

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UNB**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA – FT**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL – ENC**

**APLICAÇÃO DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO EM AMBIENTE DE  
GEOPROCESSAMENTO NO ESTUDO DE ÁREAS PARA  
IMPLANTAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS – ÁREA SUL DA  
RIDE/DF E ENTORNO**

**RENEI ROCHA DE CARVALHO**

**ORIENTADOR: WAGNER SANTOS DE ALMEIDA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E  
RECURSOS HÍDRICOS**

**BRASÍLIA – DF**  
**JULHO DE 2017**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UNB  
FACULDADE DE TECNOLOGIA – FT  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL – ENC**

**APLICAÇÃO DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO EM AMBIENTE DE  
GEOPROCESSAMENTO NO ESTUDO DE ÁREAS PARA  
IMPLANTAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS – ÁREA SUL DA  
RIDE/DF E ENTORNO**

**RENEI ROCHA DE CARVALHO**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE  
BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A  
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E  
RECURSOS HÍDRICOS.**

**APROVADA POR:**

---

**Prof. Wagner Santos de Almeida, Dr. (ENC-UnB)  
(Orientador)**

---

**Prof. Ricardo Tezini Minoti, Dr. (ENC-UnB)  
(Examinador Interno)**

---

**Prof<sup>a</sup> Maria do Socorro Costa São Mateus, Dra. (UEFS)  
(Examinadora Externa)**

**BRASÍLIA/DF, 10 DE JULHO DE 2017.**

*Dedico aos meus pais Antônio Evonei e Maria do Socorro pelo apoio incondicional e incentivo, pela confiança e compreensão ao longo dessa etapa de formação, aos meus irmãos e minha avó por sempre acreditarem em mim.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor Wagner Santos de Almeida pela orientação, conselhos e incentivos nos momentos que mais precisei.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos (PTARH) pelos ensinamentos ao longo desse processo de formação.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pela concessão de bolsa.

À Fernanda Lemos e Angélica Barros pela amizade, companheirismo, ajudas e favores, e pelos momentos bons e ruins que compartilhamos até a conclusão do curso.

Aos amigos Anne Relvas, Gabriel Campos e Júnia Porto que me ajudaram em momentos que mais precisei.

Aos colegas Andressa Giacomazzo, Alana Mioranza e Matheus Maciel pelas ajudas prestadas no final do curso.

A minha família por todo apoio, incentivo e compreensão.

E por último, mas não menos importante, à minha namorada Nayra Moraes pela paciência e apoio.

## RESUMO

### **APLICAÇÃO DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO EM AMBIENTE DE GEOPROCESSAMENTO NO ESTUDO DE ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS – ÁREA SUL DA RIDE/DF E ENTORNO**

O crescimento populacional e as mudanças nos padrões de consumo são as principais atividades que têm contribuído para o aumento da geração dos Resíduos Sólidos Urbanos. Com o aumento significativo da geração de resíduos sólidos, estes por sua vez, na grande maioria das cidades brasileiras são dispostos de forma totalmente inadequada, isto é, o lixo é descartado em lixões a céu aberto, colocando em risco o meio ambiente como um todo. Tal situação é evidente na Região Integrada do Distrito Federal e Entorno (RIDE), região composta por 22 municípios e o DF, onde, com exceção de 3, todos dispõem seus resíduos sólidos em lixões e aterros controlados. Esta pesquisa buscou selecionar áreas adequadas para implantação de aterro sanitário regional no sul da Região Integrada do Distrito Federal e Entorno para auxiliar na gestão dos resíduos sólidos da região. Para isso, foram produzidos mapas temáticos de uso e cobertura do solo em escala multitemporal, definidos critérios que foram ponderados por oito especialistas mediante a aplicação de questionários; já os pesos dos critérios foram calculados utilizando a metodologia da Análise Hierárquica de Processos (AHP). Os critérios, representados como plano de dados geográficos foram padronizados para uma escala comum de 0 a 10, e, em seguida, foram agregados, por meio da Combinação Linear Ponderada (CLP), para produzir o mapa de áreas potenciais para aterros sanitários. Foi ainda realizada uma segunda consulta com quatro especialistas para validar e ponderar um novo grupo de critérios para selecionar uma das alternativas para implantação de aterro sanitário e, como estudo complementar, realizou-se a análise de temperatura da cobertura do solo no período seco e chuvoso e da taxa de infiltração de água no solo na área selecionada. O mapa resultante da Combinação Linear Ponderada foi reclassificado em cinco classes de aptidão (inadequada, mal adequada, moderadamente adequada, adequada e mais adequada) e ao analisar a classe mais adequada, verificou-se que o sul da RIDE/DF apresentou área de 62.363,25 ha para implantação de aterro sanitário. A alternativa 1, que foi selecionada, possui 1.059,52 ha de área, localizada a 27 km ao sul de Luziânia. As análises de sensibilidade realizadas apresentaram estabilidade do ordenamento das alternativas. Os resultados indicam que os objetivos propostos foram alcançados e o método AHP integrado ao SIG fornece um procedimento para localização precisa de áreas para aterros que devem satisfazer a todas as partes interessadas.

## **ABSTRACT**

### **APPLICATION OF MULTICRITERIA ANALYSIS IN A GEOPROCESSING ENVIRONMENT IN THE STUDY OF AREAS FOR THE IMPLANTATION OF SANITARY LANDFILLS - SOUTH AREA OF RIDE / DF AND AROUND**

The population growth and the change in the consumption patterns are the main factors that increased the production of Municipal Solid Waste (MSW). This major increase of the MSW production greatly worsen the Brazilian waste disposal problem, as the main final destination option has always been the open air dumpsites. This is the current situation of the waste disposal in the Integrated Region for the Development of the Federal District and Surroundings. The RIDE/DF is composed by 22 municipalities and the Federal District and 19 out of these 22 use either open air dumpsites or poorly maintained landfills as their final destination for the MSW. Using this diagnosis as the basis, this master's thesis aims to select areas where is possible to implant a landfill in the south of the RIDE/DF. To achieve this objective thematic maps of use and coverage of the territory were made, using a multitemporal scale and a criteria selected by interviewing eight specialists. The importance of each variable was defined using the Analytic Hierarchy Process (AHP). The criteria were represented as a plan of geographic data and were analyzed in a regular 0-10 scale. Then, the Weighted Linear Combination (WLC) method was used to aggregated the data and build a map to the potential suitable areas for the landfill installation. After that, four other specialists were interviewed, aiming to validate and give foundation to a new set of variables able to choose the best suitable area to install the landfill, in a technical point of view. To further consolidate the study, a soil profile study was conducted, gathering data on the temperature of the soil coverage in both drought and rainy seasons and the water infiltration rate in the selected area. The map created by the WLC methodology was, then, reassessed, and the areas were graded on a scale of five levels of suitability (Unsuitable, Poorly Suitable, Moderately Suitable, Suitable, Highly Suitable). The "Highly Suitable" area has 62,363.25 ha. The first alternative, chosen as the result of the specialists interview, has 1,059.52 ha, located at the south of the municipality of Luziânia. The sensitivity analyzes performed presented stability of the ordering of the alternatives. The results indicate that the proposed objectives have been achieved and the AHP method integrated to the GIS provides a procedure for accurate location of landfill sites that should convince all stakeholders.

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1. OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>4</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>5</b>
<b>3.1. RESÍDUOS SÓLIDOS .....</b>	<b>5</b>
3.1.1. Conceitos e classificações .....	5
3.1.2. Geração de Resíduos Sólidos Urbanos .....	6
3.1.3. Disposição final de resíduos sólidos urbanos .....	7
<b>3.2. GESTÃO INTEGRADA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS .....</b>	<b>12</b>
3.2.1. Modelos de gestão dos resíduos sólidos urbanos .....	12
3.2.2. Rotas tecnológicas para gestão dos RSU .....	13
3.2.3. Resíduos sólidos no contexto da RIDE/DF .....	15
<b>3.3. SELEÇÃO DE ÁREAS PARA ATERROS SANITÁRIOS .....</b>	<b>17</b>
3.3.1. Aspectos legais, técnicos e ambientais relacionados à aterros sanitários	18
3.3.2. Aplicação do SIG para a seleção de áreas potenciais para aterros.....	21
3.3.3. Integração da Análise Hierárquica de Processos (AHP) com o SIG .....	24
3.3.4. Métodos complementares para caracterização de áreas.....	27
3.3.4.1. Temperatura de cobertura do solo.....	28
3.3.4.2. Infiltração de água no solo .....	30
<b>4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>31</b>
<b>4.1. LOCALIZAÇÃO .....</b>	<b>31</b>
<b>4.2. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS .....</b>	<b>32</b>
<b>4.3. ASPECTOS DEMOGRÁFICOS .....</b>	<b>34</b>
<b>4.4. ASPECTOS DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS</b>	<b>36</b>
<b>5. METODOLOGIA .....</b>	<b>38</b>
<b>5.1. CONSTRUÇÃO DO BANCO DE DADOS .....</b>	<b>39</b>
<b>5.2. CLASSIFICAÇÃO TEMÁTICA DO USO E COBERTURA DO SOLO .....</b>	<b>40</b>
<b>5.3. LOCALIZAÇÃO DE ÁREAS POTENCIAIS PARA ATERROS</b>	<b>44</b>
<b>SANITÁRIOS.....</b>	<b>44</b>
5.3.1. Definição dos critérios para seleção de áreas.....	44
5.3.2. Padronização dos mapas .....	45
5.3.3. Ponderação dos critérios .....	46
5.3.4. Determinação das áreas potenciais para aterro sanitário .....	49
<b>5.4. SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS PARA ATERRO SANITÁRIO .....</b>	<b>50</b>
5.4.1. Definição de alternativas, critérios e estrutura hierárquica.....	50

5.4.2.	Determinação da Importância Relativa dos Critérios .....	54
5.4.3.	Obtenção dos Vetores de Prioridades e de Decisão .....	54
5.4.4.	Análise de temperatura da cobertura do solo e infiltração .....	56
5.4.4.1.	Determinação da temperatura de cobertura do solo .....	56
5.4.4.2.	Determinação da taxa de infiltração de água no solo .....	56
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	59
6.1.	CLASSIFICAÇÃO TEMÁTICA DO USO E COBERTURA DO SOLO .....	59
6.1.1.	Evolução temporal do uso e cobertura do solo .....	63
6.2.	LOCALIZAÇÃO DE ÁREAS POTENCIAIS PARA ATERROS SANITÁRIOS.....	66
6.2.1.	Padronização dos mapas .....	66
6.2.1.1.	Mapas de Fatores Ambientais .....	66
6.2.1.2.	Mapas de Fatores Econômicos.....	74
6.2.1.3.	Mapas de Fatores Sociais .....	76
6.2.2.	Ponderação dos critérios e fatores .....	78
6.2.2.1.	Ponderação dos critérios - segundo nível.....	79
6.2.2.2.	Ponderação dos fatores - terceiro nível.....	80
6.2.3.	Determinação das áreas potenciais para aterro sanitário .....	82
6.3.	SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS PARA ATERRO SANITÁRIO .....	88
6.3.1.	Alternativas para aterro sanitário .....	88
6.3.2.	Importância Relativa dos Critérios.....	94
6.3.3.	Vetores de Prioridades e de Decisão .....	94
6.3.4.	Temperatura da cobertura do solo .....	98
6.3.5.	Infiltração de água no solo.....	101
7.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	103
	REFERÊNCIAS .....	105
	APÊNDICES .....	112
	APÊNDICE A – TABELA DE FATORES ESCALONADOS.....	113
	APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DA PRIMEIRA CONSULTA .....	115
	APÊNDICE C – PARTICIPANTES DAS CONSULTAS .....	118
	APÊNDICE D – ESTIMATIVA DA POPULAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DO SUL DA RIDE .....	119
	APÊNDICE E – QUESTIONÁRIO DA SEGUNDA CONSULTA .....	122
	APÊNDICE F – QUADROS DE JULGAMENTOS INDIVIDUAIS.....	124



## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Evolução da geração de resíduos urbanos no Brasil .....	7
Figura 3.2 – Esquema ilustrativo de um lixão.....	8
Figura 3.3 – Esquema ilustrativo de aterro controlado.....	9
Figura 3.4 – Esquema ilustrativo de aterro sanitário.....	10
Figura 3.5 – Disposição final de RSU no Brasil. ....	11
Figura 3.6 - Disposição final de RSU no Centro-Oeste. ....	11
Figura 3.7 - Formas de disposição final de RSU na RIDE/DF e Entorno.....	16
Figura 3.8 - Processo de seleção de áreas para implantação de aterros.....	17
Figura 3.9 - Ilustração de uma operação de Combinação Linear Ponderada. ....	26
Figura 4.1 - Localização da área de estudo. ....	31
Figura 4.2 – Formação geológica de superfície.....	33
Figura 4.3 – Mapa pedológico do sul da RIDE/DF e Entorno .....	34
Figura 4.4 - Dinâmica da população dos municípios do Sul da RIDE/DF de 1992 a 2016	35
Figura 4.5 - Evolução da população dos municípios do Sul da RIDE/DF. ....	36
Figura 5.1 - Fluxograma das atividades desenvolvidas.....	38
Figura 5.2 - Critérios e fatores para localização de áreas para aterros sanitários.....	44
Figura 5.3 – Fluxograma de combinações dos fatores. ....	49
Figura 5.4 – Fluxograma das atividades da terceira etapa da pesquisa. ....	50
Figura 5.5 - Estrutura hierárquica do processo de análise.....	53
Figura 5.6 -Malha amostral usado nos ensaios de infiltração.....	57
Figura 6.1 - Mapa de Uso e Cobertura do Solo para o ano de 1986. ....	59
Figura 6.2 - Mapa de Uso e Cobertura do Solo para o ano de 1996. ....	60
Figura 6.3 - Mapa de Uso e Cobertura do Solo para o ano de 2006. ....	61
Figura 6.4 - Mapa de Uso e Cobertura do Solo para o ano de 2016. ....	62
Figura 6.5 - Evolução temporal do uso e cobertura do solo em 1986, 1996, 2006 e 2016.	65
Figura 6.6 - Mapa de distância de rios.....	67
Figura 6.7 - Distância de pontos de captação de água para abastecimento público.....	68
Figura 6.8 - Distância de linhas de falhas geológicas.....	69
Figura 6.9 - Mapa de declividade padronizado. ....	70
Figura 6.10 - Distância de aeroportos.....	71
Figura 6.11 - Distância de unidades de conservação.....	72
Figura 6.12 - Mapa de pedologia padronizado .....	73

Figura 6.13 - Distância de centros de geração de resíduos sólidos urbanos.....	74
Figura 6.14 - Distância de estradas.....	75
Figura 6.15 - Mapa de uso e cobertura do solo padronizado.....	76
Figura 6.16 - Distância de áreas urbanas.....	77
Figura 6.17 - Distâncias de povoados.....	78
Figura 6.18 - Combinação Linear Ponderada dos fatores ambientais. ....	83
Figura 6.19 - Combinação Linear Ponderada dos fatores econômicos. ....	84
Figura 6.20 – Combinação Linear Ponderada dos fatores sociais. ....	85
Figura 6.21 - Mapa de áreas potenciais para aterros sanitários no sul da RIDE/DE. ....	86
Figura 6.22 – Áreas mínimas necessárias para aterro sanitário no sul da RIDE/DF.....	89
Figura 6.23 – Alternativas para implantação de aterro sanitário no sul da RIDE/DF. ....	90
Figura 6.24 – Imagem do satélite Landsat 8.....	92
Figura 6.25 – Alternativas e uso e cobertura do solo. ....	93
Figura 6.26 – Importância das alternativas em relação aos critérios: (a) geração de resíduos sólidos, (b) vida útil do aterro, (c) custo de transporte e (d) condições de acesso. ....	95
Figura 6.27 – Vetor de decisão das alternativas de áreas para aterro sanitário. ....	95
Figura 6.28 - Sensibilidade no ordenamento das alternativas no que diz respeito às mudanças de peso do critério: a) Geração de RSU, b) Vida útil do aterro, c) Custo de transporte e d) Condições de acesso. ....	96
Figura 6.29 – Tipos de uso do solo na área selecionada: a) solo exposto devido ao preparo para a agricultura, b) pastagem, c) cultura de algodão e d) cultura de milho.....	97
Figura 6.30 - a) e b) composição colorida das imagens para os anos de 2015 e 2016, c) e d) temperatura de cobertura do solo para os anos de 2015 e 2016, respectivamente. ....	99
Figura 6.31 – Ensaios de infiltração: a) solo preparado para agricultura, b) cultura de algodão e c) cultura de milho. ....	101

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Critérios para locação de aterros sanitários conforme diferentes autores. ....	21
Tabela 3.2 – Escala fundamental de Saaty para comparação pareada (Saaty, 1980). ....	25
Tabela 4.1 – Geração de resíduos sólidos urbanos nos municípios do Sul da RIDE/DF para o ano de 2015 (RIDE/DF, 2016). ....	37
Tabela 5.1 - Base de dados cartográficos. ....	39
Tabela 5.2 - Amostras de classes de uso e cobertura do solo e suas descrições. ....	42
Tabela 6.1 - Comparação do uso e cobertura do solo entre os anos de 1986 e 2016. ....	63
Tabela 6.2 - Matriz global de julgamentos dos critérios do segundo nível. ....	79
Tabela 6.3 - Matriz normalizada e pesos dos critérios do segundo nível. ....	79
Tabela 6.4 – Matriz global dos julgamentos e pesos dos fatores ambientais. ....	81
Tabela 6.5 - Matriz global dos julgamentos e pesos dos fatores econômicos. ....	81
Tabela 6.6 - Matriz global dos julgamentos e pesos dos fatores sociais. ....	82
Tabela 6.7 – Áreas potenciais para aterro sanitário no sul da RIDE/DF. ....	87
Tabela 6.8 – Estimativa da população e da geração de RSU no sul da RIDE/DF. ....	88
Tabela 6.9 – Área, vida útil, distância do centro de massa de resíduos da região e porcentagem de pavimentação das vias de acesso ....	91
Tabela 6.10 - Distância das alternativas às sedes dos municípios. ....	91
Tabela 6.11 – Porcentagens das classes de uso o cobertura do solo das alternativas. ....	93
Tabela 6.12 - Matriz global de julgamento dos especialistas e peso dos critérios. ....	94
Tabela 6.13 - Taxa de infiltração em diferentes tipos de uso do solo. ....	102

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação (5.1).....	41
Equação (5.2).....	47
Equação (5.3).....	47
Equação (5.4).....	47
Equação (5.5).....	48
Equação (5.6).....	48
Equação (5.7).....	48
Equação (5.8).....	50
Equação (5.9).....	51
Equação (5.10).....	51
Equação (5.11).....	52
Equação (5.12).....	52
Equação (5.13).....	55
Equação (5.14).....	56
Equação (5.15).....	56
Equação (5.16).....	57
Equação (5.17).....	58

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
AIJ	Agregação Individual de Julgamentos
ASA	Área de Segurança Aeroportuária
CLP	Combinação Linear Ponderada
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CORSAP	Consórcio de Manejo dos Resíduos Sólidos e das Águas Pluviais da Região Integrada do Distrito Federal e de Goiás
EIA/RIMA	Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental
GIRS	Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto de Pesquisas Espaciais
IPT/CEMPRE	Instituto de Pesquisas Tecnológicas/Compromisso Empresarial para Reciclagem
PMGIRS	Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RIDE/DF	Região Integrada do Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno.
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SEMARH	Secretária de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SIEG	Sistema Estadual de Geoinformação
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SLU/DF	Serviço de Limpeza Urbana do Distrito Federal
SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas

# 1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e as mudanças nos padrões de consumo são as principais atividades que têm contribuído para o aumento da geração dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Sendo assim, a problemática sobre a geração dos RSU e sua disposição final vem crescendo de forma gradativa e ganha, portanto, cada vez mais espaço nas discussões técnicas e nas pesquisas da área de saneamento. As mudanças nos padrões de consumo e o aumento de poder aquisitivo das pessoas, que passaram a consumir mais, refletem no aumento significativo das quantidades de resíduos sólidos produzidos. Isto posto, o problema tende a se agravar, à medida que a população urbana e a quantidade de resíduos *per capita* gerada diariamente, aumenta significativamente as taxas de produção de resíduos sólidos urbanos, enquanto, diminuem as alternativas de áreas para disposição desses resíduos. Soma-se a isso, o fato de que na grande maioria das cidades brasileiras a disposição final dos resíduos sólidos urbanos é totalmente inadequada, isto é, os RSU estão sendo descartado em lixões a céu aberto, colocando em risco os ambientes naturais.

De acordo com o Diagnóstico do Manejo dos Resíduos Sólidos Urbanos do SNIS (2017), no Brasil, em 2015, foram coletados cerca de 62,5 milhões de toneladas de resíduos sólidos, onde apenas 66,8% desse total foram depositados adequadamente em aterros sanitários. Sendo assim, os 33,2% restantes foram encaminhados para lixões e aterros controlados que, do ponto de vista ambiental, pouco se diferem, visto que ambos não possuem critérios técnicos ou medidas necessárias para a redução dos impactos negativos ao meio ambiente. Ainda segundo o SNIS, no Centro-Oeste brasileiro, 67,2% dos resíduos coletados foram depositados de forma irregular, em aterros controlados e lixões, apresentando-se, portanto, como a região de maior índice de disposição inadequada dos resíduos sólidos.

No Centro-Oeste brasileiro, a problemática dos RSU também está presente nos municípios da Região Integrada do Desenvolvimento Econômico do Distrito Federal e Entorno (RIDE/DF). As RIDEs são as regiões metropolitanas brasileiras que se situam em mais de uma unidade federativa, criadas por legislação federal específica, que delimita os municípios que a integram e fixa as competências assumidas pelo colegiado dos mesmos. A RIDE/DF e Entorno é composta por 22 municípios e o Distrito Federal, onde elevada parcela dos resíduos coletados são dispostos em lixões e aterros controlados. Esse fato pode ser justificado pela existência de apenas três aterros sanitários licenciados na região, o aterro sanitário de Planaltina de Goiás, de Cidade Ocidental e o aterro sanitário de Brasília, que entrou em operação em janeiro de 2017.

Sendo assim, é possível observar que o problema do manejo dos resíduos sólidos afeta no Brasil, principalmente, os municípios de pequeno porte que, devido aos recursos escassos, e ao mesmo tempo a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010) impõe eles uma série de atribuições que, os mesmos ainda não têm condições de administrarem de maneira independente a questão do manejo dos RSU. Existe, ainda, um agravante, que é a carência de estudos que indiquem as melhores configurações para uma possível solução compartilhada, como é o caso observado no sul da RIDE/DF. Isso posto, torna-se cada vez mais necessária ação conjunta entre municípios circunvizinhos, sendo fundamental que se realizem estudos de viabilidade técnica, econômica e ambiental para uma solução compartilhada do manejo dos resíduos sólidos, incluindo estudos da trajetória dos RSU desde a geração até a disposição final adequada.

Porém, mesmo adotando, simultaneamente, todas as iniciativas citadas anteriormente, ainda permanece a necessidade de se dispor adequadamente os RSU, haja vista que a disposição final pode causar diversos danos ao homem e ao meio ambiente, principalmente se o acúmulo dos resíduos sólidos ocorrerem de maneira inadequada, isto é, a céu aberto, posto que polui o solo, a água e o ar. No processo para instalação de um aterro sanitário, uma das principais dificuldades enfrentadas é, sem dúvida, a escolha de uma área que reúna condições técnicas, econômicas e ambientais favoráveis.

Para que possa reunir as condições técnicas, econômicas e ambientais favoráveis em estudos de áreas para aterros sanitários, é importante a realização de estudos científicos como este para seleção e aplicação dos melhores critério disponíveis para seleção de áreas para aterros sanitários, principalmente numa área que apresenta muitos problemas de corrupção na gestão. Para isso, utilizam-se de procedimentos com auxílio dos algoritmos de geoprocessamento presentes em Sistemas de Informações Geográficas (SIG), que permitem a realização de avaliações complexas em grandes extensões territoriais, que são aplicados na escolha de áreas para aterros sanitários, reduzindo tempo e custos. As análises realizadas por meio dos SIGs integrado a análises multicritério permitem agrupar conjuntos de dados geográficos e outros critérios para produzir mapas com áreas potenciais para aterros sanitários, além da aplicação em estudos complementares para auxiliar em diferentes fases do empreendimento e o monitoramento do mesmo.

Diante dessa realidade, motivou-se realizar um estudo científico, baseado na utilização dos melhores critérios ambiental, econômico e social possíveis para a seleção de áreas para a

implantação de aterro sanitário no sul da RIDE/DF e Entorno, com o desenvolvimento de metodologia de multicritério integrada aos Sistemas de Informações Geográficas.

Ante o exposto, a estrutura desta dissertação é composta por 7 capítulos: o capítulo 1 apresenta a introdução; o capítulo 2 apresenta os objetivos da pesquisa; o capítulo 3 aborda os conceitos de classificação dos resíduos sólidos, gestão integrada e os métodos usados para seleção de áreas para aterros sanitários; o capítulo 4 descreve a área de estudo; o capítulo 5 apresenta a metodologia desenvolvida na pesquisa, com vistas a determinar as áreas potenciais para a disposição final de resíduos sólidos, seguido pela seleção da melhor área e estudo complementar de caracterização da mesma; o capítulo 6 apresenta os resultados e discussão e, o capítulo 7, apresenta a conclusão da pesquisa, bem como as recomendações para futuros trabalhos de pesquisa na mesma área.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

- Desenvolvimento de proposta metodológica utilizando análise multicritério e geoprocessamento para análise de áreas para implantação de aterro sanitário no sul da RIDE/DF e Entorno.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analisar a evolução temporal do uso e cobertura do solo na Região Sul da RIDE/DF em um período de trinta anos.
- Estabelecer critérios para determinação, em geral, de áreas potenciais para implantação de aterros sanitários.
- Estabelecer critérios para seleção de alternativas para aterro sanitário consorciado no sul da RIDE/DF.
- Analisar a variação temporal e espacial da temperatura de cobertura do solo e da taxa de infiltração de água no solo na área selecionada.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão abordados os aspectos conceituais e os princípios relacionados aos seguintes temas: resíduos sólidos, gestão integrada dos resíduos sólidos, apresentação da RIDE/DF e Entorno e o Consórcio Público de Manejo dos Resíduos Sólidos e das Águas Pluviais da Região Integrada do Distrito Federal e de Goiás (CORSAP), e a seleção de áreas para aterros sanitários.

#### 3.1. RESÍDUOS SÓLIDOS

##### 3.1.1. Conceitos e classificações

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) define, no âmbito da Lei N° 12.305 de 2010, como Resíduo Sólido o material, a substância, o objeto ou o bem descartado, resultante de atividades humanas em sociedade, cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, também sendo inclusos os gases contidos em recipientes e os líquidos, cujas particularidades os tornem inviáveis ao seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam, para isso, soluções técnicas ou economicamente viáveis em face da melhor tecnologia disponível (Brasil, 2010).

Nesse projeto de pesquisa, em face à particular preocupação com a poluição ambiental e com os riscos à saúde pública, são destacadas as classificações dos resíduos sólidos quanto à sua origem e quanto a sua periculosidade. No que tange à classificação dos resíduos sólidos quanto a sua origem, segundo a Norma Técnica ABNT NBR 10.004 (2004), apresenta-se as seguintes categorias:

**a) Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)** – Provenientes de residências, estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços de varrição e limpeza de vias, logradouros públicos e sistemas de drenagem urbana e entulhos da construção civil e similares;

**b) Resíduos Industriais** - Provenientes de atividades de pesquisa e de transformação de matérias-primas e substâncias orgânicas ou inorgânicas em novos produtos, por processos específicos, bem como os provenientes das atividades de mineração;

**c) Resíduos de Serviços de Transporte** - Decorrentes da atividade de transporte de cargas e os provenientes de portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários, postos de fronteira e estruturas similares.

**d) Resíduos de Serviços de Saúde** - Provenientes de atividades de natureza médico-assistencial, de centros de pesquisa e de desenvolvimento e experimentação na área de saúde;

**e) Resíduos Especiais** - Decorrentes do meio urbano e rural que, pelo seu volume ou por suas propriedades intrínsecas, exigem sistemas especiais para acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e disposição final, de forma a evitar danos ao meio ambiente.

A classificação quanto à periculosidade, de acordo com a Norma Técnica ABNT NBR 10.004 (2004), considera os riscos potenciais que os resíduos sólidos oferecem ao meio ambiente e à saúde pública, classificando os resíduos sólidos da seguinte forma:

**a) Resíduos Classe I (Perigosos)** - Possuem uma ou mais das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Apresentam risco à saúde pública, provocando ou acentuando, de forma significativa, um aumento de mortalidade ou a incidência de doenças.

**b) Resíduos Classe II (Não perigosos):**

- **Resíduos Classe II A (Não inertes)** - Podem ter características como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água, porém não se enquadra como resíduo classe I e nem como classe II B. São exemplos de classe II A os resíduos sólidos domésticos.

- **Resíduos classe II B (Inertes)** – Não têm nenhum dos seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água.

### **3.1.2. Geração de Resíduos Sólidos Urbanos**

O crescente aumento na quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados está diretamente relacionado com o crescimento populacional e com a melhoria na qualidade de vida das pessoas, esta última, proporcionada pela aquisição de rendas maiores, o que incita ao maior consumo de produtos e, como consequência, tem-se maior produção de resíduos sólidos. A Figura 3.1 apresenta a evolução da geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil, do ano de 2009 a 2015.

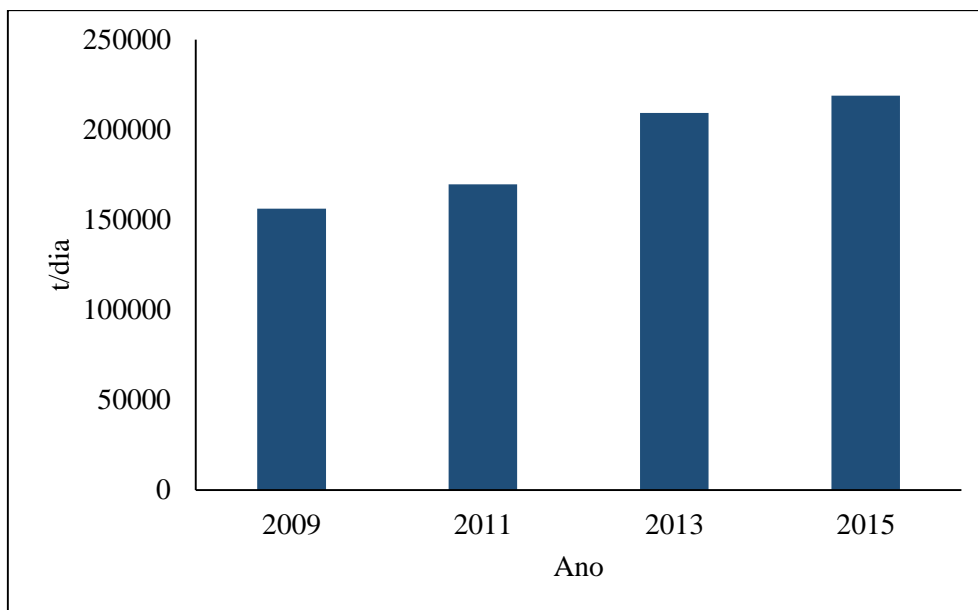


Figura 3.1 – Evolução da geração de resíduos urbanos no Brasil (ABRELPE, 2015)

Observa-se na Figura 3.1 que a geração de resíduos sólidos urbanos apresentou aumento do ano de 2009 para 2015, em cerca de 28,64% (ABRELPE, 2015), sendo que este aumento deve-se ao consumo cotidiano de produtos industrializados, que ocorre com tal intensidade que não é possível conceber qualquer planejamento do espaço urbano municipal, sem considerar os problemas gerados pelos RSU, desde a etapa de sua geração até a sua disposição final, o que nos municípios brasileiros são destinados, geralmente, em lixões a céu aberto (IBGE, 2008). Na Região Centro-Oeste o aumento se deu de forma semelhante à média de geração nacional, sendo registrado um crescimento de 28,61%.

### 3.1.3. Disposição final de resíduos sólidos urbanos

Os problemas gerados pela disposição final inadequada dos resíduos sólidos urbanos tais como a deposição em lixões, às margens de ruas ou de cursos d'água, podem provocar imensuráveis impactos ambientais negativos como, por exemplo: contaminação e assoreamento de corpos d'água, enchentes, proliferação de vetores transmissores de doenças, dentre outros. Soma-se também a esses problemas, a poluição visual, a graveolência e a contaminação do meio ambiente (Mucelin e Bellini, 2008).

Segundo Melo (2008), a solução para os problemas de disposição inadequada dos RSU demanda recursos financeiros consideráveis que, muitas vezes, os municípios não possuem, além da necessidade da existência de corpo técnico qualificado no seu gerenciamento. A

destinação final correta dos RSU é um aspecto que exige o envolvimento e o empenho de diferentes setores da sociedade, sob o ponto de vista técnico, social e político.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, em seu Artigo Terceiro, Inciso VIII, da Lei nº 12.305/2010 estabelece que na disposição final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos, deve-se incluir a distribuição ordenada de rejeitos em aterros sanitários, observando normas operacionais específicas, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos. Sendo assim, a coleta, o transporte, o tratamento e a disposição final dos resíduos sólidos urbanos estão sob a responsabilidade das prefeituras municipais. De acordo com Guimarães (2000), existem três diferentes tipos de disposição final dos resíduos sólidos mais adotados pelos municípios brasileiros, que são citados a seguir.

- **Lixão**

De acordo com o IPT/CEMPRE (2000), o lixão conforme representado na Figura 3.2 é uma forma inadequada de disposição final de resíduos sólidos urbanos, caracterizada pelo simples lançamento sobre o solo, sem quaisquer medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública.

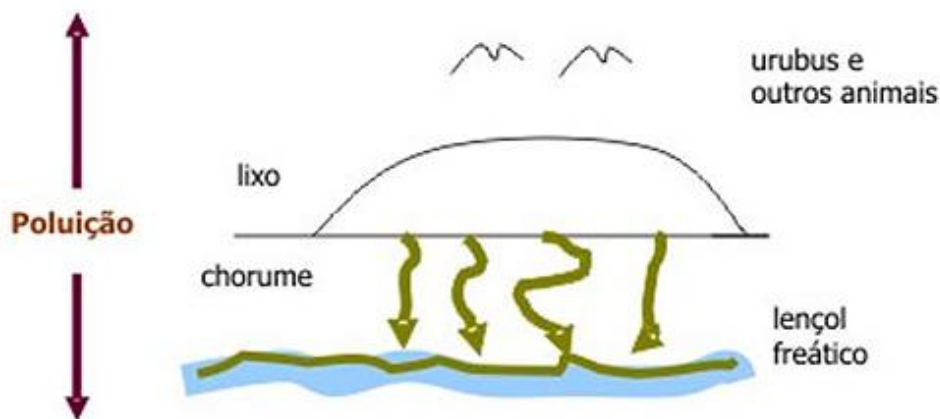


Figura 3.2 – Esquema ilustrativo de um lixão (Oliveira, 2010).

Nesta prática, os RSU depositados em lixões acarretam problemas à saúde pública e de contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas por meio da percolação de “chorumes”.

- **Aterro Controlado**

De acordo com a Norma Técnica ABNT NBR 8849 (1985), o aterro controlado conforme apresentado na Figura 3.3 é uma técnica de disposição de resíduos sólidos no solo preparado e recobrimo-os com uma camada de material inerte ao final de cada jornada de trabalho.



Figura 3.3 – Esquema ilustrativo de aterro controlado (Oliveira, 2010).

Trata-se de uma forma de disposição de resíduos sólidos sem impermeabilização da base no solo e de sistemas de coleta e tratamento de percolato e de biogás, o que a caracteriza como inadequada, por não promover a proteção ao solo, das águas dos lençóis freáticos e ao ar (IPT /CEMPRE, 2000).

- **Aterro Sanitário**

Os aterros sanitários, conforme apresentado na Figura 3.4, segundo a Norma Técnica ABNT NBR 8419 (1995), são técnicas de disposição de RSU no solo que utilizam princípios de engenharia geotécnica para confinar os resíduos sólidos na menor área possível, e reduzi-los ao menor volume permissível, minimizando, assim, os impactos ambientais decorrentes.

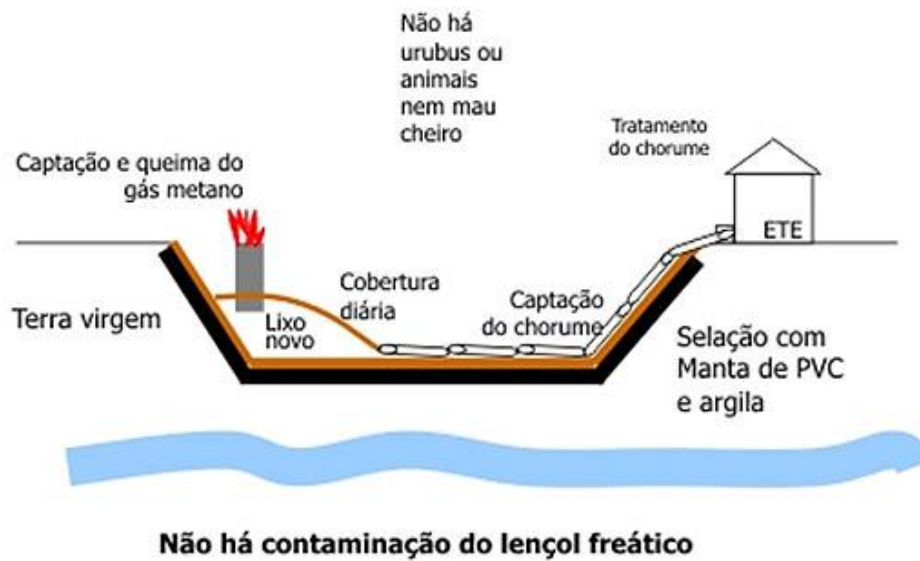


Figura 3.4 – Esquema ilustrativo de aterro sanitário (IPT/CEMPRE, 2000).

Nessa técnica, os resíduos devem ser cobertos com uma camada de solo na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário, havendo ainda a drenagem dos gases e do chorume, produzidos no processo de decomposição dos resíduos, a drenagem de águas pluviais e o encaminhamento do chorume drenado para estação de tratamento de efluentes. Este é o método mais adequado para a disposição final de resíduos sólidos no solo por apresentar maior controle dos gases e do chorume, porém é o método que exige maior conhecimento técnico e de maior custo econômico (ABNT NBR 8419, 1995).

O Brasil possui, atualmente, 5.570 municípios, e de acordo com o SNIS (2017), cerca de 48,4% dos municípios, em 2015, ainda depositavam os RSU em lixões. Vele lembrar que, com o estabelecimento da PNRS em 2010, os municípios brasileiros começaram a se organizar para atender os requisitos da Lei no que se refere principalmente à elaboração do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) e a extinção dos lixões. Porém, sete anos após a criação da Lei, quase metade dos municípios brasileiros ainda usam os lixões como local de disposição final de RSU. Apesar da maioria dos municípios brasileiros usarem depósitos inadequados, mais da metade dos resíduos coletados já são dispostos em locais adequados, estabelecido pela PNRS. A Figura 3.5 apresenta as porcentagens sobre a disposição final de resíduos sólidos, segundo SNIS (2017), no Brasil para o ano de 2015.

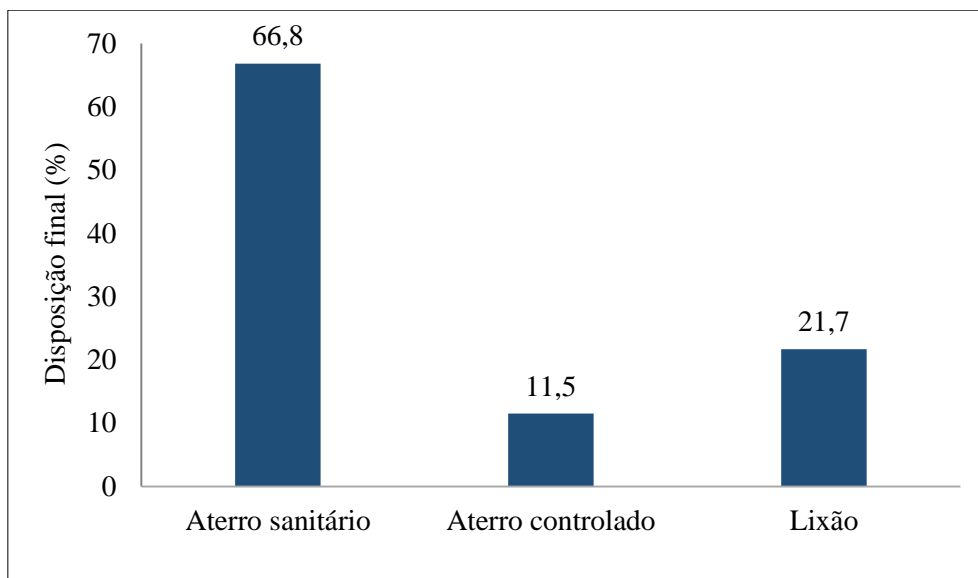


Figura 3.5 – Disposição final de RSU no Brasil (SNIS, 2017).

De acordo com a Figura 3.5, pode-se observar que mais da metade da massa de resíduos sólidos coletados (66,8%) já são dispostos em aterros sanitários, 11,5% são encaminhados para aterros controlados e 21,7% ainda são depositados em lixões a céu aberto.

