021). Em seguida, discorre-se a respeito de cada uma das fases.

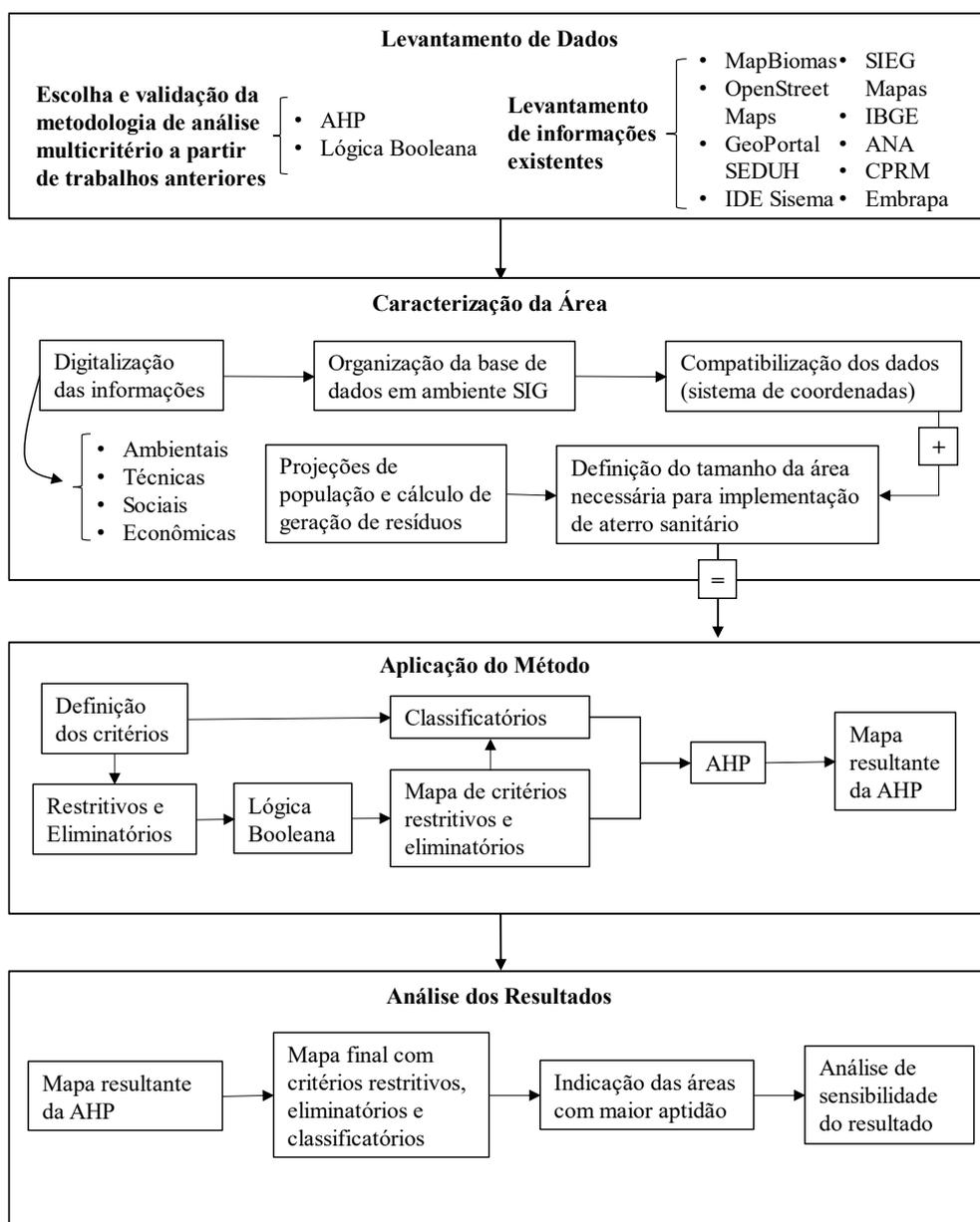


Figura 4.1 - Esquema metodológico: escolha de local para implementação de aterro sanitário.

4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

A fase de levantamento de dados foi constituída de duas etapas. Na primeira, foram pesquisados trabalhos desenvolvidos com o mesmo objetivo da presente pesquisa

no Brasil e no mundo, para que fosse possível validar a escolha da metodologia de análise multicritério, AHP e lógica Booleana. Além disso, foram avaliadas as opções de aplicação dessas análises multicritério no ambiente SIG. Para a organização desses trabalhos, utilizou-se o Excel. Na segunda etapa, realizou-se a busca e o levantamento das informações disponíveis para a área de estudos, utilizando-se dos portais já mencionados, como o do IBGE, o Geoportal da SEDUH, o Sieg Mapas e o IDE-Sisema, que disponibilizam os dados geográficos do DF, de Goiás e de Minas Gerais, e os portais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, da Agência Nacional de Águas – ANA, do Serviço Geológico do Brasil – CPRM, Embrapa, MapBiomias e *OpenStreetMaps*.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

Com a aquisição das informações a respeito da RIDE/DF, conforme descrito no item 4.1, foi realizada a organização em um ambiente SIG, incluindo as premissas retiradas das legislações, que foram traduzidas e inseridas no programa utilizado, ArcGIS. Foi preciso levar em consideração também, o sistema de coordenadas de cada informação dado que, para serem comparadas, precisaram ser convertidas para um mesmo sistema. Nesse caso, utilizou-se o sistema de coordenadas planas UTM com Datum do Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas - SIRGAS 2000 -, referencial geodésico adotado pelo Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), de acordo com o IBGE (2005). Os dados coletados foram separados em categorias: ambiental, social e econômica. Realizou-se, também, um cálculo de projeção populacional e de geração de resíduos ao longo dos anos no DF, para que se tivesse uma estimativa da área necessária para um futuro aterro sanitário. As informações coletadas e as projeções realizadas foram utilizadas como dados de entrada na aplicação do método.

4.3 APLICAÇÃO DO MÉTODO

Segundo as normas seguidas na escolha de áreas para aterros sanitários, existem os critérios classificatórios, alguns restritivos e outros eliminatórios. Isto significa que, em algumas situações, o local deve ser descartado na escolha. Esses casos foram tratados no presente estudo a partir da lógica Booleana, que considera apenas dois valores válidos, que aqui foram “passível de uso” e “protegido por lei”. Como exemplos em que esse critério foi empregado, têm-se, distâncias mínimas: 200 m de cursos hídricos; 1,5 m do nível freático; 500 m de núcleos populacionais NBR 13896 (ABNT, 1997). Além dessas áreas restritas, há também, critérios ponderáveis, que foram

analisados com o uso da AHP. Essa classificação foi realizada para os casos em que os critérios puderam ser comparados par a par, sem a necessidade de uma restrição total. Como exemplos desses critérios, pode-se destacar: pedologia; hidrografia; uso e cobertura do solo; distância dos centros geradores de resíduos; acesso a rodovias; e declividade, desde que entre 1% e 30% NBR 13896 (ABNT, 1997). A definição do peso de cada critério foi fundamentada nas escolhas de trabalhos anteriores.

4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

As informações foram primeiramente filtradas visando atender aos critérios restritivos, que foram incorporados aos critérios ponderáveis, com a pontuação zero. Os critérios ponderáveis foram aplicados aos dados, gerando-se um mapa final de áreas de maior ou menor aptidão. Comparou-se essas áreas, a fim de se encontrarem os locais mais propícios à instalação do aterro sanitário. Além disso, fez-se uma análise da área pretendida para a expansão do ASB. Foi aplicada ao mapa também a busca por áreas equivalentes ao tamanho necessário para o atendimento da população do DF. Com mais de uma área definida como adequada, fez-se uma comparação das áreas, analisando-se os critérios ponderáveis, de modo que pudessem ser encontradas vantagens e desvantagens de se escolher um local em detrimento do outro.

5 RESULTADOS E ANÁLISES

Nos subitens que se seguem, discorreu-se a respeito das análises realizadas e dos resultados alcançados no presente trabalho. Apresentaram-se: as conclusões da pesquisa de trabalhos anteriores do mesmo tema; a organização das fontes de dados; os critérios restritivos definidos; o cálculo de projeção populacional; o processo de escolha dos critérios classificatórios, bem como, dos pesos de cada um deles; os mapas construídos para cada critério; e os resultados.

5.1 AHP E LÓGICA BOOLEANA EM TRABALHOS ANTERIORES

Para a validação da escolha de metodologia utilizada, foram realizadas buscas no Google Acadêmico e no portal *ScienceDirect* dos termos chaves: “aterro sanitário áreas potenciais”; “*landfills potential areas*”; “escolhas de áreas para aterro”; “*landfill site selection*”; “análise multicritério para escolha de áreas para aterro”; “*multicriteria analysis for landfill site selection*”.

Foram encontrados quarenta e seis trabalhos, dos quais vinte e dois fizeram uso da Análise Hierárquica de Processos e oito da Lógica Booleana. Os trabalhos encontrados foram desenvolvidos em diferentes áreas de conhecimento, sendo alguns com foco na geotecnia, outros na geografia, no gerenciamento de resíduos sólidos ou no meio ambiente. Todavia, todos buscavam solucionar os problemas relacionados à escolha de áreas para aterros sanitários e complementaram, portanto, a presente pesquisa.

Os trabalhos encontrados que empregaram a metodologia AHP e Lógica Booleana foram: Barakat *et al.* (2017), Felicori *et al.* (2016), Pinheiro (2019) e Samizava *et al.* (2008). Aquino (2018), Dias & Andrade (2020), Fernandes *et al.* (2017) e Pinheiro (2019) empregaram somente a Lógica Booleana Lógica Booleana e outro tipo de análise. Os que empregaram somente a AHP ou a AHP associada a outra metodologia não escolhida foram: Adewumi *et al.* (2019), Ajibade *et al.* (2019), Andrade & Barbosa (2015), Ayaim *et al.* (2019), Braga & Pereira (2014), Carvalho (2017), Carvalho *et al.* (2019), Chabuk *et al.* (2017), Güler & Yomralıoğlu (2017), Islam *et al.* (2020), Karimi *et al.* (2019), Majid & Mir (2021), Nascimento (2012), Osra & Kajjumba (2020), Randazzo *et al.* (2018), Rezaeisabzevar *et al.* (2020), Spigolon *et al.* (2015), Yousefi *et al.* (2018).

5.2 DADOS GEOESPACIAIS

Compilaram-se os dados dos portais mencionados no item 4.1, que serviram de insumo para as operações no ambiente SIG. As coordenadas foram compatibilizadas e

as informações retiradas de cada portal foram organizadas na Tabela 5.1. Alguns dados foram disponibilizados nos sistemas de coordenadas *South American Datum* (SAD69) ou *World Geodetic System* (WGS) 1984 e, conforme explicitado no item 4.2, foram feitas as conversões necessárias para o sistema de coordenadas de referência desse trabalho, com coordenadas projetadas, Datum SIRGAS 2000 UTM Zona 23S.

Buscaram-se informações em âmbito estadual e nacional, porque, na RIDE/DF, há municípios de dois estados e do Distrito Federal. Os governos de Minas Gerais, de Goiás e do Distrito Federal disponibilizam acesso à informação por meio de portais de metadados georreferenciados, respectivamente, IDE Sisema, SIEG GO e GeoPortal SEDUH. No contexto nacional, foram baixadas informações disponibilizadas pelo governo por intermédio dos portais da Agência Nacional de Águas (ANA), da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e do IBGE, além de informações fornecidas pelos projetos MapBiomas e *OpenStreetMaps*. O primeiro deles é uma rede colaborativa, formada por ONGs, universidades e startups de tecnologia. E o segundo é um projeto de mapeamento colaborativo para criar um mapa livre e editável do mundo.

Tabela 5.1 Fontes de dados geoespaciais utilizados.

| Fonte | Dados | Local da RIDE | Referência |
|-----------------|---|----------------------|------------------------------------|
| IDE Sisema | Solo | MG | (SISEMA, 2021) |
| | Área de Conservação Geologia (falhas) Vilas e Vilarejos | | |
| SIEG GO | Solo | GO | (Governo do Estado de Goiás, 2022) |
| | Área de Conservação Geologia (falhas) Vilas e Vilarejos | | |
| SEMA | Solo | DF | (SEMA, 2020) |
| GeoPortal SEDUH | Área de Conservação | DF | (IDE/DF, 2022) |
| CPRM | Geologia (falhas) | DF | (CPRM, 2022) |
| ANA | Recursos hídricos | Todos | (ANA, 2022) |
| | Águas Subterrâneas | | |
| | Distância de Aeroportos | | |
| | Áreas de Conservação Inundação | | |
| Embrapa | Declividade | Todos | (Miranda, 2005) |

| Fonte | Dados | Local da RIDE | Referência |
|-----------------------|--|---------------|--|
| IBGE | Distância de Núcleos Urbanos/ Centro de Geração de RSU | Todos | (IBGE, 2021b) |
| | Vilas e Vilarejos | DF | |
| MapBiomias | Uso e Cobertura do Solo | Todos | (Projeto MapBiomias, 2022) |
| <i>OpenStreetMaps</i> | Rodovias | Todos | (OpenStreetMap & Geofabrik GmbH, 2018) |

5.3 CRITÉRIOS RESTRITIVOS – LÓGICA BOOLEANA

A partir das normas e leis aplicáveis ao processo de escolha de locais para aterros sanitários, foram definidos os critérios restritivos do presente trabalho. Em resumo, apresenta-se na Tabela 5.2 os pontos levantados em cada diretriz.

Tabela 5.2 Resumo dos principais pontos das legislações e normas cabíveis.

| | |
|---|---|
| NBR 8419 (ABNT, 1996) | Zoneamentos |
| | Acessos |
| | Economia de transporte |
| | Investigação geológica e geotécnica - considerando a poluição das águas |
| | Recarga de aquíferos |
| | Risco de erosão |
| | Precipitação e evapotranspiração |
| NBR 13896 (ABNT, 1997) | Uso dos corpos d'água |
| | Zoneamento |
| | Declividade superior a 1% e inferior a 30% |
| | Acima de 30% de declividade a critério do OCA |
| | Coefficiente de permeabilidade do solo inferior a 10^{-6} |
| | Zona não saturada com espessura mínima de 3m |
| | Distância mínima de 200 m de qualquer coleção hídrica |
| | Vida útil mínima de 10 anos |
| | Distância mínima de núcleos populacionais de 500 m |
| | Risco de inundação deve ser superior a Tr de 100 anos |
| Distância mínima do Lençol freático de 1,5m | |
| PNMA (BRASIL, 1981) | Uso e cobertura do solo |
| | Zoneamento Ambiental |
| | Áreas de Proteção Ambiental |
| SNUC (BRASIL, 2000) | Áreas de relevante interesse ecológico |
| | Reservas extrativistas |
| SNUC (BRASIL, 2000) | Unidades de proteção integral |
| | Floresta Nacional |

| | |
|---|---|
| | Reserva Extrativista |
| | Reserva de Fauna |
| | Reserva de Desenvolvimento Sustentável |
| | Reserva Particular do Patrimônio Natural |
| Vegetação Nativa (BRASIL, 2012) | Áreas de Preservação Permanente |
| | Reserva Legal |
| | 500 (quinhentos) metros de faixa marginal de APP, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros |
| | ZEE |
| CONAMA 237 (CONAMA, 1997) | Uso e ocupação do solo |
| | Áreas passíveis de supressão vegetal |
| | Outorga para uso de água |
| CONAMA 001 (CONAMA, 1986) | Bacia hidrográfica |
| | Uso futuro da área |
| | Subsolo |
| | Águas |
| | Ar |
| | Clima |
| | Recursos Minerais |
| | Topografia |
| | Tipos de solo |
| | Corpos d'água |
| | Regime hídrico |
| | Correntes atmosféricas |
| | Meio biológico |
| | Ecosistemas naturais |
| | Uso e ocupação do solo |
| | Uso da água |
| | Meio Socioeconômico |
| Sítios arqueológicos | |
| Sítios históricos | |

Os pontos principais das legislações foram transformados em critérios restritivos, que podem ser verificados, na Tabela 5.3. A declividade e a distância de núcleos populacionais foram aplicadas ao processamento de dados geográficos, com pontuação zero para as faixas restritivas. A distância mínima de coleções hídricas foi inserida com base em uma correlação com as áreas dos corpos hídricos, aqueles com áreas superiores a 50.000 m² tiveram uma restrição maior em seu perímetro (500 m), os com área inferior a 50.000 m² foram limitados no entorno em 200 m. Os limites de coeficiente de permeabilidade, zona não saturada e distância mínima do lençol freático são incorporados ao critério de tipo de solo, com pontuações melhores para os tipos de solo

de menor permeabilidade, mais argilosos. Ainda assim, antes da escolha efetiva de um local, é importante que seja conduzida uma análise dos parâmetros do solo, para confirmar que esses critérios sejam respeitados. A vida útil mínima do aterro é traduzida no tamanho da área disponível para implantação - os cálculos de valor limitante de área podem ser conferidos no item 5.4. O Zoneamento foi considerado especialmente com a pontuação zero de áreas que não podem ser utilizadas no cruzamento de mapas. Quanto ao risco de inundação, foram utilizadas informações provenientes da ANA, e as regiões que apresentam risco de inundação foram extrapoladas em 200 m e descartadas de possíveis locais para o aterro sanitário.