Na Região Centro-Oeste, os problemas relacionados aos resíduos sólidos, principalmente sobre a disposição final, é ainda mais crítica quando comparada com a média nacional. Essa situação pode ser justificada pelo fato da Região possuir, em sua grande parte, aterros controlados e lixões como local de descarte dos resíduos sólidos. A Figura 3.6 apresenta as formas de disposição final dos Resíduos Sólidos Urbanos no Centro-Oeste do Brasil, no ano de 2015, em toneladas por dia.

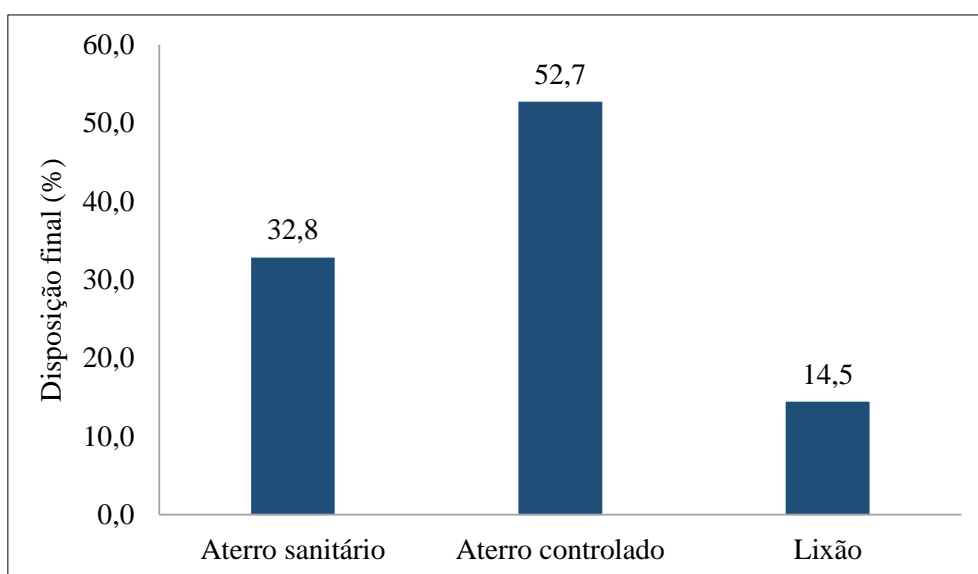


Figura 3.6 - Disposição final de RSU no Centro-Oeste (SNIS, 2017).



Observa-se na Figura 3.6, que cerca de 67,2% dos resíduos coletados em 2015, na região Centro-Oeste, foram dispostos em lixões e aterros controlados. Dessa forma, apenas 32,8% do total de RSU coletados, no Centro-Oeste brasileiro, foram dispostos adequadamente em aterros sanitários.

### **3.2. GESTÃO INTEGRADA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

A produção de RSU é um fenômeno inevitável que ocorre diariamente, sendo que sua quantidade e composição depende do tamanho da população e do seu desenvolvimento econômico. Os sistemas de limpeza urbana, de competência municipal, devem afastar os RSU das populações e dar um destino ambiental adequado ao mesmo. Uma das formas de realizar esse serviço é gerenciar o manejo dos resíduos sólidos de forma integrada com os diversos setores da sociedade.

A Gestão Integrada de Resíduos Sólidos - GIRS, segundo a PNRS, configura-se como o conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável (Brasil, 2010), considerando a ampla participação e intercooperação de todos os atores sociais, envolvendo Governos, iniciativa privada, ONGs, catadores, a comunidade em si, geradores e responsáveis pelos RSU (Mesquita Júnior, 2007).

A gestão de resíduos sólidos urbanos envolve vários processos, que incluem a redução das quantidades de resíduos gerados, a reutilização, a reciclagem e a recuperação de energia, bem como a incineração e aterramento de resíduos em aterros sanitários (Moeinaddini *et al.*, 2010).

#### **3.2.1. Modelos de gestão dos resíduos sólidos urbanos**

Os órgãos municipais no Brasil que estão envolvidos com as questões dos resíduos sólidos urbanos adotaram dois principais modelos: o de gestão político-administrativo e outro de gerenciamento dos resíduos (manejo tecnológico). É fundamental que os municípios adotem modelos de acordo com sua realidade, o que envolve os seus arranjos institucionais, seus instrumentos legais e seus mecanismos de controle, de forma a prover o suporte legal e institucional ao sistema como um todo (Lopes, 2008).

Segundo Lima (2003), a maioria dos municípios brasileiros adotam o modelo convencional de gestão de resíduos sólidos, no qual qualquer município que presta serviço de limpeza pública, atua exclusivamente dentro do seu território, sendo esse município o responsável por todas as etapas envolvidas no processo de manejo dos resíduos sólidos, desde a coleta até a disposição final. Por outro lado, têm-se o modelo de gestão compartilhada de resíduos sólidos, no qual muitos municípios vêm aderindo como forma de divisão de custos. O modelo compartilhado é realizado entre aqueles municípios que desejam se unir na utilização de uma mesma tecnologia para dar uma correta destinação aos seus RSU, mas que não querem se consorciar, podem fazê-lo através de sistemas de compartilhamento (ou convênio de cooperação) entre entes federados. Assim como nos consórcios, a cooperação compartilhada busca a concretização de objetivos de interesse comum (Colvero, 2014).

Os serviços compartilhados, nesse modelo, trazem vários benefícios para os municípios envolvidos como, por exemplo, a redução nos custos de manejo e a necessidade de números reduzidos de locais para a disposição final dos RSU. O manejo dos RSU para ter boa eficiência em um determinado município ou região, além de infraestrutura adequada, necessita de um bom planejamento de todo o sistema envolvido no manejo, que vai desde a geração até a disposição final dos resíduos em aterros, incluindo a análise por meio de rotas tecnológicas em cada uma dessas etapas.

### **3.2.2. Rotas tecnológicas para gestão dos RSU**

Nos últimos anos, avanços importantes nas legislações institucionais e ambientais têm pressionado os órgãos governamentais a tomarem consciência da atual situação dos sistemas de manejo dos resíduos sólidos. Tendo em conta os problemas associados com os custos de transporte, disposição final e as questões que surgem da gestão inadequada de resíduos sólidos urbanos. Sendo assim, é importante a integração das etapas envolvidas na gestão dos resíduos sólidos, que possibilite a otimização de todo o sistema para reduzir os custos envolvidos.

Muitos estudos têm sido realizados com o objetivo de otimizar todo o sistema de gestão dos RSU, como por exemplo, Zamorano *et al.* (2009) utilizaram a tecnologia de geoprocessamento implementada em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para a otimização de rotas de transporte de resíduos sólidos, do número de contentores, das distâncias de percursos de transporte, do tempo envolvido na coleta e no transporte de resíduos, dos custos operacionais relacionados, tais como custos de pessoal, consumo de combustível e manutenção de veículos.

Arribas *et al.* (2010) citam que não são muitos os estudos realizados sobre alternativas que minimizem os custos de manejo dos RSU, onde sua implementação, na maioria das vezes, é baseada nas experiências práticas e métodos intuitivos. Estes métodos resultam em práticas ineficientes e elevados custos na gestão de resíduos sólidos municipais. Já El-Hamouz (2008) projetou um sistema de gestão de coleta de RSU que minimiza os custos e sugere frequências de coleta, de horários, realocação de contentores, além da minimização das rotas dos veículos.

De acordo com Martins *et al.* (2014), as técnicas de otimização de rotas tornam-se essenciais na determinação do planejamento que visam minimizar os custos de manejo dos RSU, na busca de diferentes soluções, a fim de minimizar os possíveis custos que, na maioria das vezes, são elevados e de complexa aplicação, necessitando de auxílio de *softwares*. Melo (2001) faz uma comparação de vários *softwares* em sistemas de geoprocessamento que foram utilizados na resolução dos problemas de logística para a escolha de rotas para implantação de aterros. Por sua vez, Khan e Samadder (2014) propuseram uma otimização de rotas, utilizando as ferramentas de geoprocessamento, por meio da criação de uma rede de estradas tridimensionais, em que era possível o cálculo do consumo de combustível ao longo de toda a rede de estradas, bem como a otimização da coleta de RSU para o consumo mínimo de combustível.

Para reduzir os custos de transporte e aumentar a eficiência da gestão dos resíduos sólidos são realizados estudos de otimização de rotas para comparação de custos, em situações com e sem Unidades de Transferências, a fim de se obter o menor custo envolvido. As unidades de transferências são usadas geralmente quando há grandes distâncias entre os centros de geração de resíduos e os aterros. Para a implantação de uma unidade de transferência num determinado município é necessário, primeiramente, realizar um estudo de viabilidade técnica e econômica.

Jucá (2016) realizou um estudo das rotas tecnológicas para o Distrito Federal a fim de propor alternativas para aumentar a eficiência dos Serviços de Limpeza Urbana e Manejo de Resíduos Sólidos, considerando também, a gestão consorciada com os municípios do entorno no âmbito do CORSAP e concluiu que, para aumentar a citada eficiência, é necessária a utilização de novas unidades de transbordo e de tratamento, além da implantação de novas tecnologias para auxiliar no manejo dos resíduos sólidos, pois sistemas de manejo dos resíduos mal projetados apresentam enormes impactos nos custos de trabalho, operacionais e de transporte no sistema de limpeza pública.

Dessa forma, a gestão dos resíduos sólidos, dependendo do modelo a ser adotado, pode ultrapassar os limites do município e envolver toda uma região metropolitana ou até mesmo uma Região Integrada de Desenvolvimento Econômico, que abrange mais de uma unidade da Federação, como é o caso da RIDE/DF que é composta pelos Estados de Goiás, de Minas Gerais e o Distrito Federal, onde o CORSAP está implantando o sistema regional de gestão por meio da elaboração do Plano Regional de Gestão dos Resíduos Sólidos.

### **3.2.3. Resíduos sólidos no contexto da RIDE/DF**

A Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno – RIDE/DF - foi criada pela Lei Complementar nº. 94/88, regulamentada pelo Decreto nº. 2.710/99, e alterada pelo Decreto nº. 3.445/2000 (Silva, 2006), com objetivo amenizar as disparidades existentes em serviços de saneamento básico oferecidos pelo Distrito Federal e os municípios do seu entorno, proteção ao meio ambiente e controle da poluição ambiental, educação e cultura, uso, parcelamento e ocupação do solo, dentre outros . A RIDE/DF é composta por 19 município de Goiás, 3 de Minas Gerais e o Distrito Federal, municípios esses que apresentam características em comum e relações de interdependência com o Distrito Federal em si.

De acordo com Brasil (2011), a RIDE/DF tem como objetivo articular e harmonizar as ações administrativas da União, dos Estados e dos municípios para a promoção de projetos que visem à dinamização econômica de territórios de baixo desenvolvimento e, assim, conseguir prioridade no recebimento de recursos públicos destinados à promoção de iniciativas e investimentos que reduzam as desigualdades sociais e estejam de acordo com o interesse local pactuado entre os entes participantes.

No que se refere aos resíduos sólidos, de acordo com o Diagnóstico do Saneamento Básico da RIDE/DF de 2015, foram coletados, em 2015, cerca de 6.191 toneladas de RSU por dia, e quase 2,3 milhões de toneladas por ano, os quais seguiram para aterros controlados, lixões e aterros sanitários respectivamente, por ordem de volume. A Figura 3.7 apresenta as formas de disposição final de resíduos sólidos nos municípios da RIDE/DF e Entorno.

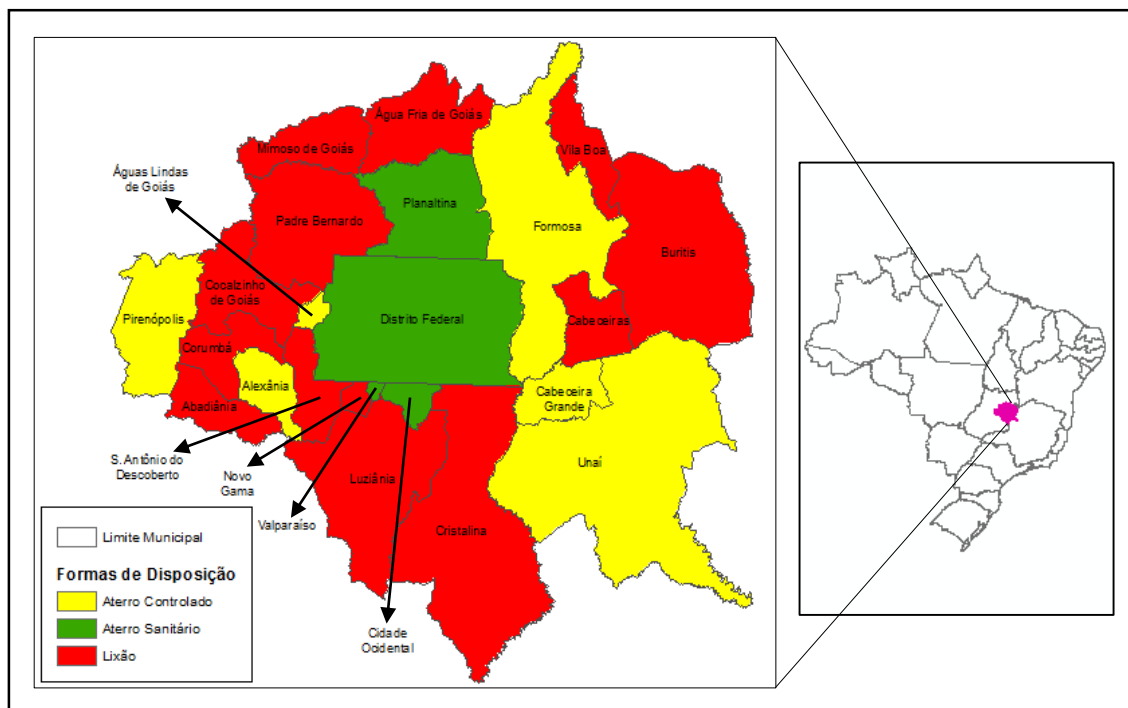


Figura 3.7 - Formas de disposição final de RSU na RIDE/DF e Entorno (RIDE, 2016).

Observa-se na Figura 3.7 que a maioria dos depósitos de resíduos sólidos da RIDE/DF e Entorno são constituídos por aterros controlados e lixões. Cabe ressaltar aqui que apesar do Distrito Federal já possuir o Aterro Sanitário de Brasília, que começou a operar em janeiro de 2017, este ainda não está operando em sua capacidade máxima. Portanto, os resíduos que eram dispostos no Aterro Controlado do Jockey Club estão sendo transferidos gradativamente para o Aterro Sanitário de Brasília.

O aterro sanitário de Brasília possui capacidade para receber os resíduos por um período de 11,2 anos, caso opere em sua capacidade máxima prevista (2.400 t/dia). De acordo com o SLU/DF (2016), para aumentar a vida útil do aterro sanitário de Brasília, serão inicialmente exportados 350 t/dia para o Aterro Sanitário Norte, em Planaltina de Goiás, e 500 t/dia a partir de 2017, para o futuro Aterro Sanitário do CORSAP, a ser construído no sul da RIDE/DF.

O CORSAP-DF/GO é uma entidade jurídica de direito público com natureza de autarquia do tipo associação pública a que alude o Art. 41, IV do Código Civil Brasileiro, integrante da Administração Indireta dos Entes Federados que a constituem. É constituído por 19 municípios de Goiás pertencentes a RIDE, mais o Distrito Federal. Tem o objetivo de promover a gestão consorciada e ambientalmente adequada dos resíduos sólidos urbanos e das águas pluviais na RIDE/DF, além de viabilizar a coleta seletiva, a reciclagem e a disposição final dos resíduos não reciclados (CORSAP, 2013).

No que se refere ao manejo dos resíduos sólidos, o CORSAP encontra-se dividido em sub-regiões de planejamento, a região norte com cinco municípios, a região oeste e sul com sete municípios e o Distrito Federal, sendo a região sul o objeto de estudo desta pesquisa para seleção de áreas para aterro sanitário.

### 3.3. SELEÇÃO DE ÁREAS PARA ATERROS SANITÁRIOS

A escolha de locais para disposição de resíduos sólidos urbanos é um processo que envolve considerações sobre aspectos sociais, econômicos, políticos e ambientais e que devem ter como premissas o menor risco à saúde humana e o menor impacto ambiental possível. A seleção dessas áreas para a disposição final de RSU deve atender a uma determinada população urbana, tornando-se parte do planejamento urbano da região.

No processo de seleção de áreas para aterros sanitários, para facilitar o procedimento, muitos autores abordam o tema e executam o trabalho por meio da realização do processo por etapas. O processo por etapas oferece a vantagem da redução da quantidade de dados a serem trabalhados, restringindo, dessa forma, as avaliações detalhadas a um número relativamente menor de locais. A Figura 3.8 apresenta um diagrama esquemático para um processo de seleção de áreas por etapas, relacionando a profundidade dos dados e estudos necessários às variadas fases do trabalho.

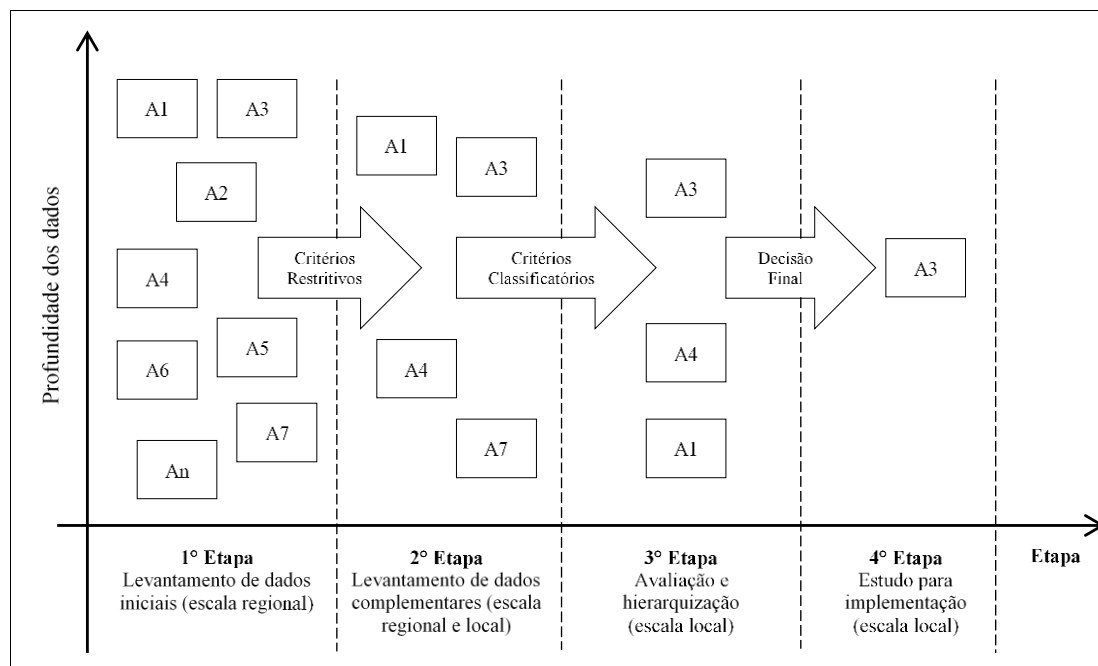


Figura 3.8 - Processo de seleção de áreas para implantação de aterros (Lupatini, 2002).

De acordo com a Figura 3.8, na etapa 1 são aplicados os critérios restritivos recomendados pelas legislações; na etapa 2 são estabelecidos os critérios técnicos, ambientais, econômicos e sociais; e, na etapa 3, os atores sociais validam os critérios e atribuem pesos de acordo com sua importância, para se chegar a uma decisão final. Na quarta e última etapa são realizados os estudos para implantação do aterro, tais como análises de solo, sondagens de profundidade das águas subterrâneas, dentre outros.

### **3.3.1. Aspectos legais, técnicos e ambientais relacionados à aterros sanitários**

A Constituição Federal de 1988, em seu Art. 23 e inciso VI, determina ser de competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, a proteção do meio ambiente e o combate à poluição em qualquer de suas formas. O Art. 30, inciso V, estabelece a competência dos municípios para organizar e prestar, diretamente ou sob forma de concessão ou permissão, os serviços públicos de interesse local, o que inclui o manejo dos resíduos sólidos urbanos.

A Lei nº 12.305 de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, nos Artigos 18 e 19, estabelece que é dever dos municípios elaborarem os Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, contendo, dentre outros aspectos:

- ✓ Diagnóstico da situação dos resíduos sólidos gerados na área do município, contendo a origem, o volume, a caracterização dos resíduos e as formas de destinação e disposição final adotada;
- ✓ Identificação de áreas favoráveis para disposição final ambientalmente adequada de rejeitos, observando o plano diretor de que trata o § 1º do Art. 182 da Constituição Federal de 1988 e o zoneamento ambiental, se houver;
- ✓ Identificação dos passivos ambientais relacionados aos resíduos sólidos, incluindo áreas contaminadas, e respectivas medidas mitigadoras.

A seguir são apresentadas as leis federais pertinentes:

- ✓ Resolução CONAMA 01/1986: determina que o licenciamento de aterros sanitários, enquanto atividade modificadora do meio ambiente, depende da elaboração de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e respectivo Relatório de Impacto no Meio Ambiente (RIMA);

- ✓ Resolução CONAMA 05/1988 e 237/1997: dispõe sobre a necessidade de licenciamento ambiental para as unidades de transferência, tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos;
- ✓ Resolução CONAMA 308/2002: para municípios de pequeno porte (até trinta mil habitantes e geração diária de resíduos sólidos urbanos de até trinta toneladas), o órgão ambiental competente poderá dispensar o EIA/RIMA, na hipótese de ficar constatado por estudos técnicos que o empreendimento não causará significativa degradação ao meio ambiente.

Acrescenta-se a essas Resoluções do CONAMA, a Norma Técnica NBR 13.896 (ANBT, 1997) que estabelece 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 dessas instalações e populações vizinhas.

Quanto aos aspectos técnicos, vários autores recomendam que a implantação de um aterro sanitário seja precedida de uma série de estudos, que vão desde levantamentos de dados ambientais, passando pelos estudos de viabilização das áreas mais adequadas até a elaboração do projeto e dos planos de execução do aterro.

No estudo preliminar para implantação do aterro sanitário, é necessário se realizar um diagnóstico do gerenciamento dos resíduos sólidos existente no município, abrangendo todas as etapas que vão da geração até o destino final. Considera-se essencial a realização de levantamento de dados qualitativo e quantitativo sobre as atividades de gestão, para o adequado planejamento de melhorias no sistema. É indispensável, também, as informações sobre a geração *per capita* de resíduos sólidos domésticos, composição gravimétrica dos resíduos e serviços públicos de limpeza executados.

A seguir são citados alguns aspectos técnicos que devem ser levados em consideração na escolha de áreas potenciais para aterros sanitários (ABNT NBR 13.896, 1997; Babalola e Busu, 2011; Khan e Samadder, 2014 e Lourenço *et al.*, 2015).

- Dados de topografia - são as informações sobre a compartimentação geomorfológica e características das unidades que compõem o relevo (colinas, encostas, talwegues, entre outras) e sobre a declividade dos terrenos. É um dos fatores mais relevantes na seleção de um local, pois há uma relação considerável entre o relevo e a ampliação dos problemas ambientais. Sendo assim, o terreno deve ter uma conformação e topografia compatíveis,



onde locais de baixa declividade são preferenciais, a fim de minimizar os escoamentos superficiais provocados pelas precipitações para o aterro sanitário e a redução nos custos de preparo do terreno;

- Dados de pedologia - são as informações sobre as características e distribuição do solo na região. O solo considerado apropriado é aquele de fácil escavação e de textura argilo-arenosa (baixo coeficiente de permeabilidade);
- Uso e cobertura do solo - são as informações sobre as leis ambientais de âmbito federal, estadual e municipal. É importante que seja realizada uma descrição detalhada do uso e cobertura do solo da região. A área selecionada deve estar situada em um local onde a atividade seja permitida pelo zoneamento ambiental do município afetado.
- Dados hidrológicos - são as informações sobre os principais mananciais, bacias e corpos de água de interesse ao abastecimento público (âmbito local e regional), bem como informações sobre áreas de proteção de manancial. Deve ser avaliada a possível influência do aterro na qualidade e no uso das águas superficiais e subterrâneas.
- Dados Climáticos - são as informações sobre o regime de chuvas e precipitação volumétrica (série histórica), incidência solar, evaporação e evapotranspiração, umidade do ar, intensidade e direção predominante dos ventos. Esta direção deve ser a princípio, contrária à aglomeração urbana, a fim de evitar incômodos causados pela incidência de graveolências;
- Tamanho disponível e vida útil - em um projeto, estes fatores encontram-se inter-relacionados e recomenda-se a construção de aterros com vida útil mínima de 10 anos;
- Distância mínima a núcleos populacionais – deve ser avaliada a distância do limite da área útil do aterro a núcleos populacionais, recomendando-se que esta distância seja superior a 500 m, com instalação de uma zona de amortecimento que impeça o avanço do crescimento antrópico em direção ao aterro;

Para escolha de áreas para aterros sanitários, os autores citados na Tabela 3.1 utilizam critérios (ambientais, econômicos e sociais), que podem ser restritivos e classificatórios, a fim de atender, principalmente, as exigências legais, para alocação de aterros sanitários, a saber: geologia e hidrologia; uso do solo; pedologia; relevo; recursos hídricos superficiais; acesso à área do aterro; e, distância a núcleos urbanos.

Tabela 3.1 - Critérios para locação de aterros sanitários conforme diferentes autores.

Referências	Critérios						Outros
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
ABNT NBR 13.896/97	X	X	X	X	X	X	Vida útil, custos, acesso a área, profundidade do lençol.
Chang <i>et al.</i> (2008)	X	X	X	X	X	X	Distância de lagos, dados de senso demográficos.
Babalola e Busu (2011)	X	X		X	X	X	Infiltração, Distâncias de estradas, áreas sensíveis.
Khan e Samadder (2014)	X		X		X	X	Dados climáticos, distância de aeroportos.
Shahabi <i>et al.</i> (2014)	X	X		X	X	X	Distância de falhas geológicas, de estradas, linhas de transmissão de energia, de aeroportos.
Eskandari <i>et al.</i> (2015)	X	X	X		X	X	Direção dos ventos, distância de poços, qualidade da água, área de inundação.
Lourenço <i>et al.</i> (2015)		X	X	X	X	X	Distância de aeroportos, de estradas.
Maguri <i>et al.</i> (2016)	X	X		X	X		Distância de estradas,

(1) Geologia e Hidrologia; (2) Uso do Solo; (3) Pedologia; (4) Relevo; (5) Recursos Hídricos Superficiais e (6) Distância a Núcleos Urbanos.

Os estudos para seleção de áreas para a construção de novos aterros sanitários demandam da utilização de sistemas computacionais com algoritmos de geoprocessamento que, trabalhando de maneira integrada, agilizam o processo de escolha das áreas, além de reduzir os custos envolvidos. Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) é um desses sistemas que aplicado em análises espaciais, possibilitam a identificação de melhores áreas para implantação desses aterros sanitários.

### 3.3.2. Aplicação do SIG para a seleção de áreas potenciais para aterros

Com o desenvolvimento dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), o processo de seleção de áreas preliminares para aterros sanitários tem sido cada vez mais feito com base em análise espacial e em modelagem matemática. As análises espaciais contam com o uso do SIG, que emprega algoritmos de geoprocessamento para a seleção preliminar das áreas. As seleções das áreas são normalmente realizadas por meio da classificação temática a partir de imagens digitais de sensores remotos orbitais e/ou aéreos, com base em critérios selecionados em classes temáticas definidas ou por meio da criação de zonas tampão em torno das características geográficas a serem protegidas.

Nas análises espaciais conduzida por meio das técnicas de geoprocessamento, os mapas de interesse são georreferenciados e sobrepostos em camadas (*layers* ou planos de informação), de modo que a análise espacial com base em lógica booleana e/ou lógica *fuzzy* resultante produza as possíveis áreas candidatas e/ou inadequadas, que podem ser separadas por fronteiras nítidas (Chang *et al.*, 2008). Com o auxílio dessa funcionalidade, o SIG é empregado a fim de facilitar e reduzir os custos dos processos de seleção dos locais para aterros sanitários. Essas atividades, envolvendo o SIG, exigem a compatibilização de vários critérios e fatores, os quais devem manter o equilíbrio entre os aspectos ambientais, operacionais e sociais inerentes ao empreendimento.

A seguir são apresentados, em ordem cronológica, alguns trabalhos que aplicaram os Sistemas de Informação Geográfica para a identificação de áreas para aterros sanitários.

Siddiqui *et al.* (1996) desenvolveram uma pesquisa usando o SIG com um processo de análise multicritério, para reduzir os custos e o tempo no processo de seleção de áreas para aterros nos EUA. Utilizaram, na pesquisa, vários fatores para análise das áreas, tais como: declividade do terreno, profundidade de águas subterrâneas, geologia (textura e permeabilidade das rochas), uso do solo, pedologia, distâncias de aeroportos, áreas urbanas e drenagens superficiais; esses fatores foram ponderados numa comparação pareada para estabelecer uma ordem hierárquica de acordo com suas relativas importâncias.

Brollo (2001) desenvolveu uma metodologia para a seleção de áreas para disposição final de resíduos sólidos na Região Metropolitana de São Paulo, considerando vários fatores como o uso e ocupação do solo e a compartimentação fisiográfica dos terrenos, baseada em princípios e recursos de Geoprocessamento, através do SIG.

Babalola e Busu (2011) aplicaram o SIG combinando com um método multicritério, conhecido como *Analytic Network Process* (ANP) para a determinação da importância relativa dos pesos dos critérios, para selecionar áreas para o tratamento de resíduos sólidos urbanos da cidade de Damaturu, na Nigéria, e os resultados demonstraram a eficácia do SIG e do método multicritério na tomada de decisão.

Braga e Pereira (2014) utilizaram também as técnicas do SIG aplicando critérios e fatores para o processamento de dados cartográficos como: distância de vias urbanas, malha urbana e rede de drenagem, e dados topográficos como declividade, a fim de delimitar as áreas com maior aptidão para aterro sanitário em Montes Claros, Minas Gerais. Segundo os autores, por meio

dos algoritmos inseridos no SIG, foi possível a confecção do mapa de aptidão para instalação de aterros sanitários discriminando áreas irregulares e outras que, por algum motivo, poderiam ser inviáveis para instalação desses aterros, reduzindo os custos operacionais e melhorando a gestão do uso do solo.

Com objetivo de facilitar e agilizar o processo de seleção de áreas para aterros, Eskandari *et al.* (2015) propuseram uma metodologia quantitativa para reduzir a quantidade de critérios restritivos e critérios classificatórios. Usaram, apenas, quatro critérios restritivos e oito critérios classificatórios, que foram obtidos a partir de mapas de aptidão agrícola. Os resultados, segundo os autores, foram praticamente idênticos aos obtidos pelo método tradicional de localização de áreas para aterros sanitários. Devido à quantidade reduzida de critérios, o método de ponderação utilizado, se tornou mais fácil para implementação, e uma produção de banco de dados mais convincente.

Maguri *et al.* (2016) utilizaram o SIG, análise multicritério de apoio à decisão, sensoriamento remoto e vários critérios como a produção de resíduos sólidos, distância de casas, de águas subterrâneas, uso do solo, dentre outros, para produzir um mapa de áreas potenciais, o que permitiu propor três áreas para aterro sanitário para a cidade de Mohammedia, em Marrocos. O estudo também mostrou a necessidade de readequar o atual aterro sanitário, que causa grande incômodo à população, devido a poluição do ar, da água, do solo e afeta a saúde dos moradores da cidade.

A utilização do SIG em estudos de áreas para aterros sanitários apresenta uma variedade de vantagens, como por exemplo: permite construir bancos de dados e armazenar diferentes tipos de dados; permite análises espacial de extensas áreas em reduzido período de tempo; permite a integração de vários tipos de dados; reduz o tempo de análise e os custos envolvidos. As ferramentas o SIG permitem também a criação de mapas temáticos, unindo as informações da base de dados de atributos ao mapa. Desta forma, um SIG possui a potencialidade de combinar a habilidade gráfica de um sistema com a capacidade de armazenamento da informação de uma base de dados.

Como já mencionado, o processo de seleção de áreas para a disposição final de resíduos sólidos envolve vários processos e ferramentas. Sendo, atualmente, mais empregado o SIG para a análise espacial integrado com métodos de análise multicritério. Para a determinação de áreas potenciais para aterros sanitários neste trabalho, devem ser aplicadas as ferramentas do SIG

integrado ao método de análise multicritério, conhecido como Análise Hierárquica de Processos (AHP). O SIG pode ser aplicado, pois os critérios envolvidos podem ser representados como planos de dados geográficos.

### **3.3.3. Integração da Análise Hierárquica de Processos (AHP) com o SIG**

A Análise Hierárquica de Processos (AHP) foi desenvolvida por Thomas Saaty em 1980 (Saaty, 1980), e é um método de análise multicritério amplamente utilizado no apoio à tomada de decisão, para resolução de conflitos negociados e em problemas com múltiplos critérios e, pode ajudar os decisores a estabelecer prioridades e tomar a melhor decisão frente a um problema. O método auxilia a tomada de decisão, baseando-se em critérios qualitativos e quantitativos, tendo como objetivo analisar o julgamento de especialista no processo de decisão, transformando os problemas complexos em problemas mais simples por hierarquia de decisão.

De acordo com Saaty (1980), para tomar uma decisão de forma organizada e produzir prioridades necessárias para a decomposição da decisão, é preciso seguir as seguintes etapas:

- Definição do problema de decisão - é necessário conhecer os valores do tomador de decisão, identificando assim qual o objetivo que pode ser atingido por meio da solução do problema.
- Decomposição do problema - pesquisar, dividir e estruturar o problema de modo a formar uma estrutura hierárquica, onde se deve verificar o objetivo e os critérios.
- Estabelecer prioridades - as prioridades dos critérios são definidas por comparação pareada, em relação ao seu nível hierárquico superior. Este processo é desenvolvido por meio de uma entrevista com os decisores, buscando assim priorizar os critérios com maior peso para atingir o objetivo proposto.
- Síntese - obtida por meio de um processo de combinação e avaliação de prioridades frente aos critérios do problema, onde os julgamentos do tomador de decisão, são distribuídos pela hierarquia, e com isso, ao serem julgadas as alternativas, recebem a síntese das preferências do especialista.
- Análise de sensibilidade - realizada para avaliar a consistência do resultado das alternativas, respeitando cada critério que as compõe. Esta etapa é responsável por

apresentar possíveis fragilidades que podem ser geradas ao mudar a prioridade de um critério. Consiste em fazer pequenas mudanças nos pesos das avaliações dos critérios e constatar qual seu impacto no resultado, de modo que, ao encontrar um impacto capaz de modificar o resultado, o critério que apresentou sensibilidade deve ser submetido a uma nova análise do especialista, para confirmar sua avaliação.

- Interação - nesta etapa, todas as anteriores são repetidas, permitindo assim que a decisão seja revisada com um entendimento melhor do problema, por meio do modelo desenvolvido.

Para utilizar o método AHP e fazer comparações, é necessária uma escala de números que indique quantas vezes um elemento é mais importante ou mais dominante que o outro em relação ao critério ou propriedade em relação ao qual eles são comparados. A Tabela 3.2 apresenta a escala fundamental de Saaty (1980) para comparação pareada.

Tabela 3.2 – Escala fundamental de Saaty para comparação pareada (Saaty, 1980).

<b>Valores</b>	<b>Importância Mútua</b>	<b>Explicação</b>
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.
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.

De acordo com Oliveira (2007), o método leva em consideração conhecimentos e experiências dos especialistas que, por meio de comparações pareadas, obtêm-se os pesos dos critérios. Após a sintetização dos julgamentos, determinam-se as prioridades das variáveis, tornando assim a análise qualitativa do problema mais consistente.

Após a comparação pareada dos critérios, é realizado o cálculo da matriz normalizada, que é feito pelo somatório dos elementos de cada coluna e a divisão de cada elemento da coluna pela respectiva somatória. Em seguida, são calculados os pesos relativos para cada critério, os quais

correspondem às médias das linhas da matriz normalizada. Posteriormente é necessário avaliar a razão de consistência (*RC*).

O AHP é concluído pela determinação da importância relativa de cada critério e pela validação da consistência destas operações. Saaty (1980) menciona que, se o índice de consistência for igual ou inferior a 10%, dependendo do número de critérios utilizados, significa que existe coerência na comparação par a par, porém, se for maior, precisa-se realizar uma nova comparação pareada dos critérios.

A integração do SIG com o AHP faz-se quando se utilizam os pesos dos critérios determinados pelo método multicritério que, nesse caso, são representados como planos de dados geográficos ou planos de informações. Para a integração dos critérios com base na abordagem multicritério, vários métodos vêm sendo utilizados e, dentre esses, estão os métodos da Combinação Linear Ponderada e da Média Ponderada Ordenada (Malczewski, 2000).

Na Combinação Linear Ponderada, os critérios são padronizados em uma escala numérica comum, recebem pesos e são combinados por meio de uma média ponderada. O resultado é um mapa de prioridades que pode ser limitado espacialmente por uma ou mais restrições booleanas (Eastman, 2001). Na Figura 3.9 é apresentada a operação da Combinação Linear Ponderada, com dois critérios de entrada em formato *raster*, padronizados por meio da reclassificação das células para uma escala numérica comum de 1 a 3, sendo que cada critério possui um peso (influência).



Figura 3.9 - Ilustração de uma operação de Combinação Linear Ponderada (Esri, 2017).

Uma vez que os mapas de critérios (fatores e restrições) tenham sido gerados, é uma simples questão de multiplicar cada mapa de critério, isto é, cada célula ou pixel, de cada mapa pelo seu peso, e então somar os resultados, como apresenta a Figura 3.9. Por exemplo, consideremos a célula superior esquerda, em que os valores das duas células tornam-se  $(2 \cdot 0,75) = 1,5$  e  $(3 \cdot 0,25) = 0,75$ . A soma de 1,5 e 0,75 é 2,25. Como o raster de saída da sobreposição ponderada é inteiro, o valor final é arredondado para 2.

A integração do SIG com o método AHP tem sido amplamente empregado no estudo de áreas para disposição final de resíduos sólidos. A aplicação do referido método pode ser observada no estudo de Shahabi *et al.* (2014) que avaliaram os métodos multicritérios para a tomada de decisão, o AHP, a Combinação Linear Ponderada (CLP) e a Lógica Booleana, para selecionar áreas com aptidão para instalação de aterros sanitários utilizando SIG e imagens de satélite na cidade de Sanqez, no Irã e os resultados mostraram que os métodos AHP e CLP tiveram melhor poder de decisão para a localização de áreas aptas.

Guiqin *et al.* (2009), por sua vez, utilizaram o AHP integrada ao SIG num estudo de caso em Pequim, na China, onde construíram um modelo de hierarquia para resolver o problema de seleção de áreas de aterro de resíduos sólidos. O estudo de Khan e Samadder (2014), sobre a gestão de resíduos sólidos urbanos, utilizou a integração do SIG com o AHP e concluiu que a integração dos dois métodos fornece uma ferramenta eficaz na análise multicritério e na avaliação de locais mais adequados para os aterros sanitários.

Por sua vez, Lourenço *et al.* (2015) utilizaram a metodologia de exclusão de áreas associadas ao SIG para a seleção de áreas aptas à instalação de aterros consorciados na região metropolitana de Sorocaba, em São Paulo, e encontraram resultados satisfatórios. Segundo Lima *et al.* (2014), a metodologia de apoio à decisão em função dos critérios e subcritérios, utilizando o modelo do processo de análise hierárquica, permite determinar as potencialidades tecnológicas e propor arranjos tecnológicos mais indicados para o tratamento adequado dos resíduos sólidos urbanos no Brasil.

Buscou-se utilizar, nesta pesquisa, o método AHP como uma ferramenta para atribuir o grau de importância relativa dos critérios, e assim, integrar os pesos ao SIG para realizar a sobreposição ponderada dos mapas, que tem como resultado um mapa com áreas potenciais para aterro sanitário, e selecionar a melhor área com base nas opiniões de especialistas. Cabe ressaltar que, a seleção de área é uma das etapas para implantação de aterro e que após esta, são necessários estudos complementares que auxiliarão na tomada de decisão em diferentes fases do empreendimento.

#### **3.3.4. Métodos complementares para caracterização de áreas**

Os métodos complementares para caracterização de áreas, a que se refere esta pesquisa, são oriundos da aplicação das geotecnologias para análise ambiental. Desta forma, na análise



ambiental é fundamental a utilização de sistemas de alta capacidade para tratamento e análise de informações multitemáticas, como a temperatura da cobertura do solo, por exemplo. Os sistemas de alta capacidade incluem as técnicas de sensoriamento remoto e o Sistema de Informações Geográficas. Assim, as aplicações de tais métodos facilitam o gerenciamento de informações espaciais e permitem a elaboração de diagnósticos e prognósticos, subsidiando o processo de tomada de decisões.

#### 3.3.4.1. Temperatura de cobertura do solo

Com o avanço das geotecnologias muitos são os dados produzidos remotamente, os quais podem ser empregados em análises complexas das mais variadas áreas do conhecimento, ao integrar dados de diversas fontes. Tais dados após processamento e/ou tratamento apresentam-se de diferentes formas, dentre outras, estão os mapas e cartas temáticas georreferenciados. Dessa forma, existem mapas e cartas que retratam dados e informações sobre o meio físico, tais como geológicos e pedológicos, dentre outros.

Como fruto de dados produzidos remotamente, a temperatura de brilho da cobertura do solo é um dos dados ou atributos que podem ser identificados, caracterizados e classificados produzindo mapas temáticos de temperatura. A depender da cobertura do solo, essa temperatura pode servir de indicador das condições sócio ambientais relacionadas, inclusive, com a degradação do solo decorrentes das diversas formas de apropriação do meio físico (Silva Junior e Souza, 2015).

As informações sobre a temperatura de cobertura do solo, segundo Jensen (2009), podem ser obtidas por sensoriamento remoto, tendo em vista que o calor interno de um alvo é convertido em energia radiante e, para a maioria dos alvos, existe alta correlação positiva entre a temperatura cinética verdadeira do alvo e o fluxo radiante proveniente dos mesmos. Nesse sentido, a temperatura de cobertura do solo diz respeito ao fluxo de calor dado em função da energia que chega e sai do alvo, sendo de suma importância para o entendimento das interações entre a superfície terrestre e a atmosfera. De acordo com Steinke *et al.*, (2010), a faixa que permite maior transmissão da energia emitida pelos alvos, na superfície da Terra, que alcança o sensor na região do infravermelho termal, do espectro eletromagnético, é no intervalo de 8,0 a 14,0  $\mu\text{m}$ .

Por sua vez, o comportamento espectral na região do infravermelho termal da cobertura do solo é um fator relevante e que deve ser considerado para a análise da capacidade de infiltração das águas pluviais, visto que há variação durante o dia e a noite, devido, principalmente, à capacidade térmica dessa cobertura do solo em si, que determina a variação de temperatura de acordo com a quantidade de calor recebida. Os solos e rochas, por exemplo, apresentam baixa capacidade térmica com pico de emissão térmica entre as 12 horas e 16 horas, por essa razão aparecem mais quentes em imagens diurnas; a água, no entanto, por possuir alta capacidade térmica, apresenta baixa variação de temperatura durante as 24 horas do dia.

Os fatores relacionados com as diferenças entre a natureza dos alvos da imagem, a emissividade desses alvos e os efeitos atmosféricos podem dificultar a determinação mais precisa da temperatura de cobertura do solo em diversas escalas cartográficas. Segundo Steinke *et al.* (2010), um possível erro introduzido seria atenuado com as correções atmosféricas e de emissividade dos alvos, esse erro pode ser considerado baixo quando a área de estudo é pequena e a imagem do infravermelho termal é obtida em dias com tempo estável, condições que se assemelham as aqui apresentadas.

Dessa forma, os sensores que captam as energias emitidas pelos alvos são instalados a bordo dos satélites. Dentre os satélites que fornecem imagens, encontram-se os da série Landsat, cujas imagens podem ser obtidas diretamente no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos. O último satélite da série lançado foi o Landsat 8, sendo este lançado no dia 11 de fevereiro de 2013. Este satélite possui o sensor OLI (*Operational Land Imager*) com 9 bandas espectrais e o sensor TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) com 2 bandas espectrais no infravermelho termal, que são as bandas 10 e 11 correspondentes às faixas do espectro eletromagnético de 10,60 a 11,19  $\mu\text{m}$  e de 11,50 a 12,51  $\mu\text{m}$ , respectivamente, sendo estas utilizadas para o cálculo da temperatura de cobertura do solo.

Pires e Ferreira Junior (2015) utilizaram as bandas temais dos satélites Landsat 7 e 8 para o mapeamento da temperatura da cobertura do solo no entorno do reservatório da Usina Hidrelétrica de Luís Eduardo de Magalhães, em Palmas e Porto Nacional, ambos no Estado de Tocantins. Os autores concluíram que os resultados obtidos com o Landsat 7 permitiu uma melhor distinção da temperatura de superfície entre os alvos da imagem quando comparado com o Landsat 8, entretanto, as imagens apresentam ruídos nas bordas das cenas, o que torna seu uso restrito para as áreas centrais da imagem.

Silva Junior e Souza (2015) também utilizaram as bandas termais do Landsat 8 para comparar a temperatura de brilho da cobertura do solo no período seco com o chuvoso no Distrito Federal e observaram que as temperaturas calculadas com a banda 10 foi maior que a calculada com a banda 11, e as médias das temperaturas do período seco foram cerca de 11° C maiores do que as do período chuvoso.

#### 3.3.4.2. Infiltração de água no solo

A infiltração de água no solo é o processo de entrada de água através da superfície do solo. A velocidade de infiltração, sob chuva ou irrigação contínua, se aproxima gradualmente de um valor mínimo e constante com o tempo, o qual é denominado de velocidade de infiltração básica (Bernardo, 1989). De acordo com Thomaz (2008), o resultado da infiltração pode ser expresso em mm/h. No início a taxa de entrada de água no solo é rápida, mas diminui conforme o suprimento de água continua, até atingir um valor relativamente constante (Camargo *et al.*, 1986). Desta forma, o conhecimento desta é de fundamental importância para definir técnicas de conservação do solo, auxiliar na elaboração de projetos geotécnicos, dentre outros.

Vários métodos de campo têm sido utilizados para determinar a taxa de infiltração de água no solo, dentre eles pode-se destacar o método do infiltrômetro de anel, e o cilíndrico de PVC, por serem simples e de fácil execução. O primeiro possui dois anéis colocado concentricamente, sendo que o anel externo tem a função de reduzir o efeito da dispersão lateral da água infiltrada do anel interno. Assim, a água do anel interno infiltra no perfil do solo em direção predominantemente vertical, o que evita superestimar a taxa de infiltração.

O segundo, infiltrômetro cilíndrico, foi idealizado por Hills (1970), este é construído com tubos de PVC com 15 cm de altura e 10 cm de diâmetro interno, sendo que, no interior possui uma régua graduada para medir a variação do nível da água infiltrada. Barbosa *et al.* (2010) utilizaram o infiltrômetro construído com PVC para determinar as taxas de infiltrações na vertente urbana do município de Rio Claro, no Estado de São Paulo.

## 4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 4.1. LOCALIZAÇÃO

A pesquisa foi desenvolvida no sul da RIDE/DF e Entorno, situada na Região Centro-Oeste do Brasil, na porção Sudeste do Estado de Goiás. O polígono da área de estudo encontra-se sob as coordenadas geográficas 15°39'37"S, 48°25'46"O; 15°38'29"S, 47°11'59"O; 17°22'29"S, 48°21'54"O; 17°21'3"S, 47° 6'14"O, e, é composta pelos municípios de Águas Lindas de Goiás, Santo Antônio do Descoberto, Novo Gama, Cidade Ocidental, Valparaíso de Goiás, Luziânia e Cristalina. A Figura 4.1 apresenta a área de estudo.

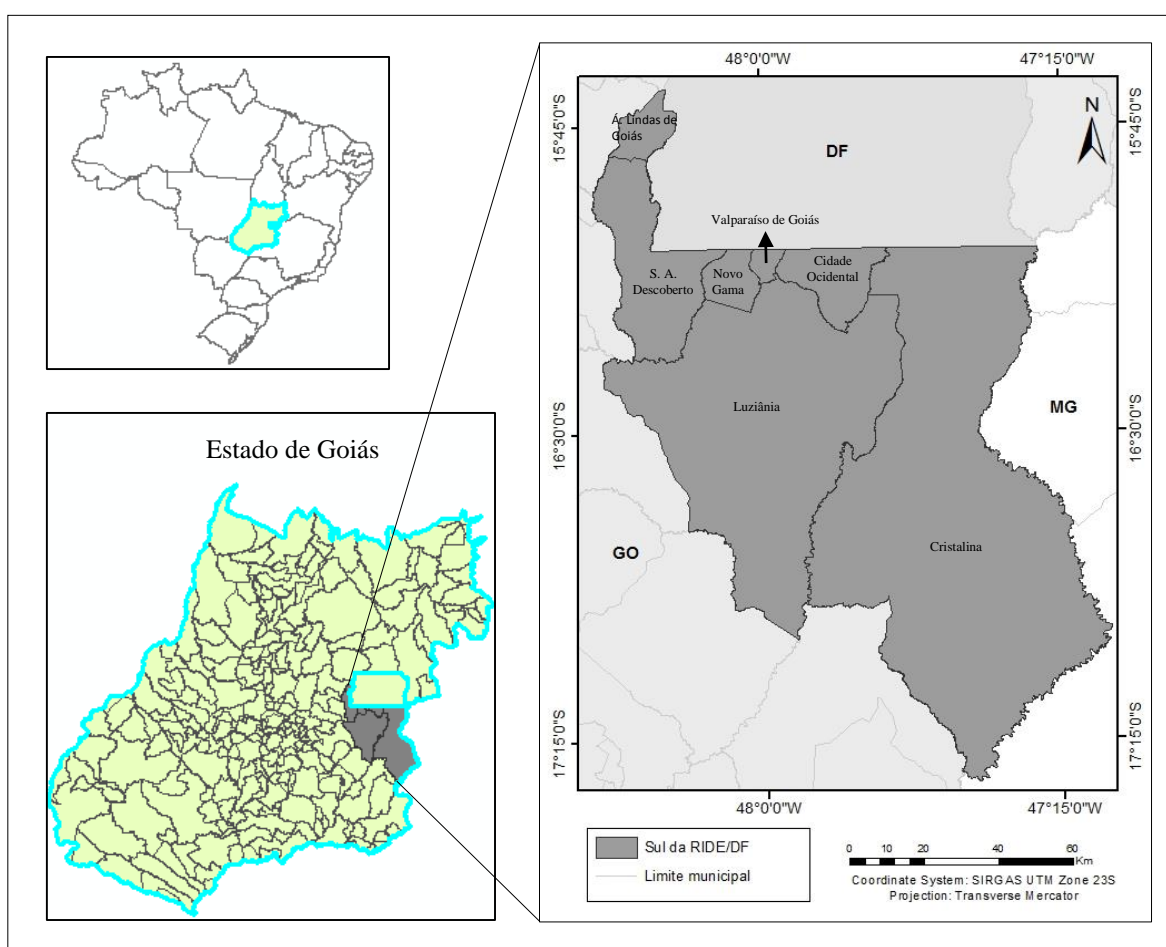


Figura 4.1 - Localização da área de estudo.

A área de estudo limita-se ao Norte com o Distrito Federal, a Leste e Sul com o Estado de Minas Gerais, e a Oeste com os municípios goianos de Cocalzinho de Goiás, Corumbá de Goiás, Alexânia, Silvânia, Orizona e Ipameri.

A RIDE/DF e Entorno, no âmbito do CORSAP/DF-GO, para a melhor gestão, encontra-se dividida em quatro regiões estratégicas de planejamento, a região Norte, com sete municípios, a Oeste, com cinco, o Distrito Federal e a região sul, com sete municípios. A região norte gera cerca de 171 t/dia de RSU e possui um aterro sanitário localizado em Planaltina de Goiás; a região Oeste gera apenas cerca de 40 t/dia de RSU, o Distrito Federal, em termos de disposição final adequada, já possui a questão dos RSU resolvida pelos próximos 11,2 anos, com a inauguração do aterro sanitário de Brasília (Jucá, 2016); a região sul é a que gera maior quantidade de RSU, cerca de 643 t/dia, possui apenas um aterro sanitário, localizado no município de Cidade Ocidental, cuja vida útil já está no fim (RIDE, 2016).

Diante dessa análise, decidiu-se escolher a região sul da RIDE/DF para o desenvolvimento desta pesquisa, que é de caráter científico e livre de interferências externas, pois trata-se da região, dentre as quatro, que possui a situação mais crítica no que tange à disposição final de RSU, com os atuais depósitos em lixões localizados nas proximidades das áreas urbanas e das fontes de captação de água para abastecimento público, e por ser a região que reúne as melhores condições geográficas para o manejo compartilhado dos RSU, inclusive com a premissa de futura importação de parte dos resíduos sólidos do Distrito Federal.

Vale ressaltar também que, a presença de lixões provoca a degradação social em que vivem as pessoas, adultos e crianças, que sobrevivem da separação e comercialização dos materiais recicláveis presentes nos RSU, o que é um grave problema social. É um trabalho que, muitas vezes, envolve toda a família, ficando sujeitos à acidentes, além da vulnerabilidade social em relação a problemas como violência, abuso sexual, gravidez precoce e uso de drogas. De acordo com IPEA (2017), os municípios de Luziânia e Novo Gama, que localizam-se no sul da RIDE/DF, estão entre os trinta municípios mais violentos do Brasil, o que pode ser reflexo da degradação social citada anteriormente. Tais exposições reforça ainda mais a escolha dessa área para o desenvolvimento da pesquisa.

## **4.2. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS**

De acordo com Cardoso *et al.* (2014), a precipitação média anual no Estado de Goiás é de 1500 mm, temperatura de 23,4 °C e o clima, segundo a classificação de Köppen-Geiger, Apresenta quatro tipos diferentes de clima. O clima do tipo Cwa, que se caracteriza por ser temperado úmido com inverno seco e verão quente; o clima Aw, predominante na maior parte do Estado e caracteriza-se como um clima tropical com estação seca no inverno; o clima do tipo Am, em

uma pequena parte, que é típico da região amazônica, sendo caracterizado como clima de monção, e o clima do tipo Cwb, que se caracteriza por ser temperado úmido com inverno seco e verão temperado. O polígono de estudo localiza-se na área com temperatura média anual variando de 20 a 23 °C, precipitação variando de 1400 a 1500 mm e o clima é do tipo Aw, o qual é predominante no Estado de Goiás, segundo os autores citados anteriormente.

Quanto a geologia, de acordo com Barbalho *et al.* (2006) em um estudo realizado no município de Cristalina, que corresponde a mais de cinquenta por cento da área de estudo, é constituída pelas unidades geotectônicas da Faixa Brasília pertencentes à Formação Paracatu – Grupo Canastra, sendo que a litologia é representada, sobretudo, por filito carbonoso, quartzito e metassiltito. Ocorre ainda, nos níveis mais elevados, a Formação Jequitie – Grupo Bambuí com litologia de diamictito e as formações superficiais representadas pelos Latossolos e cascalhos de idade Terciária/Quaternária-TQdl. A Figura 4.2 apresenta o mapa de formações geológicas de superfície da área de estudo.

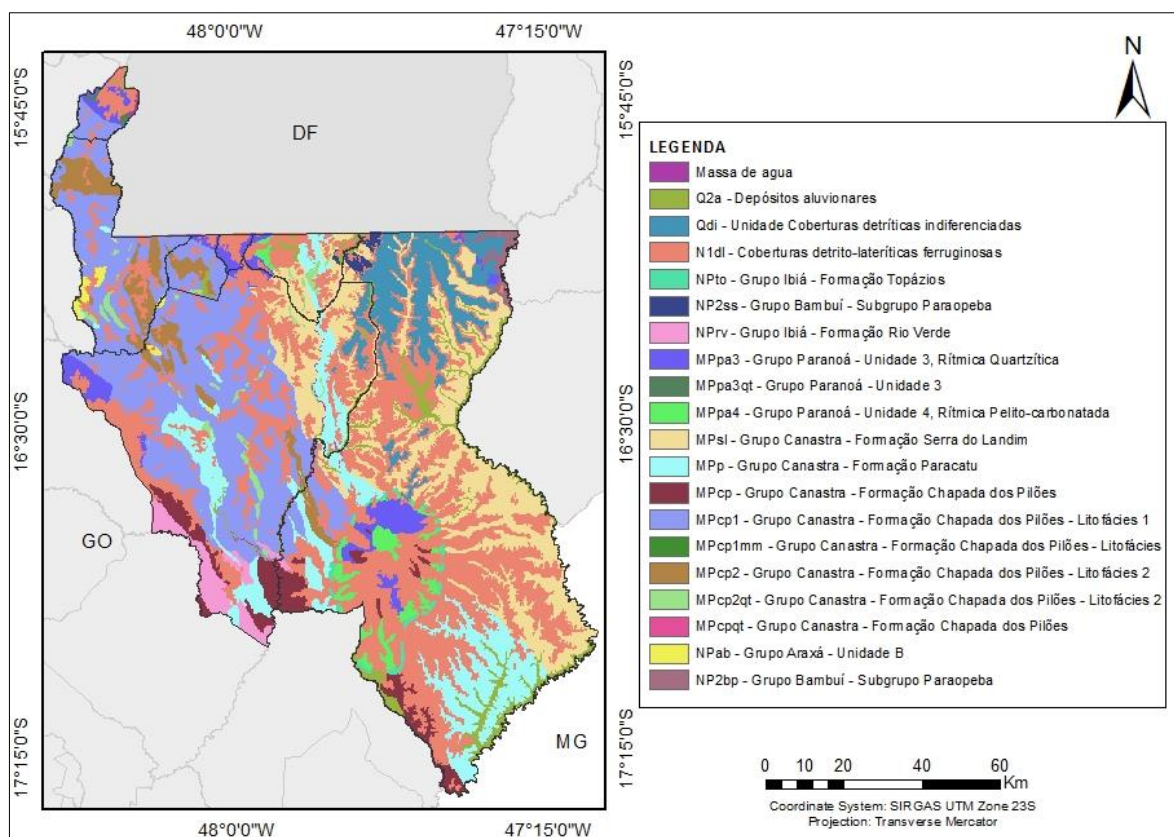


Figura 4.2 – Formação geológica de superfície (CPRM, 2008).

As classes de solos predominantes no sul da RIDE/DF, segundo o Projeto Radam Brasil, são cambissolos, gleissolos, latossolos e neossolos, como apresentado na Figura 4.3. Os

cambissolos são solos pouco evoluídos geologicamente, rasos, geralmente pedregosos e, em geral, caracterizam-se por serem bem drenados. Os gleissolos são solos minerais, hidromórficos, desenvolvidos de sedimentos recentes não consolidados, de constituição argilosa, argilo-arenosa e arenosa. Já os latossolos são solos minerais não hidromórficos, profundos e extremamente evoluídos geologicamente. Por outro lado, os neossolos são solos constituídos por material mineral ou por material orgânico pouco espesso, pouco evoluído geologicamente, podem apresentar alta ou baixa saturação e variam de solos rasos até profundos e de baixa a alta permeabilidade (EMBRAPA, 2006).

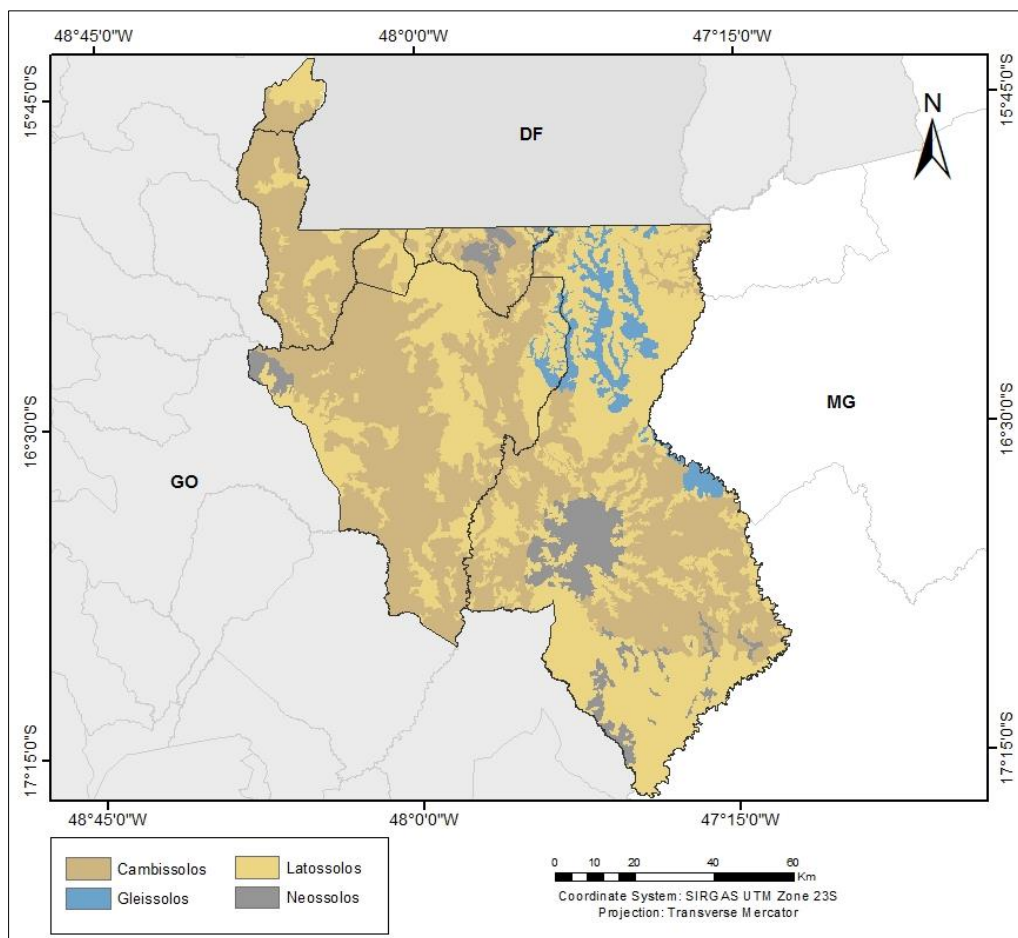


Figura 4.3 – Mapa pedológico do sul da RIDE/DF e Entorno (SIEG, 2005).

### 4.3. ASPECTOS DEMOGRÁFICOS

Para entender o processo de crescimento demográfico no Sul da RIDE/DF, é necessário se conhecer a transformação demográfica do entorno do Distrito Federal, provocada pela construção de Brasília na segunda metade da década de 1950. O início do processo ocorreu com a edificação da Capital Federal, e a construção de um novo sistema rodoviário que ligasse

Brasília às outras partes do País, deslocando grandes contingentes migratórios para a região, o que desencadeou um novo processo de crescimento populacional e econômico, alterando significativamente seu aspecto territorial (Cunha, 2004).

Assim, parte dos migrantes não conseguiram estabelecer-se na Capital Federal por conta do elevado custo de vida, alocando-se no entorno do Distrito Federal, a maioria no município de Luziânia que, a partir de 1980, se fragmentou dando origem a cinco novos municípios (Águas Lindas de Goiás, Santo Antônio do Descoberto, Novo Gama, Valparaíso de Goiás e Cidade Ocidental), os quais juntos com Cristalina, formam o Sul da RIDE/DF que se conhece atualmente (Souza e Mello, 2015). A Figura 4.4 apresenta a dinâmica populacional dos municípios do Sul da RIDE/DF de 1992 a 2016.

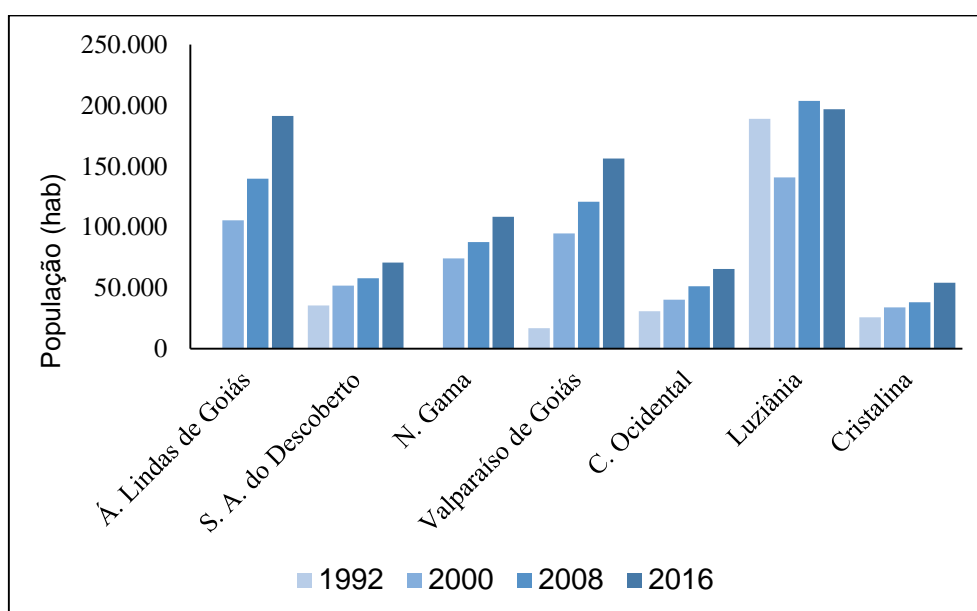


Figura 4.4 - Dinâmica da população dos municípios do Sul da RIDE/DF de 1992 a 2016 (IBGE, 2016).

De acordo com a Figura 4.4, com exceção do município de Luziânia, todos apresentaram sempre aumento da população entre os anos analisados. Já a população do município de Luziânia, ao longo do período compreendido entre os anos de 1992 e 2016, foi marcada por crescimento e decréscimo da população. Dessa forma, pode-se observar que em 1992, Luziânia possuía 189.092 habitantes e em 2000 reduziu para 140.814 habitantes. Essa redução ocorreu porque em 1991, Luziânia foi fragmentada e, criado o município de Cidade Ocidental e, em 1995 novamente Luziânia cedeu espaço para a criação de Novo Gama e Valparaíso de



Goiás. Em 1995, Santo Antônio do Descoberto, que havia se desmembrado de Luziânia em 1992, por sua vez foi fragmentado dando origem ao município de Águas Lindas de Goiás

No que se refere ao Sul da RIDE/DF como um todo, a população aumentou significativamente de 298.069 habitantes no ano de 1992 para 843.999 no ano de 2016, ou seja, houve um aumento de 183,16%. A Figura 4.5 apresenta a evolução da população dos municípios que compõem o Sul da RIDE/DF, entre os anos de 1992 e 2016.

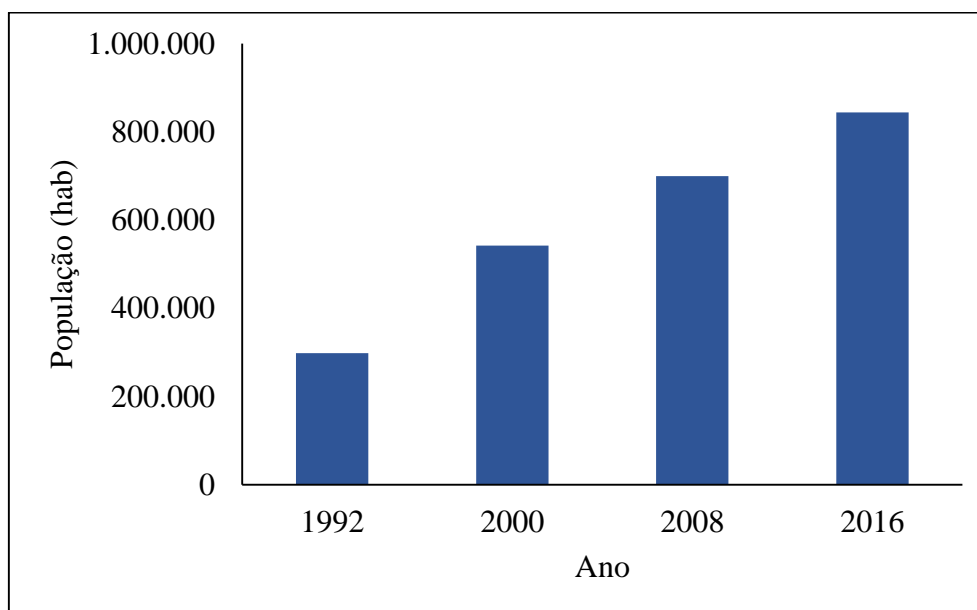


Figura 4.5 - Evolução da população dos municípios do Sul da RIDE/DF (IBGE, 2016).

Quanto ao saneamento básico no sul da RIDE/F, no que tange ao abastecimento de água e coleta de esgoto, cabe ressaltar que, de acordo com os dados do SNIS dos anos de 2005, 2010 e 2015, foi observado aumento do índice de atendimento de 65,41; 72,83 e 87,43%, respectivamente para água e 20,16; 24,18 e 34,02% para esgoto. Dito isto, pode-se afirmar que, a partir de 2005, com o aumento da população os serviços de abastecimento de água e coleta de esgoto atingiram maiores índices de atendimento à população.

#### **4.4. ASPECTOS DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

Quanto à coleta de resíduos sólidos urbanos no sul da RIDE/DF, no ano de 2015, foram coletadas cerca de 682,10 t/dia e 259.544,84 t/ano conforme apresentado na Tabela 4.1, sendo que a geração per capita média foi de 0,74 kg/hab.dia. Em todos os municípios, a administração pública é responsável pela gestão dos serviços relacionados aos RSU, entretanto, apenas os municípios de Luziânia e Santo Antônio do Descoberto têm a coleta realizada pelas prefeituras;

nos demais são empresas privadas contratadas que fazem a coleta dos resíduos sólidos urbanos (RIDE/DF, 2016).

Tabela 4.1 – Geração de resíduos sólidos urbanos nos municípios do Sul da RIDE/DF para o ano de 2015 (RIDE/DF, 2016).

<b>Município</b>	<b>População*</b>	<b>Geração <i>per capita</i> de RSU (kg/hab.dia)</b>	<b>RSU (t/dia)</b>
Águas Lindas de Goiás	191.499	0,80	169,90
S. Antônio do Descoberto	70.950	0,71	49,91
Novo Gama	108.410	0,74	89,88
Valparaíso de Goiás	156.419	0,78	135,82
Cidade Ocidental	65.520	0,70	38,63
Luziânia	196.864	0,80	164,64
Cristalina	54.337	0,68	33,32
<b>Total</b>	<b>843.999</b>	<b>-</b>	<b>682,10</b>

\* Dados do IBGE, 2016.

De acordo com a Tabela 4.1, pode-se observar que o município de Águas Lindas de Goiás é o que mais produz RSU, com 169,90 t/dia, e os outros que seguem são: Luziânia e Valparaíso com 164,64 e 135,82 t/dia, respectivamente. Por outro lado, Cristalina é o que menos produz, cerca de 33,32 t/dia, seguido de Cidade Ocidental com 38,63 t/dia de resíduos sólidos urbanos. Vale ressaltar que a quantidade de RSU, produzido em determinado local está diretamente relacionado com a renda familiar, seus hábitos de consumo e o número de habitantes.

Segundo RIDE/DF (2016), no que diz respeito à disposição final dos RSU, todos os municípios com exceção de Cidade Ocidental e Valparaíso descartam os resíduos sólidos em lixões a céu aberto. Os RSU do município de Cidade Ocidental são dispostos em aterro sanitário licenciado do município, porém, com a vida útil se exaurindo.

Por sua vez, o município de Valparaíso envia seus resíduos sólidos para o aterro sanitário de Cidade Ocidental, pois pelo fato de ser quase em sua totalidade área urbana, não possui áreas para dispor os mesmos. A prefeitura de Cidade Ocidental reivindica que, apesar de Valparaíso pagar pelos RSU dispostos em seu aterro, não promove nenhuma compensação ambiental no município de destino, tendo em vista os impactos associados ao transporte e à disposição dos resíduos sólidos. Disto isto, pela falta de aterros sanitários no sul da RIDE/DF para confinar os RSU dos municípios, faz-se necessário o estudo para selecionar novas áreas para aterros na região.

## 5. METODOLOGIA

A pesquisa foi dividida em três etapas, sendo que a primeira consiste na análise da evolução temporal do uso e cobertura do solo por meio da classificação digital de imagens, a segunda trata sobre a identificação de áreas potenciais para aterros sanitários, e a terceira selecionou uma área para aterro sanitário no Sul da RIDE/DF, seguido de um estudo complementar de caracterização da mesma. A Figura 5.1 apresenta o fluxograma das atividades que foram desenvolvidas ao longo do trabalho.

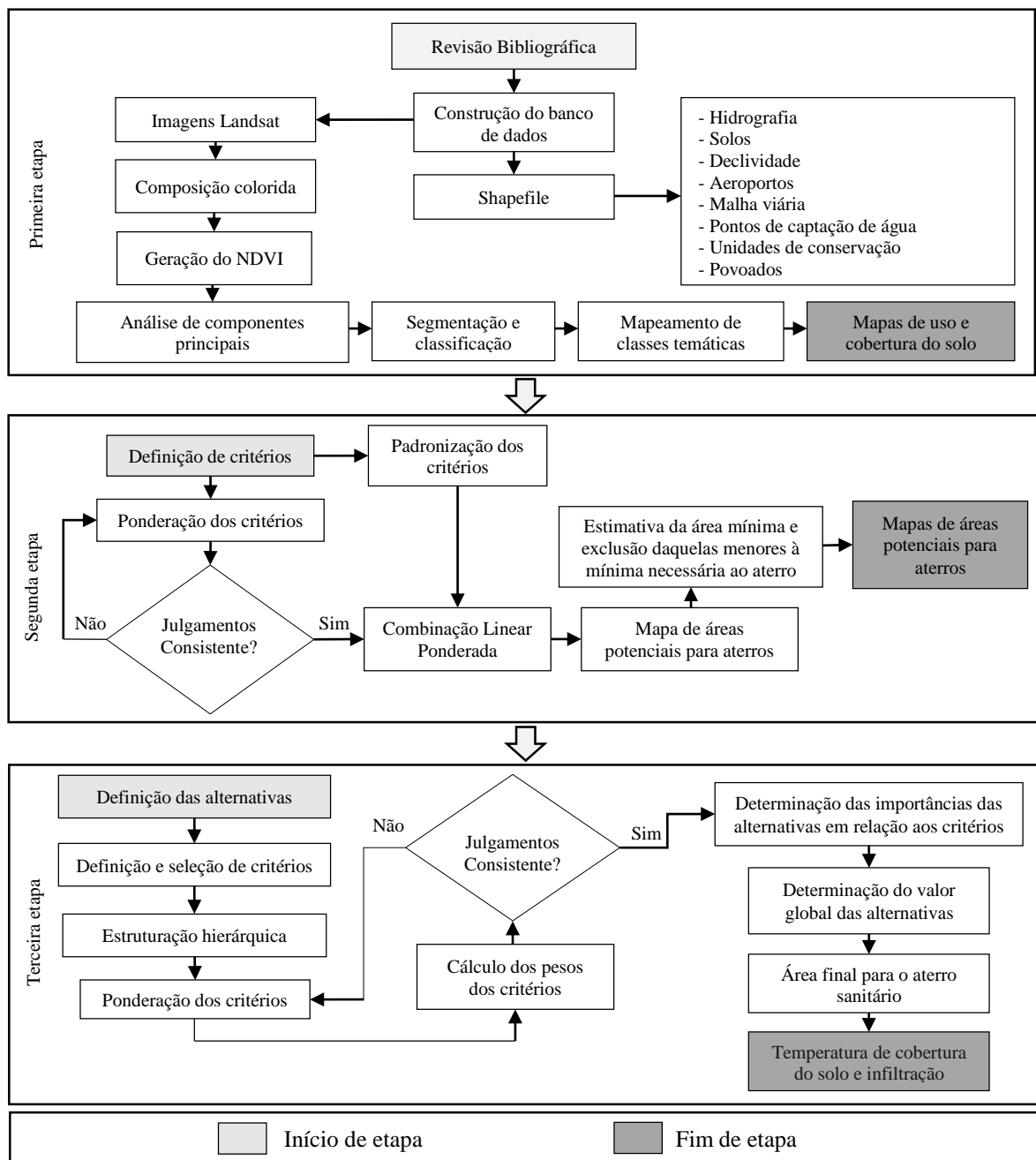


Figura 5.1 - Fluxograma das atividades desenvolvidas.

## 5.1. CONSTRUÇÃO DO BANCO DE DADOS

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foi necessário a construir um banco de dados digitais georreferenciados para a execução das atividades. A base de dados é apresentada na Tabela 5.1. Os dados foram manipulados num computador pessoal de 4 GB de memória RAM e Disco Rígido de 500 GB, com os softwares ArcGIS versão 10.3, SPRING versão 5.5.0 e ENVI versão 4.4 instalados.

Tabela 5.1 - Base de dados cartográficos.

<b>Dado base</b>	<b>Resolução espacial</b>	<b>Fonte</b>	<b>Fonte primária</b>
Imagens multiespectrais TM do satélite Landsat 5 dos anos de 1986, 1996 e 2006.	30 m	USGS - United States Geological Survey	
Imagens multiespectrais OLI do satélite Landsat 8 do ano de 2016.	30 m	USGS - United States Geological Survey	
Modelo Digital de Elevação	30 m	SIEG	USGS - United States Geological Survey
Imagem pancromática do satélite CBERS-4	5 m	INPE	
<b>Dado base</b>	<b>Escala</b>	<b>Fonte</b>	<b>Fonte primária</b>
Limites municipais	1:100.000	SIEG	IMB – SEGPLAN
Hydrografia	1:1.000.000	SIEG	SIG-Goiás - Superintendência de Geologia e Mineração – SIC
Unidades de Conservação	1:250.000	SIEG	IBAMA – SECIMA
Povoados	1:250.000	SIEG	IBGE
Malha viária	1:100.000	SIEG	AGETOP - Agência Goiana de Transportes e Obras Públicas
Mapa de pedologia	1:1.000.000	SIEG	RADAMBRASIL
Pontos de captação de água	1:250.000	SIEG	SANEAGO
Locais de aeroportos	1:1.000.000	SIEG	Superintendência de Geologia e Mineração - SIC e IBGE

Todos os dados adquiridos junto ao Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG) passaram por uma pré-operação, os quais foram recortados usando o polígono da área de estudo. Após esse processo, os dados que se encontravam na projeção cartográfica UTM (Universal Transversa de Mercator) com Datum WGS84 foram convertidos para a projeção cartográfica UTM com Datum SIRGAS 2000.

## 5.2. CLASSIFICAÇÃO TEMÁTICA DO USO E COBERTURA DO SOLO

A classificação temática do uso e cobertura do solo foi realizada com as imagens do satélite Landsat 5 para os anos de 1986, 1996, 2006 usando as bandas espectrais do verde, vermelho e infravermelho próximo (bandas 2, 3 e 4), em uma composição do tipo falsa-cor, que segundo Almeida *et al* (2012) possibilita a separação de solo e da vegetação, com resolução espacial de 30 metros, e com as imagens do satélite Landsat 8 para o ano de 2016, usando as bandas espectrais do vermelho, infravermelho próximo e médio (bandas 3, 4 e 5) com resolução espacial de 30 metros, e a banda pancromática (banda 8), com resolução espacial de 15 metros.

Para se obter a cobertura completa das imagens sobre a área de estudo, foram necessárias três cenas de imagens dos satélites para cada ano estudado, referente às orbitas-pontos 221/71, 221/72 e 220/72, de acordo com o sistema posicionamento dos satélites Landsat. As imagens foram adquiridas diretamente do *site* do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). Para minimizar as variações sazonais de iluminação, refletância e presença de nuvens, foram adquiridas imagens dos meses de julho e agosto, com diferença de datas de obtenção para cada ano inferior a 20 dias. O objetivo de escolher as imagens dos meses de julho e agosto de cada ano é justificado por ser um período seco, com pouca chuva e pouca presença de nuvens. No caso de disponibilidade de imagens seria o ideal o mês de setembro, pois estaria no pico da estação de seca, porém, como optou-se em analisar também o ano de 2016, as imagens de setembro para esse ano ainda não estavam disponíveis.

Na classificação temática de imagem, foi utilizado o Sistema de Processamento de Imagens Georreferenciadas (SPRING), desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). Assim, na elaboração do mapa de uso e cobertura do solo, por meio das imagens Landsat, foram empregados os seguintes passos metodológicos, cujos princípios de processamento encontram-se em Almeida *et al.* (2012), citados a seguir:

- Criação do projeto: Para criar o projeto, é necessário primeiramente criar o banco de dados do projeto, onde ficam armazenados todos os dados que foram manipulados durante o processo de classificação das imagens. Em seguida, é criado o projeto definindo-se um retângulo envolvente que abrangesse toda a área de estudo, e para esta pesquisa foi adotado o sistema de projeção cartográfica UTM com o Datum SIRGAS 2000, o datum oficial do Brasil.

- Importação das imagens: Foram importados para dentro do projeto, as imagens multiespectrais dos satélites Landsat 5 e 8, adquiridos do USGS, e foram inseridos também o *shapefile* do polígono da área de estudo.
- Mosaico das imagens: As imagens inseridas no projeto compreendiam três cenas diferentes e, pelo processo de mosaico, foram unidas em uma única imagem para cada banda espectral.
- Composição colorida: Para visualização das imagens em composição colorida, são definidas as posições das bandas espectrais em cada cor do espectro do visível, e para as imagens do satélite Landsat 5 foi aplicada a composição falsa-cor 3R4G2B, ou seja, vermelho na banda 3, verde na banda 4 e azul na banda 2, para as imagens do Landsat 8 foi usada a composição falsa-cor 4R5G3B.
- Realce de contraste: Em cada uma das imagens resultantes do processo de mosaico, realiza-se a ampliação histográfica do contraste da imagem para melhorar sua qualidade sob os critérios subjetivos do olho humano. O realce é feito no algoritmo de expansão do histograma de natureza linear.
- Geração do Índice de Vegetação: A determinação do índice de vegetação com as imagens multiespectrais do satélite Landsat 5 foi realizada com as bandas 3 e 4, que correspondem as bandas espectrais do vermelho e do infravermelho, respectivamente, e com as imagens do satélite Landsat 8, utilizou-se as bandas 4 e 5. A obtenção do índice de vegetação é feita por meio da Equação (5.1).