Tabela 5.3 Critérios restritivos.

| Critérios | Pontuação Zero |
|--|---|
| Declividade | < 1% e > 30% |
| Coefficiente de permeabilidade do solo | < 10^{-6} cm/s |
| Zona não saturada | < 3 m |
| Distância mínima de coleções hídricas | < 200 m para corpos d'água com largura inferior a 600 m (incorporado a corpos hídricos com menos de 50.000 m ² de área no presente trabalho) |
| | < 500 m para corpos d'água com largura superior a 600 m (incorporado a corpos hídricos com mais de 50.000 m ² de área no presente trabalho) |
| Vida útil | < 10 anos |
| Distância de núcleos populacionais | < 500 m |
| Risco de inundação | Tr < 100 anos |
| Distância do lençol freático | < 1,5 m |
| Zoneamento | Unidades de proteção integral |
| | Floresta Nacional |
| | Reserva Extrativista |
| | Reserva de Fauna |
| | Reserva de Desenvolvimento Sustentável |
| | Reserva Particular do Patrimônio Natural |
| | Áreas de Preservação Permanente |

5.4 PROJEÇÃO DA POPULAÇÃO E ÁREA DO ATERRO SANITÁRIO

A projeção da população a ser atendida pelo aterro sanitário foi realizada a partir dos dados de projeção populacional do (IBGE, 2021a), como já mencionado. Além disso, foi utilizado como base o quantitativo total de resíduos aterrados no Aterro Sanitário de Brasília, para o ano de 2020, fornecido pelo SLU-DF (2022), que leva a uma geração per capita de 0,74 kg/hab.dia. Nos últimos anos, de 2017 a 2022, a geração

do ano de 2020 foi a maior, e, para evitar o subdimensionamento, utilizou-se esse valor como referência. A geração dos anos de 2021 e 2022 foi bastante afetada pelas alterações de regimes de trabalho devido ao COVID e às mudanças de hábitos de consumo decorrentes disso. Portanto, a queda no quantitativo dos resíduos gerados não foi considerada definitiva. Para o cálculo da área do aterro, foi consultada a massa específica dos resíduos sólidos (ρ) compactados adotada pelos trabalhos de Nascimento (2012), Carvalho (2017) e Pinheiro (2019), definindo-se como 0,7 t/m³ o valor mais utilizado.

Conforme compilado no item 5.3, a NBR 13896 (ABNT, 1997) define a vida útil mínima como 10 anos, na presente pesquisa, optou-se por 20 anos. Com a projeção de geração de resíduos ao longo desses 20 anos (PRS) e a massa específica, obtém-se o volume total de resíduos a ser aterrado (V_t). Ainda segundo os trabalhos mencionados, é preciso extrapolar o volume em cerca de 30% para considerar o volume de solo para recobrimento do aterro. Para o cálculo da área, o volume total (resíduos gerados e volume de solo) deve ser dividido pela altura (h) do maciço, igual a 6 metros, quando empregado o método da trincheira, ideal para áreas mais planas, como é o caso da RIDE/DF. Ademais, acrescenta-se 10% a mais de área, para infraestruturas do aterro. Os cálculos descritos foram resumidos nas equações que se seguem. Na Tabela 5.4 é possível verificar os resultados obtidos. Segundo os cálculos realizados, a área necessária para o aterro sanitário é de 313 ha.

$$V_t = (P_{RS} \times \rho) \times 1,3 \quad (5.1)$$

onde:

P_{RS} = Projeção de geração de resíduos em 20 anos no DF;

ρ = Massa específica dos resíduos sólidos compactados.

$$A_t = \frac{V_t}{h} \times 1,1 \quad (5.2)$$

onde:

V_t = Volume total de resíduos a ser aterrado;

h = Altura do maciço.

Tabela 5.4 Cálculo da área necessária para o aterro sanitário.

| Ano | Projeção da População (Pp) (hab) | Previsão de Resíduos Aterrados por Ano (t) $Pp \times 0,74 \times 365 \text{ dias} / 1000$ | Geração per capita (kg/hab.dia): 0,74 |
|-----------------------------|----------------------------------|--|---|
| 2023 | 3.167.502 | 852.011 | |
| 2024 (início das operações) | 3.204.070 | 861.848 | |
| 2025 | 3.239.675 | 871.425 | |
| 2026 | 3.274.291 | 880.736 | |
| 2027 | 3.307.883 | 889.772 | |
| 2028 | 3.340.408 | 898.521 | Volume Total (m³): 17.048.076,15 |
| 2029 | 3.371.845 | 906.977 | |
| 2030 | 3.402.180 | 915.136 | |
| 2031 | 3.431.469 | 923.015 | Área Total (m²): 3.125.481 |
| 2032 | 3.459.755 | 930.623 | |
| 2033 | 3.487.020 | 937.957 | |
| 2034 | 3.513.254 | 945.014 | |
| 2035 | 3.538.436 | 951.787 | |
| 2036 | 3.562.521 | 958.266 | |
| 2037 | 3.585.467 | 964.438 | |
| 2038 | 3.607.260 | 970.300 | |
| 2039 | 3.627.893 | 975.850 | |
| 2040 | 3.647.352 | 981.084 | |
| 2041 | 3.665.603 | 985.993 | |
| 2042 | 3.682.634 | 990.574 | |
| 2043 | 3.698.469 | 994.834 | |
| Total (2024 - 2043) | 69.647.485 | 18.734.150 | |

5.5 CRITÉRIOS CLASSIFICATÓRIOS – AHP

5.5.1 ESCOLHA DOS CRITÉRIOS CLASSIFICATÓRIOS

Para a definição de quais critérios classificatórios seriam empregados, foi realizada uma busca de trabalhos que aplicaram a AHP na escolha de áreas para aterros sanitários. Foram analisados vinte e cinco trabalhos, a partir dos quais decidiu-se por onze critérios, que foram os mais frequentes. Na Tabela 5.5, apresentam-se os resultados da busca, os critérios escolhidos foram os onze primeiros apresentados.

Tabela 5.5 Critérios Classificatórios Encontrados em Trabalhos Diversos.

| Classificação Geral | Critérios | Somatório Ocorrência | Percentual | Trabalhos em que o critério foi utilizado |
|---------------------|----------------------|----------------------|------------|---|
| Ambiental | Recursos hídricos | 25 | 100% | Adewumi <i>et al.</i> , 2019; Ajibade <i>et al.</i> , 2019; Andrade e Barbosa, 2015; Ayaim <i>et al.</i> , 2019; Barakat <i>et al.</i> , 2017; Braga & Pereira, 2014; Carvalho, 2017; Carvalho <i>et al.</i> , 2019; Chabuk <i>et al.</i> , 2017; Felicori <i>et al.</i> , 2016; Güler & Yomralıoğlu, 2017b; Islam <i>et al.</i> , 2020; Karimi <i>et al.</i> , 2018; Majid <i>et al.</i> , 2021; Nascimento, 2012; Osra & Kajjumba, 2019; Pinheiro, 2019; Randazzo <i>et al.</i> , 2018; Rezaeisabzevar <i>et al.</i> , 2020; Samizava <i>et al.</i> , 2008; Spigolon <i>et al.</i> , 2015; Yousefi <i>et al.</i> , 2018; Medeiros, 2022; Iglesias, 2021; Oliveira <i>et al.</i> , 2021. |
| Ambiental | Declividade | 24 | 96% | Ajibade <i>et al.</i> , 2019; Andrade e Barbosa, 2015; Ayaim <i>et al.</i> , 2019; Barakat <i>et al.</i> , 2017; Braga e Pereira, 2014; Carvalho, 2017; Carvalho <i>et al.</i> , 2019; Chabuk <i>et al.</i> , 2017; Felicori <i>et al.</i> , 2016; Guler & Yomralıoglu, 2017; Islam <i>et al.</i> , 2020; Karimi <i>et al.</i> , 2018; Majid <i>et al.</i> , 2021; Nascimento, 2012; Osra & Kajjumba, 2019; Pinheiro, 2019; Randazzo <i>et al.</i> , 2018; Rezaeisabzevar <i>et al.</i> , 2020; Samizava <i>et al.</i> , 2008; Spigolon <i>et al.</i> , 2015; Yousefi <i>et al.</i> , 2018; Medeiros, 2022; Iglesias, 2021; Oliveira <i>et al.</i> , 2021. |
| Ambiental | Solo | 17 | 68% | Ajibade <i>et al.</i> , 2019; Andrade e Barbosa, 2015; Barakat <i>et al.</i> , 2017; Carvalho, 2017; Carvalho <i>et al.</i> , 2019; Chabuk <i>et al.</i> , 2017; Islam <i>et al.</i> , 2020; Nascimento, 2012; Osra & Kajjumba, 2019; Pinheiro, 2019; Randazzo <i>et al.</i> , 2018; Rezaeisabzevar <i>et al.</i> , 2020; Samizava <i>et al.</i> , 2008; Spigolon <i>et al.</i> , 2015; Medeiros, 2022; Iglesias, 2021; Oliveira <i>et al.</i> , 2021. |
| Ambiental | Águas subterrâneas | 15 | 60% | Ajibade <i>et al.</i> , 2019; Barakat <i>et al.</i> , 2017; Carvalho, 2017; Carvalho <i>et al.</i> , 2019; Chabuk <i>et al.</i> , 2017; Islam <i>et al.</i> , 2020; Karimi <i>et al.</i> , 2018; Nascimento, 2012; Osra & Kajjumba, 2019; Pinheiro, 2019; Rezaeisabzevar <i>et al.</i> , 2020; Samizava <i>et al.</i> , 2008; Spigolon <i>et al.</i> , 2015; Yousefi <i>et al.</i> , 2018; Medeiros, 2022. |
| Ambiental | Áreas de Conservação | 13 | 52% | Barakat <i>et al.</i> , 2017; Carvalho, 2017; Carvalho <i>et al.</i> , 2019; Felicori <i>et al.</i> , 2016; Guler & Yomralıoglu, 2017; Islam <i>et al.</i> , 2020; Nascimento, 2012; Osra & Kajjumba, 2019; Pinheiro, 2019; Rezaeisabzevar <i>et al.</i> , 2020; Samizava <i>et al.</i> , 2008; Spigolon <i>et al.</i> , 2015; Iglesias, 2021. |

| Classificação Geral | Crítérios | Somatório Ocorrência | Percentual | Trabalhos em que o critério foi utilizado |
|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|--|
| Ambiental | Geologia | 11 | 44% | Ajibade <i>et al.</i> , 2019; Ayaim <i>et al.</i> , 2019; Barakat <i>et al.</i> , 2017; Carvalho, 2017; Guler & Yomralioglu, 2017; Karimi <i>et al.</i> , 2018; Nascimento, 2012; Osra & Kajjumba, 2019; Pinheiro, 2019; Rezaeisabzevar <i>et al.</i> , 2020; Samizava <i>et al.</i> , 2008. |
| Econômico | Rodovias | 25 | 100% | Adewumi <i>et al.</i> , 2019; Ajibade <i>et al.</i> , 2019; Andrade e Barbosa, 2015; Ayaim <i>et al.</i> , 2019; Barakat <i>et al.</i> , 2017; Braga e Pereira, 2014; Carvalho, 2017; Carvalho <i>et al.</i> , 2019; Chabuk <i>et al.</i> , 2017; Felicori <i>et al.</i> , 2016; Guler & Yomralioglu, 2017; Islam <i>et al.</i> , 2020; Karimi <i>et al.</i> , 2018; Majid <i>et al.</i> , 2021; Nascimento, 2012; Osra & Kajjumba, 2019; Pinheiro, 2019; Randazzo <i>et al.</i> , 2018; Rezaeisabzevar <i>et al.</i> , 2020; Samizava <i>et al.</i> , 2008; Spigolon <i>et al.</i> , 2015; Yousefi <i>et al.</i> , 2018; Medeiros, 2022; Iglesias, 2021; Oliveira <i>et al.</i> , 2021. |
| Econômico | Distância de Aeroportos | 11 | 44% | Andrade e Barbosa, 2015; Carvalho, 2017; Felicori <i>et al.</i> , 2016; Guler & Yomralioglu, 2017; Islam <i>et al.</i> , 2020; Majid <i>et al.</i> , 2021; Nascimento, 2012; Osra & Kajjumba, 2019; Pinheiro, 2019; Rezaeisabzevar <i>et al.</i> , 2020; Spigolon <i>et al.</i> , 2015. |
| Social | Distância de Núcleos Urbanos | 24 | 96% | Adewumi <i>et al.</i> , 2019; Ajibade <i>et al.</i> , 2019; Andrade e Barbosa, 2015; Ayaim <i>et al.</i> , 2019; Barakat <i>et al.</i> , 2017; Braga e Pereira, 2014; Carvalho, 2017; Carvalho <i>et al.</i> , 2019; Chabuk <i>et al.</i> , 2017; Felicori <i>et al.</i> , 2016; Guler & Yomralioglu, 2017; Islam <i>et al.</i> , 2020; Karimi <i>et al.</i> , 2018; Majid <i>et al.</i> , 2021; Nascimento, 2012; Osra & Kajjumba, 2019; Pinheiro, 2019; Rezaeisabzevar <i>et al.</i> , 2020; Samizava <i>et al.</i> , 2008; Spigolon <i>et al.</i> , 2015; Yousefi <i>et al.</i> , 2018; Medeiros, 2022; Iglesias, 2021; Oliveira <i>et al.</i> , 2021. |
| Social | Uso e Cobertura do Solo | 17 | 68% | Andrade e Barbosa, 2015; Barakat <i>et al.</i> , 2017; Carvalho, 2017; Carvalho <i>et al.</i> , 2019; Chabuk <i>et al.</i> , 2017; Guler & Yomralioglu, 2017; Islam <i>et al.</i> , 2020; Karimi <i>et al.</i> , 2018; Majid <i>et al.</i> , 2021; Nascimento, 2012; Pinheiro, 2019; Randazzo <i>et al.</i> , 2018; Rezaeisabzevar <i>et al.</i> , 2020; Spigolon <i>et al.</i> , 2015; Yousefi <i>et al.</i> , 2018; Medeiros, 2022; Oliveira <i>et al.</i> , 2021. |
| Social | Vilas e Vilarejos | 10 | 40% | Ayaim <i>et al.</i> , 2019; Carvalho, 2017; Carvalho <i>et al.</i> , 2019; Chabuk <i>et al.</i> , 2017; Guler & Yomralioglu, 2017; Islam <i>et al.</i> , 2020; Karimi <i>et al.</i> , 2018; Majid <i>et al.</i> , 2021; Rezaeisabzevar <i>et al.</i> , 2020; Spigolon <i>et al.</i> , 2015. |

| Classificação Geral | Critérios | Somatório Ocorrência | Percentual | Trabalhos em que o critério foi utilizado |
|---------------------|---|----------------------|------------|--|
| Ambiental | Elevação | 7 | 28% | Barakat <i>et al.</i> , 2017; Chabuk <i>et al.</i> , 2017; Islam <i>et al.</i> , 2020; Majid <i>et al.</i> , 2021; Nascimento, 2012; Rezaeisabzevar <i>et al.</i> , 2020; Oliveira <i>et al.</i> , 2021. |
| Ambiental | Falhas/ Sismos | 7 | 28% | Ayaim <i>et al.</i> , 2019; Barakat <i>et al.</i> , 2017; Carvalho, 2017; Randazzo <i>et al.</i> , 2018; Rezaeisabzevar <i>et al.</i> , 2020; Yousefi <i>et al.</i> , 2018; Medeiros, 2022. |
| Ambiental | Chuva/ Clima | 4 | 16% | Osra & Kajjumba, 2019; Randazzo <i>et al.</i> , 2018; Spigolon <i>et al.</i> , 2015; Medeiros, 2022. |
| Ambiental | Subsidência do solo e Erosão | 4 | 16% | Osra & Kajjumba, 2019; Randazzo <i>et al.</i> , 2018; Rezaeisabzevar <i>et al.</i> , 2020; Spigolon <i>et al.</i> , 2015. |
| Ambiental | Dutos e Gasodutos | 3 | 12% | Carvalho <i>et al.</i> , 2019; Chabuk <i>et al.</i> , 2017; Rezaeisabzevar <i>et al.</i> , 2020. |
| Ambiental | Enchentes | 3 | 12% | Osra & Kajjumba, 2019; Rezaeisabzevar <i>et al.</i> , 2020; Yousefi <i>et al.</i> , 2018. |
| Econômico | Ferrovias | 6 | 24% | Ayaim <i>et al.</i> , 2019; Chabuk <i>et al.</i> , 2017; Islam <i>et al.</i> , 2020; Majid <i>et al.</i> , 2021; Nascimento, 2012; Rezaeisabzevar <i>et al.</i> , 2020. |
| Econômico | Linha elétrica e Infraestrutura existente | 4 | 16% | Adewumi <i>et al.</i> , 2019; Chabuk <i>et al.</i> , 2017; Spigolon <i>et al.</i> , 2015; Yousefi <i>et al.</i> , 2018. |
| Econômico | Centros de Coleta e Transbordo de RSU | 4 | 16% | Carvalho <i>et al.</i> , 2019; Guler & Yomralioglu, 2017; Islam <i>et al.</i> , 2020; Medeiros, 2022. |
| Econômico | Valores de Terreno | 3 | 12% | Guler & Yomralioglu, 2017; Islam <i>et al.</i> , 2020; Iglesias, 2021. |
| Econômico | Tamanho do Terreno | 2 | 8% | Majid <i>et al.</i> , 2021; Nascimento, 2012. |
| Econômico | Proximidade com áreas de Empréstimo | 1 | 4% | Rezaeisabzevar <i>et al.</i> , 2020. |
| Social | Ventos Predominantes | 7 | 28% | Andrade e Barbosa, 2015; Barakat <i>et al.</i> , 2017; Islam <i>et al.</i> , 2020; Karimi <i>et al.</i> , 2018; Nascimento, 2012; Osra & Kajjumba, 2019; Rezaeisabzevar <i>et al.</i> , 2020. |
| Social | Sítios Arqueológicos | 3 | 12% | Chabuk <i>et al.</i> , 2017; Osra & Kajjumba, 2019; Rezaeisabzevar <i>et al.</i> , 2020. |

5.5.2 DEFINIÇÃO AHP

Para a definição de uma matriz AHP, é preciso considerar a opinião de especialistas da área. No presente estudo, recorreu-se à pesquisa bibliográfica a fim de

amparar o processo de decisão. Para balizar a escolha, a fim de se construir uma matriz de decisão que fosse representativa entre especialistas, utilizaram-se como referência os cinco trabalhos que adotaram o maior número de critérios escolhidos, a saber: Nascimento (2012); Spigolon *et al.* (2015); Carvalho (2017); Pinheiro (2019); Islam *et al.* (2020). A partir das escolhas desses autores e de conhecimentos prévios, construiu-se uma classificação matricial, voltada para a realidade do presente trabalho, e o resultado pode ser observado na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 Matriz AHP.