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R} \quad (5.1)$$


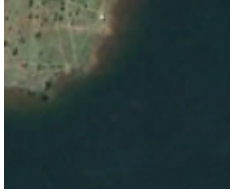
Onde, *IR* é a banda infravermelha do espectro eletromagnético e *R* a banda vermelha do espectro eletromagnético.

No SPRING, a obtenção do índice de vegetação é realizada pela operação aritmética de bandas e, após o processamento, o resultado é uma imagem contendo alvos com tons de cinza muito claros, que correspondem a pouca ou nenhuma presença de vegetação, e alvos com tons de cinza muito escuros, que correspondem à presença de vegetação densa, separando as áreas com e sem vegetação. Para destacar a vegetação de outros alvos foram realizados vários testes,

usando diferentes valores de “ganhos” e *offset*, e o que melhor destacou a vegetação foi o “ganho” de 120 e *offset* de 150.

- Análise de Componentes Principais: As análises de componentes principais foram realizadas utilizando as bandas 2, 3, 4 do satélite Landsat 5 e as bandas 3, 4 e 5 do Landsat 8 e a imagem de índice de vegetação, resultando em quatro novas imagens em tons de cinza.
- Segmentação: A segmentação é feita com a opção de crescimento por regiões a partir das imagens de componentes principais e imagem do índice de vegetação. Para que os polígonos da segmentação correspondam adequadamente às regiões da imagem, são realizadas várias tentativas usando diferentes valores de similaridades e de área de pixel, sendo que, o que mais se adequou foram os valores de similaridade 50 e área de pixel 30.
- Classificação temática das imagens: Para a execução da classificação temática, como produtos de entrada utiliza-se as bandas de componentes principais, a imagem de índice de vegetação e a imagem segmentada. Por meio do algoritmo existente no classificador supervisionado Bhattacharya e por meio de treinamentos nas aquisições de amostras espectrais para as classes temáticas escolhidas, empregou-se as técnicas de classificação por regiões, cujos temas de uso e cobertura do solo foram agrupados nas seguintes classes temáticas: área urbanizada, agricultura, mata de galeria, campo, cerrado, pastagem, solo exposto e corpos d’água. A Tabela 5.2 apresenta as amostras das classes utilizadas para a classificação temática do uso e cobertura do solo.

Tabela 5.2 - Amostras de classes de uso e cobertura do solo e suas descrições.

<b>Amostras de classes</b>	<b>Textura</b>	<b>Descrição</b>
Agricultura		Porções de terras cultiváveis.
Água		Corresponde as superfícies compostas rios, lagos e reservatórios.

Continuação da Tabela 5.2.

Amostras de Classes	Textura	Descrição
Área urbanizada		Áreas de uso intensivo, estruturadas por edificações e sistema viário, onde existem superfícies artificiais.
Campo		Áreas com ocorrência de plantas arbustivas e subarbustivas espaçadas entre si, além de estrato herbáceo contínuo (campo sujo) e áreas onde ocorre somente o estrato herbáceo com poucos indivíduos arbustivos ou subarbustivos espalhados (campo limpo).
Cerrado		Áreas caracterizadas por estratos arbóreo e herbáceo bem definidos, encontra-se grande número de árvores e arbustos, além de subarbustos e ervas.
Mata de galeria		Formação vegetal localizada nas margens dos córregos, lagos, represas e nascentes.
Pastagem		Áreas com vegetação composta principalmente por espécies herbáceas e árvores esparsas.
Solo exposto		Corresponde a todos os solos descobertos, sem a presença de área verde ou construções.

- **Vetorização:** As imagens temáticas resultantes da classificação foram vetorizadas no software ENVI, onde cada classe temática foi associada ao seu respectivo polígono, obtendo-se os quatro mapas temáticos de uso e cobertura do solo para os anos de 1986, 1996, 2006 e 2016.

O uso e cobertura do solo constitui num dos critérios de extrema importância e com significativa influência na definição de áreas para implantação de aterros sanitários, pois algumas de suas classes temáticas são classificadas em função de sua aptidão, tornando-se em fatores favoráveis, e outras em função das barreiras absolutas, impedindo o uso da área para aterros, tornando-se em restrições.



## 5.3. LOCALIZAÇÃO DE ÁREAS POTENCIAIS PARA ATERROS SANITÁRIOS

### 5.3.1. Definição dos critérios para seleção de áreas

Nessa etapa foi realizado um levantamento dos critérios, para identificação de áreas potenciais para implantação de aterros sanitários. O levantamento teve como base a ABNT NBR 13.896/97, que estabelece critérios para projeto, implantação e operação de aterros de resíduos não perigosos, Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), dissertações, teses e artigos referentes a estudos de áreas para aterros sanitários. O levantamento teve como objetivo selecionar os critérios e subcritérios mais importantes e mais utilizados na atualidade. Após o levantamento, decidiu-se utilizar os critérios ambiental, social e econômico, cada um dividido em subcritérios que, nesta pesquisa, a partir de agora serão denominados de fatores. Os critérios e seus respectivos fatores utilizados selecionados para esta etapa da pesquisa são apresentados na Figura 5.2.

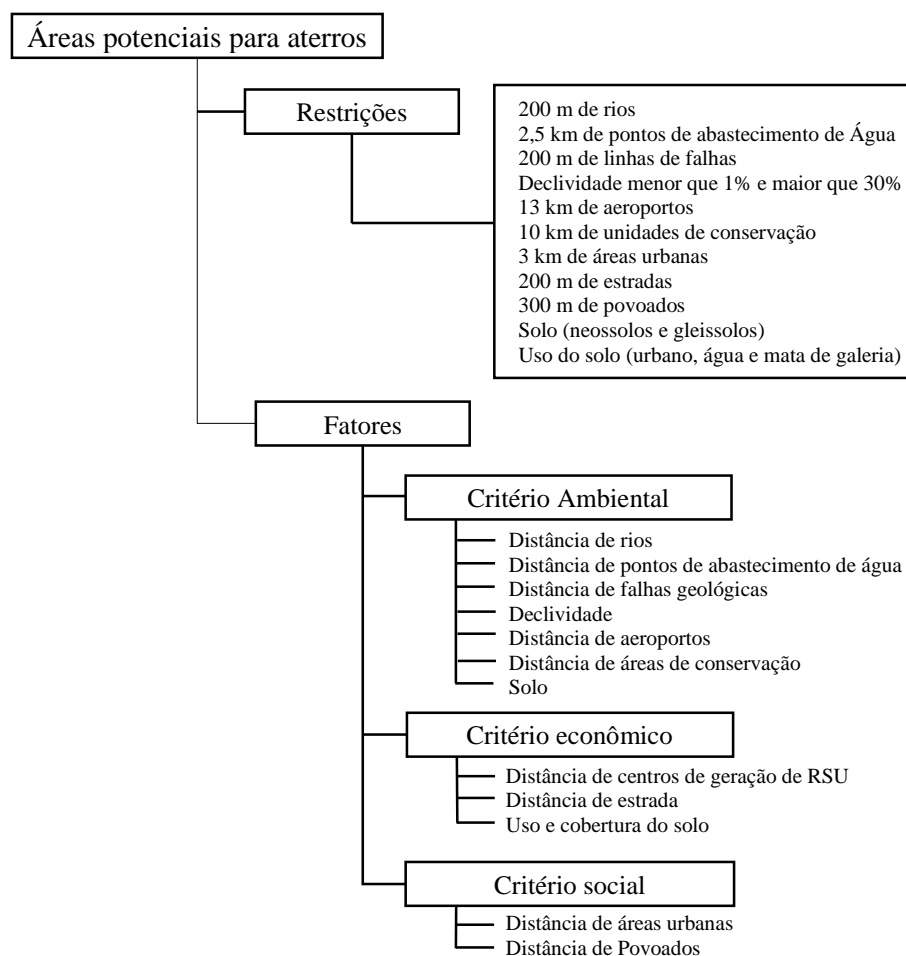


Figura 5.2 - Critérios e fatores para localização de áreas para aterros sanitários (modificado de NBR 13.896/97; Shahabi *et al.* (2014); Eskandari *et al.* (2015) e Maguri *et al.* (2016).

A seguir são explicados os critérios restritivos e os fatores utilizados no AHP, para a determinação de áreas potenciais para aterros sanitários.

- **Critérios restritivos**

Os critérios restritivos têm como objetivo atender os parâmetros técnicos, legais e ambientais, pois restringem o espaço de solução do problema, por meio da exclusão de áreas de acordo com determinadas condições. Para se obter as restrições absolutas à implantação de aterros sanitários, foram aplicadas máscaras para eliminar todas as áreas inadequadas.

- **Fatores escalonados**

Os fatores são critérios que definem algum grau de aptidão para todas as regiões geográficas. Eles definem áreas em termos de uma medida contínua de aptidão, que pode aumentar ou diminuir, de acordo com notas atribuídas aos intervalos escalonados. Os fatores têm a importância de uma determinada área em consideração àquelas que se localizam fora das restrições, e têm o objetivo de definir o grau de adequação das áreas analisadas. Os fatores escalonados são apresentados no Apêndice A.

### **5.3.2. Padronização dos mapas**

A padronização advém da necessidade de uniformizar as unidades de todos os mapas utilizados na pesquisa, em formato *raster*, atribuindo-lhes uma escala comum de valores de aptidão, para que possam ser reunidos para a geração de um mapa final de adequabilidade ou aptidão à implantação de aterros sanitários. Essa necessidade de padronização deriva do fato de cada mapa de entrada possuir unidades temáticas diferentes como, por exemplo, o mapa de declividade está em porcentagem, o mapa de distância de estradas está em metros e o de uso e cobertura do solo contém classes temáticas, e assim por diante.

A aptidão atribuída em cada mapa de entrada varia de acordo com cada fator. Por exemplo, com relação ao fator distâncias de estradas, pode-se admitir que, quanto mais próximo se situar uma área da estrada a partir da distância restrita de 200 m, menores serão os custos de implantação e operação do aterro sanitário e, conseqüentemente, essa área terá maior aptidão. Dessa forma, a aptidão máxima pode ser atribuída à menor distância (no caso 200 m) e a aptidão mínima à maior distância das estradas, no caso 2 km.

Para a presente pesquisa, a padronização foi realizada por meio da reclassificação dos mapas que estavam em formato matricial, usando a ferramenta *Reclassify* do ArcGIS, aplicando notas de uma escala de 0 a 10. A nota 0 é atribuída às áreas que não atenderam aos critérios de legislação, criando um *buffer* de proteção em volta dessas áreas e excluindo-as do processo de análise. Por outro lado, é atribuída a nota 10 às áreas consideradas aptas, produzindo os mapas com áreas adequadas e inadequadas. Dentro da escala de padronização foram criadas faixas de aptidão, que variam de acordo com as notas atribuídas.

Cabe ressaltar que, para os fatores em que a aptidão é avaliada com base nas distâncias de determinados pontos como, por exemplo, distância de áreas urbanas, rios e estradas dentre outros, é necessário, antes de padronizar, gerar as distâncias de cada célula do *raster* em relação ao ponto de referência. Esse processo é realizado por meio da ferramenta *Euclidean Distance*, do ArcGIS, que tem como dado de entrada os mapas em formato vetor e, como resultando de saída, um novo dado, em formato matricial ou *raster*, contendo as distâncias em metros, gerados a partir dos dados de entrada.

### **5.3.3. Ponderação dos critérios**

A ponderação ou atribuição de pesos é realizada por meio da comparação pareada dos critérios. A comparação par a par é feita por especialistas, mediante a aplicação de questionários (Apêndice B), onde, fazendo o uso da escala fundamental para comparação pareada, os especialistas atribuem pesos aos critérios. A fim de facilitar a comparação pareada, os critérios são divididos em subcritérios ou fatores, assim denominados; e as comparações são feitas dentro dos seus respectivos níveis (ambiental, econômico e social). No Apêndice C pode ser encontrada a lista com formações, cargos e instituições às quais pertencem os especialistas, que responderam ao questionário da primeira consulta.

Após a comparação pareada, os julgamentos dos diferentes especialistas são agrupados pelo método de Agregação Individual de Julgamento (AIJ) pela Equação(5.2), que possibilita obter a matriz global dos julgamentos.

$$\bar{w}_f(C_i) = \sqrt[s]{\prod_{k=1}^s \bar{w}(C_{ik})}, \quad i = 1, \dots, m \quad (5.2)$$

Onde:

$s$ : Número de especialistas.

$\bar{w}$ : Peso atribuído na comparação pareada.

$m$ : Número de critérios.

Após o agrupamento da matriz global de julgamentos, é construída a matriz normalizada aplicando a Equação (5.3), que consiste em dividir cada valor da coluna da matriz pela soma dos pesos dessa coluna.

$$\bar{w}_i(C_j) = \frac{C_{ij}}{\sum_{i=1}^m C_{ij}}, \quad j = 1, \dots, m \quad (5.3)$$

Onde:

$C$ : Peso atribuído na comparação pareada dos critérios.

$m$ : Número de critérios.

A partir da matriz normalizada, o peso final de cada critério é calculado pela média aritmética de cada linha da matriz normalizada utilizando a Equação (5.4).

$$\bar{w}(C_i) = \frac{\sum_{j=1}^m \bar{w}_i(C_j)}{m}, \quad i = 1, \dots, m \quad (5.4)$$

Onde  $m$  é o número de critérios.

Após os cálculos dos pesos finais, é necessário verificar se a comparação par a par dos critérios, realizada pelos especialistas, são consistentes. Para que haja consistência é necessário que a Razão de Consistência ( $RC$ ) seja inferior ou igual a 0,1 (Saaty, 1980). Para determinar a  $RC$  é preciso calcular o autovetor máximo ( $\lambda_{máx}$ ) e o Índice de Consistência ( $IC$ ) pelas Equações (5.5) e (5.6), respectivamente.

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[Aw]_i}{w_i} \quad (5.5)$$

Onde:

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : Autovetor máximo.

$n$ : Número de critérios.

$Aw$ : Matriz resultante do produto da matriz global pelos pesos calculados (autovetor).

$w_i$ : Peso dos critérios.

Em seguida é calculado o ndice de Consistência pela Equação (5.6).

$$IC = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} \quad (5.6)$$

Onde:

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : Autovetor máximo.

$n$ : Número de critérios.

E, finalmente, a Razão de Consistência é calculada pela Equação (5.7).

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (5.7)$$

Onde:

$IC$ : ndice de Consistência.

$IR$ : ndice Randômico.

A escolha do método AHP, para a presente pesquisa, justifica-se pelo fato deste permitir a atribuição de graus de prioridade, através da determinação de pesos. É um dos métodos mais utilizados para o apoio multicritério  decisão, e que vem sendo amplamente integrado ao SIG para a identificação de áreas potenciais para aterros sanitários. Além disto, o método depende de julgamento de especialistas, o qual se d por meio de comparações pareadas, baseadas nos conhecimentos e nas experiências dos mesmos, tendo em vista que este trabalho busca a opinião de especialistas ligados às áreas ambiental, econômica e social para determinar os pesos ou influência de cada critério analisado.

### 5.3.4. Determinação das áreas potenciais para aterro sanitário

A aplicação do modelo para a determinação das áreas potenciais para implantação de aterros sanitários é executada no ambiente computacional do sistema ArcGIS, o qual possui um conjunto de ferramentas de análise espacial. Para a determinação das áreas potenciais, foram realizadas quatro Combinações Lineares Ponderadas (CLP), sendo três no terceiro nível da hierarquia e uma no segundo nível, conforme apresentado no fluxograma da Figura 5.3. Para as combinações lineares ponderadas foi utilizada a extensão *Spatial Analyst Tools* e a ferramenta para sobreposição ponderada, a *Weighted Overlay*.

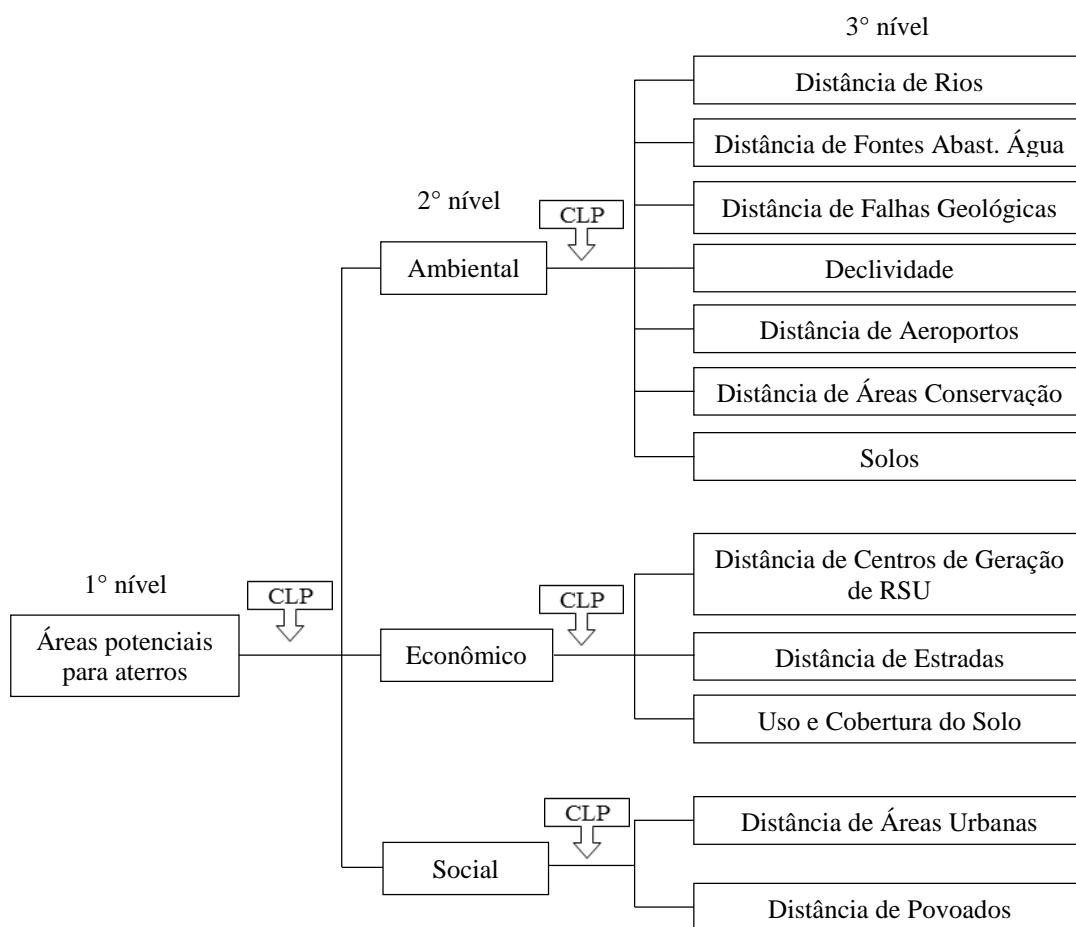


Figura 5.3 – Fluxograma de combinações dos fatores.

Após as Combinações Lineares Ponderadas dos mapas de fatores ambiental, econômico e social, os resultados (com três mapas) foram combinados novamente para determinar as áreas potenciais para aterro sanitário. A Combinação Linear Ponderada dos mapas é realizada pela Equação (5.8).

$$CLP = \sum_{i=1}^n (C \cdot w) i \quad (5.8)$$

Onde:

*CLP*: Mapa resultante da combinação linear ponderada.

*C*: Critério ou fator.

*w*: Peso do critério ou fator.

#### 5.4. SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS PARA ATERRO SANITÁRIO

Nesta terceira etapa da pesquisa o objetivo é selecionar a melhor área para implantação do aterro sanitário no sul da RIDE/DF, aplicando o método AHP. Desta forma, os resultados a serem obtidos nas etapas anteriores, apresentadas no fluxograma da Figura 5.3 são imprescindíveis para a realização dessa última etapa da fase de seleção de áreas para aterros. A Figura 5.4 apresenta a síntese das atividades da terceira etapa da pesquisa

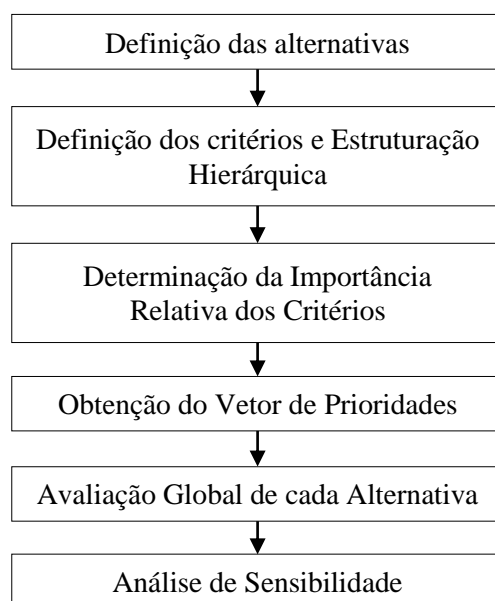


Figura 5.4 – Fluxograma das atividades da terceira etapa da pesquisa.

##### 5.4.1. Definição de alternativas, critérios e estrutura hierárquica

As alternativas são definidas a partir do resultado da segunda etapa desta pesquisa, que consiste em determinar as áreas potenciais para aterro sanitário. Como, ao final da segunda etapa, têm-se várias alternativas possíveis, torna-se necessário estabelecer critérios para eliminar algumas

alternativas e reduzi-las a um número favorável à aplicação do método multicritério AHP. Para definir as alternativas, foi necessário primeiramente estimar a área mínima necessária para o aterro sanitário.

Para calcular a área mínima necessária para o aterro sanitário, foi necessário primeiramente estimar a população e o volume de resíduos sólidos urbanos, que é função da geração *per capita* e, por fim, a área mínima necessária.

- Estimativa da população

O modelo adotado para estimar a população dos municípios emprega a metodologia utilizada pelo IBGE e desenvolvida pelos demógrafos Madeira e Simões constante em IBGE (2010), onde se observa a tendência de crescimento populacional dos municípios, entre dois Censos Demográficos consecutivos, em relação à mesma tendência de uma área geográfica hierarquicamente superior. Na presente pesquisa, as projeções utilizadas são as baseadas no método geométrico, estimada pelas Equações (5.9) e (5.10).

$$P_t = P_0 \cdot e^{k_g \cdot (t-t_0)} \quad (5.9)$$

Onde:

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

$P_0$ : População no penúltimo censo demográfico.

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

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

$t_0$ : Ano do penúltimo censo demográfico.

$$k_g = \frac{\ln(P_1) - \ln(P_0)}{t_1 - t_0} \quad (5.10)$$

Onde:

$P_1$ : População no último censo demográfico.

$t_1$ : Ano do último censo demográfico.

A ABNT NBR 13.896/97 determina que a vida útil de aterros sanitários seja de no mínimo 10 anos assim, para esta pesquisa, optou-se por um tempo de vida útil de 20 anos, tempo adotado



também por Gomes *et al.* (2014) e Braga e Pereira (2014) em estudos de áreas para implantação de aterros sanitários. Com base na vida útil adotada para o aterro, a população foi estimada para 20 anos, de 2018 a 2037. Os procedimentos detalhados sobre a estimativa da população dos municípios do sul da RIDE/DF podem ser encontrados no Apêndice D.

- Estimativa do volume de resíduos sólidos urbanos gerados

A estimativa do volume de resíduos é feita com base na população e na geração anual de resíduos. Adotando  $0,7 \text{ t/m}^3$  como a massa específica de resíduos sólidos compactados (Calijure *et al.*, 2002), o volume total de resíduos a serem gerados ao longo da vida útil do aterro sanitário, é o estimado pela Equação (5.11).

$$V_T = \frac{\sum_{i=1}^n (M_i + M_{i-1})}{\rho} \quad (5.11)$$

Onde:

$V_T$ : Volume de resíduos sólidos produzido ( $\text{m}^3$ ).

$M$ : Massa de resíduos sólidos (ton.).

$\rho$ : Massa específica dos resíduos sólidos compactado ( $\text{t/m}^3$ ).

Sendo que 1 corresponde a massa gerada para o ano de 2018.

E por fim, de acordo com Gomes *et al.* (2014), adotando o volume de solo para recobrimento de 30% do volume de RSU e a altura do maciço de 6 m (método da trincheira), a área mínima necessária para o aterro sanitário é estimada pela Equação (5.12).

$$A = \frac{V + V_s}{h} \quad (5.12)$$

Onde:

$A$ : Área necessária para o aterro sanitário ( $\text{m}^2$ ).

$V$ : Volume de resíduos ( $\text{m}^3$ ).

$V_s$ : Volume de solo usado para cobertura ( $\text{m}^3$ ).

$h$ : Altura do maciço (m).

Após a estimativa da área mínima necessária para o aterro regional, áreas menores que as requeridas são excluídas da análise e, como a aptidão das áreas foi dividida em cinco classes, a saber: inadequada, mal adequada, moderadamente adequada, adequada e mais adequada; optou-se por ser mais conservador selecionando apenas as áreas de classe mais adequada.

Quanto à definição de critérios para a seleção de alternativas, estes foram pré-definidos por meio de pesquisas em literatura, sendo estes adaptados para a realidade local da área de estudo, o sul da RIDE/DF. Sendo assim, foram pré-selecionados seis critérios, a saber: proteção das águas superficiais, geração de resíduos sólidos urbanos, vida útil do aterro, custo de transporte, condições de acesso e uso e ocupação das áreas. Os critérios foram pré-definidos de acordo com suas importâncias e a disponibilidade de dados.

Após a seleção dos quatro critérios e das quatro alternativas, considerados mais importantes, foi construída a estrutura hierárquica do problema, que segundo Saaty (1991), é uma abstração da estrutura de um sistema para estudar as interações funcionais de seus componentes e seus impactos no sistema total, que pode tomar várias formas inter-relacionadas, todas descendentes de um objetivo geral, abrindo-se em subobjetivos, desmembrando-se nas forças influentes, e até nas pessoas que influenciam essas forças. A Figura 5.5 apresenta a estrutura hierárquica do processo de análise para seleção de alternativas, com os quatro critérios e as quatro alternativas selecionadas.

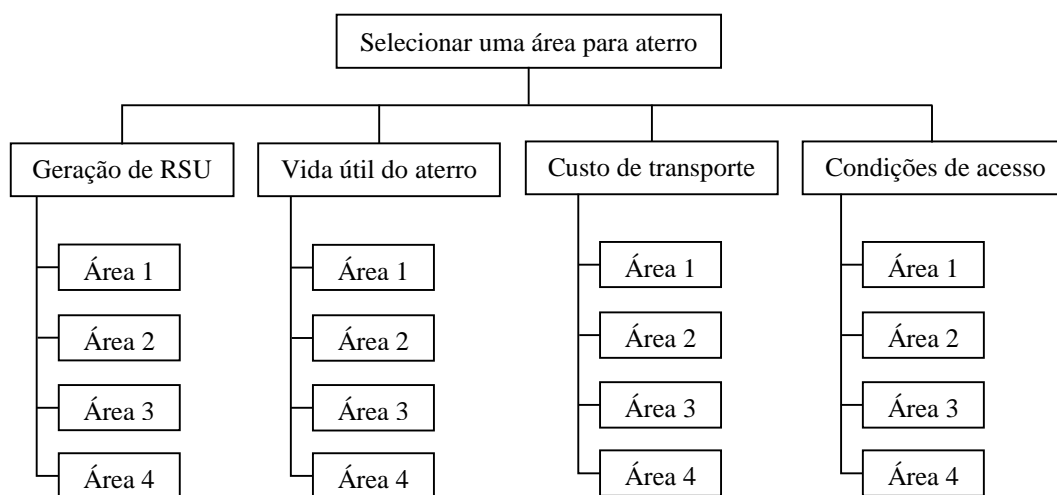


Figura 5.5 - Estrutura hierárquica do processo de análise.

#### **5.4.2. Determinação da Importância Relativa dos Critérios**

Para a determinação dos pesos relativos dos critérios é necessário, primeiramente, coletar os julgamentos dos especialistas, que é feita por meio da aplicação de questionários. Os especialistas selecionados para responderem aos questionários da segunda consulta, na condição de atores sociais envolvidos (*skateholders*), possuem conhecimentos nas áreas de resíduos sólidos, meio ambiente e geografia, e ocupam os cargos de Diretor Técnico do SLU/DF, Superintendente do CORSAP/DF-GO, Analista Ambiental da Prefeitura de Cristalina/GO e Geógrafo do SLU/DF. Ao receberem os questionários os especialistas devem apontar, por ordem decrescente, a importância dos critérios pré-definidos e, posteriormente, atribuir os pesos utilizando a escala fundamental de Saaty (Tabela 3.2). A lista dos especialistas participantes da segunda consulta e o questionário podem ser encontrados nos Apêndices C e E, respectivamente.

O ordenamento dos critérios, segundo a importância considerada pelos julgadores, é necessário para selecionar quatro critérios, avaliados pelos especialistas como os mais importantes para a seleção de alternativas para aterro sanitário. A seleção de quatro critérios justifica-se pelo fato de ser um número em que os especialistas podem julgar corretamente, pois, de acordo com Saaty (1991), existe o chamado limite psicológico, segundo o qual o ser humano pode, no máximo, julgar corretamente um número de critérios que varia de 5 a 9. Os pesos relativos dos critérios foram obtidos pelo método AHP, cuja metodologia é apresentada na seção 5.3.3.

#### **5.4.3. Obtenção dos Vetores de Prioridades e de Decisão**

A obtenção dos vetores de prioridades, quando os critérios são qualitativos, é feita pela comparação pareada das alternativas em relação a cada critério, porém, quando os critérios são quantitativos, como é o caso dos critérios desta pesquisa, faz-se necessário apenas a normalização ou a harmonização seguida da normalização, dependendo do critério. A normalização é feita quando, por exemplo, para o critério vida útil do aterro, quanto maior a vida útil melhor, nesse caso, o valor da vida útil de cada alternativa é dividido pelo somatório do valor das alternativas. Já para o critério distância das fontes de geração de RSU, quanto maior a distância é pior, nesse caso, é necessário harmonizar, dividindo o somatório das distâncias das alternativa pela distância de cada uma das alternativas e, em seguida, normalizar para se obter o vetor de prioridade das alternativas em relação a este critério.

Dito isto, os valores dos critérios selecionados são quantificados da seguinte forma: a geração de RSU é medido pela distância, em km, do centro de massa dos resíduos às alternativas; a vida útil do aterro é medida pelo tempo, em anos, que as alternativas suportam receber os RSU; o custo de transporte é medido pelas distâncias, em km, entre o centro geométrico de coleta e as alternativas; condições de acesso é medido pela porcentagem pavimentada das vias de acesso que ligam as sedes dos municípios às alternativas, pois considera-se que, quanto mais pavimentada forem as vias de acesso, melhor será o acesso.

Em seguida, após a obtenção da importância das alternativas em relação aos critérios, é realizada a avaliação global de cada alternativa, ou seja, são obtidos os vetores de decisão, onde os resultados da avaliação em cada nível da estrutura hierárquica são integrados, utilizando a função de agregação dada pela Equação (5.13), que permite gerar os valores finais das alternativas, classificando-as por ordem de preferência dos julgadores.

$$\bar{f}(A_j) = \sum_{i=1}^m \bar{w}(C_i) \cdot v_i(A_j), \quad j = 1, \dots, n \quad (5.13)$$

Onde:

$m$ : número de critérios.

$n$ : número de alternativas.

$\bar{w}$ : peso do critério.

$v$ : vetor de prioridade da alternativa.

E, finalmente, é realizada análise de sensibilidade, para avaliar a estabilidade no ordenamento das alternativas obtidas quanto às mudanças nos pesos dos critérios.

Após selecionar a melhor alternativa, torna-se imperativa a realização de estudos complementares em escala local, para caracterizar e entender a dinâmica da área, visando auxiliar na tomada de decisão nas mais variadas fases do empreendimento, como por exemplo, na elaboração do projeto, na construção, operação, manutenção, mitigação de impactos adversos e no encerramento. Com este intuito, a seguir, é realizada a determinação da temperatura de cobertura do solo e da taxa de infiltração de água no solo, como um estudo complementar de caracterização da área.

#### 5.4.4. Análise de temperatura da cobertura do solo e infiltração

##### 5.4.4.1. Determinação da temperatura de cobertura do solo

Visando analisar a variação temporal e espacial da temperatura de cobertura do solo, utilizou-se imagens do satélite Landsat 8, registradas nos dias 05/09/2015 e 07/07/2016 às 13h14 (UTC). Utilizou-se as imagens do infravermelho termal (banda 10), que corresponde à faixa do espectro eletromagnético de 10,60 a 11,19  $\mu\text{m}$ . Para calcular a temperatura de cobertura do solo é necessário, primeiramente, converter os níveis de cinza da imagem em radiância. Segundo informações da página do Landsat, a radiância ( $L_\lambda$ ) de cada uma das bandas pode ser calculada pela Equação (5.14).

$$L_\lambda = M_L \cdot Q_{cal} + A_L \quad (5.14)$$

Onde:

$M_L$  e  $A_L$ : Parâmetros obtidos no arquivo de metadados das imagens.

$Q_{cal}$ : Níveis de cinza da imagem.

E, em seguida, a temperatura de superfície pode ser calculada pela Equação (5.15).

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} - 273 \quad (5.15)$$

Onde:

$T$ : Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$K_1$  e  $K_2$ : Constante de calibração.

$L_\lambda$ : Radiância espectral.

##### 5.4.4.2. Determinação da taxa de infiltração de água no solo

Para avaliar o comportamento da infiltração na área selecionada para aterro sanitário, procede-se a uma experimentação apoiada nos procedimentos descritos por Guerra (1996), a partir da utilização de um equipamento denominado infiltrômetro cilíndrico. O infiltrômetro é construído utilizando um tubo de PVC com 10 cm de diâmetro e 15 cm de altura e, a 5 cm da base é feito um furo e, conectada uma mangueira na parte externa que, em seu lado é instalada uma régua de 10 cm para medir a variação do nível da água. Com o auxílio de um martelo, o equipamento

é cravado no solo a 5 cm de profundidade, de modo que a mangueira conectada ao tubo fique no nível do solo. Em seguida, o equipamento é abastecido com água até a marca de 10 cm e, com o auxílio de um cronômetro, registra-se a o nível da água a cada minuto, durante 30 minutos. A partir dos dados registrados em campo, calcula-se o volume de água infiltrado no solo pela Equação (5.16).

$$V = \pi r^2 \cdot h \quad (5.16)$$

Onde:

*r*: Raio do infiltrômetro (cm).

*h*: Variação da altura do nível de água (cm).

Os pontos amostrais para o experimento foram definidos por uma malha regular, constituída por onze pontos com espaçamento de mil metros (Figura 5.6). Baum *et al.* (2014) utilizaram quinze pontos amostrais para determinar a variabilidade da taxa de infiltração no espaço urbano na cidade de Frederico Westphalen, no Rio Grande do Sul.

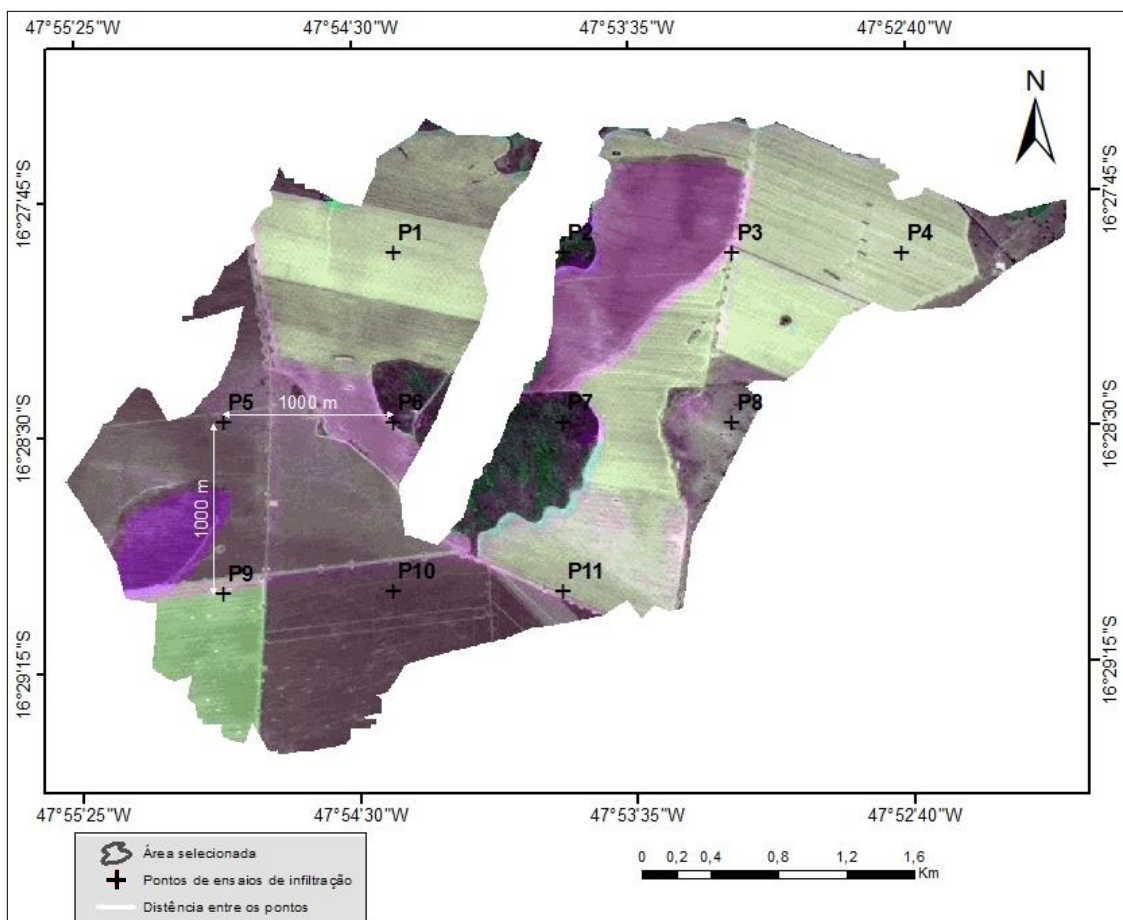


Figura 5.6 -Malha amostral usado nos ensaios de infiltração.

Em seguida, para determinar a taxa de infiltração de cada ponto é aplicada a Equação (5.17).

$$TI = \frac{Vol}{t} \quad (5.17)$$

Onde:

*TI*: Taxa de Infiltração (cm/min).

*Vol*: Volume total infiltrado durante todo o experimento (cm<sup>3</sup>).

*T*: Tempo total do experimento (min).

Para tornar os dados representativos em toda a área (especializados), é necessário recorrer aos métodos geoestatísticos. Tal metodologia utiliza os dados pontuais com suas respectivas coordenadas geográficas e o método geoestatístico da Krigagem, em que cada ponto da superfície é estimado a partir da interpolação das amostras mais próximas (Barbosa *et al.*, 2010). Para isso, utilizou-se o estimador estatístico presente no software ArcGIS.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. CLASSIFICAÇÃO TEMÁTICA DO USO E COBERTURA DO SOLO

Após seguir os passos da metodologia descrita no capítulo anterior, foi possível gerar os mapas de uso e cobertura do solo da área de estudo para os anos de 1986, 1996, 2006 e 2016. Para verificar as mudanças ocorridas ao longo do tempo em cada uma das classes, foram calculadas as áreas de cada classe para cada ano analisado, e a diferença entre as mesmas evidenciam o ganho ou a perda de área em cada classe. Os mapas de uso e cobertura do solo para os anos de 1986, 1996, 2006 e 2016 são apresentados nas Figuras 6.1, 6.2, 6.3 e 6.4, respectivamente.

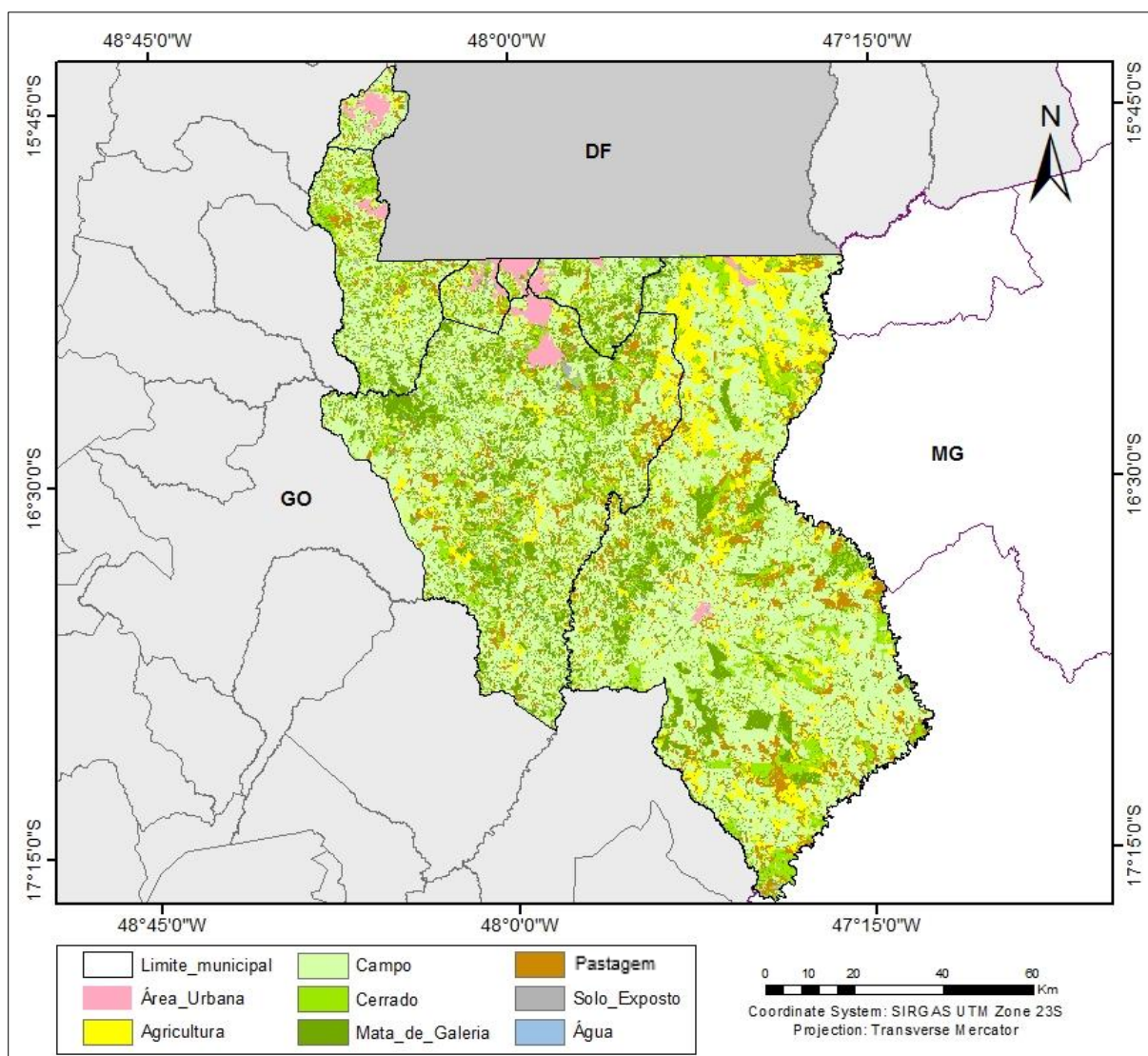


Figura 6.1 - Mapa de Uso e Cobertura do Solo para o ano de 1986.



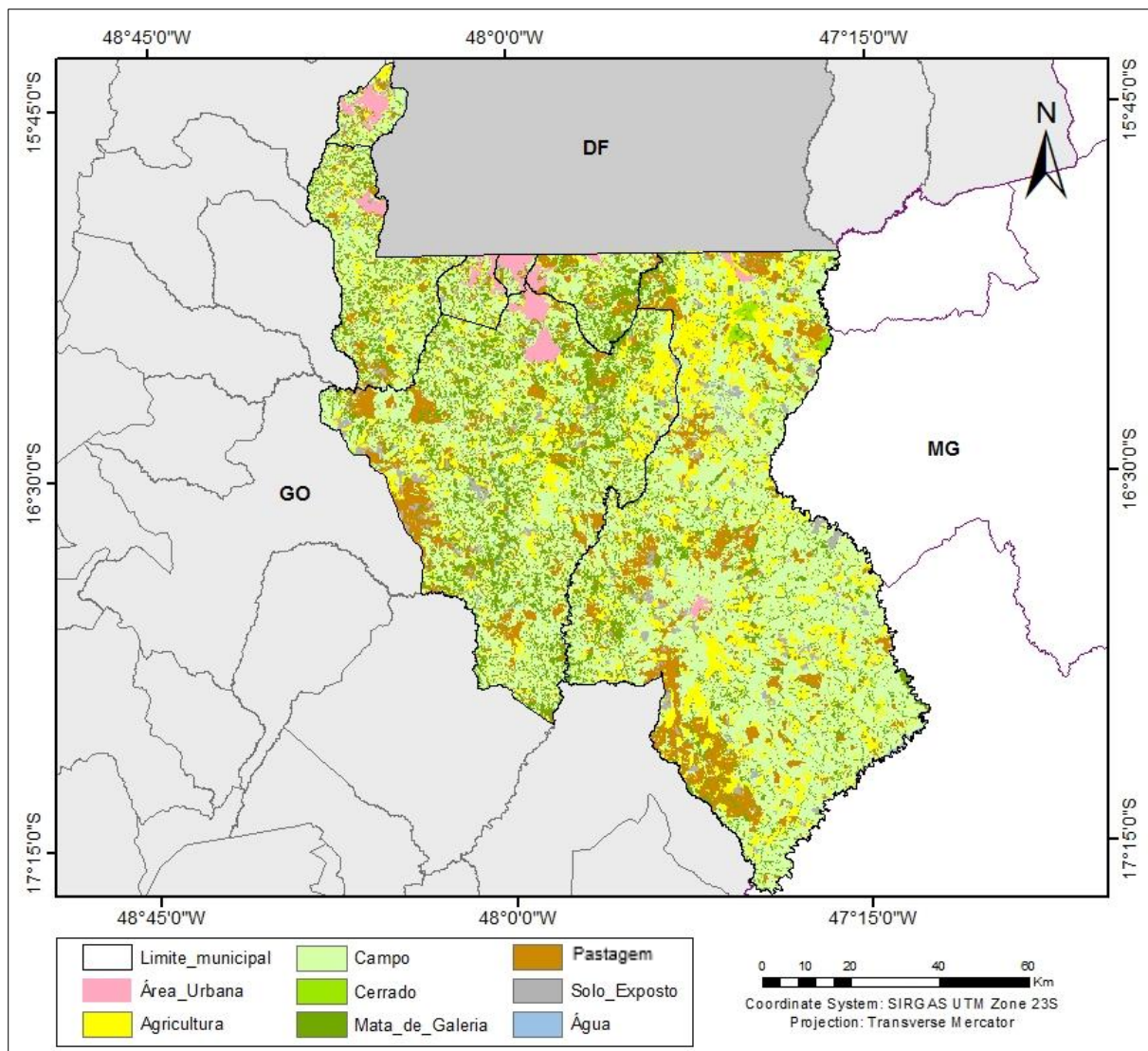


Figura 6.2 - Mapa de Uso e Cobertura do Solo para o ano de 1996.

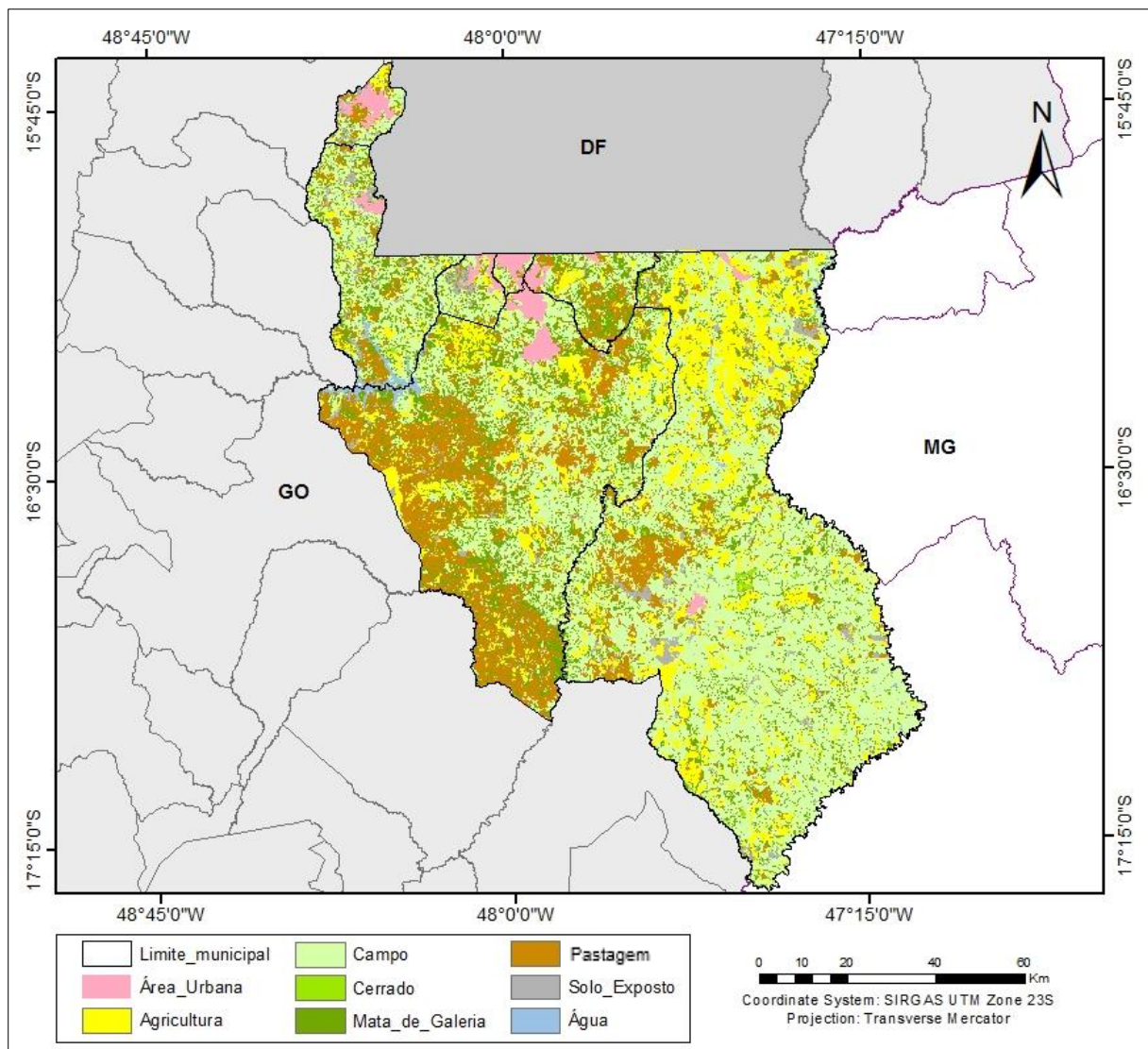


Figura 6.3 - Mapa de Uso e Cobertura do Solo para o ano de 2006.

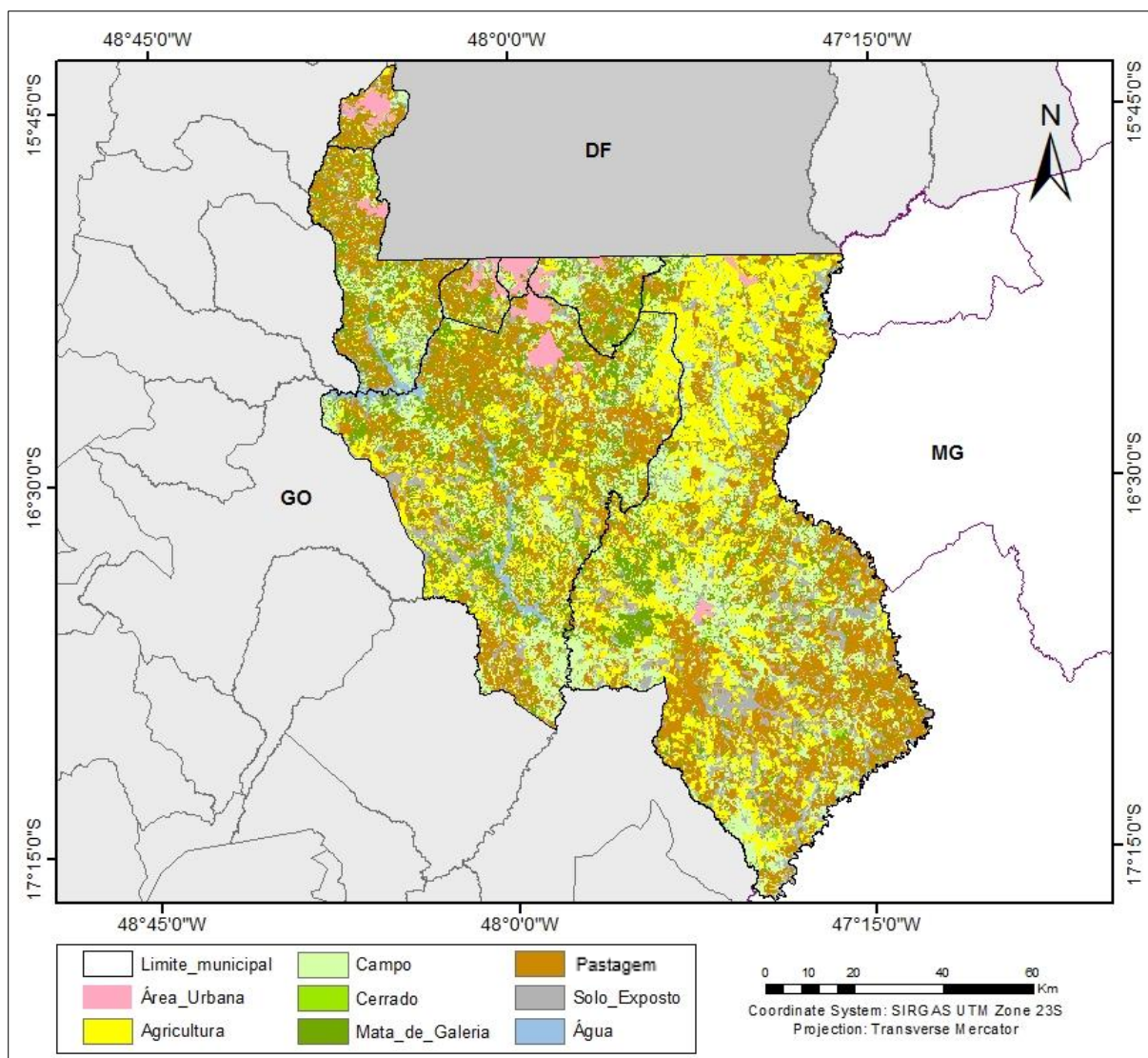


Figura 6.4 - Mapa de Uso e Cobertura do Solo para o ano de 2016.

No ano de 1986 (Figura 6.1) predominava a classe campo com 6371,56 km<sup>2</sup>, seguido de mata de galeria com 1891,45 km<sup>2</sup>, e cerrado com 1349,83 km<sup>2</sup>, porém, as classes água, área urbanizada e solo exposto apresentaram as menores áreas, com 25,95; 70,07 e 113,19 km<sup>2</sup>, respectivamente. Para o ano de 1996 (Figura 6.2), a área de agricultura aumentou de 1022,92 para 1646,84 km<sup>2</sup> e área de cerrado reduziu drasticamente de 1349,83 para 111,12 km<sup>2</sup>. Em 2006 (Figura 6.3), as maiores áreas eram compostas por campo, com 5506,04 km<sup>2</sup> e pastagem com 2050,21 km<sup>2</sup>, porém a classe de cerrado apresentou a menor área, com 108,60 km<sup>2</sup>. Para o ano de 2016 (Figura 6.4), a classe de pastagem já apresentava a maior área, dentre as classes, com 3604,20 km<sup>2</sup>, seguido de campo e agricultura, com área de 2484,85 e 2336,67 km<sup>2</sup>, respectivamente.

### 6.1.1. Evolução temporal do uso e cobertura do solo

As análises da evolução temporal do uso e cobertura do solo foram realizadas entre os anos de 1986 e 1996, 1996 e 2006, 2006 e 2016 e uma análise geral entre os anos de 1986 e 2016, sendo que, para esta última, foram analisadas as variações de cada classe no intervalo de trinta anos. A Tabela 6.1 apresenta a comparação do uso e cobertura do solo entre os anos de 1986 e 1996.

Tabela 6.1 - Comparação do uso e cobertura do solo entre os anos de 1986 e 2016.

Classes	Área (km <sup>2</sup> )				Variação (%)
	1986	1996	2006	2016	1986 - 2016
Agricultura	1022,92	1646,84	1794,63	2336,67	56,22
Água	25,95	30,92	153,15	263,99	90,17
Área urbanizada	70,07	135,67	203,81	246,87	71,62
Campo	6371,56	6088,99	5506,04	2484,85	-156,42
Cerrado	1349,83	111,12	108,60	101,83	-1225,54
Mata de galeria	1891,45	1869,38	1767,85	1693,15	-11,71
Pastagem	1073,45	1505,11	2050,21	3604,20	70,22
Solo exposto	113,19	530,39	334,13	1186,86	90,46

De acordo com a Tabela 6.1, observa-se que, ocorreram ganhos de áreas em cinco classes, onde a agricultura que possuía área de 1022,92 km<sup>2</sup> no ano de 1986, passou a ter 1646,84 km<sup>2</sup>, correspondendo a 13,82% do total da área de estudo no ano de 1996, dessa foram, a agricultura teve um aumento de 60,99% de área entre os anos de 1986 e 1996. A classe água aumentou de 0,22 para 0,26%, possivelmente pela construção de açudes para dessedentação de rebanhos, a área urbanizada passou de 0,59% para 1,14%, e a pastagem teve um aumento de 40,21% de sua área de 1986 para 1996.

Quando se observa os mapas de uso e cobertura do solo dos anos de 1986 e 1996, é possível distinguir claramente que parte das áreas que no ano de 1986 foram classificadas como campo, em 1996 deram lugar a áreas urbanas, agriculturas e pastagens. Também foi possível verificar que no ano 1986, onde atualmente localiza-se o município de Águas Lindas de Goiás, não apresentou a classe de área urbana, devido ser um município novo que só foi emancipado 10 anos depois, no ano de 1996.

Na comparação do uso e cobertura do solo entre os anos de 1996 e 2006, pode-se observar o aumento das áreas de agricultura, de 1646,84 km<sup>2</sup> em 1996, para 1794,63 km<sup>2</sup> em 2006,

ocorrendo, portanto, um aumento percentual de 8,97%, e pode-se observar também o aumento de áreas nas classes de área urbanizada e água. As classes de campo, cerrado, mata de galeria e solo exposto tiveram perdas de 9,57%, 2,27%, 5,43% e 37,00%, respectivamente.

A maior variação percentual observada entre os anos de 1996 e 2006, ocorreu na classe água (corpos d'água) que aumentou 395,31%. Esse aumento pode ser justificado pelo represamento das águas do rio Corumbá para a geração de eletricidade na Usina Hidrelétrica de Corumbá IV, que foi inaugurada em fevereiro de 2006. O represamento do rio Corumbá influencia os municípios de Luziânia, Santo Antônio do Descoberto, Alexânia, Corumbá de Goiás, Abadiânia, Silvânia, Gameleira de Goiás e Novo Gama, com cerca de 173 km<sup>2</sup> de área inundada (Goiás, 2013).

Para o período compreendido entre os anos de 2006 e 2016, observa-se significativas modificações no uso e cobertura do solo, onde as maiores mudanças dizem respeito ao aumento das áreas de agricultura (30,20%), da classe água (72,37%), e a classe de solo exposto, esta teve um aumento em cerca de 255,21%. Por outro lado, a maior perda de área ocorreu na classe campo, que perdeu em torno de 3021,19 km<sup>2</sup> de área, uma brusca redução de 54,87%. A grande perda da área de campo está relacionada, principalmente, com a expansão das áreas de agricultura mecanizada e das áreas de atividades pecuárias.

Ainda para a comparação entre os anos de 2006 e 2016, nota-se que a área de agricultura somada à área de pastagem tiveram um ganho de 2096,03 km<sup>2</sup> de área, ou seja, cresceram 54,52% entre os anos de 2006 e 2016. Esses dados são reflexos do aumento das atividades agrícolas e de pecuária em todo o Estado de Goiás que, segundo a IMB (2013), as áreas agrícolas de café, milho, feijão, soja e trigo cresceram 39,24% entre os anos de 2000 e 2012, e no mesmo período, a pecuária composta por ovinos, muares, caprinos e bubalinos, cresceu 31,10% forçando, portanto, a expansão das áreas de pastagens.

Outro fato que merece destaque na comparação entre 2006 e 2016, diz respeito ao aumento expressivo de 72,37% da área da classe de água (corpos d'água), que possuía 153,15 km<sup>2</sup> em 2006 e passou a ter 263,99 km<sup>2</sup> em 2016. Esse aumento, mais uma vez, é explicado pelo represamento do rio Corumbá, dessa vez, para a construção da Usina Hidrelétrica de Corumbá III, que entrou em operação em setembro de 2009, inundando cerca de 77,42 km<sup>2</sup> de área no município de Luziânia. A evolução temporal do uso e cobertura do solo ocorrida na área de estudo entre os anos de 1986 e 2016, é resumida na Figura 6.5.

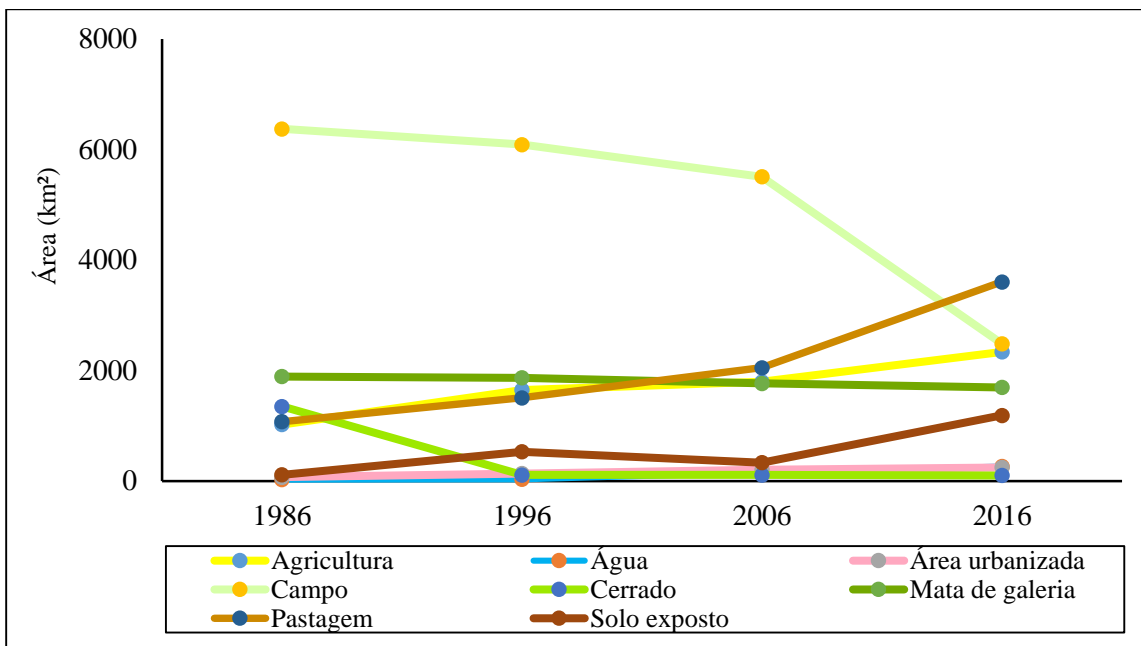


Figura 6.5 - Evolução temporal do uso e cobertura do solo em 1986, 1996, 2006 e 2016.

De acordo com a Figura 6.5 pode-se observar que, ao longo dos trinta anos analisados, as maiores mudanças ocorreram nas classes de: campo que possuía em 1986 cerca de 6371 km<sup>2</sup> e reduziu para cerca de 2484 km<sup>2</sup>, ou seja, ocorreu uma redução de aproximadamente 156 %; pastagem que possuía área de 1073 km<sup>2</sup>, em 1986, e passou a ter cerca de 3604 km<sup>2</sup> em 2016, registrando um aumento de cerca de 70%. Em termos percentuais, a maior mudança ocorreu na classe de mata de galeria, onde foi observado uma redução de cerca de 1225%.

Pode-se observar também na Figura 6.5 que a área da classe de solo exposto cresce e decresce ao longo dos trinta anos. Isto ocorre devido a esta classe levar em consideração também o solo preparado para agricultura que, na classificação temática do uso e cobertura do solo é interpretada como solo exposto. Em anos que a área de solo exposto decresce, é porque o solo preparado para agricultura que era interpretado como solo exposto, na classificação temática, passa a ser interpretado como área de agricultura, devido a presença de culturas.

É importante salientar que o mapeamento das classes do uso e cobertura do solo e o entendimento de sua dinâmica, realizada pela classificação temática de imagens digitais de sensoriamento remoto, são fatores preponderantes na localização de áreas potenciais para a implantação de aterros sanitários, cuja a classe de solo exposto é priorizada, por sugestão da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

## **6.2. LOCALIZAÇÃO DE ÁREAS POTENCIAIS PARA ATERROS SANITÁRIOS**

A discussão dos resultados da aplicação da metodologia proposta para a segunda etapa da pesquisa foi desenvolvida por níveis de Combinação Linear Ponderada dos critérios. Foram dois os níveis de combinações, a combinação com os fatores no terceiro nível da hierarquia e a do segundo nível com os critérios. Para realizar a Combinação Linear Ponderada foi necessário, primeiramente, padronizar os critérios, representados como plano de dados geográficos, e a atribuição de pesos aos critérios e aos fatores nos dois níveis da hierarquia, realizada pelos especialistas por meio da comparação pareada.

### **6.2.1. Padronização dos mapas**

A seguir, nas seções 6.2.1.1, 6.2.1.2, 6.2.1.3, são apresentados os mapas, em formato *raster*, dos fatores padronizados. As faixas de distâncias e de declividades, bem como as notas atribuídas a cada uma delas, foram adaptadas de trabalhos sobre localização de áreas para aterros sanitários, assim como também, as classes e suas respectivas notas de aptidão para os mapas de solo e uso e cobertura do solo.

#### 6.2.1.1. Mapas de Fatores Ambientais

- Fator distância de rios

Na padronização do fator distância de rios, foram consideradas cinco faixas de distâncias, conforme apresentado na Figura 6.6. Desta forma, quanto mais distante se localizar o aterro sanitário dos cursos d'águas, menor será os riscos de contaminação dos mesmos. Partindo desse princípio, admitiu-se que as áreas situadas entre as distâncias de 200 e 600 metros possui aptidão mínima por estar mais próxima dos rios, ao passo que as áreas localizadas em distâncias superiores a 2000 metros possuem aptidão máxima por oferecer menor risco de contaminação dos rios. A Figura 6.6 apresenta o mapa de distância de rios padronizado.

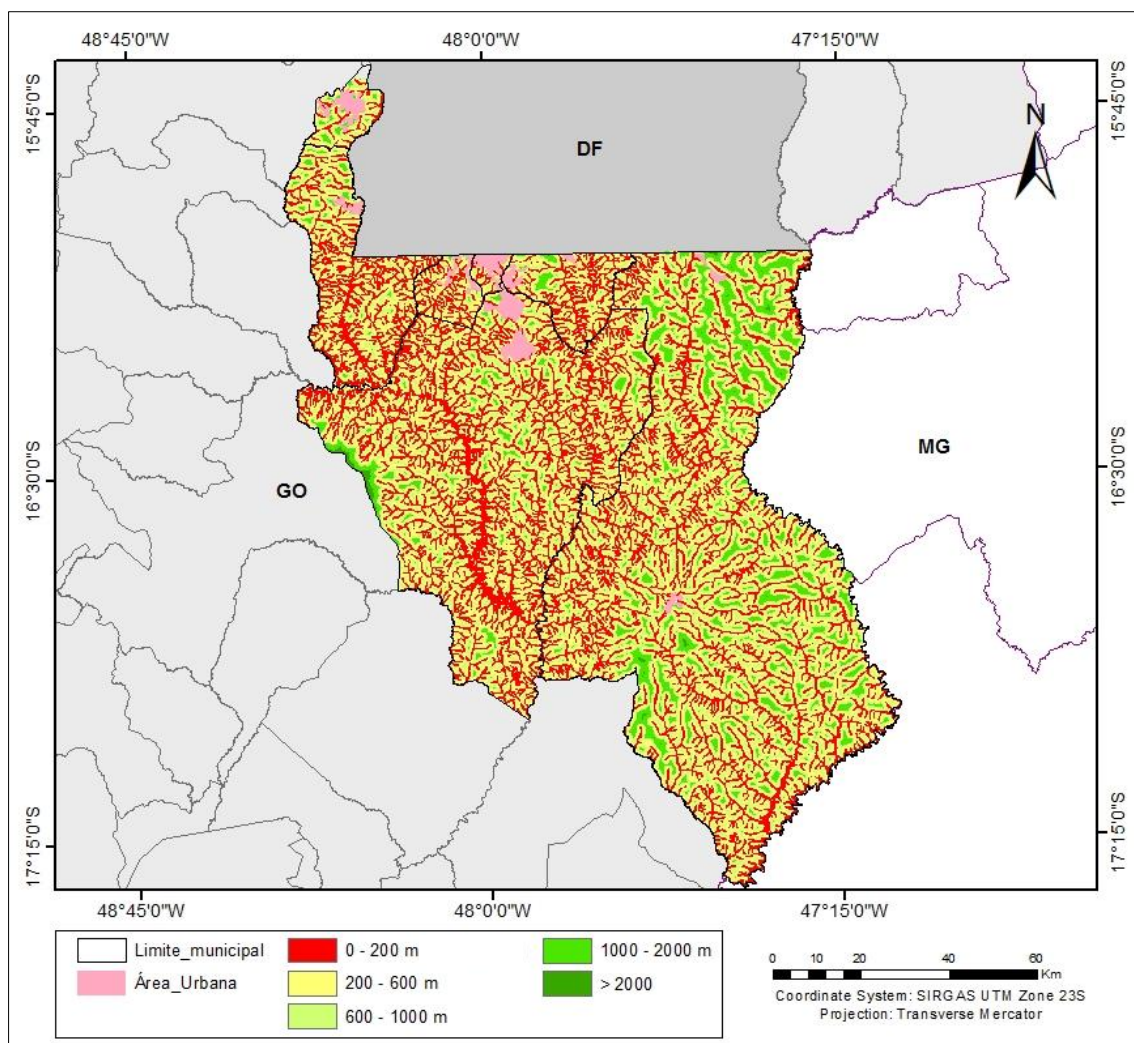


Figura 6.6 - Mapa de distância de rios.

Para o fator distância de rios (Figura 6.6), não foram observadas áreas com tamanho suficiente receber os RSU dos municípios em estudo, pois é observado na área de estudo, a presença de grande quantidade de rios, o que restringe grande parte das áreas.

- Fator distância de pontos de captação de água

Visando assegurar a boa qualidade das águas, para o abastecimento público e, reduzir os riscos de contaminação dos mananciais de abastecimento, a Instrução Normativa de Goiás nº 05 de 2010 estabelece que, os aterros sanitários devem localizar-se a uma distância mínima de 2500 metros de pontos de captação de água. Para satisfazer essa condição, as distâncias compreendidas dentro do raio de 2500 metros dos pontos de captação de água foram reclassificadas como restritas. A Figura 6.7 apresenta o mapa padronizado de distâncias dos pontos de captação de água para abastecimento público.



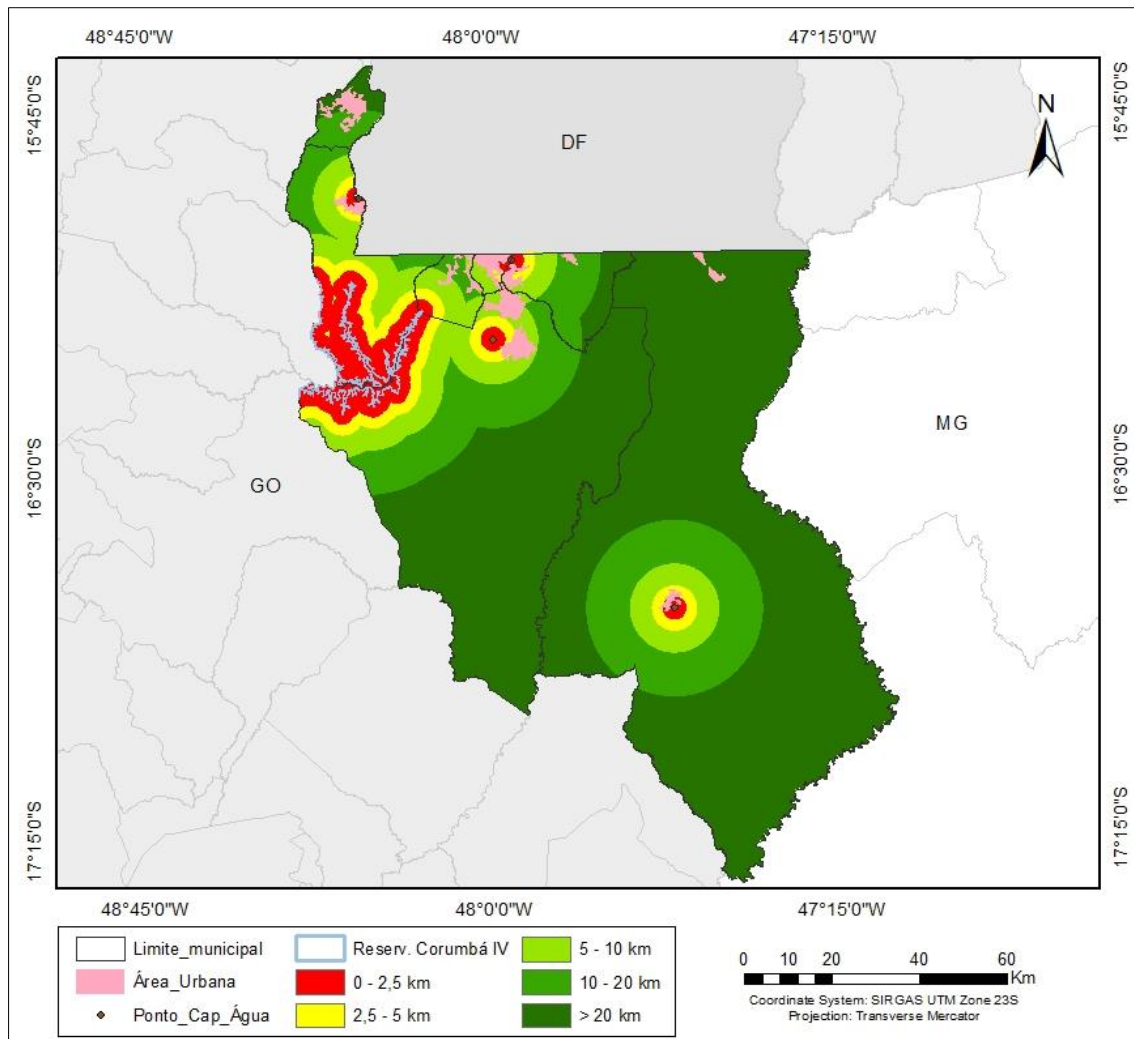


Figura 6.7 - Distância de pontos de captação de água para abastecimento público.

Quanto ao fator distância de pontos de captação de água para abastecimento público, observa-se na Figura 6.7 que, a maior parte do polígono de estudo recebe aptidão máxima para implantação de aterros sanitários, por outro lado, as áreas com maiores restrições são encontradas na porção noroeste, onde se encontra a maior concentração populacional e o maior reservatório de captação de água, o reservatório de Corumbá IV.

- Fator distância de linhas de falhas geológicas

O fator ambiental distância de linhas de falhas geológicas apresenta como característica principal a distância mínima (restrição) de 200 metros, que é estabelecida pela NRB 13.896/97. Essa distância mínima visa preservar os caminhos preferenciais dos efluentes dos aterros sanitários. O mapa padronizado de linhas de falhas geológicas é apresentado na Figura 6.8.

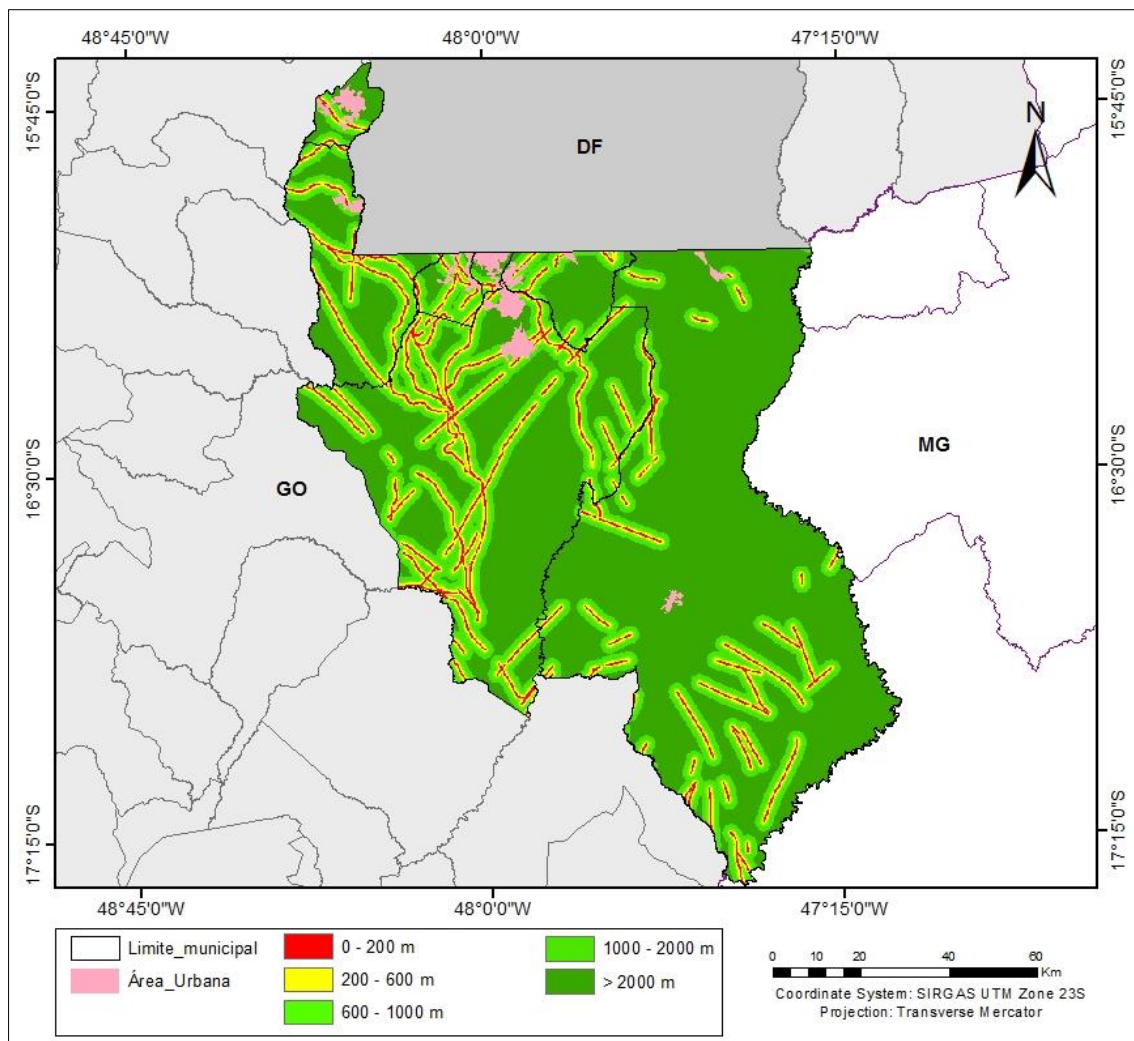


Figura 6.8 - Distância de linhas de falhas geológicas.

Para o fator distância de linhas de falhas geológicas, apresentado na Figura 6.8, as áreas com máxima aptidão foram encontradas na porção nordeste da área de estudo, pelo fato dessa região apresentar menos linhas de falhas geológicas, por outro lado, as áreas mais restritas foram encontradas na porção noroestes do polígono de estudo.

- Fator declividade

O mapa do fator declividade foi gerado a partir do Modelo Digital de Elevação com resolução espacial de 30 metros, disponível no sítio do USGS. A padronização do mapa de declividade foi feita de acordo com a adaptação de Gomes *et al.* (2001) e, considerou-se as áreas com maior aptidão aquelas situadas entre as declividades de 1% e 3%, e as com menor aptidão as situadas entre as declividades de 20% e 30%, como apresentado na Figura 6.9.

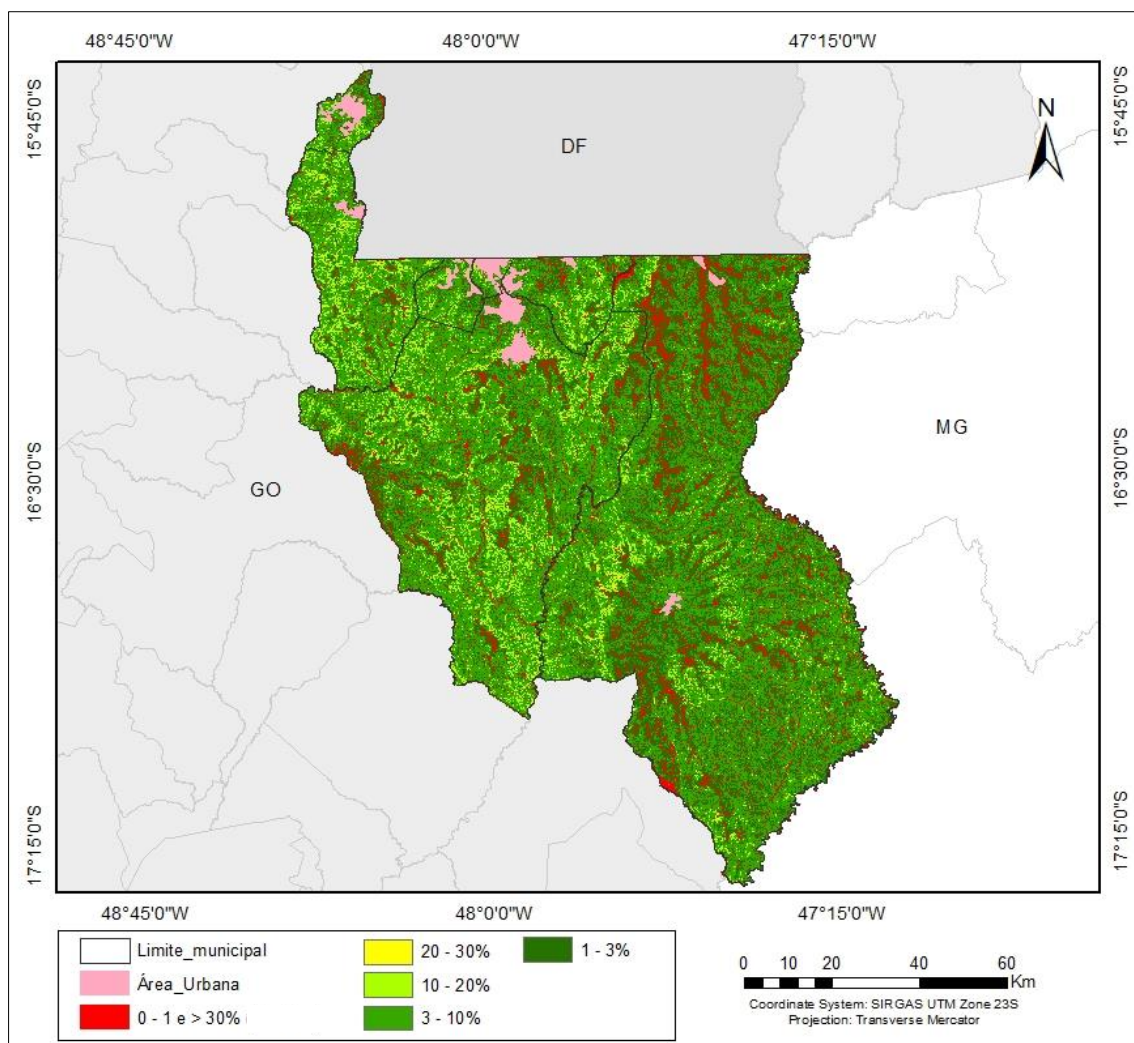


Figura 6.9 - Mapa de declividade padronizado.