| Classificação Geral | Critérios | Matriz AHP | | | | | | | | | | |
|---------------------|------------------------------|-------------------|-------------|------|--------------------|----------------------|----------|----------|-------------------------|------------------------------|-------------------------|-------------------|
| | | Recursos hídricos | Declividade | Solo | Águas subterrâneas | Áreas de Conservação | Geologia | Rodovias | Distância de Aeroportos | Distância de Núcleos Urbanos | Uso e Cobertura do Solo | Vilas e Vilarejos |
| Ambiental | Recursos hídricos | 1,00 | 4,00 | 3,00 | 0,50 | 2,00 | 6,00 | 3,00 | 4,00 | 5,00 | 2,00 | 3,00 |
| | Declividade | 0,25 | 1,00 | 2,00 | 0,20 | 0,20 | 3,00 | 0,33 | 0,50 | 2,00 | 0,25 | 0,50 |
| | Solo | 0,33 | 0,50 | 1,00 | 0,25 | 0,50 | 4,00 | 0,33 | 2,00 | 3,00 | 0,50 | 0,50 |
| | Águas subterrâneas | 2,00 | 5,00 | 4,00 | 1,00 | 3,00 | 7,00 | 4,00 | 5,00 | 6,00 | 3,00 | 4,00 |
| | Áreas de Conservação | 0,50 | 5,00 | 0,50 | 0,33 | 1,00 | 6,00 | 2,00 | 3,00 | 4,00 | 2,00 | 2,00 |
| | Geologia | 0,17 | 0,33 | 0,25 | 0,14 | 0,17 | 1,00 | 0,25 | 0,33 | 0,50 | 0,20 | 0,33 |
| Econômico | Rodovias | 0,33 | 3,00 | 3,00 | 0,25 | 0,50 | 4,00 | 1,00 | 3,00 | 2,00 | 0,50 | 2,00 |
| | Distância de Aeroportos | 0,25 | 2,00 | 0,50 | 0,20 | 0,33 | 3,00 | 0,33 | 1,00 | 2,00 | 0,25 | 0,33 |
| Social | Distância de Núcleos Urbanos | 0,20 | 0,50 | 0,33 | 0,17 | 0,25 | 2,00 | 0,50 | 0,50 | 1,00 | 0,33 | 0,50 |
| | Uso e Cobertura do Solo | 0,50 | 4,00 | 2,00 | 0,33 | 0,50 | 5,00 | 2,00 | 4,00 | 3,00 | 1,00 | 2,00 |
| | Vilas e Vilarejos | 0,33 | 2,00 | 2,00 | 0,25 | 0,50 | 3,00 | 0,50 | 3,00 | 2,00 | 0,50 | 1,00 |

Além da matriz AHP, conforme a metodologia desenvolvida por (Saaty, 1990), foi feito o cálculo da matriz normalizada e dos pesos relativos de cada critério. O vetor de pesos/prioridades pode ser visualizado na Tabela 5.7. A partir desse vetor, foi possível fazer o cálculo de consistência da matriz, que resultou em um valor de razão de consistência de 4% (Tabela 5.7), valor inferior a 10%, indicando coerência na comparação par a par.

Tabela 5.7 Pesos relativos de cada critério escolhido.

| Critérios | Peso (Prioridades) |
|------------------------------|---------------------------|
| Recursos hídricos | 0,171 |
| Declividade | 0,045 |
| Solo | 0,056 |
| Águas subterrâneas | 0,246 |
| Áreas de Conservação | 0,121 |
| Geologia | 0,020 |
| Rodovias | 0,088 |
| Distância de Aeroportos | 0,043 |
| Distância de Núcleos Urbanos | 0,031 |
| Uso e Cobertura do Solo | 0,110 |
| Vilas e Vilarejos | 0,069 |

Tabela 5.8 Cálculo de consistência da matriz.

| | | | | | |
|--|--------------------------|---|----|--|---------------------|
| Total de comparações par a par: | $\frac{n^2 - n}{2} = 55$ | Razão de Consistência (deve ser menor que 10%) | RC | CR = CI/RI | 0,04149 = 4% |
| n = ordem da matriz: | 11 | Índice de Consistência | IC | $\frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n-1)} =$ | 0,062649 |
| λ_{\max} | 11,626 | Índice de Consistência de uma Matriz do Tipo Aleatória | IR | fornecido por Saaty | 11 critérios: 1,510 |

Após o cálculo do peso dos critérios, foram definidas as faixas de classificação de cada um deles, conhecidas como *ratings* no método AHP. Para tanto, foram consultados também, os cinco trabalhos já mencionados no início deste item. Construiu-se a Tabela 5.9 com todas as faixas adotadas para cada critério nos referidos trabalhos. Destaca-se que Carvalho (2017) definiu, ainda, pesos para as categorias ambiental, social e econômico, expostos no campo “peso por categoria”. Fundamentados na Tabela 5.9 e nas escolhas dos referidos autores, realizou-se a definição dos *ratings* da presente pesquisa, expostos na Tabela 5.10.

Tabela 5.9 Ratings adotados nos trabalhos analisados.

| | Nascimento (2012) | | Spigolon <i>et al.</i> (2015) | | Carvalho (2017) | | Pinheiro (2019) | | Islam <i>et al.</i> (2020) | | |
|-------------------|-------------------|------|---|------|--|--------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|------|
| | Faixas adotadas | Peso | Faixas adotadas | Peso | Faixas adotadas | Peso por categoria | Peso | Faixas adotadas | Peso | Faixas adotadas | Peso |
| Recursos hídricos | < 200 m | 0 | < 300 m | 1 | 0 - 200 m | 0,562 | 0 | <= 200 m | 0 | < 200 m | 1 |
| | > 200 m | 1 | > 300 m | 4 | 200 - 600 m | 0,562 | 3 | > 200 m | 1 | 200 - 400 m | 2 |
| | | | | | 600 - 1000 m | 0,562 | 5 | <= 500 m | 0 | 400 - 600 m | 3 |
| | | | | | 1000 - 2000 m | 0,562 | 7 | > 500 m | 1 | 600 - 1000 m | 4 |
| | | | | | > 2000 m | 0,562 | 10 | | | > 1000 m | 5 |
| Declividade | 0 - 2% | 0 | > 20% | 1 | 0 - 1 e > 30% | 0,562 | 0 | a=1 | 0 | > 73% | 1 |
| | 30 - 45% | 0 | 15 - 20% | 2 | 20 - 30% | 0,562 | 3 | b=5 | 1 | 40 - 72% | 2 |
| | 25 - 30% | 3 | < 2% | 3 | 10 - 20% | 0,562 | 5 | c=10 | 0 | 22 - 39% | 3 |
| | 20 - 25% | 4 | 8 - 15% | 3 | 3 - 10% | 0,562 | 7 | | | 10 - 21% | 4 |
| | 15 - 20% | 5 | 2 - 8% | 4 | 1 - 3% | 0,562 | 10 | | | 0 - 9% | 5 |
| | 10 - 15% | 6 | | | | | | | | | |
| | 8 - 10% | 7 | | | | | | | | | |
| | 6 - 8% | 8 | | | | | | | | | |
| | 4 - 6% | 9 | | | | | | | | | |
| | 2 - 4% | 10 | | | | | | | | | |
| Solo | Latossolos | 10 | Gleissolos | 1 | Neossolo/ Gleissolos/ Água/ Restringido | 0,562 | 0 | Não Solo | 0,034 | Areia aluvionar | 1 |
| | Argissolos | 7 | Cambissolos/ Planossolos/ Neossolos | 2 | Cambissolos | 0,562 | 7 | Gleissolos Háplico (GX) | 0,034 | Silte aluvionar | 2 |
| | | | | | Latossolos Vermelho (LV) | 0,243 | Silte e argila aluvionar | 3 | | | |
| | | | | | Latossolos | 0,562 | 10 | Nitossolos Vermelho (NV) | 0,37 | Argila dos pântanos e turfa | 4 |
| | | | Argissolo/ Nitossolo | 3 | | | | Argissolo (P) | 0,155 | Barind Argila Residual | 5 |

| Nascimento (2012) | | Spigolon <i>et al.</i> (2015) | | Carvalho (2017) | | Pinheiro (2019) | | Islam <i>et al.</i> (2020) | | | |
|----------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|-----------------|----------------------------------|-----------------|--------------------------------|------------------------------|-----------------|-----------------------|---|
| Faixas adotadas | Peso | Faixas adotadas | Peso | Faixas adotadas | Peso por categoria | Peso | Faixas adotadas | Peso | Faixas adotadas | Peso | |
| | | | | | | | Neossolo Nitólico (RL) | 0,034 | | | |
| | | Latosolos | 4 | | | | Neossolos Quartizarênico (RQ6) | 0,062 | | | |
| | | | | | | | Neossolos Flúvico (RY1) | 0,034 | | | |
| | | | | | | | Planossolos Háptico (SX) | 0,034 | | | |
| Águas Subterrâneas | < 200 m de poços | 0 | Alta - Alta/ Não Definido | 1 | 0 - 2,5 km de pontos de captação | 0,562 | 0 | a = 2 (menor profundidade) | 0 | < 17 m (profundidade) | 1 |
| | > 200 m | 1 | | | 2,5 - 5 km | 0,562 | 3 | b = 112 (maior profundidade) | 1 | 17 - 17,5 m | 2 |
| | | | Alta - Baixa | 2 | 5 - 10 km | 0,562 | 5 | | | 17,5 - 18 m | 3 |
| | | | Baixo - Alta | 3 | 10 - 20 km | 0,562 | 7 | | | 18,5 - 19 m | 4 |
| | | | Baixa - Baixa/ Média - Alta/ Média - Baixa | 4 | > 20 km | 0,562 | 10 | | | 19 - 19,5 m | 5 |
| | | | | | | | | | | 19,5 - 20 m | 6 |
| Áreas de Conservação | Unidades de Proteção Integral | 0 | < 300 m | 1 | 0 - 10 km | 0,562 | 0 | < 3 km | 0 | < 1000 m | 0 |
| | | | > 300 m | 4 | 10 - 15 km | 0,562 | 3 | > 3 km | 1 | 700 - 1000 m | 1 |
| | Mata Atlântica | 7 | | | 15 - 20 km | 0,562 | 5 | | | 500 - 700 m | 2 |
| | | | | | 20 - 30 km | 0,562 | 7 | | | 250 - 500 m | 3 |
| Cerrado | 10 | | | > 30 km | 0,562 | 10 | | | < 250 m | 4 | |
| Geologia | < 500 m (falhas) | 0 | | | 0 - 200 m (falhas) | 0,562 | 0 | Aluviões Holocênicos | 0,029 | | |
| | | | | | 200 - 600 m | 0,562 | 3 | Corpo d'Água Continental | 0,029 | | |
| | | | | | 600 - 1000 m | 0,562 | 5 | Formação Candoi | 0,39 | | |
| | | | | | 1000 - 2000 m | 0,562 | 7 | Formação Presidente Prudente | 0,211 | | |

| Nascimento (2012) | | Spigolon <i>et al.</i> (2015) | | Carvalho (2017) | | | Pinheiro (2019) | | Islam <i>et al.</i> (2020) | | |
|--|---------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|--------------------|-------|-------------------------------|----------|----------------------------|--------------|---|
| Faixas adotadas | Peso | Faixas adotadas | Peso | Faixas adotadas | Peso por categoria | Peso | Faixas adotadas | Peso | Faixas adotadas | Peso | |
| | | | | > 2000 m | 0,562 | 10 | Formação Rio Paraná | 0,12 | | | |
| | | | | | | | Formação Santo Anastácio | 0,072 | | | |
| | | | | | | | Formação Vale do Rio do Peixe | 0,12 | | | |
| | | | | | | | Grupo Serra Geral | 0,293 | | | |
| Rodovias | > 2500 m | 0 | > 5 km | 1 | 0 - 200 m | 0,149 | 0 | a= 200 | 0 | 0 - 250 m | 1 |
| | 1000 - 2500 m | 4 | 1 - 5 km | 2 | > 2000 m | 0,149 | 1 | b= 600 | 1 | >1250 m | 1 |
| | 0 - 100 m | 6 | 0,5 - 1 km | 3 | 1000 - 2000 m | 0,149 | 3 | c= 1000 | 0 | 750 - 1000 m | 3 |
| | 100 - 1000 m | 10 | < 0,5 km | 4 | 700 - 1000 m | 0,149 | 5 | | | 500 - 750 m | 4 |
| | | | | | 500 - 700 m | 0,149 | 7 | | | 250 - 500 m | 5 |
| | | | | 200 - 500 m | 0,149 | 10 | | | | | |
| Distância de Aeroportos | < 9 km | 0 | < 13 km | 1 | 0 - 13 km | 0,562 | 0 | <= 20 km | 0 | < 2 km | 0 |
| | 9 - 13 km | 5 | >13 km | 4 | 13 - 15 km | 0,562 | 3 | > 20 km | 1 | 2 - 5 km | 1 |
| | 13 - 20 km | 8 | < 20 km (voo por instrumento) | 1 | 15 - 20 km | 0,562 | 5 | | | 5 - 10 km | 2 |
| | >20 km | 10 | | | 20 - 30 km | 0,562 | 7 | | | 10 - 15 km | 3 |
| | | | > 20 km (voo por instrumento) | 4 | > 30 km | 0,562 | 10 | | | 15 - 20 km | 4 |
| | | | | | | | | | 20 - 25 km | 5 | |
| Distância de Núcleos Urbanos/ Centro de Geração de RSU | Área Urbana | 0 | > 70 km | 1 | 0 - 3 km | 0,149 | 0 | a = 500 | 0 | | |
| | < 2 km | 2 | 50 - 70 km | 2 | > 30 km | 0,149 | 1 | b= 33673 | 1 | | |
| | >10 km | 7 | 30 - 50 km | 3 | 20 - 30 km | 0,149 | 3 | | | | |
| | 2 - 10 km | 10 | < 30 km | 4 | 10 - 20 km | 0,149 | 5 | | | | |
| | | | | | 5 - 10 km | 0,149 | 7 | | | | |
| | | | | 3 - 5 km | 0,149 | 10 | | | | | |

| Nascimento (2012) | | Spigolon <i>et al.</i> (2015) | | Carvalho (2017) | | Pinheiro (2019) | | Islam <i>et al.</i> (2020) | | | | | |
|-------------------------|-------------------|-------------------------------|--|-----------------|--|-----------------|---------------------|----------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------|-------|--|
| Faixas adotadas | Peso | Faixas adotadas | Peso | Faixas adotadas | Peso por categoria | Peso | Faixas adotadas | Peso | Faixas adotadas | Peso | | | |
| Uso e Cobertura do Solo | Água | 0 | Superfícies artificiais / Áreas não mapeáveis/Superfícies naturais | 1 | Água/ Área Urbana/ Mata de Galeria | 0,149 | 0 | Água | 0,037 | Áreas Protegidas | 0 | | |
| | Área Urbanizada | 0 | | | Agricultura | 0,149 | 1 | Vegetação | 0,097 | Áreas Recreativas e de Lazer | 2 | | |
| | Vegetação Arbórea | 5 | | | Pastagem | 0,149 | 5 | Pastagem | 0,251 | Terras não utilizadas | 5 | | |
| | Área Agrícola | 7 | | | Espaços abertos com pouca ou nenhuma cobertura vegetal | 3 | Cerrado | 0,149 | 7 | Cultura | 0,251 | | |
| | Pastagem | 10 | | | | | Campo/ Solo exposto | 0,149 | 10 | Solo Exposto | 0,326 | | |
| | | | | | | | Áreas agropastoris | 4 | | | Área Construída | 0,037 | |
| Vilas e Vilarejos | < 10 hab/km | 10 | < 2 km | 1 | 0 - 0,5 km | 0,289 | 0 | | < 300 m | 1 | | | |
| | 10 - 50 hab/km | 9 | > 2km | 4 | 0,5 - 1 km | 0,289 | 3 | | 300 - 600 m | 2 | | | |
| | 50 - 100 hab/km | 7 | | | 1 - 5 km | 0,289 | 5 | | 600 - 1000 m | 3 | | | |
| | 100 - 1000 hab/km | 5 | | | 5 - 10 km | 0,289 | 7 | | 1 - 1,5 km | 4 | | | |
| | > 1000 hab/km | 0 | | | > 10 km | 0,289 | 10 | | > 1,5 km | 5 | | | |

Tabela 5.10 *Ratings* do presente estudo.

| | | | | | |
|-----------------------------|--|-------------|---|--------------------|--|
| Recursos hídricos | 0 - 200 m (< 50000 m ²) | 0 | Falhas Geológicas | 0 - 200 m | 0 |
| | 0 - 500 m (> 50000 m ²) | 0 | | 200 - 500 m | 3 |
| | 200 - 500 m (< 50000 m ²) | 3 | | 500 - 1000 m | 5 |
| | 500 - 1000 m (> 50000 m ²) | 3 | | > 1000 m | 7 |
| | 500 - 1000 m (< 50000 m ²) | 5 | | 0 - 250 m | 1 |
| | > 1000 m | 7 | | >1000 m | 1 |
| Declividade | 0 - 1 e > 30% | 0 | Rodovias | 750 - 1000 m | 3 |
| | 20 - 30% | 3 | | 500 - 750 m | 5 |
| | 10 - 20% | 5 | | 250 - 500 m | 7 |
| | 3 - 10% | 7 | Distância de Aeroportos | 0 - 13 km | 0 |
| | 1 - 3% | 9 | | 13 - 15 km | 3 |
| | Solo | Água | | 0 | 15 - 20 km |
| Espodosolos | | 1 | | 20 - 30 km | 7 |
| Gleissolos | | 1 | | > 30 km | 9 |
| Neossolos | | 1 | | 0 - 3 km | 0 |
| Planossolos | | 1 | > 30 km | 1 | |
| Plintossolos | | 1 | Distância de Núcleos Urbanos/ Centro de Geração de RSU | 20 - 30 km | 3 |
| Chernossolos | | 2 | | 10 - 20 km | 5 |
| Cambissolos | | 3 | | 5 - 10 km | 7 |
| Argissolos | | 5 | | 3 - 5 km | 9 |
| Águas Subterrâneas | | Nitossolos | 7 | Uso do Solo | Água, Área Urbana, Mineração, Campo Alagado, Afloramento Rochoso |
| | Latossolos | 9 | Vegetação | | 1 |
| | 0 - 2,5 km | 0 | Agricultura | | 3 |
| | 2,5 - 5 km | 1 | Pastagem | | 5 |
| | 5 - 10 km | 3 | Campo, Solo Exposto | | 7 |
| | 10 - 20 km | 5 | Vilas e Vilarejos | | < 300 m |
| > 20 km | 7 | 300 - 600 m | | 1 | |
| Áreas de Conservação | < 300 m | 0 | | 600 - 1000 m | 3 |
| | 300 - 1 km | 1 | | 1 - 5 km | 5 |
| | 1 - 5 km | 2 | | > 5 km | 7 |
| | 5 - 10 km | 3 | | | |
| | 10 - 20 km | 5 | | | |
| | 20 - 30 km | 7 | | | |
| > 30 km | 9 | | | | |

Com relação aos tipos de solos, os latossolos, por si só apresentam uma resistência alta, entretanto, quando em contato com a água, passam a ter um comportamento colapsível. Como para um aterro sanitário é previsto um sistema de impermeabilização e drenagem, o solo não estaria submetido a condições de provável

colapso, assim, os latossolos receberam uma pontuação alta no presente trabalho. Os espodossolos não apresentaram uma boa pontuação por serem mais arenosos e de áreas surgentes, sendo essa última característica comum aos gleissolos, que também receberam uma pontuação baixa. Os nitossolos e argissolos foram pontuados com valores mais altos por serem mais argilosos. Os demais solos que receberam pontuações mais baixas apresentam alto teor de matéria orgânica, são mais arenosos ou são típicos de áreas de alagamento.