As áreas aptas para implantação de aterros sanitários devem estar, segundo a NBR 13.896/97, entre as declividades de 1% e 30%, pois baixas declividades favorecem a operação de máquinas para a movimentação dos resíduos e do solo, além de oferecer condições menos crítica de drenagem, ou seja, a declividade pode facilitar ou dificultar na área do aterro.

- Fator distância de aeroportos

A distância mínima de aeroportos é definida pela Resolução CONAMA n° 004/1995, que determina as Áreas de Segurança Aeroportuárias (ASA) de 13 km de raio a partir do centro geométrico dos aeroportos. Dessa forma, as áreas localizadas mais próximas a esse limite possuem menor aptidão e, conseqüentemente, as localizadas mais distantes possuem maior aptidão. Considerou-se, nesta pesquisa, áreas com menor aptidão aquelas localizadas na faixa de distância entre 13 km e 15 km e, com maior aptidão, aquelas situadas em distâncias maiores

que 30 km, pois, quanto maior a distância, maior será a dificuldade de aves, que são atraídas pelo odor do aterro, de se aproximarem dos aeroportos e causarem possíveis acidentes de colisão com as aeronaves. A Figura 6.10 apresenta o mapa de distância de aeroportos padronizado.

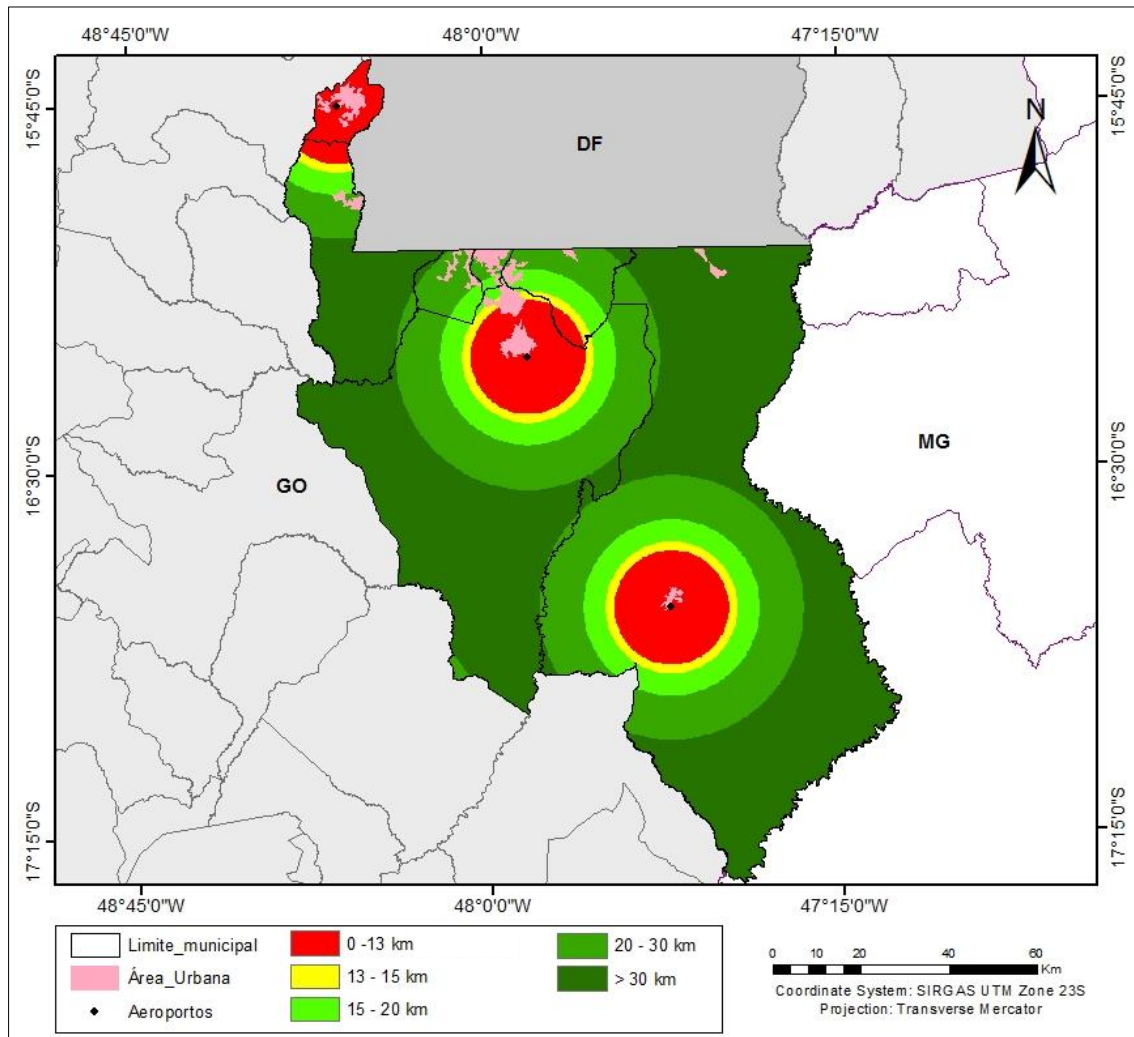


Figura 6.10 - Distância de aeroportos.

Foram encontrados apenas três aeroportos na área de estudo, um em Águas Lindas de Goiás, outro em Luziânia e outro no município de Cristalina e, cerca da metade da área do polígono apresenta áreas mais adequadas para aterros sanitários, com distâncias superiores a 30 km.

- Fator distância de unidades de conservação

O fator distância de unidades de conservação tem como característica principal a distância mínima de 10 km estabelecida pelo SNUC, criado pela Lei 9.985/2000, que determina as zonas

de amortecimentos no entorno das Unidades de Conservação (UC). As zonas de amortecimento têm como objetivo principal minimizar os impactos negativos sobre a unidade. De acordo com o levantamento de dados existentes na área de estudo, foi identificada uma UC de uso integral, o Parque Estadual do Descoberto. Na reclassificação do mapa, foram consideradas como inaptas as áreas situadas dentro da zona de amortecimento do Parque; com menor aptidão as localizadas entre a faixa de distância de 10 km e 15 km; as com maior aptidão foram aquelas situadas em distâncias superiores a 30 km, como apresenta o mapa padronizado na Figura 6.11.

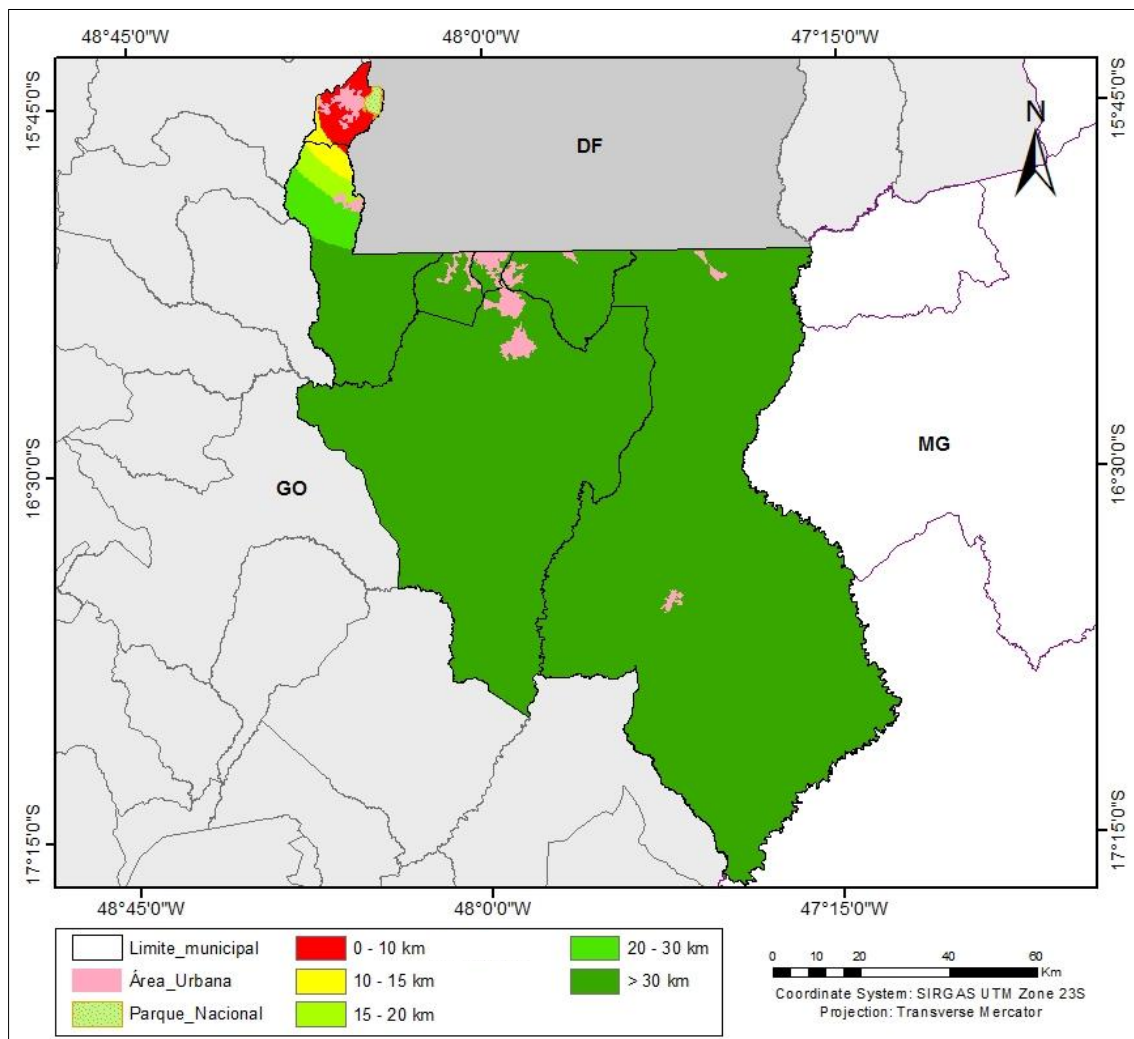


Figura 6.11 - Distância de unidades de conservação.

Quanto ao fator distância de unidades de conservação, pelo fato da área de estudo possuir apenas uma UC, o polígono de estudo, com exceção do município de Águas Lindas de Goiás, onde está localizado a UC, apresentara máxima aptidão para implantação de aterros sanitários.

- Fator solo

Nos estudos de áreas para aterros sanitário, é importante que o solo da área selecionada apresente uma certa impermeabilidade natural, com vistas a reduzir as possibilidades de infiltração do chorume e a contaminação do próprio solo e das águas subterrâneas. As áreas selecionadas devem possuir características argilosas e não deverão ser arenosas. Na padronização do mapa de pedologia, por meio da reclassificação, as notas atribuídas às classes foram adaptadas de Lourenço *et al.* (2015). As áreas com o solo do tipo neossolo e cambissolo foram consideradas inaptas, pois, o primeiro é constituído de material orgânico com alta permeabilidade, o segundo encontra-se encharcado durante boa parte do ano, pelo fato de encontrar-se em áreas alagadiças e próximos às margens de corpos d'água. Já as áreas com o solo do tipo latossolo foram consideradas como tendo máxima aptidão, por possuírem características argilosas, com teor de até 80% de argila. A Figura 6.12 apresenta o mapa de pedologia padronizado.

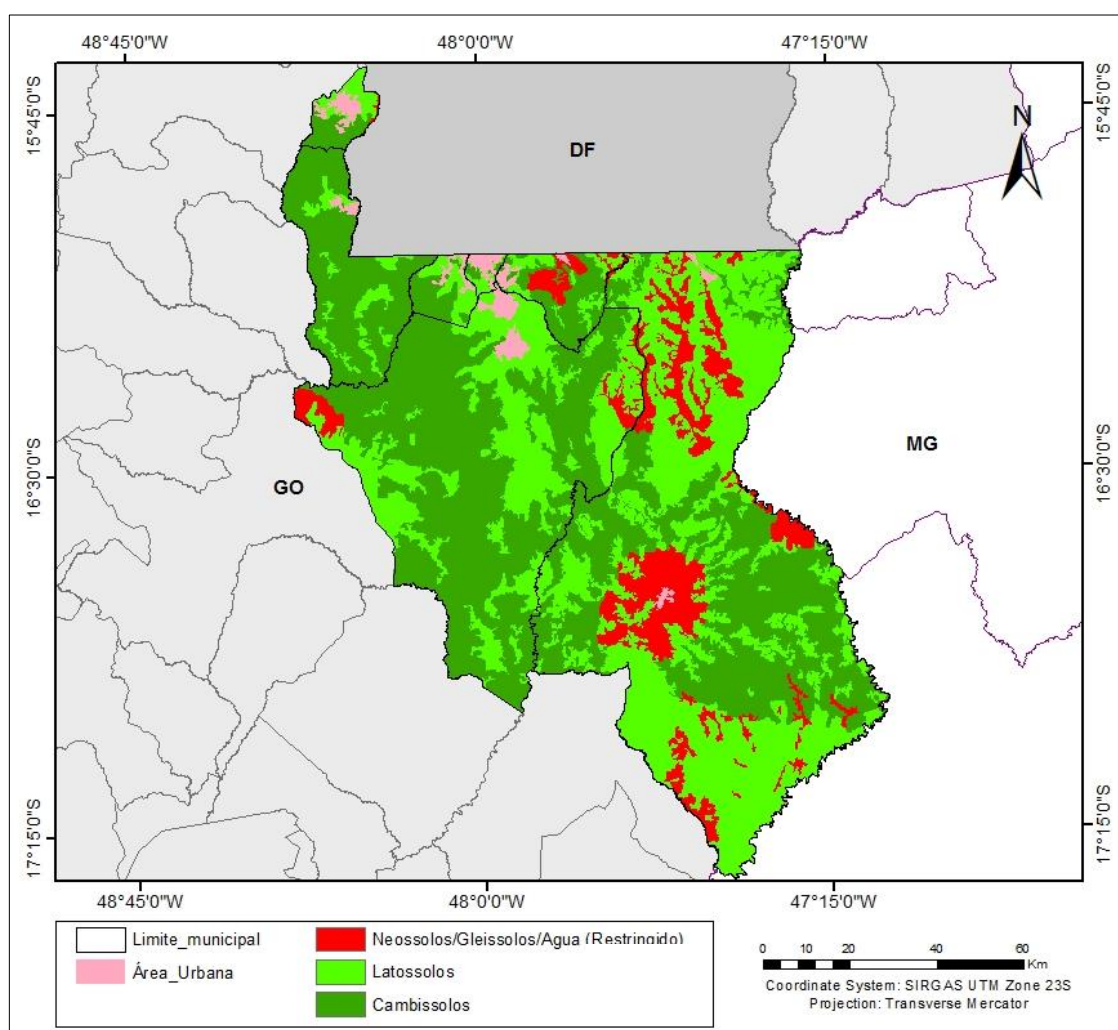
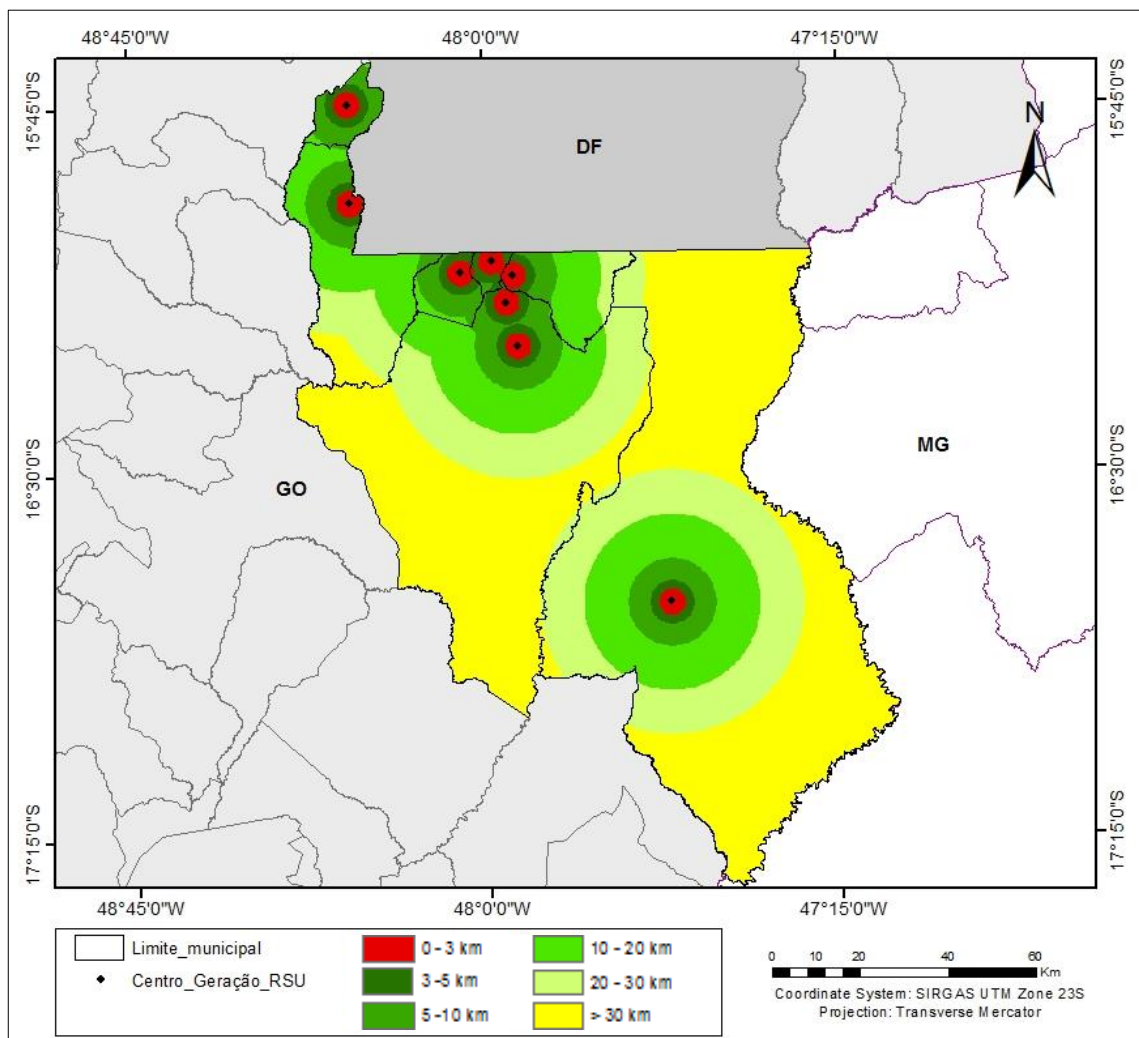


Figura 6.12 - Mapa de pedologia padronizado

### 6.2.1.2. Mapas de Fatores Econômicos

- Fator distância de centros de geração de RSU

As distâncias dos centros de geração de RSU foram padronizados de acordo com a adaptação de Sener *et al.* (2005). Dessa forma, foram consideradas com maior aptidão as áreas situadas na faixa de distância entre 3 km e 5 km, pelo fato de localizar-se mais próximo aos centros de geração de resíduos, reduzindo os custos de transporte. Já as áreas situadas em distâncias superiores a 30 km foram consideradas com menor aptidão, pois as grandes distâncias elevam os custos de transporte. A Figura 6.13 apresenta o mapa dos centros de geração de RSU padronizados.



- Fator distância de estradas

Distância de estradas é um fator econômico e que tem como objetivo a seleção de áreas mais próximas possíveis das estradas, visando atender a necessidade de redução dos custos nas operações de transporte dos resíduos sólidos. O mapa deste fator foi padronizado, usando seis faixas de distância adaptada de Lourenço *et al.* (2015). A aptidão máxima foi atribuída às áreas situadas na faixa de distância entre 200m e 500m, por outro lado, as áreas com menor aptidão foram aquelas situadas em distâncias superiores a 2000m, pelo fato de aumentar os custos de operação do transporte, bem como a construção de vias de acessos. A Figura 6.14 apresenta o mapa de distância de estradas padronizado.

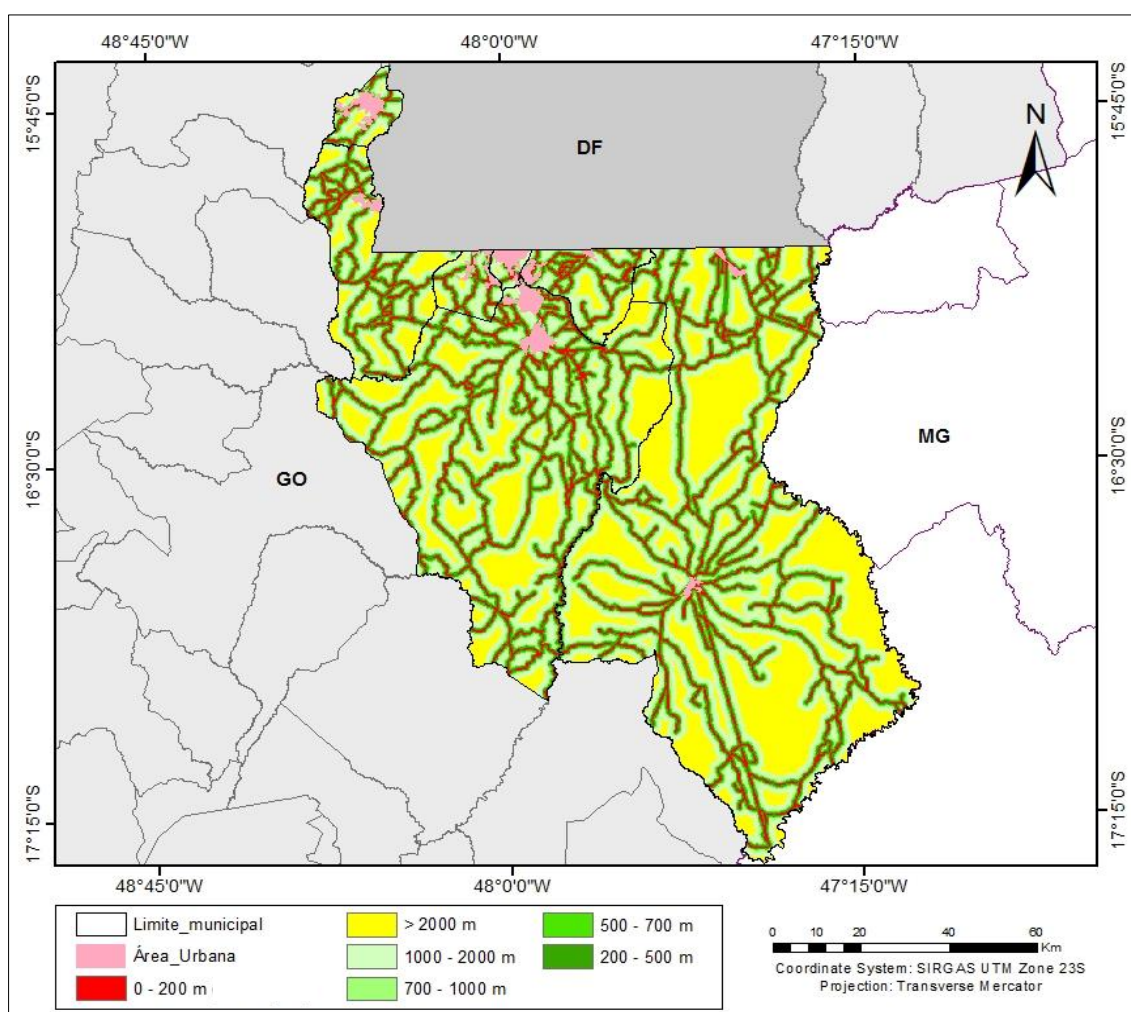


Figura 6.14 - Distância de estradas.

- Fator uso e cobertura do solo

Este fator tem como principal objetivo reduzir os custos relativos à adequação da área durante a etapa de implantação do aterro sanitário e, ao mesmo tempo, preservar dentre outras, áreas



com vegetação nativa, por exemplo. Desta forma, áreas não utilizadas ou com pouca cobertura vegetal receberam maiores valores de aptidão. Com esse intuito, a fim de determinar o grau de aptidão do fator uso e cobertura do solo, o mapa foi reclassificado usando uma escala padronizada e comum a todos os outros fatores. Na reclassificação foram consideradas como inaptas as áreas urbanizadas, água e mata de galeria e com maior aptidão as áreas de solo exposto e campo, conforme apresentado na Figura 6.15.

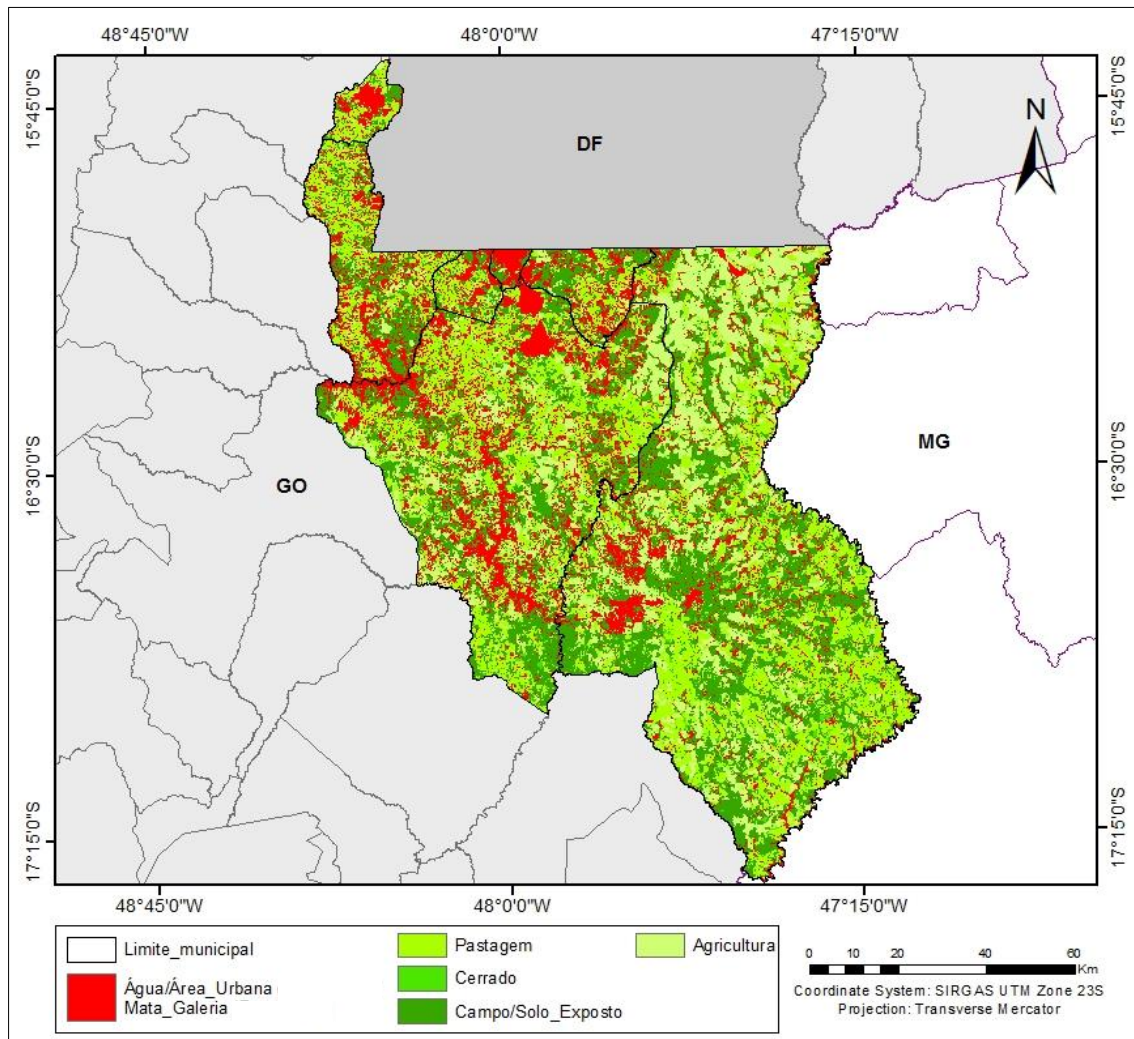


Figura 6.15 - Mapa de uso e cobertura do solo padronizado.

### 6.2.1.3. Mapas de Fatores Sociais

- Fator distância de áreas urbanas

A principal característica do fator distância de áreas urbanizadas é a distância mínima de 3 km exigida pela NBR 13.896/97, a fim de minimizar o contato da população com o processo de

operação do aterro; diminuindo o odor provocado pelo aterro e a migração de animais vetores do aterro para as áreas urbanas. Com isso, objetivando determinar o grau de aptidão do fator distância de áreas urbanas, o mapa foi reclassificado usando faixas de distâncias padronizadas em uma escala adaptada de Gomes *et al.* (2001). Foram consideradas áreas com menor aptidão aquelas situadas mais próximas das áreas urbanas, na faixa de distância entre 3 km e 5 km, e com maior aptidão as localizadas em distâncias superiores a 20 km, conforme apresentado na Figura 6.16.

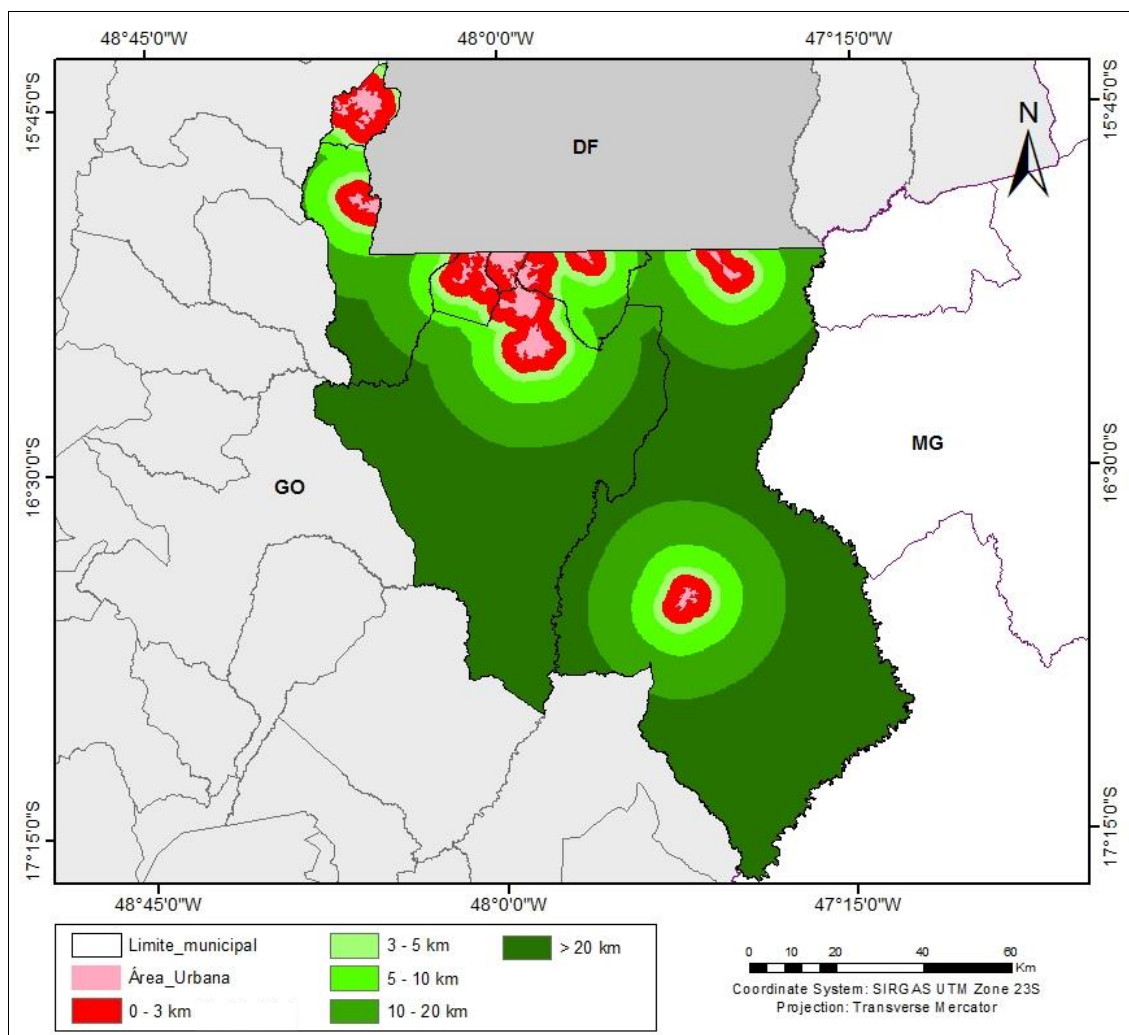


Figura 6.16 - Distância de áreas urbanas.

- Fator distância de povoados

O fator distância de povoados tem como objetivo reduzir o contato da população local com o aterro sanitário; e minimizar os efeitos adversos (mau cheiro e barulho) causados pela sua operação. Dessa forma, respeitando a distância mínima de 500m estabelecida pela NBR

13896/97, o mapa foi padronizado por meio da reclassificação em faixas de distâncias, cuja áreas com menor aptidão foram aquelas situadas na faixa entre 500 e 1000 metros e as com maior em distâncias superiores a 10 km, pois quanto maior a distância do aterro sanitário aos povoados, menor será o incômodo à população provocado pela operação do empreendimento. A Figura 6.17 apresenta o mapa de distâncias de povoados.

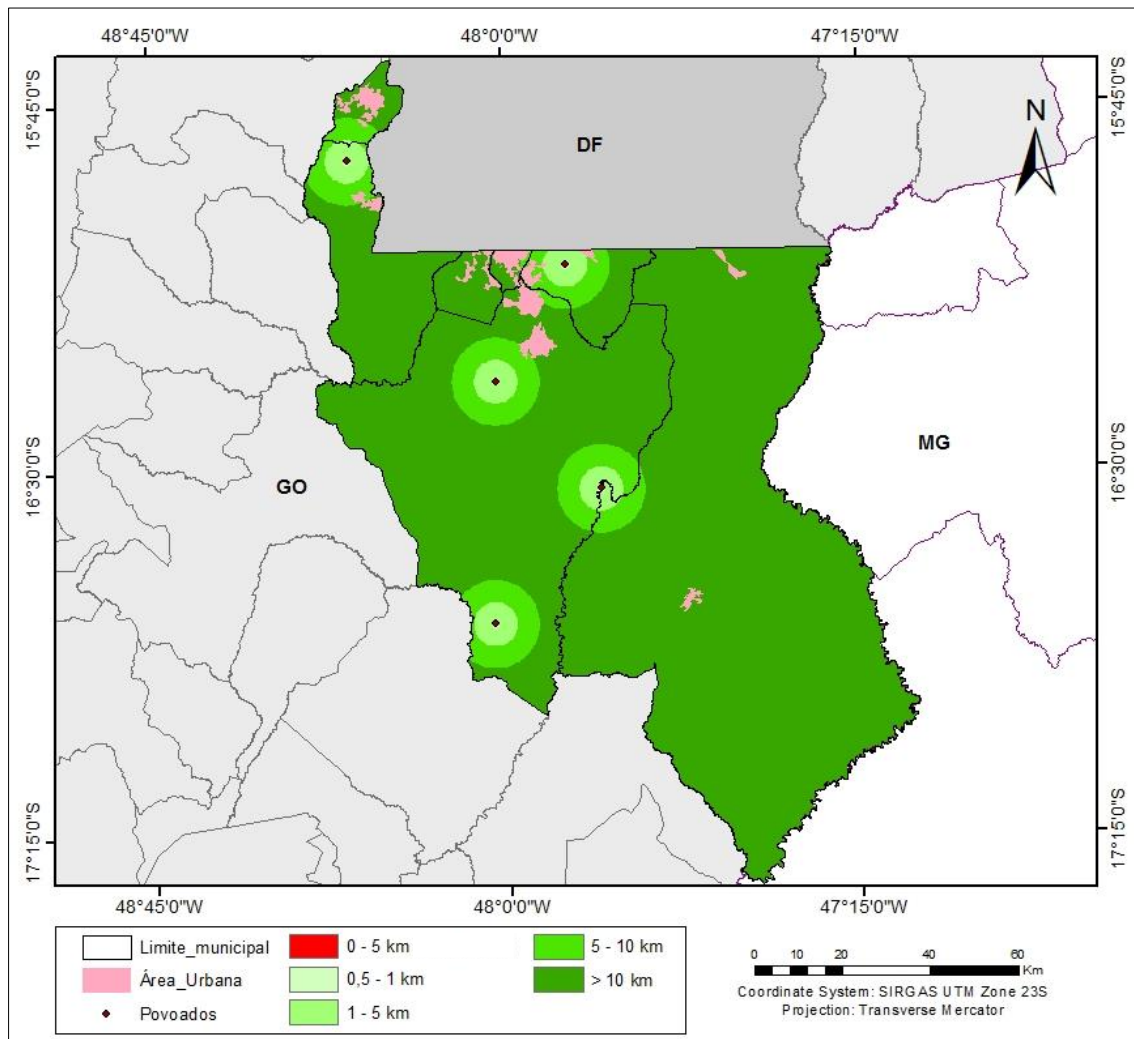


Figura 6.17 - Distâncias de povoados.

### 6.2.2. Ponderação dos critérios e fatores

Para a obtenção dos pesos relativos dos critérios e fatores, foram enviados um total de vinte questionários para especialistas via e-mail, porém destes, apenas oito responderam ao questionário. A seguir, os resultados dos pesos relativos dos critérios serão apresentados por níveis hierárquicos de comparação.

### 6.2.2.1. Ponderação dos critérios - segundo nível

No segundo nível foram ponderados, em relação ao objetivo a ser alcançado, três critérios: o ambiental, o econômico e o social. A Tabela 6.2 apresenta a matriz global de julgamentos, ou seja, o agrupamento dos julgamentos individuais realizados pelos especialistas (Apêndice F).

Tabela 6.2 - Matriz global de julgamentos dos critérios do segundo nível.

<b>Critério</b>	<b>Ambiental</b>	<b>Econômico</b>	<b>Social</b>
<b>Ambiental</b>	1	4,491	1,662
<b>Econômico</b>	0,223	1	0,602
<b>Social</b>	0,602	1,662	1

Após o agrupamento, a matriz global de julgamentos foi normalizada e calculados os pesos dos critérios, como é apresentado na Tabela 6.3.

Tabela 6.3 - Matriz normalizada e pesos dos critérios do segundo nível.

<b>Critério</b>	<b>Ambiental</b>	<b>Econômico</b>	<b>Social</b>	<b>Peso dos critérios</b>
<b>Ambiental</b>	0,548	0,628	0,509	0,562
<b>Econômico</b>	0,122	0,140	0,184	0,149
<b>Social</b>	0,330	0,232	0,306	0,289

De acordo com a Tabela 6.3, pode-se observar que os especialistas tiveram maior preferência pelo critério ambiental, atribuindo peso de 0,562, seguido do critério social com 0,289 e por último o critério econômico, com apenas 0,149. Desta forma, dentre os três critérios, os especialistas julgaram o ambiental como sendo o mais importante para o estudo de áreas potenciais para aterros sanitários. Resultado semelhante foi observado no trabalho de Eskandari *et al.* (2015), onde os especialistas consultados também consideraram o critério ambiental como o mais importante, seguido do social e do critério econômico.

Em seguida, após a determinação dos pesos dos critérios, foi necessário verificar a consistência dos julgamentos, onde calculou-se o autovetor ( $Aw$ ), que é resultado do produto da matriz global de julgamentos com a matriz de peso dos critérios, como é apresentado a seguir.

$$Aw = \begin{bmatrix} 1 & 4,491 & 1,662 \\ 0,223 & 1 & 0,602 \\ 0,602 & 1,662 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,562 \\ 0,149 \\ 0,289 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,709 \\ 0,447 \\ 0,874 \end{bmatrix}$$

Posteriormente, foi determinado o autovetor máximo ( $\lambda_{m\acute{a}x}$ ), como apresentado a seguir.