No critério de distância de aeroportos, foi seguido o disposto pela legislação (CONAMA, 1995) que define um raio de 13 km de aeródromos como área restrita, como para aeroportos que operam de acordo com as regras de voo por instrumento, o raio deve ser de 20 km de restrição, até essa distância os locais foram considerados pouco adequados. Para a Distância de Núcleos Urbanos/ Centro de Geração de RSU foi considerada como área de atendimento somente o Distrito Federal, mas a distância mínima exigida por lei foi aplicada a todos os núcleos urbanos. No caso do critério Vilas e Vilarejos, foram englobados assentamentos, comunidades quilombolas, vilas, povoados e aglomerados rurais, todos são áreas povoadas, mas que não serão atendidas pelo aterro.

5.6 MAPAS PARA CADA CRITÉRIO

Foram construídos mapas individuais para cada critério, apresentados nas Figura 5.1 a Figura 5.11. Alguns dados foram apresentados em shapefile somente por uma questão visual, mas para a definição das áreas prioritárias com a AHP, todos foram convertidos em *raster*. Desenvolveu-se ainda, um mapa, na Figura 5.12, com as áreas de risco de inundação, apresentado como um critério restritivo presente nas legislações, conforme explicitado no item 5.3, as áreas com risco foram extrapoladas com buffers de 200 m e descartadas no processo de escolha dos possíveis locais para aterro sanitário.

No mapa de recursos hídricos (Figura 5.1), buscou-se incluir o critério restritivo diferenciando corpos d'água com largura maior ou menor que 600 metros. Por ser uma área muito extensa, não foi possível avaliar cada corpo hídrico individualmente, portanto, foi adotada uma faixa conservadora, correlacionando a largura à área de cada polígono de massas d'água. Assim, o valor delimitador escolhido foi uma área de 50.000 m², tal que, os corpos d'água com área maior que essa foram limitados em 500 e 1000 metros da margem, e aqueles com área inferior foram limitados em 200, 500 e 100 metros. As faixas com o mesmo peso no processo da AHP foram agrupadas no mapa da

Figura 5.1. Percebe-se que há uma concentração maior de áreas menos favoráveis à construção do aterro sanitário em Luziânia e Cristalina, devido a presença de diversos corpos d'água nesses municípios. Ainda assim, há uma predominância de áreas passíveis de uso, quando considerado somente esse critério.

O mapa de declividade (Figura 5.2) foi construído em ambiente SIG, e, por meio de vários processos, os dados foram retirados do portal da Embrapa, como já mencionado no item 5.2. Percebe-se que as regiões que apresentam declividade inadequada para aterros sanitários estão concentradas na porção nordeste da RIDE/DF, no estado do Goiás, em Niquelândia, também no Goiás, e na porção sudeste dos municípios Arinos e Unaí, ambos em Minas Gerais. As regiões mais próximas do DF e ao sul da RIDE são mais adequadas quando analisada somente a declividade.

Para a definição de pontuação de cada tipo de solo (Figura 5.3) foram utilizados como base os cinco trabalhos já citados nesse item, além do livro desenvolvido na Embrapa por dos Santos et al. (2018) e do livro Camapum de Carvalho et al. (2015). Foram levados em consideração, principalmente, o teor de argila e a profundidade do lençol freático nos tipos de solo presentes na RIDE/DF. Os solos considerados mais propícios para a instalação de um aterro sanitário foram argissolo, nitossolo e latossolo. Percebe-se que os latossolos são os mais preponderantes na região da RIDE/DF, há também a presença marcada de neossolos, que é um dos tipos de solo com a menor pontuação atribuída.

No mapa de águas subterrâneas (Figura 5.4), consideram-se como limitadores os pontos em que há captação de água, e as zonas de peso foram estabelecidas no entorno desses locais, há uma concentração maior de pontos de captação no DF do que nos municípios. Na definição das áreas de conservação, foram consideradas informações encontradas nos portais de cada estado e do Distrito Federal, além dos dados disponibilizados pela ANA. Foram desconsideradas do cruzamento ARIEs e APAs, por serem áreas que apresentam alguma flexibilidade quanto ao uso, mas as demais áreas de proteção foram todas consideradas. De forma semelhante ao critério anteriormente citado, as áreas de conservação também se concentram no DF, o que gera uma região menos apropriada com relação a esse critério em especial. Em Cavalcante e Alto Paraíso de Goiás, devido a presença do Parque Nacional Chapada dos Veadeiros, há uma extensa área que deve ser preservada.

Os dados de falhas geológica (Figura 5.6) devem ser consideradas no processo de escolha de áreas para aterros sanitários por representarem regiões de risco para a

contaminação de aquíferos, visto que se tornam caminhos preferenciais de efluentes de aterros. As falhas estão presentes em quase toda RIDE/DF, com exceção dos municípios mineiros de Buritis e Arinos. Para a análise de distância das rodovias (Figura 5.7), empregaram-se os dados disponibilizados no OpenStreetMap. Foi importada a camada de estradas, tratada com base na legenda disponibilizada pelo mesmo projeto, e foram desconsideradas as classificações de vias voltadas para pedestres e ciclistas e as não pavimentadas. Nota-se que a malha viária na região analisada é bastante extensa, o que auxilia na logística de transporte de resíduos sólidos até o aterro sanitário. Nesse quesito de existência da malha viária como ponto positivo para o transporte de resíduos, considera-se também a distância dos polos geradores dos RSU - como fator positivo para minimizar os custos de transporte e unidades de transbordos. Foi definida uma faixa de segurança de 250 m da rodovia, que recebeu a mesma pontuação dada as regiões que não podem ser acessadas por estradas pavimentadas.

No cálculo da distância de aeroportos, foram considerados todos os aeródromos da região, cujos dados foram obtidos do portal da ANA, e o resultado foi exposto na Figura 5.8. Como a distância dos aeródromos considerada é extensa, diversos pontos foram definidos como inadequados de acordo com esse fator, em especial na região mais ao sul da RIDE/ DF. Para o mapa de distância de núcleos urbanos (Figura 5.9), recorreu-se às informações de setores censitários disponibilizadas pelo IBGE - ressalta-se que a área do DF foi a única considerada para atendimento do aterro, em vista da dificuldade de se encontrar dados para os municípios da RIDE. Todavia, considera-se que seja possível incluir os municípios mais próximos do local escolhido para o aterro. Pretendia-se com a análise, considerar também terrenos com valor imobiliário mais atrativo, devido ao valor dos terrenos do DF ser bastante elevado. A região de foco de maior coleta da RIDE foi destacada no mapa resultante, e é praticamente coincidente com a área mais adequada para o aterro, segundo o critério de distância de núcleos urbanos. Foi aplicada, também, a restrição legal às zonas mais próximas das áreas urbanas. Além disso, os pontos mais distantes da área a ser atendida não receberam uma boa classificação, em vista do alto gasto com logística e combustível para transporte dos resíduos, percebe-se, então, uma faixa de áreas mais adequadas destacada de verde, amarelo e laranja bem próxima e dentro do DF.

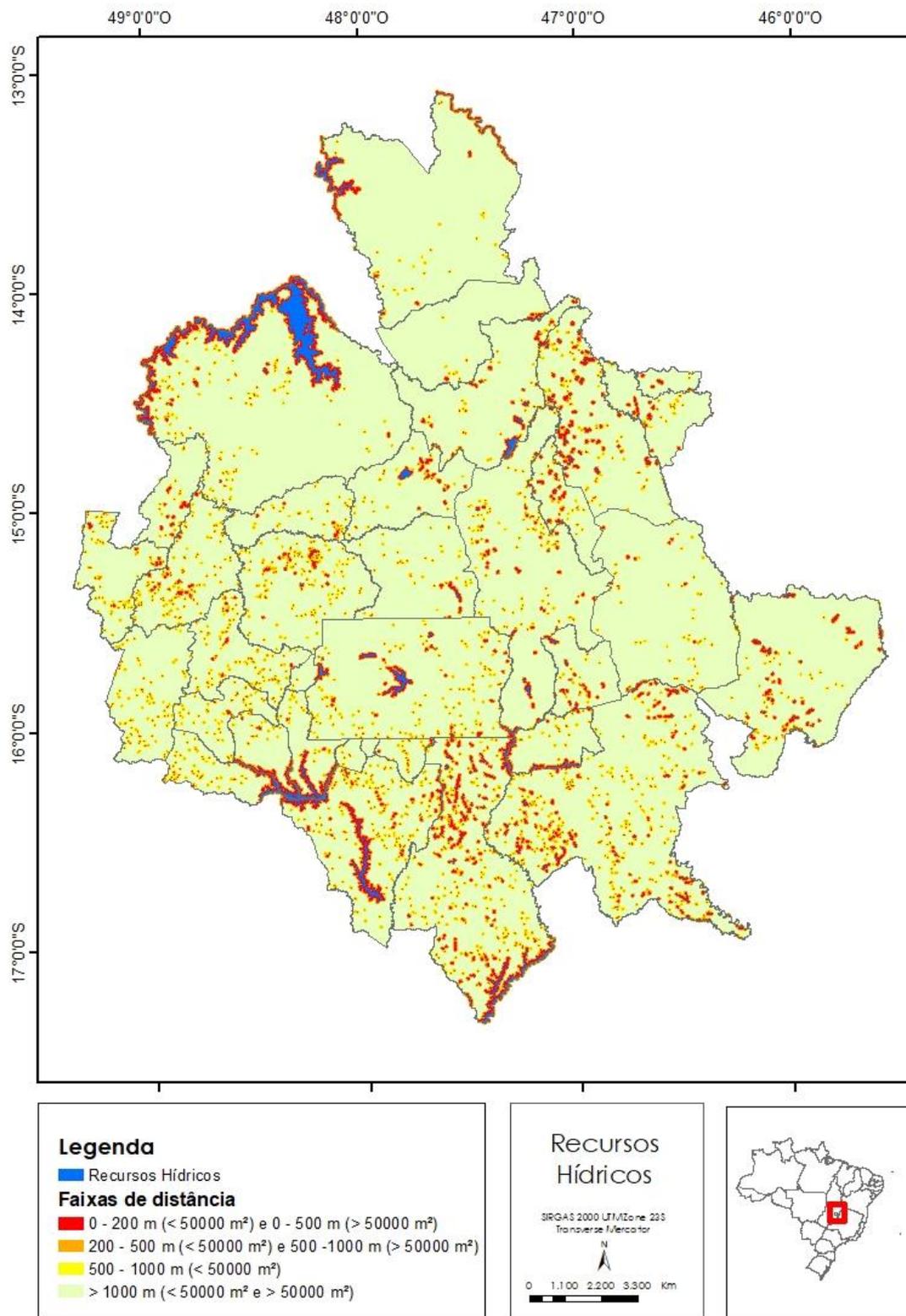


Figura 5.1 Mapa de faixas de distâncias dos recursos hídricos consideradas.

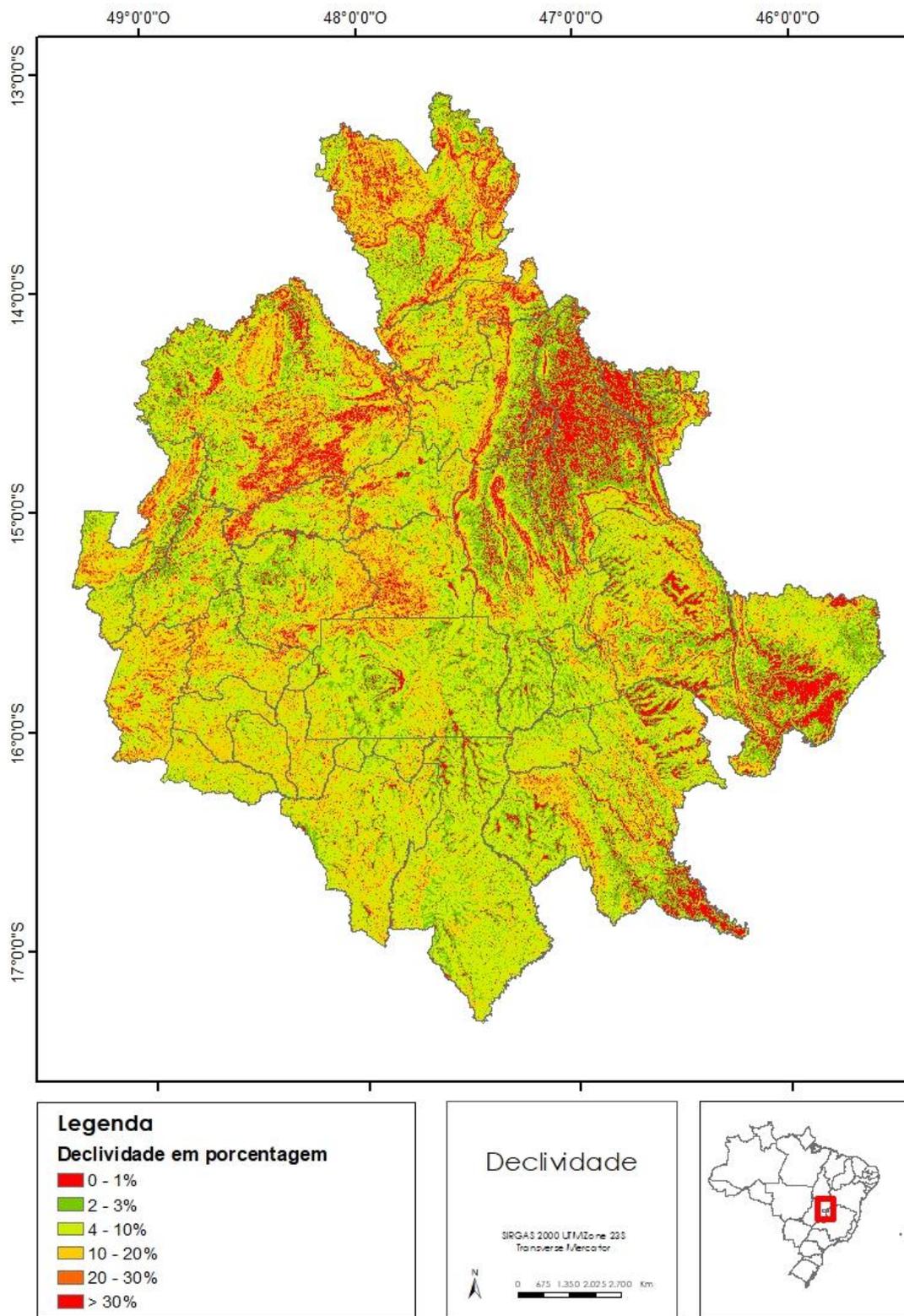


Figura 5.2 Mapa de faixas de declividade consideradas.