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[Aw]_i}{w_i} = \frac{1}{3} \left( \frac{1,709}{0,562} + \frac{0,447}{0,149} + \frac{0,874}{0,289} \right) = 3,026$$

Após o cálculo do autovetor máximo, calculou-se o Índice de Consistência, conforme apresentado abaixo.

$$IC = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} = \frac{3,026 - 3}{3 - 1} = 0,013$$

E finalmente, dado  $n=3$  e o índice randômico,  $IR$ , associado a matriz dominante igual a 0,58, a Razão de Consistência foi calculada de acordo com a descrição abaixo.

$$RC = \frac{IC}{IR} = \frac{0,013}{0,58} = 0,022$$

Após a determinação do  $IC$  para a comparação pareada dos critérios do segundo nível da hierarquia, pode-se observar que houve coerência nos julgamentos dos especialistas, pois, de acordo com Saaty (1980), se a razão de consistência, para  $n=3$ , for igual ou menor que 0,05 significa que há coerência na comparação par a par dos critérios.

#### 6.2.2.2. Ponderação dos fatores - terceiro nível

A ponderação dos fatores no terceiro nível diz respeito à ponderação dos fatores ambientais, econômicos e sociais escalonados. O resultado dos pesos relativos dos fatores, assim como o resultado da razão de consistência das matrizes de julgamentos, foram obtidos de acordo os cálculos demonstrados anteriormente, na seção 6.2.2.1.

- Fatores ambientais

O agrupamento dos julgamentos dos fatores ambientais e os pesos relativos dos mesmos são apresentados na Tabela 6.4.

Tabela 6.4 – Matriz global dos julgamentos e pesos dos fatores ambientais.

Fator	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>	F <sub>6</sub>	F <sub>7</sub>	Peso dos fatores
F <sub>1</sub>	1	0,621	1,066	1,625	2,879	1,076	1,243	0,155
F <sub>2</sub>	1,609	1	3,555	3,099	4,939	1,196	2,879	0,282
F <sub>3</sub>	0,938	0,281	1	0,662	1,715	0,547	0,929	0,098
F <sub>4</sub>	0,615	0,323	1,510	1	0,621	0,559	0,959	0,095
F <sub>5</sub>	0,347	0,202	0,583	1,609	1	0,196	1,032	0,074
F <sub>6</sub>	0,929	0,836	1,829	1,789	5,102	1	1,303	0,192
F <sub>7</sub>	0,804	0,347	1,076	1,043	0,969	0,767	1	0,104

F<sub>1</sub> = Fator distância de rios; F<sub>2</sub> = Fator distância de fontes de abastecimento de água; F<sub>3</sub> = Fator distância linhas de falhas geológicas; F<sub>4</sub> = Fator declividade; F<sub>5</sub> = Fator distância de aeroportos; F<sub>6</sub> = Fator distância de áreas de conservação e F<sub>7</sub> = Fator solo.

De acordo com a Tabela 6.4, pode ser observado que os especialistas consideraram a distância dos pontos de captação de água para abastecimento público como o fator mais importante, atribuindo o peso de 0,282, a segunda preferência foi a distância de áreas de conservação com 0,192. Por outro lado, consideraram a distância de aeroportos como o fator ambiental menos importante, com o peso de 0,074. Situação semelhante pode ser encontrado em Marques (2011), pois, dos seis fatores ambientais ponderados em sua pesquisa, a distância de pontos de captação de água para abastecimento foi o segundo fator mais importante. Quanto aos julgamentos, estes se mostraram consistentes, pois, a *RC* foi igual a 0,038, ressaltando-se que a *RC* máxima permitida para que haja consistência, nesse caso, é de 0,1.

- Ponderação dos fatores econômicos

A seguir, na

Tabela 6.5, é apresentado o resultado do agrupamento dos julgamentos individuais dos fatores econômicos e seus respectivos pesos relativos.

Tabela 6.5 - Matriz global dos julgamentos e pesos dos fatores econômicos.

Fator	Distância de centros de geração de RSU	Distância de estradas	Uso e cobertura do solo	Peso dos fatores
Distância de centros de geração de RSU	1	2,817	1,510	0,495
Distância de estradas	0,355	1	0,524	0,174
Uso e cobertura do solo	0,662	1,907	1	0,330

Dentro do critério econômico (Tabela 6.5) os especialistas julgaram que o fator mais importante para a determinação de áreas potenciais para aterros sanitários é a distância dos centros de geração de resíduos sólidos urbanos, atribuindo-lhe o peso de 0,495. O estudo de Eskandari *et al.* (2015) considerou a distância de centros urbanos, uso do solo e distância de estradas, como os fatores econômicos mais importantes, respectivamente. Os julgamentos não apresentaram inconsistências, pois a *RC* foi igual a 0,0.

- Ponderação dos fatores sociais

O resultado do agrupamento dos julgamentos dos fatores sociais e os seus respectivos pesos relativos são apresentados na Tabela 6.6.

Tabela 6.6 - Matriz global dos julgamentos e pesos dos fatores sociais.

<b>Fator</b>	<b>Distância de Áreas Urbanas</b>	<b>Distância de povoados</b>	<b>Peso dos fatores</b>
<b>Distância às Áreas Urbanas</b>	1	0,871	0,465
<b>Distância de povoados</b>	1,148	1	0,535

De acordo com a Tabela 6.6, a distância dos povoados foi o fator social mais importante para determinação de áreas potenciais para aterros sanitários, com o peso de 0,535. Para estes julgamentos não foi calculado a razão de consistência, pois trata-se de uma matriz de apenas dois fatores ( $n=2$ ) e, de acordo com Saaty (1980), quando  $n$  (número de critérios) é igual a 2, a razão de consistência é nula e, dessa forma, quaisquer que sejam os julgamentos, a ponderação sempre será consistente.

### 6.2.3. Determinação das áreas potenciais para aterro sanitário

As áreas potenciais aptas para aterro sanitário são resultado das Combinações Lineares Ponderadas dos mapas dos fatores do terceiro nível com os mapas dos critérios combinados no segundo nível. O mapa de áreas potenciais foi reclassificado em cinco classes de aptidão: inadequada, pouco adequada, moderadamente adequada, adequada e mais adequada, com os valores das células de 0-2, 2-4, 4-6, 6-8 e de 8-10, respectivamente. As Figura 6.18, Figura 6.19, Figura 6.20 e Figura 6.21 apresentam os mapas resultantes das combinações do terceiro e do segundo nível, respectivamente.

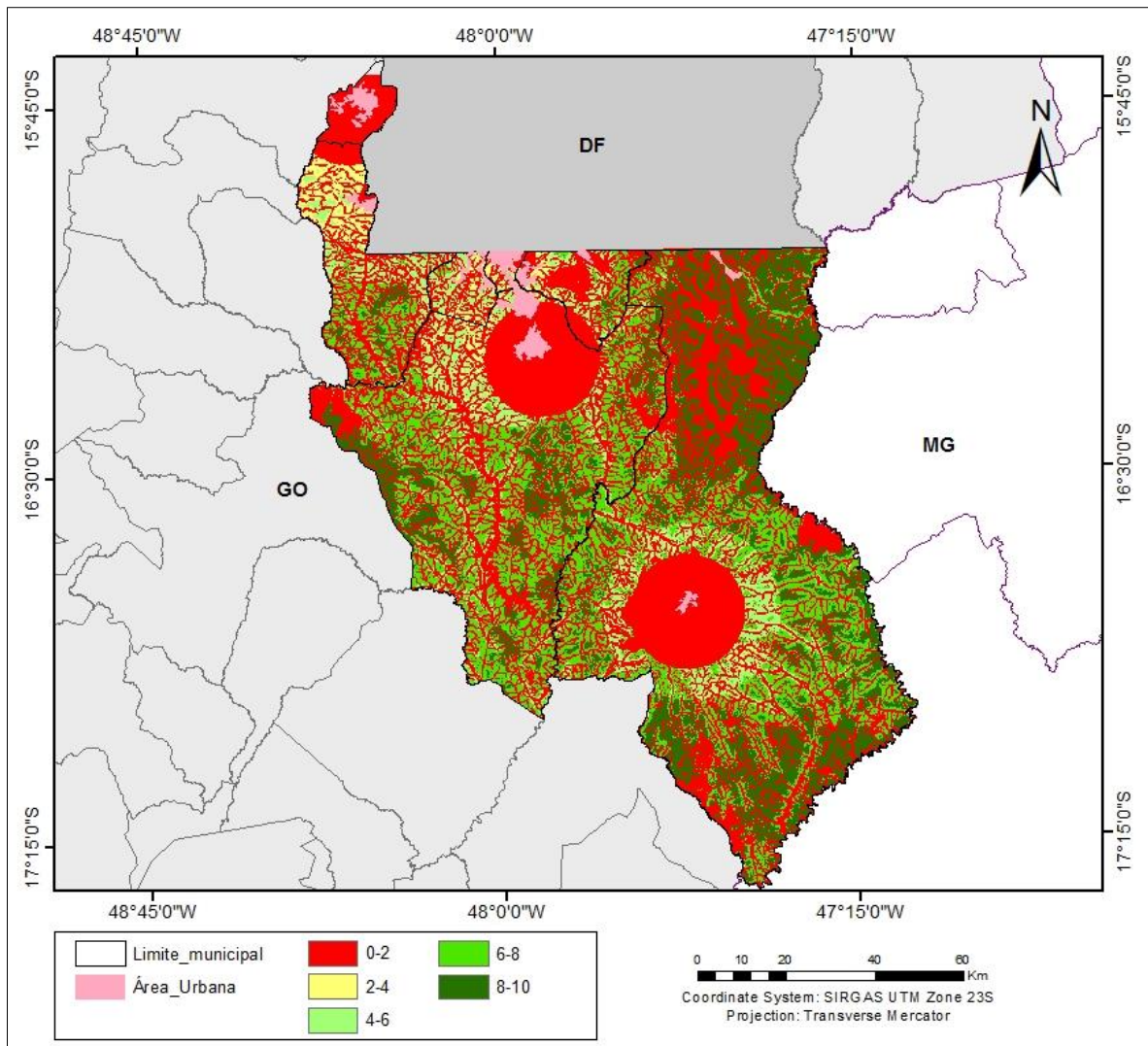


Figura 6.18 - Combinação Linear Ponderada dos fatores ambientais.



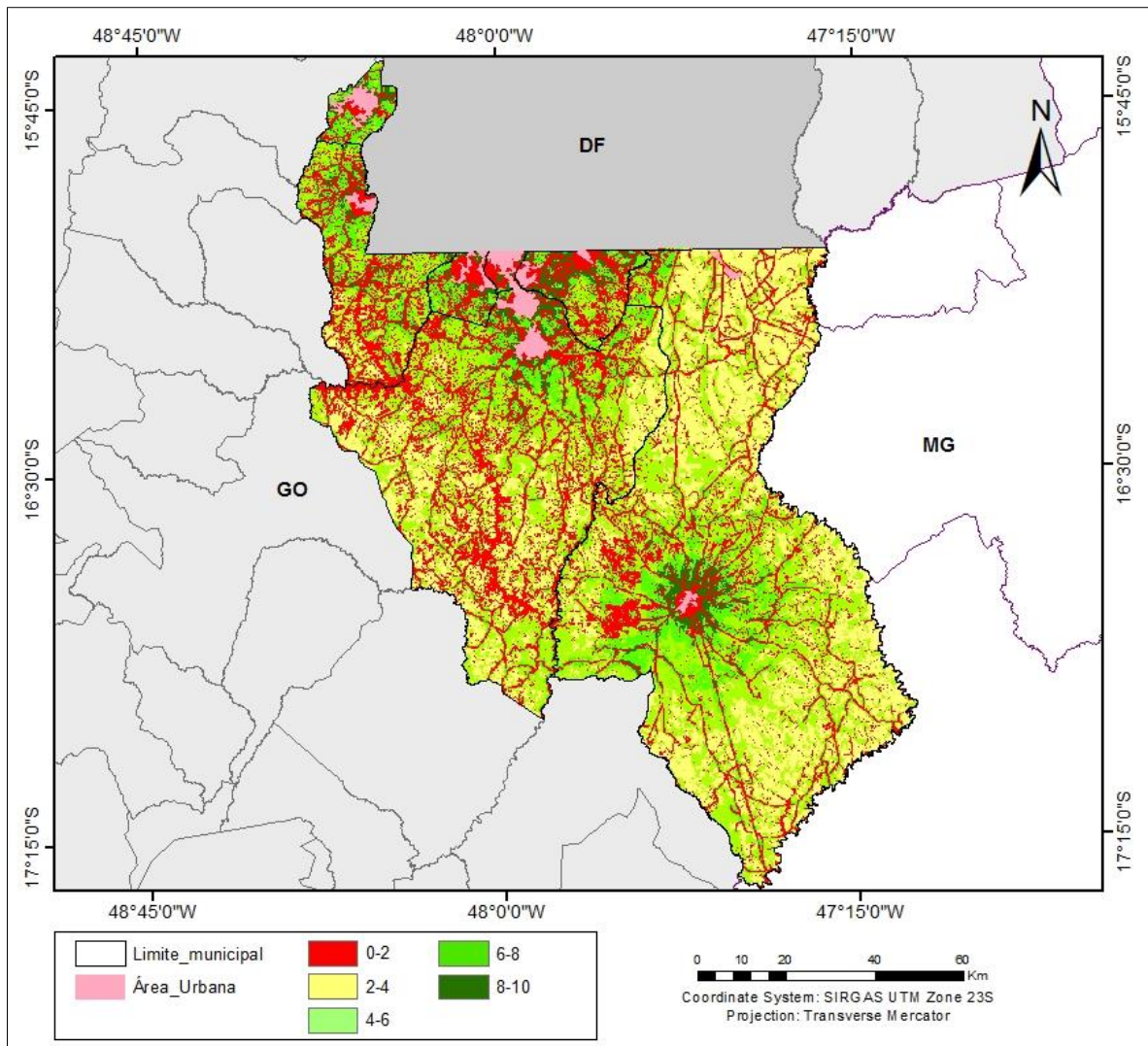


Figura 6.19 - Combinação Linear Ponderada dos fatores econômicos.

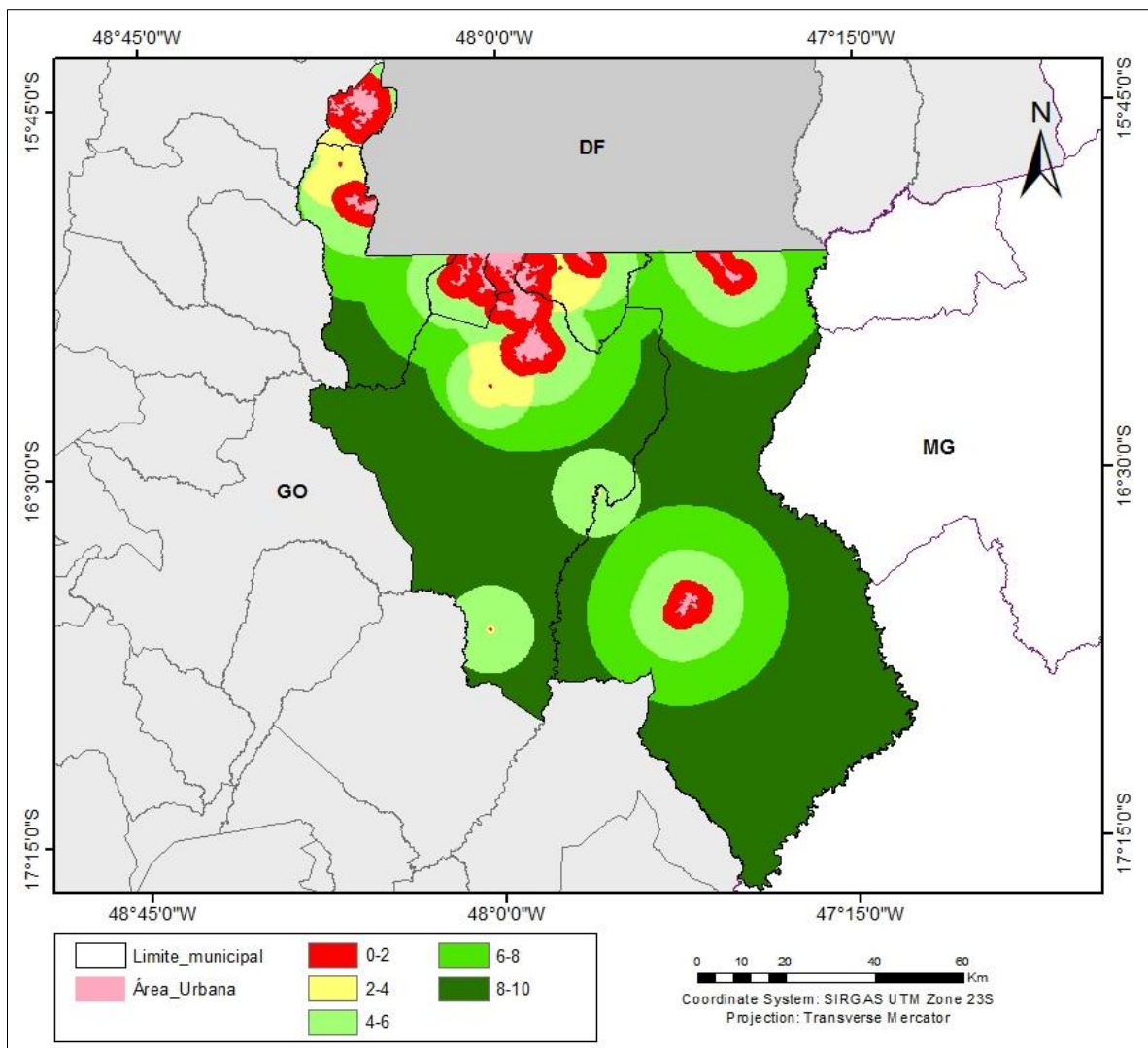


Figura 6.20 – Combinação Linear Ponderada dos fatores sociais.

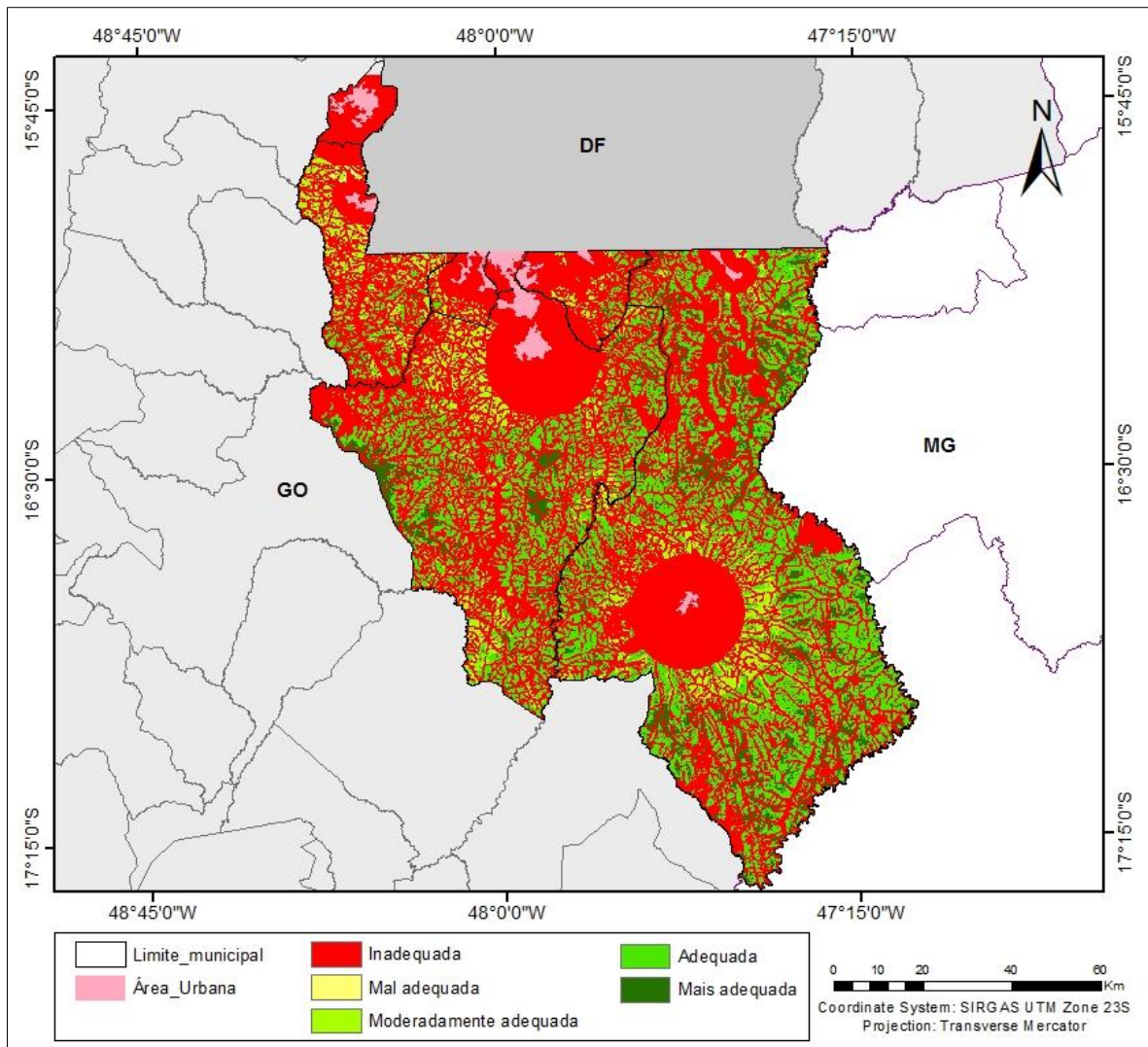


Figura 6.21 - Mapa de áreas potenciais para aterros sanitários no sul da RIDE/DE.

Nas Figura 6.18, Figura 6.19 e Figura 6.20, que são resultados das combinações dos fatores ambientais, econômicos e sociais, pode-se observar que, a imagem dos fatores ambientais apresenta menor quantidade de áreas aptas devido possuir mais fatores e, conseqüentemente, mais restrições que as outras duas imagens. A imagem dos fatores ambientais (Figura 6.18) apresenta sete fatores e nove restrições, constituindo-se, dentre as três, a mais importante, fato comprovado pelos especialistas em acordo com seus julgamentos, pois, definiram o critério ambiental como o mais importante no estudo de áreas potenciais para aterro sanitário.

A Figura 6.19 apresenta a imagem dos fatores econômicos e é constituída de três fatores e cinco restrições, sendo a segunda com mais restrições e a de menor importância considerada pelos julgadores. A imagem dos fatores sociais (Figura 6.20) apresenta apenas dois fatores e duas restrições, porém, foi a segunda mais importante para a determinação de áreas potenciais para aterros, segundo os especialistas.

A Figura 6.21, resultante da Combinação Linear Ponderada das imagens dos fatores ambientais (Figura 6.18), econômicos (Figura 6.19) e sociais (Figura 6.20), define as áreas potenciais para aterro sanitário no sul da RIDE/DF e Entorno. A Tabela 6.7 apresenta as classes de áreas potenciais para aterro sanitário no sul da RIDE/DF.

Tabela 6.7 – Áreas potenciais para aterro sanitário no sul da RIDE/DF.

Município	Área (ha)				
	Inadequada	Pouco adequada	Moderadamente adequada	Adequada	Mais adequada
Águas Lindas de Goiás	19.064,85	0,00	0,00	0,00	0,00
S. A. do Descoberto	65.659,54	803,54	18.681,53	8.369,66	558,16
Novo Gama	16.776,85	2,27	1.974,62	408,27	0,00
Valparaíso de Goiás	6.120,19	0,00	0,00	0,00	0,00
Cidade Ocidental	32.742,53	15,10	3.028,67	2.698,34	387,33
Luziânia	256.748,15	329,79	27.585,61	96.855,50	15.889,60
Cristalina	339.093,84	0,00	26.773,28	204.068,17	45.528,16
<b>Total</b>	<b>736.205,95</b>	<b>1.150,71</b>	<b>78.043,70</b>	<b>312.399,94</b>	<b>62.363,25</b>

De acordo com a Tabela 6.7 pode-se observar que, os municípios de Águas Lindas de Goiás e Valparaíso de Goiás não possuem áreas aptas para aterros sanitários. A ausência de áreas que atendem aos requisitos mínimos para implantação de aterro sanitário pode ser justificada pelo fato dos dois municípios possuírem a menor área territorial (190,56 e 61,20 km<sup>2</sup>) e a maior densidade demográfica do sul da RIDE/DF, com 1.004,46 e 2.555,79 hab/km<sup>2</sup> para os municípios de Águas Lindas e Valparaíso, respectivamente, tornando suas áreas totalmente restritas para implantação de aterros sanitários.

O município de Cristalina, ao contrário de Águas Lindas e Valparaíso de Goiás, é o que possui a maior área territorial (6.169,02 km<sup>2</sup>), menor densidade demográfica (8,81 hab/km<sup>2</sup>) e com mais áreas potenciais para aterros sanitários (249.596,33 ha). De acordo com o Plano Estadual de Resíduos Sólidos de Goiás (PERS-GO, 2015), os municípios do sul da RIDE/DF com menos áreas livres para aterros sanitários são: Águas Lindas e Valparaíso de Goiás, com 5,00 e 9,00 ha, respectivamente, ao passo que, Cristalina apresenta-se como o município com mais áreas livres, 153.705,00 ha.

Considerando apenas a classe mais adequada, o sul da RIDE/DF apresentou 62.363,23 ha de áreas potenciais para aterro sanitário, ao passo que o PERS-GO apresentou 242.561,00 ha de áreas livres para aterros. Tal diferença justifica-se pelo fato do PERS-GO considerar, no estudo,

apenas seis fatores, enquanto que esta pesquisa considerou doze fatores, tornando-a mais restritiva e mais conservativa.

### 6.3. SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS PARA ATERRO SANITÁRIO

#### 6.3.1. Alternativas para aterro sanitário

As alternativas foram definidas a partir da estimativa da área mínima necessário para o aterro sanitário. Desta forma, adotado um horizonte de projeto de 20 anos, aplicado a metodologia descrita para estimativa de população e utilizando os dados de gerações *per capita* dos municípios do sul da RIDE/DF ao final da vida útil do aterro, em 2037, os municípios terão produzido um montante de 7.367.086,69 toneladas de resíduos sólidos urbanos, conforme apresentado na Tabela 6.8.

Tabela 6.8 – Estimativa da população e da geração de RSU no sul da RIDE/DF.

Ano	Pop. Urbana	RSU (t)*
2018	872.327	272.569,67
2019	898.906	553.363,35
2020	926.358	842.647,14
2021	954.711	1.140.696,26
2022	983.999	1.447.795,38
2023	1.014.253	1.764.238,96
2024	1.045.507	2.090.331,59
2025	1.077.798	2.426.388,39
2026	1.111.160	2.772.735,35
2027	1.145.631	3.129.709,72
2028	1.181.252	3.497.660,47
2029	1.218.062	3.876.948,64
2030	1.256.103	4.267.947,85
2031	1.295.418	4.671.044,69
2032	1.336.054	5.086.639,24
2033	1.378.057	5.515.145,55
2034	1.421.476	5.956.992,11
2035	1.466.360	6.412.622,44
2036	1.512.762	6.882.495,58
2037	1.560.737	7.367.086,69

\* Não foram levadas em considerações as taxas de resíduos sólidos recicláveis, pela falta de dados.

Adotando a massa específica de resíduos sólidos compactado, o volume de solo acrescido para cobertura diária e a altura do maciço, estimou-se o volume de 13.681.732,42 m<sup>3</sup> e, posteriormente, determinou-se a área mínima necessária de 230,00 ha para o aterro sanitário. Em uma opção mais conservadora, optou-se por analisar apenas a classe de áreas mais

adequadas para determinar as melhores alternativas. Após a exclusão das áreas inferiores a mínima requerida, foram encontradas uma variedade de alternativas, sendo que, para as mesmas, foram estabelecidos critérios para eliminar as alternativas de menor relevância a implantação de um aterro sanitário na área de estudo. Dessa forma, foram definidas quatro alternativas após eliminar aquelas que: não possuíam acesso; eram de difícil acesso; possuíam elevadas distâncias em relação ao centro de massa de resíduos sólidos dos municípios. A Figura 6.22 apresenta as alternativas com área mínima de 230 ha, destacando as quatro áreas definidas após a eliminação daquelas consideradas de menor relevância.

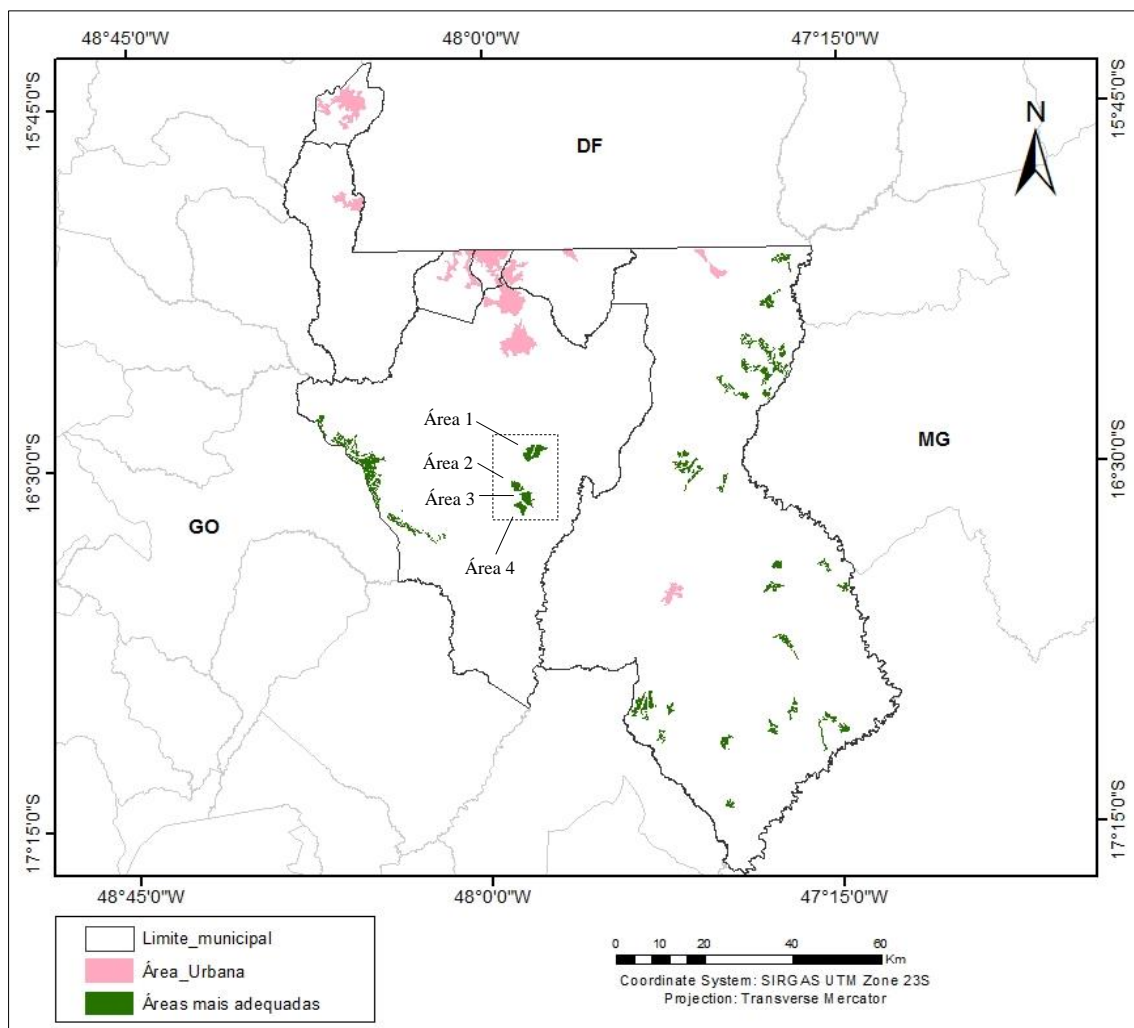


Figura 6.22 – Áreas mínimas necessárias para aterro sanitário no sul da RIDE/DF.

A eliminação de parte das alternativas é necessária para a obtenção de melhores resultados com o método aplicado, pois este possui limitações, sendo o número excessivo de alternativas uma delas. A Figura 6.23 apresenta as quatro alternativas definidas para a seleção de áreas para aterro sanitário.

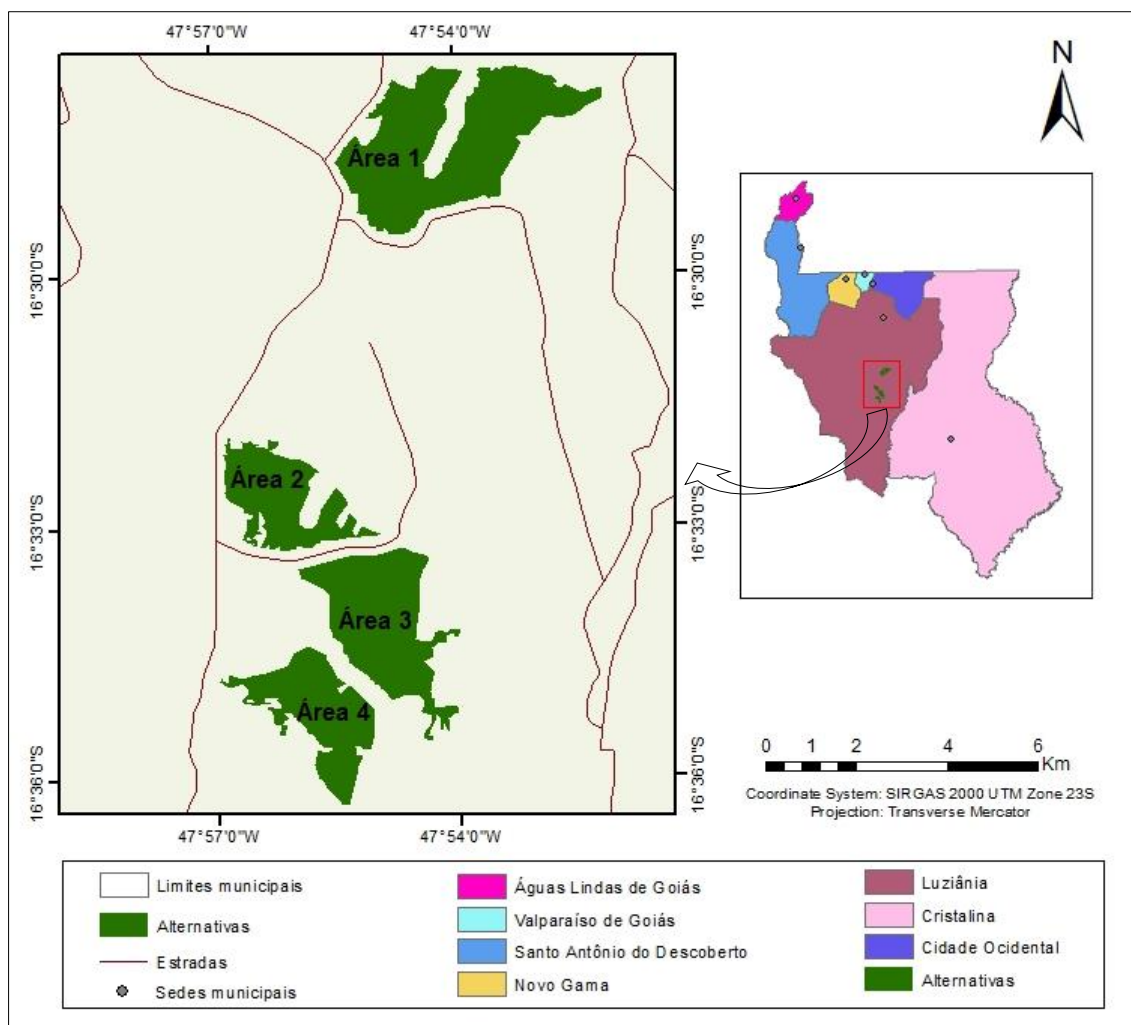


Figura 6.23 – Alternativas para implantação de aterro sanitário no sul da RIDE/DF.

A área 1 é a alternativa que se localiza mais próxima aos municípios com maior geração de resíduos sólidos urbanos, que são: Águas Lindas; Valparaíso de Goiás e Luziânia; com geração de resíduos da ordem de 48.635; 53.420 e 58.783 t/ano, respectivamente. De acordo com o mapa pedológico desta região, o solo da alternativa 1 é composta pela associação de latossolo vermelho-amarelo e latossolo vermelho-escuro, ambos distróficos ou alicos.

A alternativa 2 configura-se como a menor área dentre as quatro, porém, é a alternativa menos íngreme, com declividade máxima de 3,2%. Todas as alternativas, com exceção da 4, são compostas pela associação de latossolo vermelho-amarelo ou vermelho-escuro, com textura argilosa ou muito argilosa, que do ponto de vista geotécnico é mais recomendado para construção de aterros sanitários.. A alternativa 3 é a mais acidentada, com declividade que pode chegar a 16,1%, possui a segunda maior área, com 643,6 hectares.

A alternativa 4 é composta por duas classes de solo, o latossolo em sua maior parte, e uma pequena parte de gleissolo, e esta alternativa possui declividade máxima de 7,1%. A Tabela 6.9 apresenta o tamanho das áreas, a vida útil, distância do centro de massa de resíduos da Região e a porcentagem pavimentada das vias que dão acesso às áreas.

Tabela 6.9 – Área, vida útil, distância do centro de massa de resíduos da região e porcentagem de pavimentação das vias de acesso .

<b>Alternativa</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Vida útil (ano)</b>	<b>Distância do Centro de Massa de RSU (km)</b>	<b>Pavimentação das vias de acesso (%)</b>
<b>Área 1</b>	1059,5	50,9	53,8	16,7
<b>Área 2</b>	410,5	29,2	63,6	14,7
<b>Área 3</b>	643,6	38,7	68,2	13,2
<b>Área 4</b>	458,4	31,4	67,6	13,0

Dentre os sete municípios que pertencem ao sul da RIDE/DF, Águas Lindas de Goiás é o que se localiza mais distante das quatro alternativas, seguido de Santo Antônio do Descoberto. Já o município de Luziânia, segundo maior gerador de RSU, se localiza mais próximo das quatro alternativas. A Tabela 6.10 apresenta as distâncias otimizadas entre as alternativas e as sedes dos municípios.

Tabela 6.10 - Distância das alternativas às sedes dos municípios.

<b>Município/sede</b>	<b>Distância (km)</b>			
	<b>Área 1</b>	<b>Área 2</b>	<b>Área 3</b>	<b>Área 4</b>
Águas Lindas de Goiás	141	150	155	154
Santo Antônio do Descoberto	108	118	123	122
Novo Gama	57	67	71	71
Valparaíso de Goiás	52	61	66	65
Cidade Ocidental	51	60	65	64
Luziânia	27	37	42	41
Cristalina	71	74	79	79

De acordo com a Tabela 6.10, observa-se que todas as alternativas ficam localizadas em distâncias superiores a 20 km de todos as sede dos municípios, o que necessita de estações de transbordos para reduzir os custos de transportes. As estações de transbordo são as instalações onde se faz o translado dos RSU de um veículo coletor a outro veículo com capacidade de carga superior, tipo carretas e caminhões. De acordo com Nunes e Silva (2015), as estações de transbordo são implantadas quando a distância entre o centro de massa de coleta RSU e o aterro sanitário é superior a 25 km, porém, em grandes cidades, onde as condições de tráfego



rodoviário tornam extremamente lentos os deslocamentos, é possível encontrar estações implantadas em locais cuja distância do aterro sanitário é inferior a 20 km.

As quatro alternativas se localizam no município de Luziânia, próximo à divisa com Cristalina, e observa-se a presença de pequenos córregos próximos às áreas, mas, apesar de serem intermitentes e efêmeros, obedecem a distância mínima de 200m estabelecida pela NBR 13.896/97. A área 4 é a mais próxima do reservatório de Corumbá III, fica a 4,7 km de distância. A Figura 6.24 apresenta as alternativas pela imagem do Landsat 8, registrada no dia 05/05/2017.