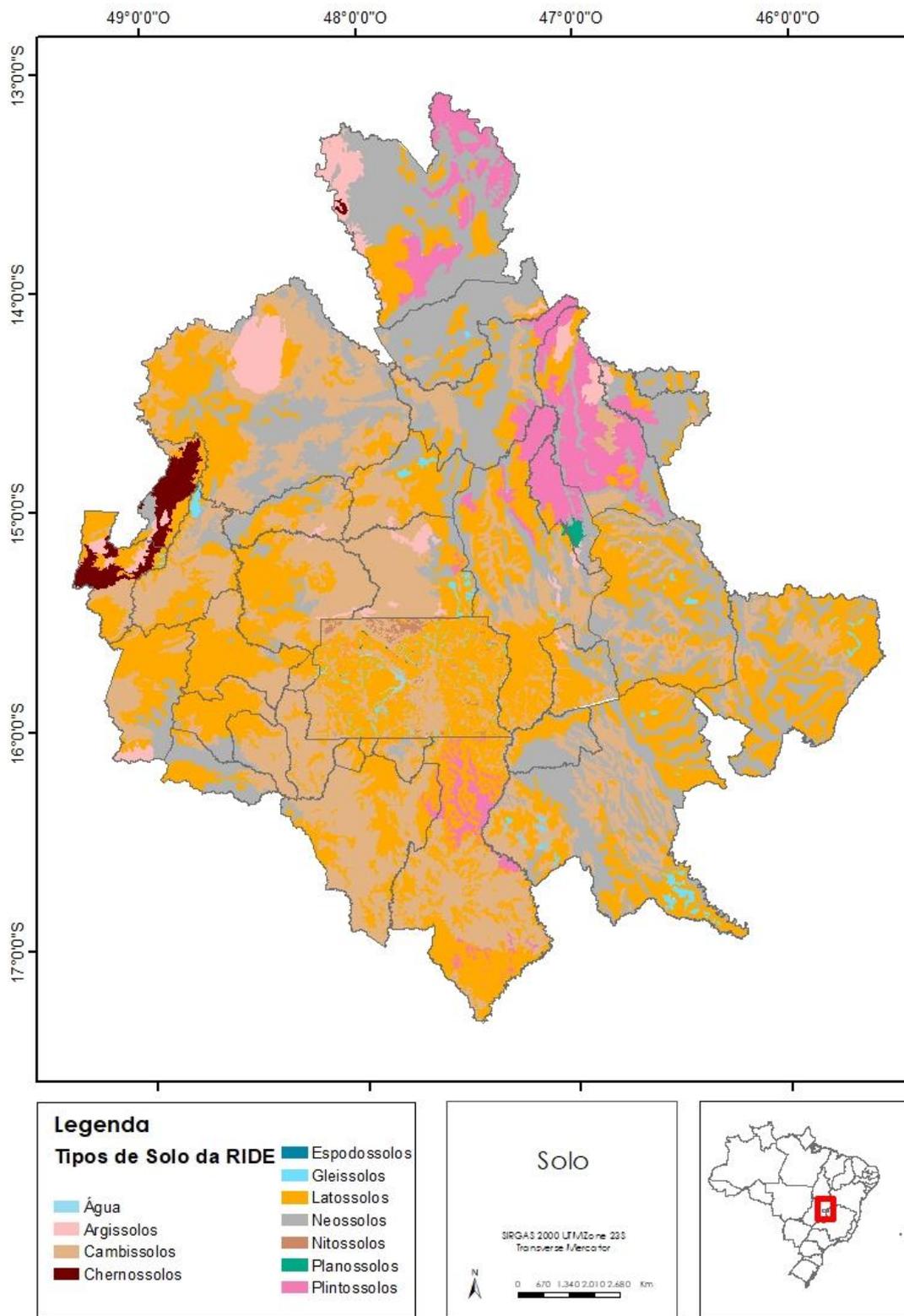


Figura 5.3 Mapa de tipos de solo da área de estudo.

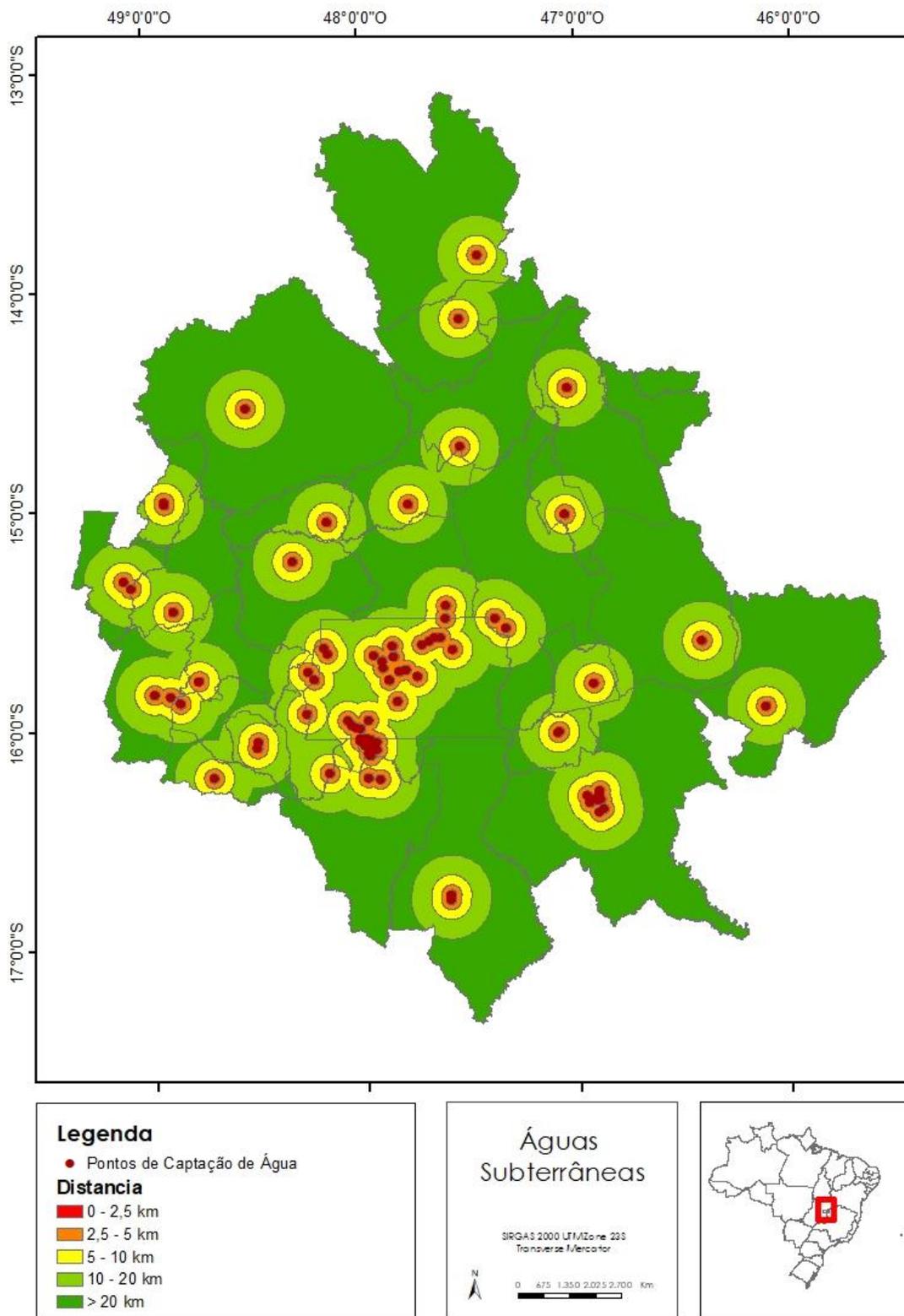


Figura 5.4 Mapa de faixas de distâncias dos pontos de captação de água.

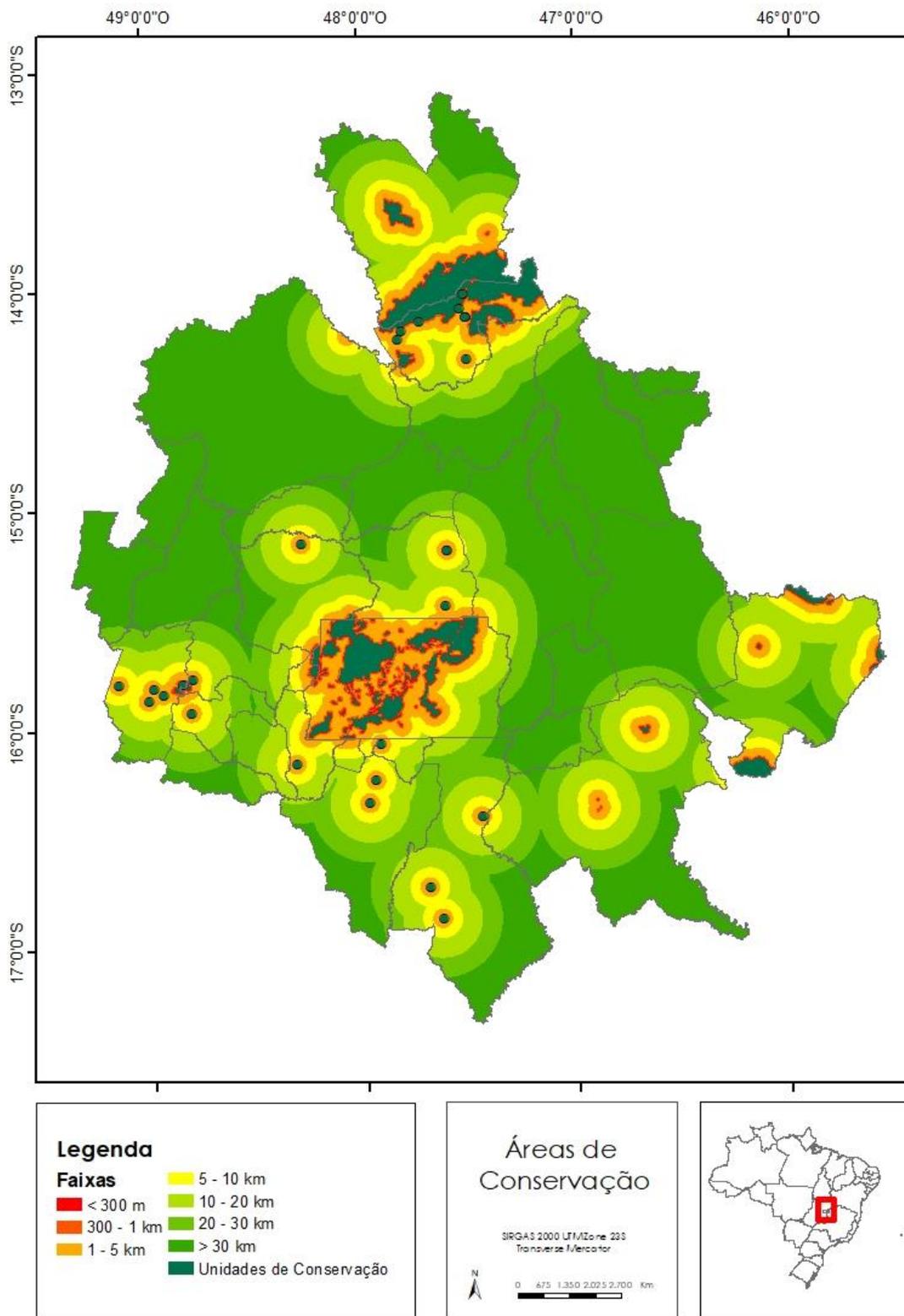


Figura 5.5 Mapa de faixas de distâncias das áreas de conservação.

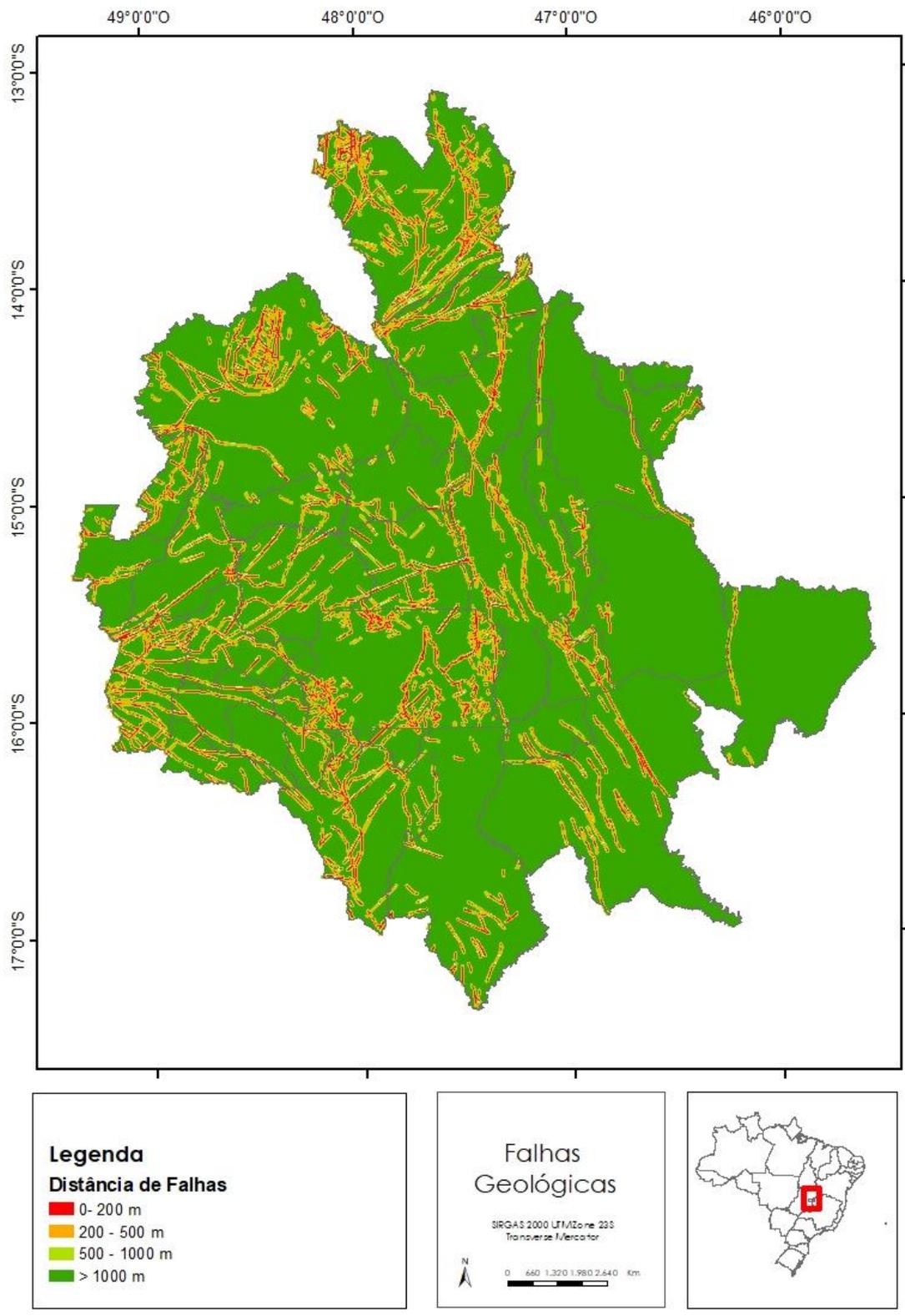


Figura 5.6 Mapa de faixas de distâncias das falhas geológicas.

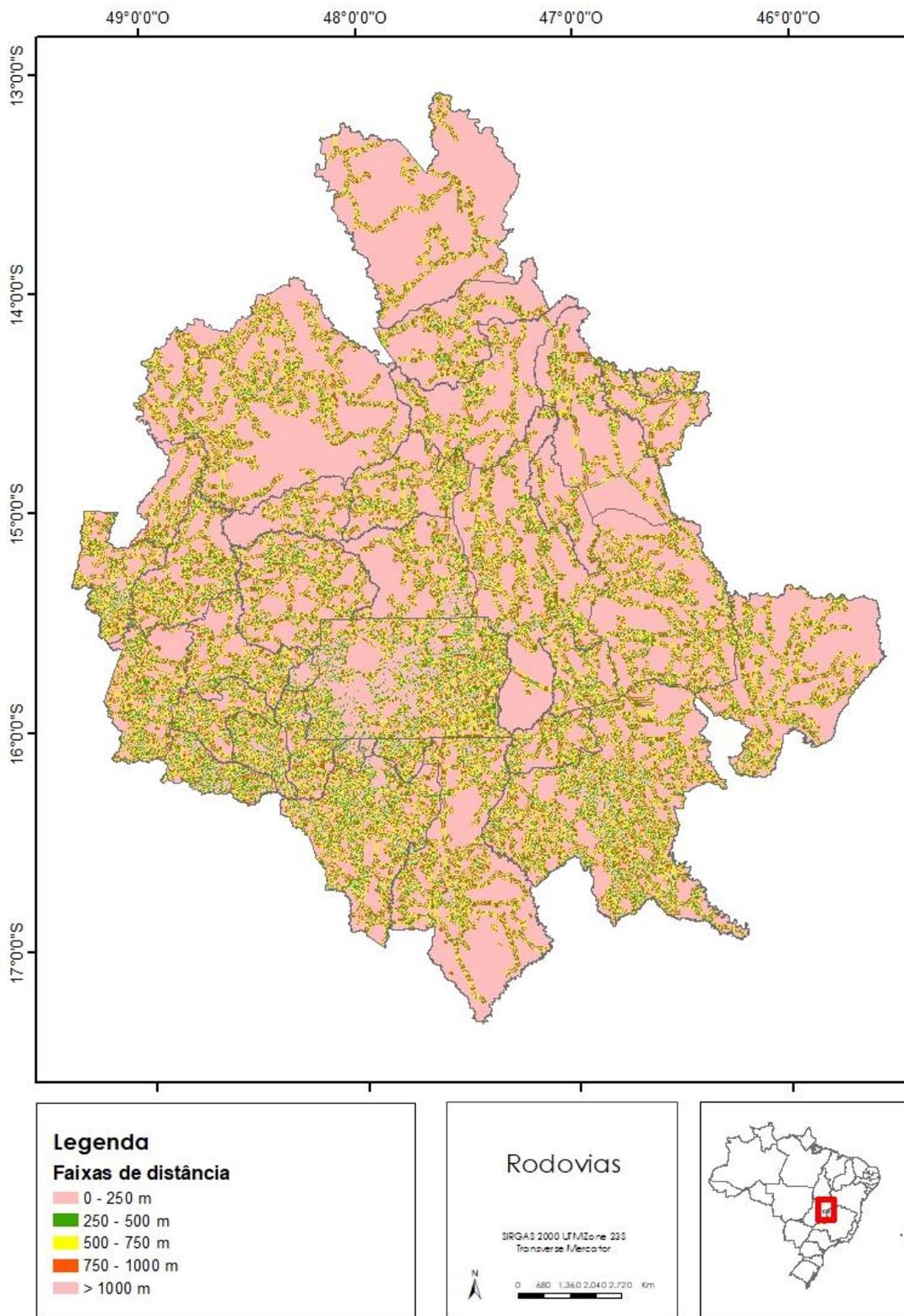


Figura 5.7 Mapa de faixas de distâncias das rodovias.

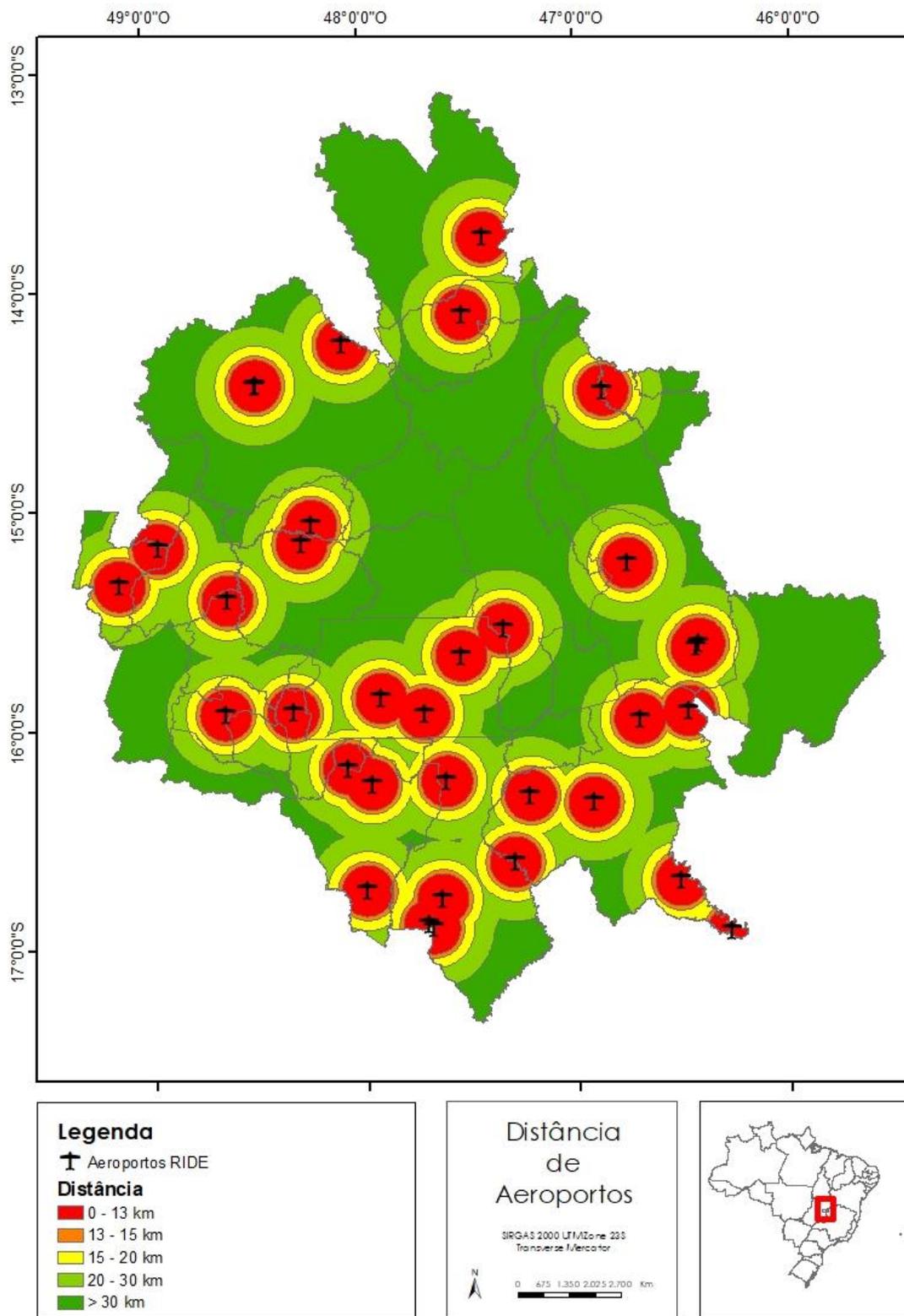


Figura 5.8 Mapa de faixas de distâncias de aeroportos e aeródromos.

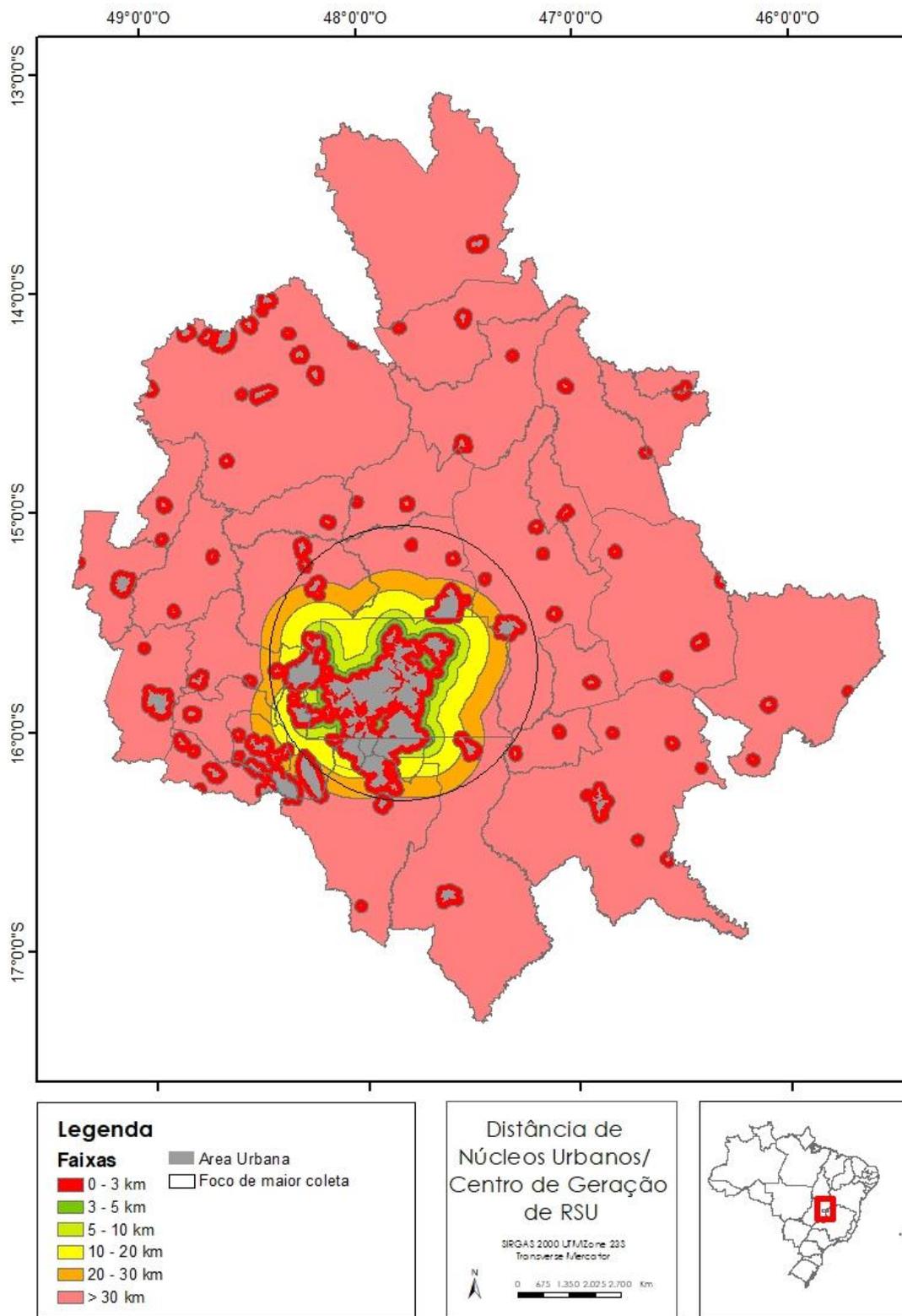


Figura 5.9 Mapa de faixas de distâncias dos núcleos urbanos/ centro de geração de RSU.

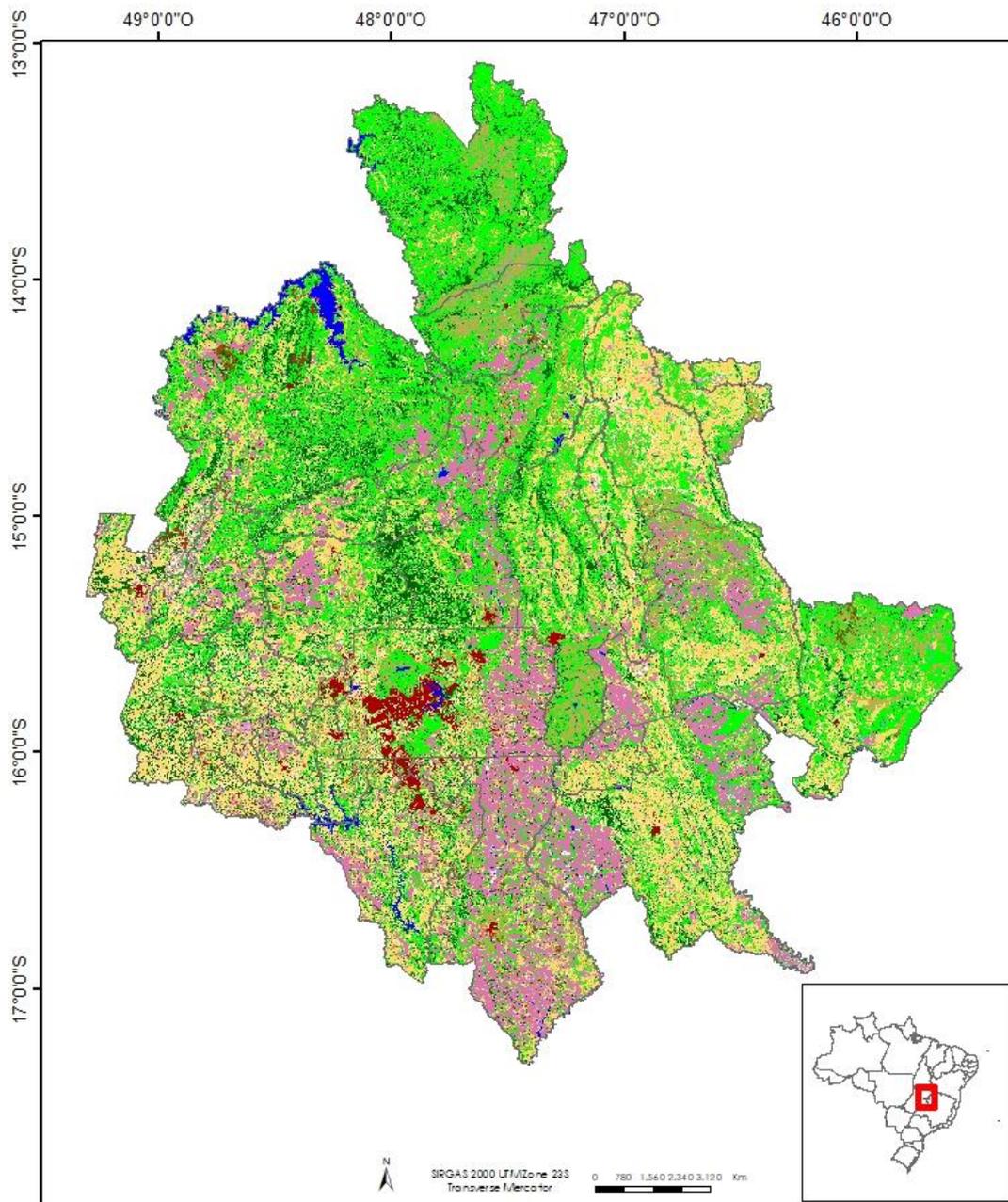
Para o mapa de uso e cobertura do solo (Figura 5.10), foi utilizada a classificação fornecida pelo MapBiomass, entretanto, para a aplicação da AHP, as feições foram redefinidas com as classes escolhidas para o presente trabalho. A correlação entre as

classes adotadas e as provenientes do MapBiomias pode ser visualizada na Tabela 5.11. No território analisado, há a presença de várias culturas agrícolas, que apesar de não serem ideais podem ser utilizadas para aterro sanitários, e regiões de Cerrado (Savânicas) e Formação Florestal, as quais foram atribuídas pontuação mínima. As áreas de maior pontuação, Formação Campestre e Outras áreas não vegetadas, são escassas. Os dados referentes a vilas e vilarejos foram retirados dos portais estaduais para Goiás e Minas Gerais e das informações de setores censitários fornecidas pelo IBGE, para o Distrito Federal. Esses dados delimitam pequenas comunidades, assentamentos, quilombolas, vilas, povoados e aglomerados rurais, cujos limites dos territórios precisam ser respeitados, ainda que essa população não vá ser atendida pelo aterro sanitário. O mapa gerado foi apresentado na Figura 5.11. Há uma concentração maior de comunidades nos municípios de MG e em Cavalcante, onde há um território quilombola, além de alguns pontos na porção norte do DF. As demais áreas apresentam poucas restrições no que tange a esse critério.

Tabela 5.11 Correlação classes adotadas e fornecidas pelo MapBiomias.

| MapBiomias | | | Aplicação na pesquisa | |
|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------|
| Numeração | Classes | Sub-Classes | Classes Definidas | Pontuação |
| 3 | Formação Florestal | Floresta | Vegetação | 1 |
| 4 | Formação Savânica | Floresta | Vegetação | 1 |
| 9 | Silvicultura | Agropecuária | Agricultura | 3 |
| 11 | Campo Alagado e Area Pantanosa | Formação Natural não Florestal | Campo Alagado | 0 |
| 12 | Formação Campestre | Formação Natural não Florestal | Campo | 7 |
| 15 | Pastagem | Agropecuária | Pastagem | 5 |
| 20 | Cana | Agropecuária | Agricultura | 3 |
| 21 | Mosaico de usos | Agropecuária | Agricultura | 3 |
| 24 | Area Urbanizada | Area não vegetada | Area Urbana | 0 |
| 25 | Outras áreas não vegetadas | Area não vegetada | Solo Exposto | 7 |
| 29 | Afloramento Rochoso | Formação Natural não Florestal | Afloramento Rochoso | 0 |
| 30 | Mineração | Area não vegetada | Mineração | 0 |
| 33 | Rio lago e oceano | Corpo d'agua | Água | 0 |

| MapBiomas | | | Aplicação na pesquisa | |
|------------------|-----------------------------|--------------------|------------------------------|------------------|
| Numeração | Classes | Sub-Classes | Classes Definidas | Pontuação |
| 39 | Soja | Agropecuária | Agricultura | 3 |
| 41 | Outras lavouras temporárias | Agropecuária | Agricultura | 3 |
| 46 | Café | Agropecuária | Agricultura | 3 |
| 47 | Citrus | Agropecuária | Agricultura | 3 |
| 48 | Outras Lavouras Perenes | Agropecuária | Agricultura | 3 |
| 62 | Algodão | Agropecuária | Agricultura | 3 |



Legenda

| Classes de Uso e Cobertura do Solo | | |
|---|--|----------------------------------|
| 3 - Formação Florestal | 20 - Cana | 33 - Rio, Lago e Oceano |
| 4 - Formação Savânica | 21 - Mosaico de Agricultura e Pastagem | 36 - Lavoura Perene |
| 5 - Mangue | 23 - Praia, Duna e Areal | 39 - Soja |
| 9 - Silvicultura | 24 - Área Urbanizada | 40 - Arroz (beta) |
| 11 - Campo Alagado e Área Pantanosa | 25 - Outras Áreas não Vegetadas | 41 - Outras Lavouras Temporárias |
| 12 - Formação Campestre | 27 - Não Observado | 46 - Café (beta) |
| 13 - Outras Formações não Florestais | 29 - Afloramento Rochoso | 47 - Citrus (beta) |
| 15 - Pastagem | 30 - Mineração | 48 - Outras Lavouras Perenes |
| | 31 - Aquicultura | 49 - Restinga Arborizada (beta) |
| | 32 - Apicum | |

Figura 5.10 Mapa de classes de uso e cobertura do solo (Projeto MapBiomias, 2022).

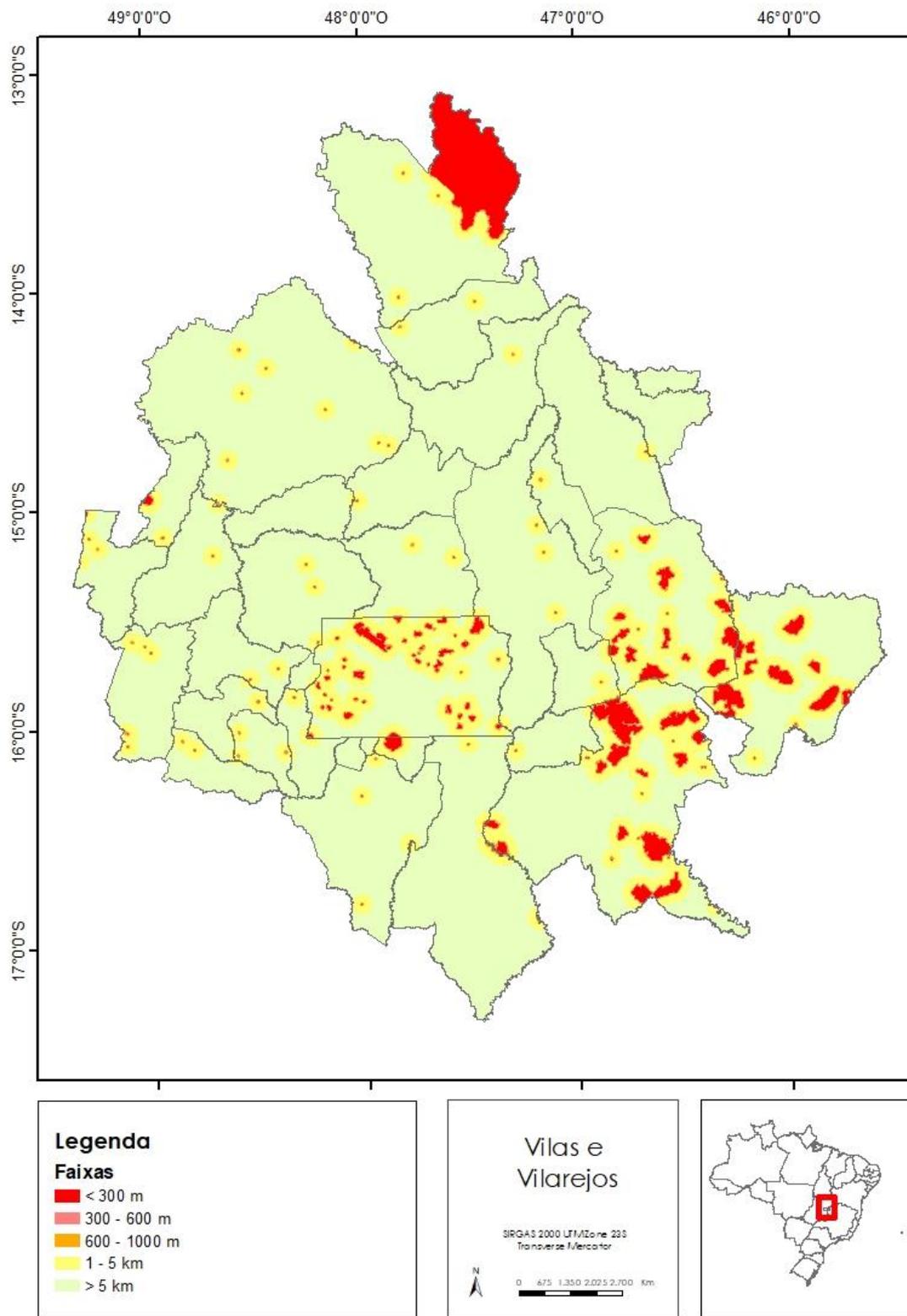


Figura 5.11 Mapa de faixas de distâncias das vilas e vilarejos.

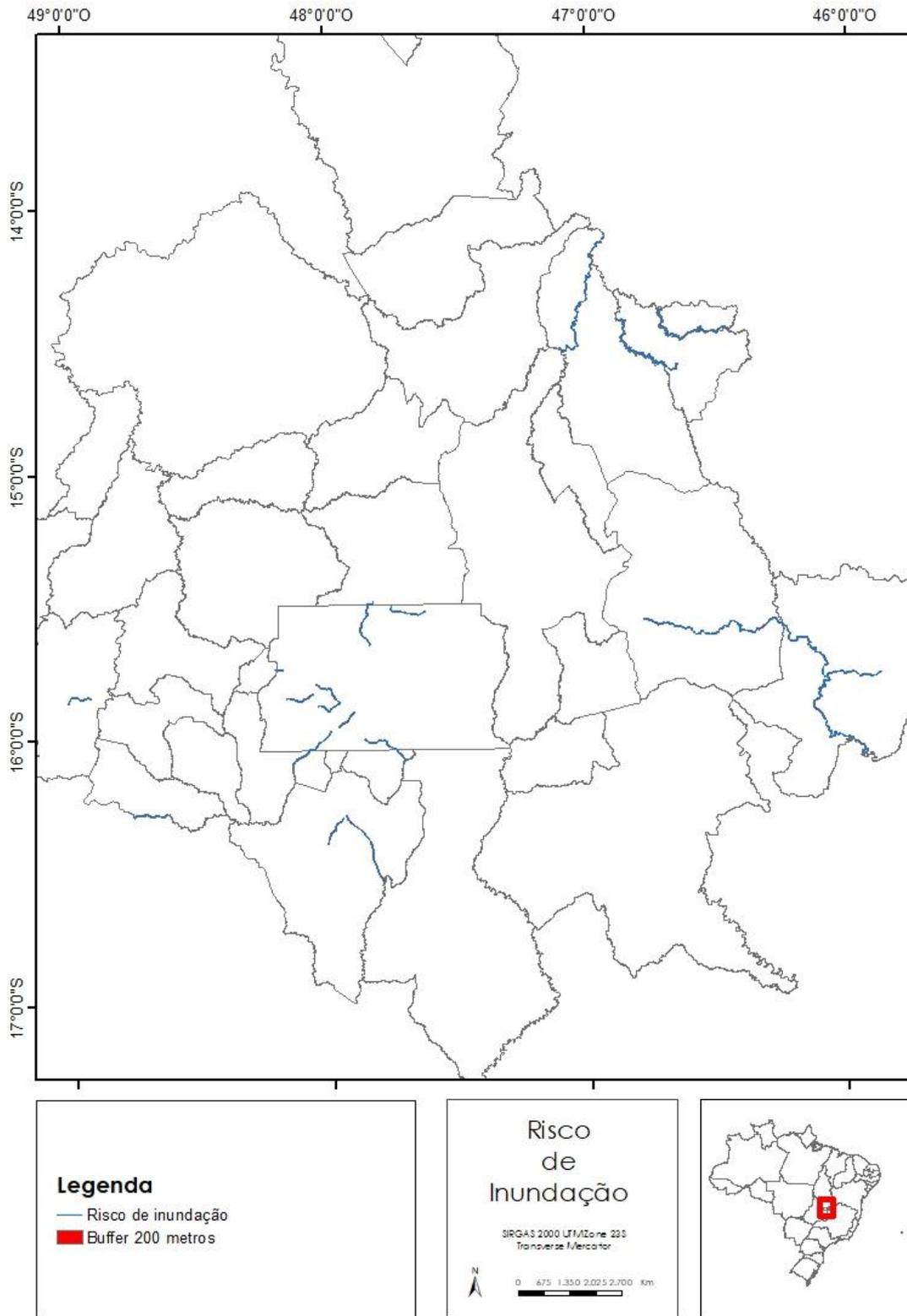


Figura 5.12 Mapa de risco de inundação na RIDE/ DF.

5.7 ANÁLISE DOS MAPAS RESULTANTES

Como resultado do cruzamento das informações e processamento da AHP, foi gerado o mapa exposto na Figura 5.13. Percebe-se que, como a área de análise foi muito extensa e as restrições impostas ao território do Distrito Federal foram muitas, a maior parte das áreas consideradas mais adequadas não estão situadas no Distrito Federal. Por essa razão, a área de expansão do ASB não recebeu uma boa avaliação.

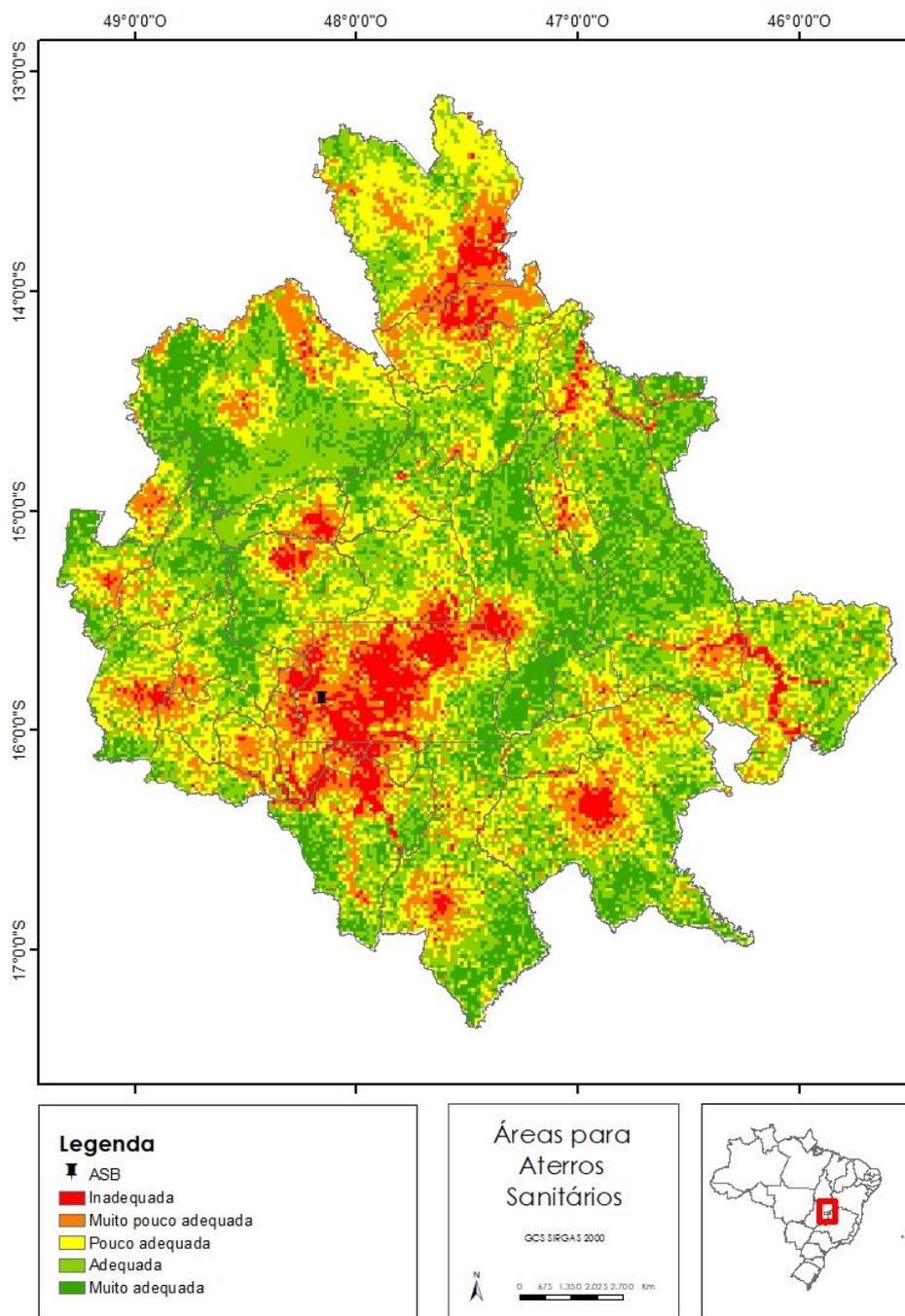


Figura 5.13 Mapa de áreas para aterros sanitários na RIDE/ DF.

Caso a análise fosse realizada em uma área menor, somente do DF, ou ainda de forma menos conservadora, considerando-se, por exemplo, uma distância mínima menor dos pontos de captação de água, provavelmente a área de expansão do aterro receberia uma pontuação final melhor. Isso evidencia que a AHP é uma análise relativa, que varia de acordo com a área analisada e com a importância atribuídos a cada critério.

Para além da análise desenvolvida no presente trabalho, evidencia-se ainda, na Figura 5.13, as demais áreas da RIDE/DF que são adequadas para implementação de aterros sanitários, visto que há essa demanda por parte de outros municípios. Dessa forma, há a possibilidade de implantação de aterros sanitários diversos de forma consorciada entre os municípios como: Niquelândia, Barro Alto e Vila Propício; Cocalzinho de Goiás e Padre Bernardo; Formosa, São João da Aliança e Vila Boa; Flores de Goiás, Alvorada do Norte e Simolândia; Cristalina e Unai. Para a escolha dessas parcerias é preciso avaliar a viabilidade política dos acordos entre os municípios. Há uma diversidade de áreas “muito adequadas” e “adequadas” na RIDE para a implementação de aterros sanitários, que podem ser estudadas mais a fundo, de acordo com a necessidade dos municípios interessados.

Foi realizada também uma análise com as áreas disponíveis para o aterro sanitário, considerando-se o cálculo de projeção de área necessária desenvolvido no item 5.4. Para tanto, foram avaliadas somente as áreas classificadas como “muito adequadas” no mapa da Figura 5.13. Concluiu-se que a zona com a maior parte de áreas contínuas está situada no estado do Goiás e em parte no sudeste do Distrito Federal (Figura 5.14). Por ser uma área mais próxima da população a ser atendida, ainda dentro do DF, a escolha dessa região também reduziria os gastos com combustível, além de haver a possibilidade de atendimento dos municípios vizinhos, como Cabeceira Grande, Cabeceiras, Cristalina e Formosa.

A região selecionada como mais adequadas, foi analisada com o uso do Google Earth na Figura 5.15. É uma zona majoritariamente agrícola com pontos de solo exposto/ campo; sem aeroportos nas proximidades; um pouco distante da área urbana de atendimento, mas ainda assim nas proximidades; com declividade adequada; distante de falhas geológicas e corpos d’água; um pouco longe de rodovias; com predominância de latossolos; distante de unidades de conservação, pontos de captação de água subterrânea, vilas e vilarejos. A maior parte dos critérios são, portanto, atendidos nessa região e, aqueles que não são, ainda assim, podem ser contornados por não serem tão críticos nessa área. Os resultados foram gerados a partir da otimização de todos os

pontos considerados e apresentam uma localização mais adequada, em termos gerais, para um aterro sanitário.

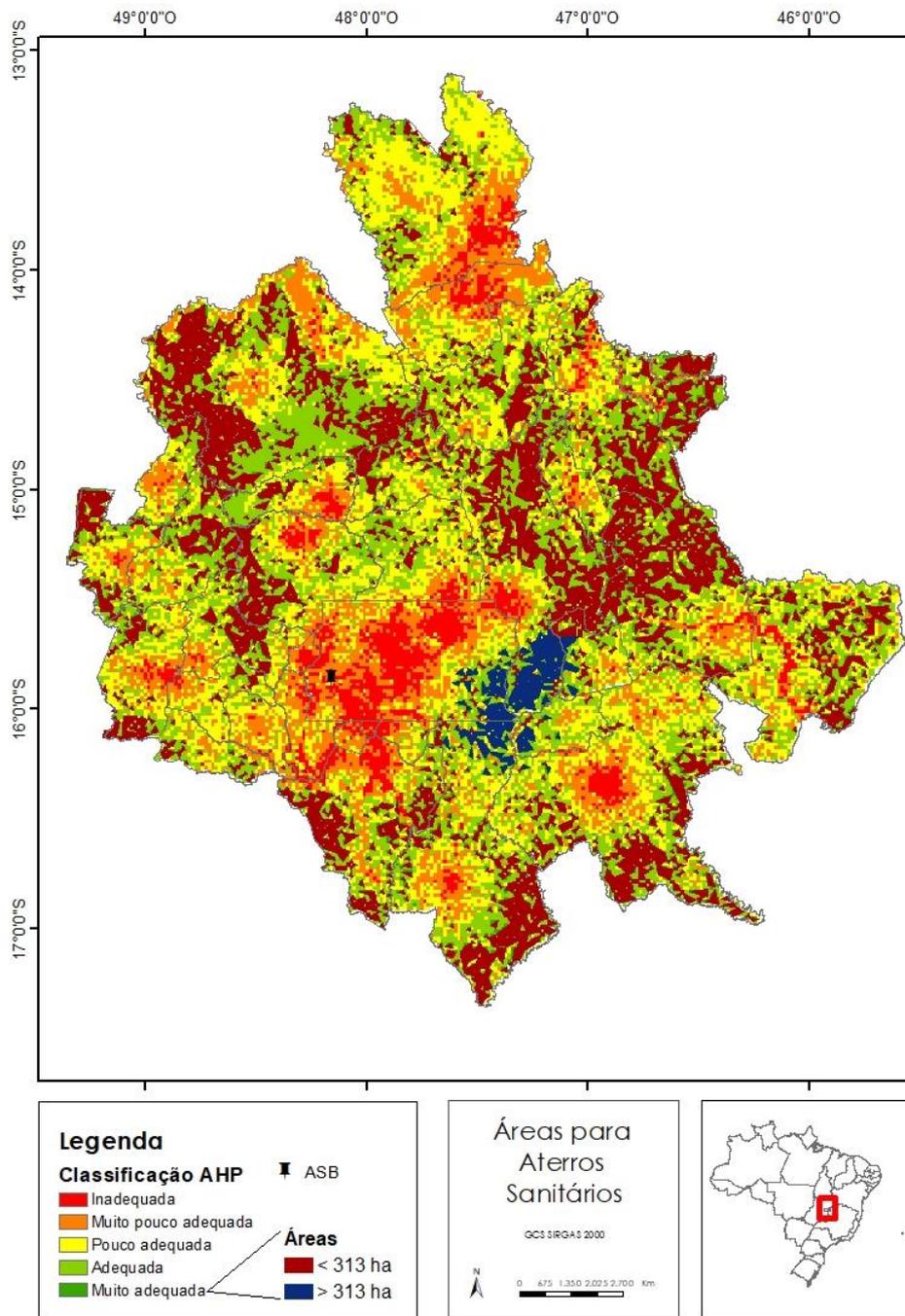


Figura 5.14 Tamanho das áreas encontradas.



Figura 5.15 Localização geográfica das áreas mais adequadas para aterros sanitários na RIDE/ DF.

6 CONCLUSÕES

Foram analisados diversos trabalhos focalizados na escolha de áreas para aterros sanitários, a fim de se definir a metodologia a ser empregada no presente trabalho. A escolha da AHP e da lógica booleana foi validada devido à grande reincidência dessas metodologias em trabalhos com objetivo semelhante. Além disso, buscaram-se os dados compatíveis com ambiente SIG em diversos portais: MapBiomas, *OpenStreetMaps*, GeoPortal SEDUH, SISEMA, SIEG Mapas, IDE Sisema, SIEG Mapas, IBGE, ANA, CPRM e Embrapa. As informações foram compatibilizadas para o sistema de coordenadas de referência, SIRGAS 200 UTM Zona 23S.

Os critérios restritivos foram definidos pautados nas legislações aplicáveis a escolha de áreas para aterros sanitários, tais como NBR 8419 (ABNT, 1996); NBR 13896 (ABNT, 1997); Lei Federal nº 6.938 (BRASIL, 1981); Lei Federal nº 9.985 (BRASIL, 2000); Lei Federal 12.651 (BRASIL, 2012); Resolução CONAMA 001 (CONAMA, 1986); Resolução CONAMA 005 (CONAMA, 1988); Resolução CONAMA 237 (CONAMA, 1997). As restrições foram interpretadas segundo a lógica booleana e aplicadas aos mapas.

A partir de trabalhos anteriores, foram estabelecidos também os critérios classificatórios adotados: Recursos hídricos; Declividade; Solo; Águas subterrâneas; Áreas de Conservação; Geologia; Rodovias; Distância de Aeroportos; Distância de Núcleos Urbanos; Uso e Cobertura do Solo; Vilas e Vilarejos. Os pesos de cada critério também foram determinados, utilizando-se como referência os cinco trabalhos com o maior número de critérios em comum com o presente estudo. Esses trabalhos serviram ainda como insumo para a definição da matriz AHP. Os critérios ponderáveis foram avaliados em mapas individualmente e depois combinados na análise AHP.

A partir do resultado, foi aplicado um filtro de área, somente nos locais considerados “muito adequados”, e esse procedimento levou à conclusão de que a região mais propícia para a instalação de um aterro sanitário, para atender a população do DF, considerando-se os limites da RIDE/DF, é a destacada em azul na Figura 5.14 e na aproximação da Figura 5.15. A localização não foi coincidente com a região de expansão do ASB em decorrência do tamanho da área de análise, que abarcou outras regiões com menos restrições, além do DF. A área encontrada é majoritariamente agrícola e o tipo de solo predominante é latossolo, a maior parte dos critérios considerados apresenta uma classificação excelente nesse local.

6.1 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Sugere-se que sejam realizadas análises isoladas de possíveis áreas para aterros sanitários para o atendimento de cada município da RIDE/DF, em vista da situação do tratamento de resíduos sólidos em toda região, que apresenta somente quatro aterros sanitários. Essas análises podem ser desenvolvidas visando a soluções consorciadas entre municípios, como: Niquelândia, Barro Alto e Vila Propício; Cocalzinho de Goiás e Padre Bernardo; Formosa, São João da Aliança e Vila Boa; Flores de Goiás, Alvorada do Norte e Simolândia; Cristalina e Unaí.

Entre as sugestões de pesquisas futuras, recomenda-se também, a elaboração de um banco de dados com informações referentes a RIDE-DF, em razão da dificuldade de se encontrarem informações referentes à região. Não há um portal único com informações georreferenciadas da RIDE, como há para os estados, e os dados estão difusos entre os sites dos estados e os sites de órgãos e instituições do Governo Brasileiro, em escala nacional.

Ademais, sugere-se o desenvolvimento de uma avaliação geotécnica do solo disponível na região escolhida no presente trabalho para a instalação do aterro sanitário. Conforme mencionado anteriormente, há fatores relevantes da legislação que precisam ser tratados de forma direcionada, na região pretendida, antes da escolha definitiva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. (1992). NBR 12235: Armazenamento de Resíduos Sólidos Perigosos.
- ABNT. (1996). NBR 8419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos - Procedimento. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT. (1997). NBR 13896: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, construção e operação. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT. (2004). NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação.
- ABNT. (2018). NBR 10157: Aterros de resíduos perigosos - Critérios para projeto, construção e operação.
- ABRELPE. (2020). Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil.
- Adewumi, J.R., Ejeh, O.J., Lasisi, K.H. & Ajibade, F.O. (2019). A gis-ahp-based approach in siting msw landfills in lokoja, nigeria. *SN Appl Sci*, 1(12).
- Ajibade, F.O., Olajire, O.O., Ajibade, T.F., Nwogwu, N.A., Lasisi, K.H., Alo, A.B., Owolabi, T.A. & Adewumi, J.R. (2019). Combining multicriteria decision analysis with gis for suitably siting landfills in a nigerian state. *Environmental and Sustainability Indicators*, 3–4: 100010.
- ANA. (2022). Catálogo de Metadados da ANA [WWW Document]. URL <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/home>
- Andrade, A. & Barbosa, N. (2015). Combinação do método ahp e sig na seleção de áreas com potenciais para a instalação de aterro sanitário: caso da ilha do fogo, na república de cabo verde. *Revista de Geografia (UFPE)*, 32(2): 248–266.
- Aquino, J.N. (2018). Uso de Técnicas de Modelagem e Análise Espacial na Seleção de Áreas Ideais para Construção de Aterros Sanitários em Regiões Metropolitanas Densamente Povoadas. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais.
- Arend dos Santos, J.A. (2019). Metodologia para Determinação de Campanha de Ensaios de Caracterização Geotécnica e Geofísica de Aterros de Resíduos Sólidos para fins de Remediação a partir do Estudo de Caso do Aterro Controlado do Jóquei Clube de Brasília. Monografia de Projeto Final, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- Ayaim, M.K., Fei-Baffoe, B., Sulemana, A., Miezah, K. & Adams, F. (2019). Potential sites for landfill development in a developing country: a case study of ga south municipality, ghana. *Heliyon*, 5(10): 1–8.

- Barakat, A., Hilali, A., Baghdadi, M. el & Touhami, F. (2017). Landfill site selection with gis-based multi-criteria evaluation technique. a case study in béni mellal-khouribga region, morocco. *Environ Earth Sci*, 76(12): 1–13.
- Braga, F. & Pereira, S. (2014). Escolha de áreas potenciais para implantação de aterro sanitário utilizando sig: estudo de caso. XI Seminário Nacional de Resíduos Sólidos. ABES, Brasília, 1–8.
- BRASIL. (1981). Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.
- BRASIL. (1998). Lei Complementar nº 94, de 19 de fevereiro de 1998. Autoriza o Poder Executivo a criar a Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno - RIDE e instituir o Programa Especial de Desenvolvimento do Entorno do Distrito Federal, e dá outras providências.
- 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. (2007). Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece 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.
- BRASIL. (2011). Decreto nº 7.469, de 4 de maio de 2011. Regulamenta a Lei Complementar nº 94, de 19 de fevereiro de 1998, que autoriza o Poder Executivo a criar a Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno - RIDE e instituir o Programa Especial de Desenvolvimento do Entorno do Distrito Federal.
- BRASIL. (2012). Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa.
- BRASIL. (2020). Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017.

- Camapum de Carvalho, J., Gitirana Júnior, G., Machado, S., Mascarenha, M. & Silva Filho, F. (2015). Solos não saturados no contexto geotécnico. Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, São Paulo.
- Câmara, G., Davis, C. & Monteiro, A.M.V. (2001). Introdução à Ciência da Geoinformação. Ministério da Ciência e Tecnologia - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- Carvalho, M.B. de, Junior, N.G., Lollo, J.A. de & Lima, C.G. da R. (2019). Uso de geotecnologias na seleção de áreas para implantação de aterros sanitários: abordagem composta aplicada ao município de mirandópolis, sp. Revista de Geociências, UNESP, 38(3): 717–729.
- Carvalho, R.R. de. (2017). Aplicação de Análise Multicritério em Ambiente de Geoprocessamento no Estudo de Áreas para Implantação de Aterros Sanitários – Área Sul da Ride/DF e Entorno. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília.
- Chabuk, A., Al-Ansari, N., Hussain, H.M., Knutsson, S., Pusch, R. & Laue, J. (2017). Combining gis applications and method of multi-criteria decision-making (ahp) for landfill siting in al-hashimiyah qadhaa, babylon, iraq. Sustainability, 9(1932): 1–17.
- CODEPLAN. (2013). A área de influência de Brasília e proposta de ampliação da Ride do DF e entorno. Companhia de Planejamento do Distrito Federal.
- CONAMA. (1986). Resolução CONAMA nº 1, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental.
- CONAMA. (1988). Resolução CONAMA nº 5, de 15 de junho de 1988. Dispõe sobre o licenciamento ambiental de obras de saneamento.
- CONAMA. (1995). Resolução CONAMA Nº 004, de 09 de outubro de 1995. Estabelece as Áreas de Segurança Aeroportuária - ASAs.
- CONAMA. (1997). Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental.
- CPRM. (2022). Serviço Geológico do Brasil - GeoSBG [WWW Document]. URL <http://www.cprm.gov.br>
- Dias, L. & Andrade, A. (2020). Uso de geoprocessamento para indicação de áreas favoráveis à construção de aterro sanitário no município de diamantina (mg). Rev. Geogr. Acadêmica, 14(2): 88–99.

- Diniz, M. dos S. (2019). Modelagem regional do fluxo de contaminantes inorgânicos sob as condições não saturada e transiente aplicada ao Aterro Controlado do Jóquei Clube de Brasília/ DF. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- Distrito Federal. (2014). Lei nº 5.418, de 24 de novembro de 2014. Dispõe sobre a Política Distrital de Resíduos Sólidos e dá outras providências.
- Distrito Federal. (2016). Lei nº 5.610, de 16 de fevereiro de 2016. Dispõe sobre a responsabilidade dos grandes geradores de resíduos sólidos e dá outras providências. Câmara Legislativa do Distrito Federal.
- Felicori, T. de C., Marques, E.A.G., Silva, T.Q., Porto, B.B., Bravin, T.C. & Santos, K.M.C. (2016). Identificação de áreas adequadas para a construção de aterros sanitários e usinas de triagem e compostagem na mesorregião da zona da mata, minas gerais. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 21(3): 547–560.
- Fernandes, R.T.V., Silveira, B.D.A. da & Oliveira, M.R. de. (2017). Planejamento urbano “open source”: um estudo de caso na identificação de áreas para implantação de aterro sanitário. *HOLOS*, 8: 126–144.
- Gonçalves, A.B. (2007). Modelação Geográfica de Problemas de Localização. Tese de Doutorado, Universidade Técnica de Lisboa.
- Governo de Brasília. (2018). Plano Distrital de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos.
- Governo do Distrito Federal. (2021). Geografia. Sobre Brasília [WWW Document]. URL <http://www.df.gov.br/333/>
- Governo do Estado de Goiás. (2022). Sistema Estadual de Geoinformação - SIEG Mapas [WWW Document]. URL <http://www.sieg.go.gov.br/siegmapas/mapa.php>
- Governo Federal. (2020). Plano Nacional de Resíduos Sólidos Ambiental.
- Güler, D. & Yomralıoğlu, T. (2017a). Alternative suitable landfill site selection using analytic hierarchy process and geographic information systems: a case study in istanbul. *Environ Earth Sci*, 76(678): 1–13.
- Güler, D. & Yomralıoğlu, T. (2017b). Alternative suitable landfill site selection using analytic hierarchy process and geographic information systems: a case study in istanbul. *Environ Earth Sci*, 76(20).
- Hempe, C. & Noguera, J.O.C. (2012). A educação ambiental e os resíduos sólidos urbanos. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental REGET/ UFSM*, 5(5): 682–695.

- IBGE. (2005). Altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro [WWW Document]. URL <https://bityli.com/F99w6>
- IBGE. (2020). Características gerais dos domicílios e dos moradores 2019 - PNAD Contínua. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua.
- IBGE. (2021a). Estimativa da População [WWW Document]. URL <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=resultados>
- IBGE. (2021b). Malha de Setores Censitários [WWW Document]. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. URL <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/26565-malhas-de-setores-censitarios-divisoes-intramunicipais.html?=&t=acesso-ao-produto>
- IBGE. (2022). Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação [WWW Document]. URL https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/index.html?utm_source=portal&utm_medium=popclock&utm_campaign=novo_popclock
- IDE/DF. (2022). Infraestrutura de Dados Espaciais do Distrito Federal. Geoportal/DF [WWW Document]. URL <https://www.geoportal.seduh.df.gov.br/geoportal/>
- Iglesias, M.S. (2021). Diagnóstico de implantação de aterro sanitário no município de veríssimo-mg. OBSERVATORIUM: Revista Eletrônica de Geografia, 12(01): 16–35.
- INMET. (2021). Instituto Nacional de Meteorologia- Portal [WWW Document]. URL <https://portal.inmet.gov.br>
- IPEA. (2014). Governança Metropolitana no Brasil. Caracterização e Quadros de Análise Comparativa da Governança Metropolitana no Brasil: arranjos institucionais de gestão metropolitana (Componente 1). Região Integrada de Desenvolvimento Econômico do Distrito Federal (Ride/DF) e Entorno.
- 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(100045): 1–15.
- Karimi, H., Amiri, S., Huang, J. & Karimi, A. (2019). Integrating gis and multi-criteria decision analysis for landfill site selection, case study: javanrood county in iran. International Journal of Environmental Science and Technology, 16(11): 7305–7318.

- Majid, M. & Mir, B.A. (2021). Landfill site selection using gis based multi criteria evaluation technique. a case study of srinagar city, india. *Environmental Challenges*, 3: 100031.
- MCTIC. (2020). Portaria nº 1.122, de 19 de março de 2020. Define as prioridades, no âmbito do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, no que se refere a projetos de pesquisa, de desenvolvimento de tecnologias e inovações, para o período 2020 a 2023. *Diário Oficial da União*.
- Medeiros, J. (2022). Identificação de Áreas Favoráveis a Implantação de Aterros Sanitários entre Municípios do Sertão Paraibano. *Dissertação de Mestrado*, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande/ PB.
- Miranda, E.E. de; (Coord). (2005). *Brasil em Relevo [WWW Document]*. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite. URL <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>
- Nascimento, V.F. (2012). Proposta para Indicação de Áreas para a Implantação de Aterro Sanitário no Município de Bauru-SP, Utilizando Análise Multi Critério de Decisão e Técnicas de Geoprocessamento. *Dissertação de Mestrado*, Universidade Estadual Paulista, Bauru.
- Nisiyama, F.L. (2019). Ferramenta computacional para avaliação de risco à saúde humana em áreas contaminadas - Caso de Estudo: Aterro Controlado do Jôquei Clube de Brasília/DF. *Dissertação de Mestrado*, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- Oliveira, A.A.A. de, Corrêa, S.D.S., Mariano, M.O.H., Bezerra, S.D.T.M. & Coelho, I.C.L. (2021). Métodos multicritérios para seleção de áreas destinadas a aterros sanitários. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica*, 14(1): 425–440.
- OpenStreetMap & Geofabrik GmbH. (2018). Download OpenStreetMap data for this region: Brazil [WWW Document]. URL <http://download.geofabrik.de/south-america/brazil.html>
- Osra, F.A. & Kajjumba, G.W. (2020). Landfill site selection in makkah using geographic information system and analytical hierarchy process. *Waste Management and Research*, 38(3): 245–253.
- Pinheiro, M.M.F. (2019). Análise Multicritério Aplicada na Definição de Áreas para Implantação de Aterro Sanitário Consorciado. *Dissertação de mestrado*, Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente.

- Piroli, E.L. (2010). Curso de Geografia Introdução ao Geoprocessamento. Universidade Estadual Paulista Campus Experimental de Ourinhos, Ourinhos, SP.
- Projeto MapBiomias. (2022). Coleção 7 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil [WWW Document]. URL <https://mapbiomas.org>
- Randazzo, L., Cusumano, A., Oliveri, G., di Stefano, P., Renda, P., Perricone, M. & Zarcone, G. (2018). Landfill site selection for municipal solid waste by using ahp method in gis environment: waste management decision-support in sicily (italy). *Detritus*, 2: 78–88.
- Rezaeisabzevar, Y., Bazargan, A. & Zohourian, B. (2020). Landfill site selection using multi criteria decision making: influential factors for comparing locations. *J Environ Sci (China)*.
- Rosa, R. (2013). Introdução ao Geoprocessamento. Uberlândia.
- Roy, B. (1996). *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Springer Science+Business Media Dordrecht, 12.
- Saaty, T.L. (1980). *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation*. McGraw-Hill International Book Co.
- Saaty, T.L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *Eur J Oper Res*, 48(1): 9–26.
- Samizava, T.M., Kaida, R.H., Imai, N.N. & Nunes, J.O.R. (2008). Sig aplicado à escolha de áreas potenciais para instalação de aterros sanitários no município de presidente prudente – sp. *Revista Brasileira de Cartografia*, 60(01): 43–55.
- dos Santos, H., Jacomine, P., dos Anjos, L., Oliveira, V., Lumbreras, J., Coelho, M., Almeida, J. & de Araújo Filho, J. (2018). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5ª ed. revista e ampliada, Brasília, DF, iL.
- SEMA. (2020). Risco de Perda de Solo por Erosão [WWW Document]. Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Distrito Federal. URL <https://sisdia.df.gov.br/home/repositorio-de-dados/>
- SISEMA. (2021). Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos [WWW Document]. Belo Horizonte: IDE-Sisema. URL idesisema.meioambiente.mg.gov.br
- SLU – DF. (2018). *Fechando o Ciclo: Relatório de encerramento da gestão 2015-2018*.
- SLU – DF. (2019). *SLU assina novos contratos de limpeza urbana e inicia o tratamento de chorume. Relatório Anual de 2019*.

- SLU – DF. (2020). Ampliação da coleta seletiva e impactos da pandemia nos serviços de limpeza urbana. Relatório Anual 2020.
- SLU – DF. (2022a). Serviço de Limpeza Urbana Relatório Jan-Jun 2022.
- SLU – DF. (2022b). Relatório Jan – Set 2022.
- SNIS. (2021). Diagnóstico Anual de Resíduos Sólidos 2021 (ano de referência 2020) [WWW Document]. URL <http://snis.gov.br/diagnosticos/residuos-solidos>
- Soares Rezende, P., Vieira Marques, D. & Antônio de Oliveira Professor Doutor, L. (2017). Construção de modelo e utilização do método de processo analítico hierárquico-ahp para mapeamento de risco a inundação em área urbana. *Caminhos de Geografia*, 18(61): 01–18.
- Souza, N.M. de. (1997). Cartografia Geotécnica do Distrito Federal - DF/ Brasil. Instituto Cultura Brasileiro em Berlim - ICBRA.
- Spigolon, L., Souza, N., Larocca, A., Giannotti, M., Russo, M. & Alonso, J. (2015). Seleção de áreas adequadas para a instalação de aterro sanitário utilizando sig e análise multicritério-estudo de caso: ugrhi 5 (piracicaba/capivari/jundiaí). *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*. INPE, João Pessoa-PB, Brasil, 1983–1990.
- Strava Corrêa, A.C.S. (2001). Avaliação da Capacidade de Confinamento dos Solos Tropicais: Uma Contribuição à Escolha de Novas Áreas para Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- United Nations. (2021). The 17 Goals [WWW Document]. URL <https://sdgs.un.org/goals>
- Universidade de Brasília. (2019). Plano Regional de Saneamento Básico Região Integrada de Desenvolvimento (RIDE) DF e Entorno.
- Voichicoski, M.S.R. & Morales, A.G.M. (2010). Percepção dos alunos sobre sua responsabilidade frente ao problema do lixo. *II Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia*, (182): 1–16.
- Yousefi, H., Javadzadeh, Z., Noorollahi, Y. & Yousefi-Sahzabi, A. (2018). Landfill site selection using a multi-criteria decision-making method: a case study of the salafcheghan special economic zone, iran. *Sustainability*, 10(4): 1107.