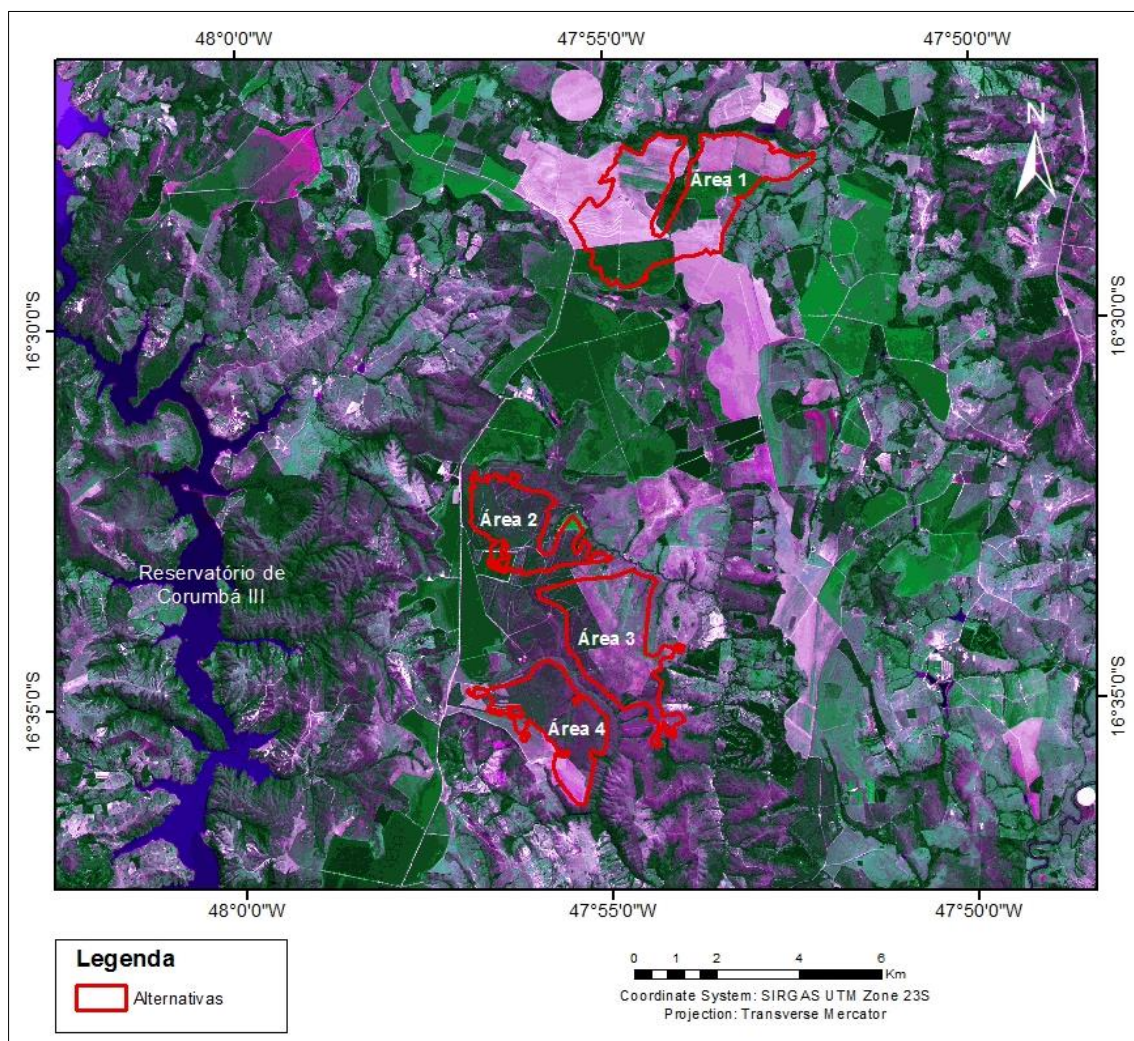


Figura 6.24 – Imagem do satélite Landsat 8.

Quanto à avaliação do uso e cobertura do solo, as quatro alternativas apresentam as classes de campo, pastagem, solo exposto e agricultura e, com exceção da alternativa 1, todas as outras são constituídas, em sua maior parte, por áreas campestres. A Figura 6.25 apresenta os polígonos das alternativas sobrepostos ao mapa de uso e cobertura do solo e a Tabela 6.11 apresenta as porcentagens das classes de uso e cobertura do solo das alternativas.

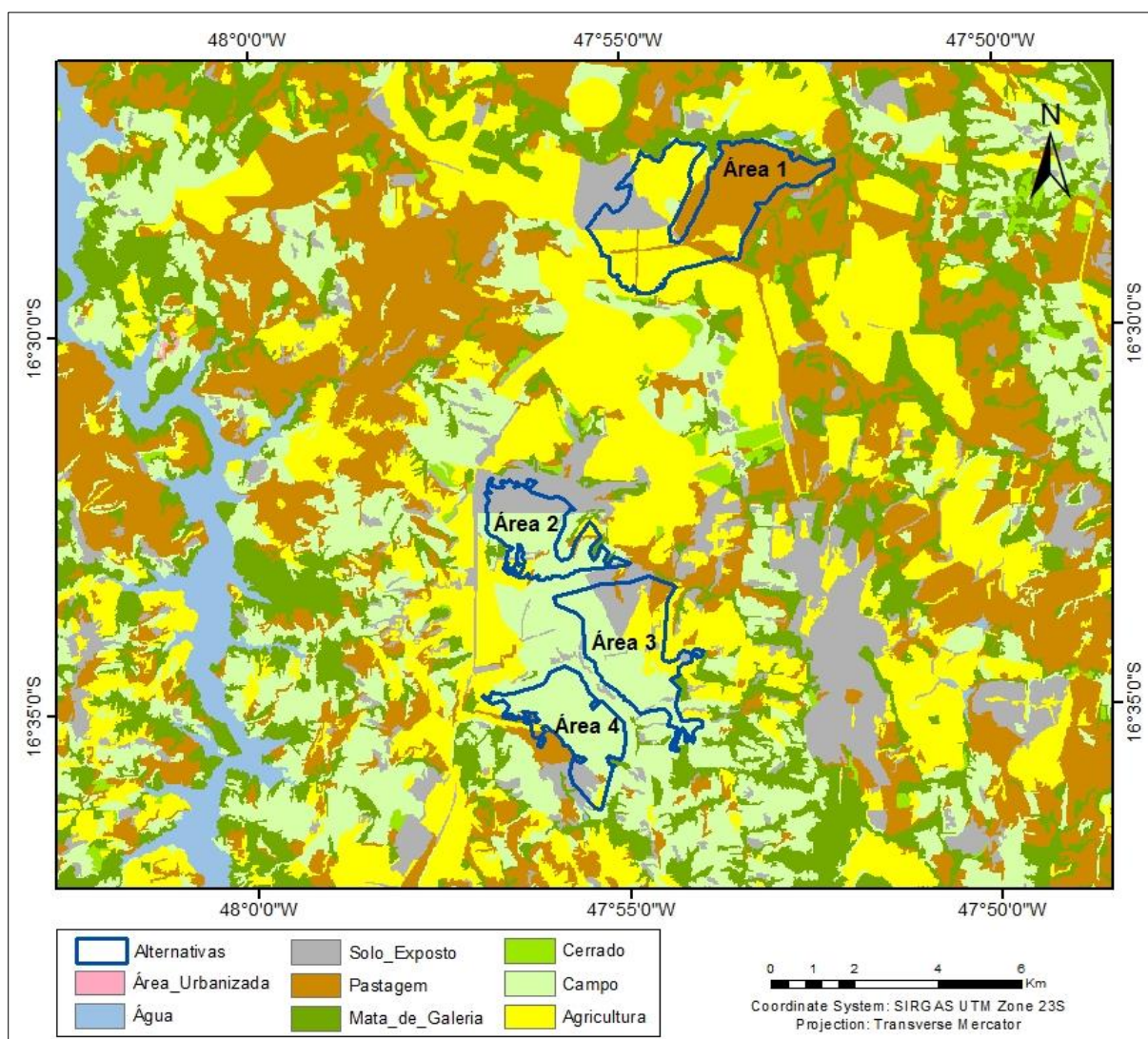


Figura 6.25 – Alternativas e uso e cobertura do solo.

Tabela 6.11 – Porcentagens das classes de uso o cobertura do solo das alternativas.

Classe	Área (%)			
	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4
Campo	1,65	59,03	55,63	84,00
Pastagem	43,01	3,37	5,59	3,69
Solo exposto	11,13	30,71	19,48	9,13
Agricultura	44,21	6,89	19,29	3,17

Analisando a Tabela 6.11 pode-se observar que, a área 1 é composta principalmente pelas classes de pastagem e agricultura, as áreas 2, 3 e 4 são constituídas, em sua maior parte, pela classe campo.

### 6.3.2. Importância Relativa dos Critérios

Para a determinação da importância relativa dos critérios na terceira etapa da pesquisa, foram enviados quatro questionários via e-mail, e dois foram aplicados presencialmente; dos enviados por e-mail, apenas dois retornaram as respostas, sendo um total de quatro especialistas consultados. Ao responderem os questionários, os especialistas escolheram os quatro critérios mais importantes, foram eles: geração de resíduos sólidos, vida útil do aterro, custo de transporte e condições de acesso. Em seguida, atribuíram pesos aos critérios por meio da comparação pareada (Apêndice F). A Tabela 6.12 apresenta a matriz global dos julgamentos agrupados e os pesos dos critérios.

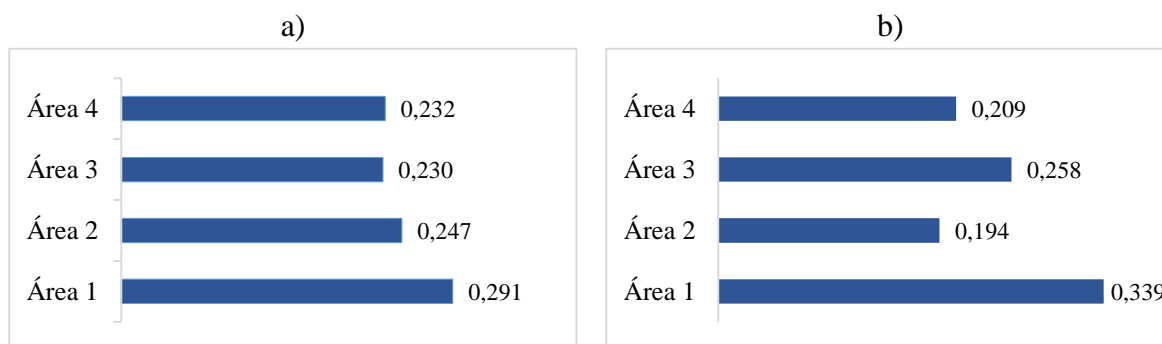
Tabela 6.12 - Matriz global de julgamento dos especialistas e peso dos critérios.

Critérios	Geração de RSU	Vida útil do aterro	Custo de transporte	Condições de acesso	Peso dos critérios
Geração de RSU	1	0,880	0,880	1,732	0,249
Vida útil do aterro	1,136	1	0,809	3,201	0,300
Custo de transporte	1,136	1,236	1	3,482	0,340
Condições de acesso	0,577	0,312	0,287	1	0,111

De acordo com os julgamentos dos especialistas, o critério mais importante foi o custo de transporte, seguido de vida útil do aterro, geração de resíduos sólidos urbanos e condições de acesso, com pesos de 0,340; 0,300; 0,249 e 0,111, respectivamente. Os julgamentos apresentaram inconsistência dentro do limite aceitável, com  $RC=0,015$ , pois o máximo permitido para a comparação de quatro critérios é de 0,08 (Saaty, 1980).

### 6.3.3. Vetores de Prioridades e de Decisão

A seguir, na Figura 6.26, são apresentados os vetores de prioridades para os critérios geração de RSU, vida útil do aterro, custo de transporte e condições de acesso.



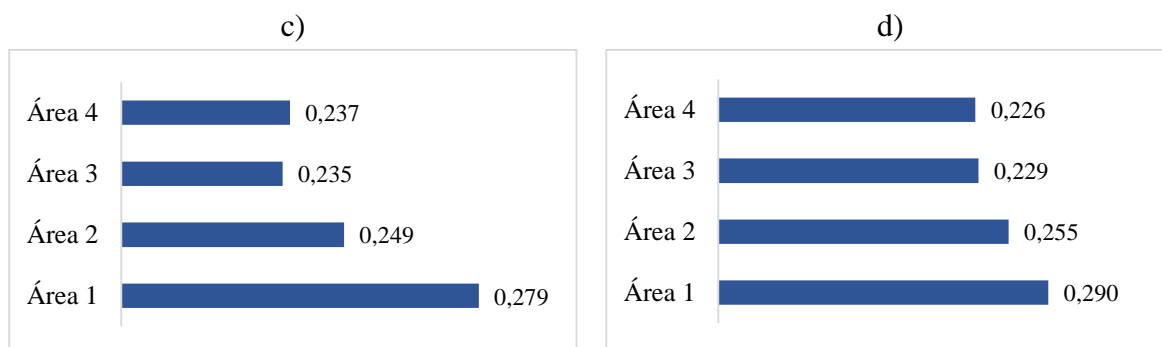


Figura 6.26 – Importância das alternativas em relação aos critérios: (a) geração de resíduos sólidos, (b) vida útil do aterro, (c) custo de transporte e (d) condições de acesso.

Utilizando as informações dos pesos dos critérios, dos vetores de prioridades e aplicando a metodologia descrita, foram determinados os valores gerais de classificação das quatro alternativas. A Figura 6.27 apresenta os vetores de decisão das alternativas.



Figura 6.27 – Vetor de decisão das alternativas de áreas para aterro sanitário.

De acordo com a Figura 6.27, a alternativa selecionada, de acordo com os julgamentos dos especialistas, para receber os resíduos sólidos dos municípios do sul da RIDE/DF, foi a área 1, sendo esta, a maior dentre as quatro alternativas e, conseqüentemente, a que possui a maior vida útil, com 50,9 anos e, além disso, localiza-se mais próxima aos grandes centros geradores de resíduos sólidos, o que pode minimizar os custos de transporte.

Ao final do processo de seleção de área para aterro sanitário, foi realizada uma análise de sensibilidade dos resultados às variações nos pesos originais dos critérios. Para esta análise foram alterados, em 20% para mais e para menos, os pesos de cada critério para verificar a sensibilidade das alternativas. A Figura 6.28 apresenta o ordenamento das alternativas em

função dos pesos atribuídos aos critérios: geração de resíduos sólidos; vida útil do aterro; custo de transporte e condições de acesso.

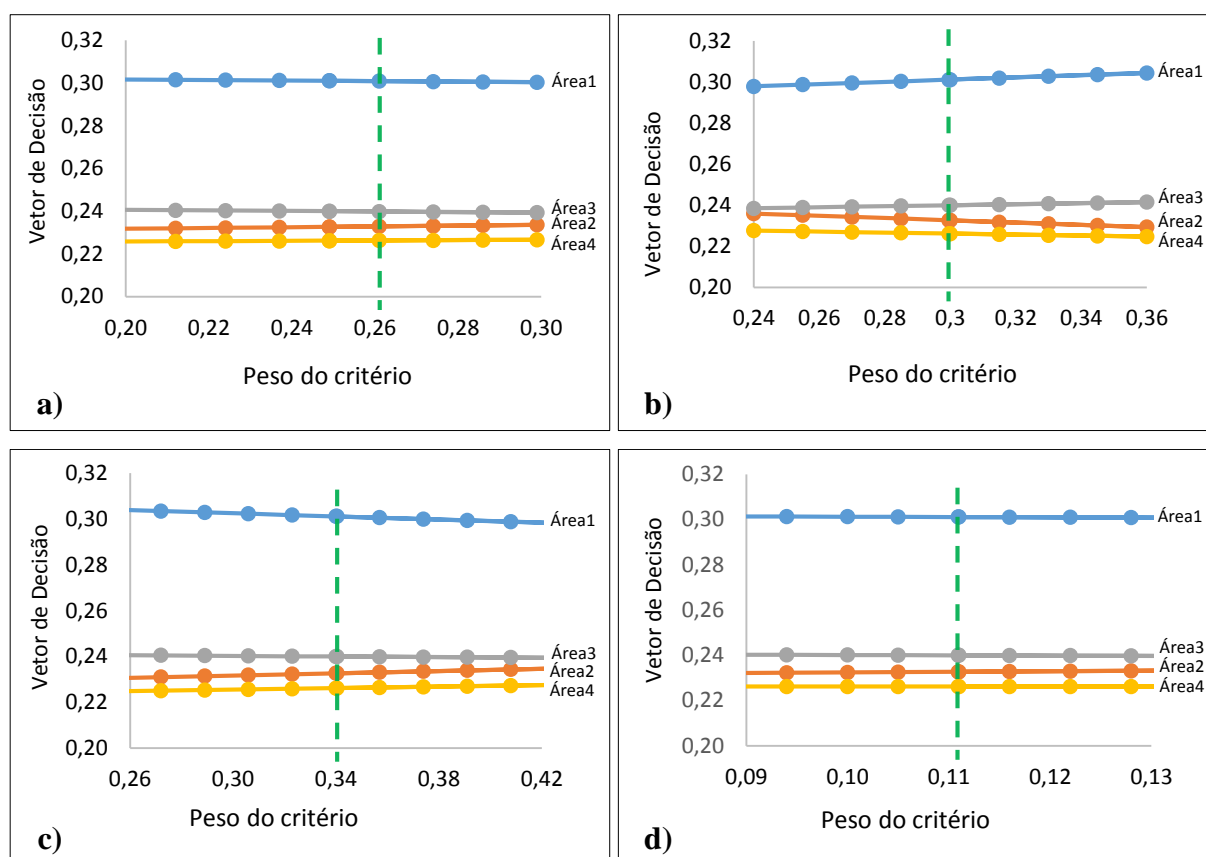


Figura 6.28 - Sensibilidade no ordenamento das alternativas no que diz respeito às mudanças de peso do critério: a) Geração de RSU, b) Vida útil do aterro, c) Custo de transporte e d) Condições de acesso.

De acordo com a Figura 6.28, o traçado vertical, em cada caso, representa o peso original do critério, enquanto que as linhas inclinadas apresentam, de uma forma linear, o ordenamento das alternativas em função dos pesos de cada critério. Desta forma, é observado que, mesmo alterando em 20% para mais e para menos os pesos dos critérios, não ocorre inversões na avaliação global das alternativas. Assim, a análise de sensibilidade, por conseguinte, indica que os valores de classificações são estáveis, mostrando a preferência pela área 1 em todos os cenários de avaliação, sendo esta, considerada pelos especialistas, o local mais indicado para a construção do aterro sanitário regional no sul da RIDE/DF.

Após a seleção da melhor área, foi realizada uma visita de campo no dia 06/06/2017 acompanhado por um fiscal ambiental da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH) do município de Luziânia, e confirmou-se a presença das classes de solo exposto,

pastagem e agricultara, identificadas na fase preliminar da pesquisa. A Figura 6.29 apresenta as classes de uso do solo na área selecionada.

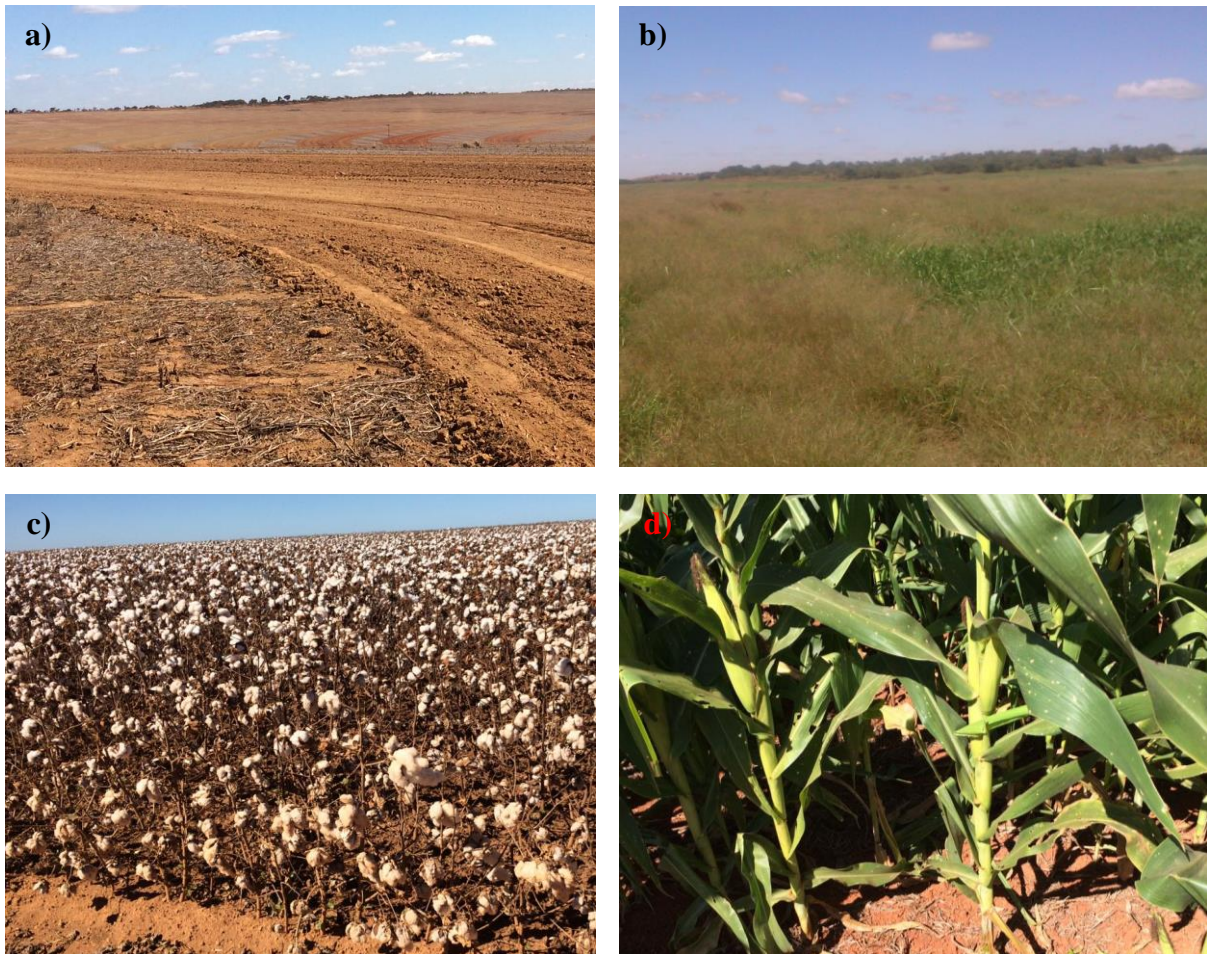


Figura 6.29 – Tipos de uso do solo na área selecionada: a) solo exposto devido ao preparo para a agricultura, b) pastagem, c) cultura de algodão e d) cultura de milho.

É importante ressaltar que, por meio da visita de campo, foi possível observar que: o solo exposto identificado por meio da classificação por imagem de satélite, corresponde ao solo preparado para o plantio de culturas; a agricultura corresponde as culturas de algodão e milho; a pastagem corresponde a uma vegetação característica de pasto, localizada dentro de uma fazenda. Esta área, a qual realizou-se a visita de campo, tem capacidade para receber grandes volumes de RSU dos municípios do sul da RIDE/DF e dos municípios consorciados localizados nas adjacências, tendo em vista que existem municípios que não dispõem de áreas para aterros e outros que preferem pagar para aterrar os RSU em outros municípios.

Dessa forma, considerando no âmbito do CORSAP/DF-GO, o Distrito Federal, além das opções do Aterro Controlado do Jóquei e o Aterro Sanitário de Brasília, também conta com a

possibilidade de destinar, adequadamente, uma parcela de seus resíduos para fora do DF, para aumentar a vida útil do Aterro Sanitário de Brasília, que atualmente é de 11,2 anos. Pensando nessa possibilidade, o SLU/DF e a Prefeitura de Planaltina de Goiás, por meio do CORSAP, firmaram um acordo que prevê o recebimento de 350 toneladas/dia de resíduos do DF no Aterro Sanitário Norte e pelo menos 500 t/dia em aterros do CORSAP (SLU/DF, 2016).

Considerando esses cenários, a área selecionada tem capacidade para receber os resíduos gerados nos sete municípios do sul da RIDE/DF e mais os resíduos que devem ser exportados pelo Distrito Federal, pois se trata de uma área com 1059,52 ha, consideravelmente maior que a área do atual Aterro Sanitário de Brasília, que é de 32 ha. Com margens de segurança, e considerando um horizonte de projeto de 20 anos, os resíduos dos municípios do sul da RIDE/DF só ocupariam 230 ha das 1059,52 ha da área selecionada, restando ainda 829,52 ha, que poderiam receber os resíduos do Distrito Federal e de municípios vizinhos ao sul da RIDE/DF.

Quanto aos atuais depósitos de resíduos sólidos dos municípios em estudo, foram analisadas oito condicionantes (restrições), foram elas: distância de rios (200 m); distância de pontos de captação de água para abastecimento público (2500 m); distância de linhas de falhas geológicas (200 m); declividade (<1% e >30%); distância de Unidades de Conservação (10 km), distância de áreas urbanas (30 km); distância de estradas (200 m) e distância de aeroportos (13 km), para os depósitos dos municípios de Águas Lindas de Goiás, Santo Antônio do Descoberto, Cidade Ocidental, Luziânia e Cristalina. Assim, para as oito restrições, apenas o depósito do município de Cidade Ocidental não apresentou nenhuma restrição, pois se trata de um aterro sanitário, que exige estudo mais detalhado para sua implantação, porém, quando analisadas todas as restrições aplicadas na presente pesquisa, nenhum depósito encontra-se sobre área de aptidão, mostrando, assim, a necessidade de novas áreas para implantação de aterros sanitário nessa região.

#### **6.3.4. Temperatura da cobertura do solo**

Antes de discutir os resultados desta análise, é importante ressaltar que, de acordo com os dados registrados pela estação meteorológica automática de Luziânia (INMET, 2017), a temperatura do ar no instante do registro das imagens era de 25,4 °C tanto para o ano de 2015 quanto para o ano de 2016, e não ocorreram precipitações em pelo menos três dias antes do registro das imagens de ambos os anos, o que poderia subestimar os resultados das temperaturas. Desta forma, foram analisadas as temperaturas de cobertura do solo para os anos de 2015 e 2016. A

Figura 6.30 apresenta as composições coloridas e as temperaturas de cobertura do solo para o ano de 2015 e 2016, respectivamente.

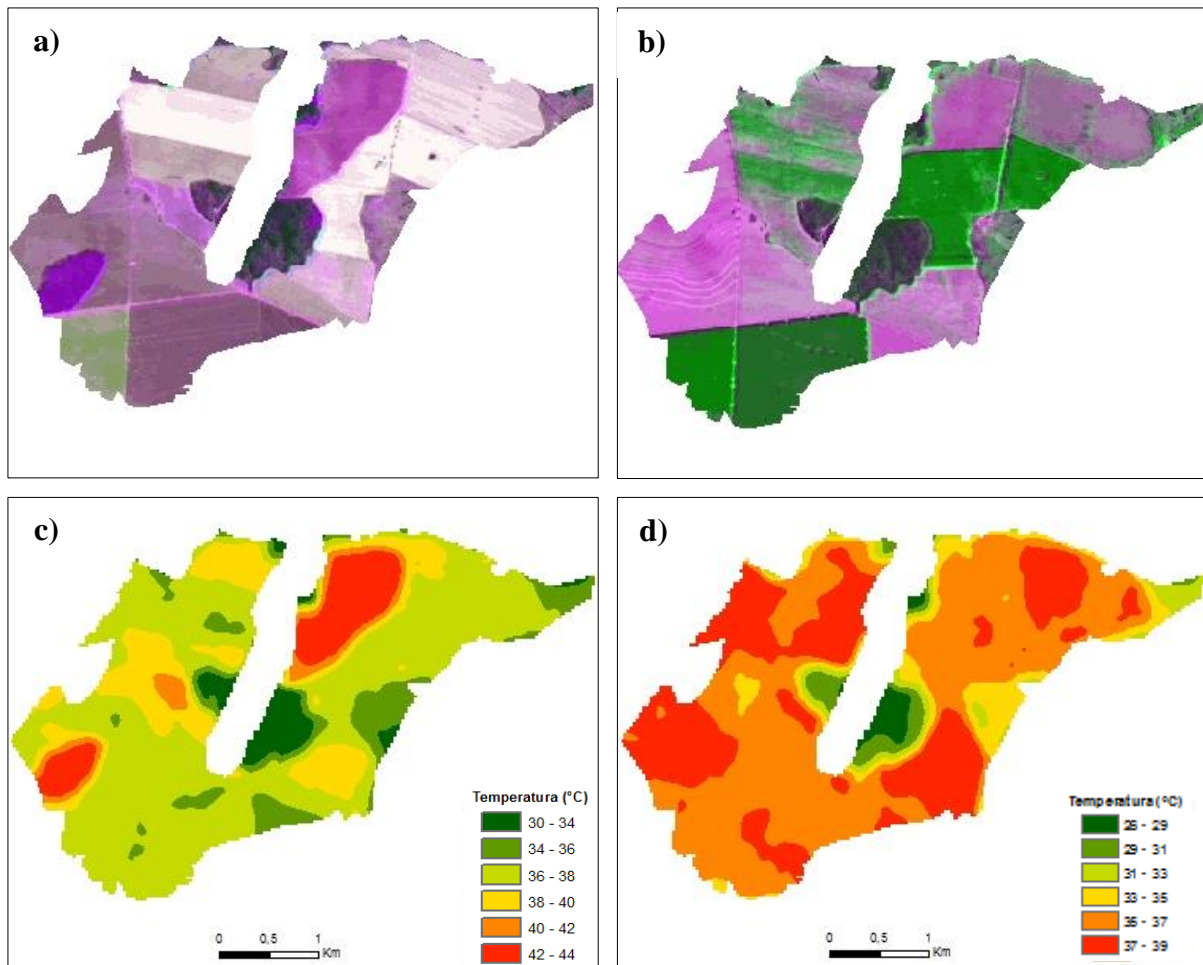


Figura 6.30 - a) e b) composição colorida das imagens para os anos de 2015 e 2016, c) e d) temperatura de cobertura do solo para os anos de 2015 e 2016, respectivamente.

De acordo com a Figura 6.30, pode-se observar que a temperatura de cobertura do solo para o ano de 2015 variou de 30 °C a 44 °C, e para o ano de 2016 apresentou variação entre 26 °C e 39 °C. A variação média temporal entre os anos analisados foi da ordem de 4,5 °C, sendo que o ano de 2015 apresentou maior média de temperatura do que o ano de 2016. Tal diferença pode ser explicado pela imagem de 2015, que apresenta mais áreas com solo preparado para agricultura, enquanto que na imagem de 2016, já se observa a predominância de culturas.

Quanto a variação espacial da temperatura, esta ocorre pelo fato de a área ser composta por terras agrícolas, onde as diferentes culturas se apresentam em diferentes estágios no mesmo período. As menores temperaturas foram registradas em áreas com presença de vegetação, ao



passo que, as maiores temperaturas foram registradas em áreas de solo expostos preparado para a agricultura. Os solos expostos, ao contrário das superfícies com vegetação que absorvem mais o fluxo de calor, se comportam como uma superfície lisa (especular) refletindo mais as radiações recebidas, o que aumenta a temperatura registrada.

A temperatura do solo exposto, para o ano de 2015, apresentou variação de 38 a 44 °C, resultados semelhantes foram encontrados por Silva Junior e Souza (2015), que ao compararem a temperatura de cobertura do solo nos períodos seco e chuvoso para o Distrito Federal, a temperatura do solo exposto, correspondente ao mês de setembro, foi de aproximadamente 37 °C e, de acordo com os autores, os resultados mostram a existência de boa relação entre as formas de cobertura do solo e as temperaturas calculadas com as bandas termais do Landsat 8.

Quanto a relação da temperatura de cobertura do solo com a infiltração, as superfícies mais frias foram aquelas com presença de vegetação e, sabe-se que, a presença de cobertura vegetal tende a aumentar a capacidade de infiltração do solo, pois atenua a ação da chuva e facilita a atividade de insetos e outros animais no processo de escavação e, ainda, dificulta o escoamento superficial e retira a umidade do solo, possibilitando a ocorrência de maiores valores da capacidade de infiltração.

Por outro lado, as superfícies mais quentes foram as de solo exposto que de acordo com o mapa pedológico da área de estudo se constituem de latossolos vermelhos. Os latossolos presentes que predominam na área de estudo são solos com alta permeabilidade de água (Reatto *et al.*, 2004), e quando possuem uma maior granulometria aumentam sua capacidade de infiltração devido ao maior número de espaços vazios na estrutura do solo, aumentando a capacidade de infiltração e reduzindo o escoamento superficial, o que pode resultar em condições favoráveis para o aquecimento da superfície quando não houver eventos de precipitação. Já em áreas com temperaturas de cobertura do solo mais amenas, pode indicar a presença de latossolo com granulometria mais fina, o que implica em infiltrações mais lenta e maior escoamento superficial, acarretando que as águas pluviais permaneçam por mais tempo no solo, retardando, assim, a elevação da temperatura da cobertura do solo. Para comprovar estas afirmativas, seria interessante a realização de análises granulométricas da área de estudo para pesquisar a sua relação com a variação da temperatura da cobertura do solo, o que fica como indicação para trabalhos de pesquisas futuros.

### 6.3.5. Infiltração de água no solo

Os ensaios de infiltração teriam como resultado a produção de um mapa da variação espacial da taxa de infiltração de água no solo, o que propiciaria o entendimento do comportamento da infiltração e, se a mesma apresentaria relação com a temperatura da cobertura do solo na área selecionada. Dito isto, não foi possível produzir o mapa de espacialização da infiltração, pois, dos onze pontos de ensaios que seriam necessários para realizar a geoestatística espacial pelo método de *krigagem*, apenas cinco foram realizados, os restantes localizam-se dentro de uma propriedade particular de acesso restrito, e não foi possível localizar o proprietário para autorizar os ensaios. Dos cinco pontos amostrados, três encontraram-se sobre solo preparado para agricultura, um sobre cultura de milho e o último sobre cultura de algodão. A Figura 6.31 apresenta as fotografias obtidas dos ensaios de infiltração, realizados nos locais onde foi permitido o acesso.



Figura 6.31 – Ensaio de infiltração: a) solo preparado para agricultura, b) cultura de algodão e c) cultura de milho.

Os pontos amostrados sobre solo preparado para agricultura apresentaram elevada taxa de infiltração, quando comparado com as amostras sobre culturas. Todavia, estas amostras possuem resultados superestimados, tendo em vista que, a aragem da agricultura mecanizada presente na área de estudo tem a função de descompactar o solo pelo processo de revolvimento, deixando o solo mais fofo e permeável. A Tabela 6.13 apresenta os resultados dos ensaios de infiltração, realizados na área selecionada.

Tabela 6.13 - Taxa de infiltração em diferentes tipos de uso do solo.

<b>Ponto</b>	<b>Classe de uso</b>	<b>TI (mm.h<sup>-1</sup>)</b>
P01	Solo arado	35,93
P05	Solo arado	69,12
P09	Cultura de algodão	15,61
P10	Cultura de milho	31,42
P11	Solo exposto	13,84

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 6.13, pode-se afirmar que a infiltração de água no solo apresenta relação com a temperatura de cobertura do solo, ou seja, os maiores valores de taxa de infiltração correspondem aos pontos localizados dentro das áreas com maiores temperaturas de cobertura do solo, assim como também os menores valores, com exceção do ponto 11, correspondem aos pontos localizados dentro das áreas com menores temperaturas.

Vale ressaltar que, a infiltração de água no solo depende de vários fatores como: tipo de solo, sendo que os solos com maiores granulometrias apresentam maiores espaços de vazios entre os grânulos, aumentando as taxas de infiltração; cobertura vegetal, onde a vegetação condiciona uma melhor infiltração e dificulta o escoamento superficial; temperatura, pois a velocidade de infiltração aumenta com a temperatura, devido à diminuição da viscosidade da água; compactação do solo por máquinas, animais e pela ação humana, dentre outros.

No entanto, para comprovar as taxas de infiltração na área de estudo, seria interessante a realização de análises granulométricas do solo e de ensaios geotécnicos de infiltração, pois se trata de uma informação essencial sobre o deslocamento vertical que o chorume sofreria num eventual rompimento da manta impermeabilizante do aterro sanitário aí instalado.

## 7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

A metodologia desenvolvida permitiu realizar um estudo compreensivo da dinâmica de uso e cobertura do solo nos municípios do sul da RIDE/DF, realizadas por meio da elaboração de mapas temáticos em escala multitemporal, utilizando imagens digitais dos satélites Landsat 5 e 8, que agregado ao conjunto de critérios ambiental, econômico e social, e às ferramentas do SIG integrado a análise multicritério permitiram a identificação de áreas potenciais para aterros e, posteriormente, a seleção da melhor alternativa para implantação de aterro sanitário regional no sul da RIDE/DF, seguido de um estudo complementar sobre a temperatura da cobertura do solo e de infiltração de água no solo da área final selecionada.

A análise temporal do uso e cobertura do solo permitiu verificar as principais mudanças que ocorreram na área de estudo. Para o período analisado, foram observadas significativas mudanças no uso e cobertura do solo. A análise do período de 30 anos mostrou que ocorreram expansão das áreas de agricultura, da área urbana, das áreas de pastagens e de solo exposto, com elevados valores de variação. Por outro lado, ocorreram reduções nas áreas de campo, de cerrado e de mata de galeria, refletindo o atual modelo de ocupação do solo que, provavelmente, ocorre de forma não planejada.

O estabelecimento e agregação dos critérios ambientais, econômicos e sociais e seus respectivos fatores na segunda etapa da pesquisa, produziu um mapa de áreas potenciais aptas para aterros sanitários. Após reclassificar o mapa em faixas de aptidão e estimar a área mínima necessária para o aterro e, utilizar a classe de aptidão mais adequada, produziu-se um novo mapa com alternativas para aterro sanitário regional no sul da RIDE/DF que, juntas, somam 20.135,60 hectares. Assim, não é possível aproveitar as áreas já utilizadas como depósitos de RSU, pois todas estão localizadas em áreas que apresentam restrições.

Quanto ao ordenamento das alternativas, foram definidas quatro alternativas e o estabelecimento e a ponderação de quatro critérios adicionais, teve como resultado a seleção da alternativa 1, situada a 27 quilômetros ao sul do município de Luziânia, como a melhor área para instalação de um aterro sanitário, e a análise de sensibilidade mostrou-se robusta, permanecendo inalterado o ordenamento das alternativas quando alterados em 20% para mais e para menos os pesos originais dos critérios.

Em relação ao estudo complementar, a análise da temperatura de cobertura do solo permitiu verificar a variação temporal e espacial para os anos de 2015 e 2016, onde foi observado que as áreas descobertas para o preparo do solo para agricultura, apresentaram valores de temperaturas mais elevadas em relação às áreas com presença de culturas. Com os ensaios de infiltração observou-se que, os pontos com maiores valores de taxa de infiltração corresponderam às áreas com temperatura de cobertura do solo mais elevadas, mostrando, dessa forma, uma relação da temperatura com a infiltração de água no solo. A espacialização das taxas de infiltração não foi possível de se realizar devido à obtenção de poucos pontos amostrais.

De modo geral, os resultados obtidos mostram que os algoritmos de geoprocessamento existentes em um SIG integrado ao AHP são ferramentas úteis e eficientes no processo de seleção de áreas potenciais para aterros sanitários, por permitirem a análise dos dados existentes de maneira precisa e rápida, reduzindo os custos e a quantidade de áreas a serem analisadas, além de auxiliar em estudos de diagnósticos interdisciplinares.

Isto posto, a presente pesquisa foi concluída tendo sido alcançados os objetivos propostos, porém, tendo em vista a necessidade da continuidade desta pesquisa, uma vez que se trata de uma pesquisa realizada por etapas, devem ser observadas algumas recomendações para estudos posteriores:

- Elaborar cartas temáticas de uso e ocupação do solo, utilizando imagens de satélite de melhor resolução espacial do que as usadas na presente pesquisa, para obter classes mais detalhadas.
- Realizar estudo de cenários futuros do uso e ocupação do solo para verificar, principalmente, a expansão urbana, como os obtidos com sistemas de dinâmica ambiental que empregam autômatos celulares.
- Realizar ensaios de infiltração ao longo do ano e análises granulométricas de solo para correlacionar a infiltração com a temperatura de cobertura do solo, pois a infiltração é fator importante na construção de aterros sanitários.
- Realizar sondagens geotécnicas, para verificar a profundidade das águas subterrâneas nas alternativas escolhidas, pois se trata de um dado fundamental para escolha de áreas para aterros sanitários.

## REFERÊNCIAS

- Almeida, W. S.; Souza, N. M. e Camapum de Carvalho, J. (2012). *Produção de carta geotécnica preliminar da capacidade de infiltração de água no solo em uma área do entorno do reservatório da usina hidrelétrica de Corumbá IV (GO)*. In: José Camapum de Carvalho; Gilson de Farias Neves Gitirana Junior; Eufrosina Terezinha Leão Carvalho. (Org.). *Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais*. 1ed. Brasília: Universidade de Brasília, v. 4, p. 581-606.
- Arribas, C. A.; Blazquez, C. A. e Lamas A. (2010). Urban solid waste collection system using mathematical modelling and tools of geographic information systems. *Waste Management & Research*, 28, 355–363.
- Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE). (2015). *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil*. ABRELPE, São Paulo, 100p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 10.004. (2004). *Resíduos- Classificação*. Rio de Janeiro, RJ.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 13.896 (1997). *Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação*. Rio de Janeiro, RJ.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 8419. (1995). *Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos*. NBR, Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 8849. (1985). *Apresentação de Projetos de Aterros Controlados de Resíduos Sólidos Urbanos*. Rio de Janeiro, RJ.
- Babalola, A. e Busu, I. (2011). Selection of Landfill Sites for Solid Waste Treatment in Damaturu Town-Using GIS Techniques. *Journal of Environmental Protection*, 2, 1-10.
- Bernardo, S. (1989). *Manual de irrigação*. 5.ed. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 596p.
- Braga, F. L., e Pereira, S. M. (2014). Escolha de áreas potenciais para implantação de aterro sanitário utilizando SIG: Estudo de caso. *Anais do XI Seminário Nacional de Resíduos Sólidos da Associação Brasileira de Engenharia Ambiental e Sanitária*, 1-8.
- Brasil. (1981). Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. Folha SD.22 Goiás; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro. 640p.
- Brasil. (1986). Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. Nº 01 de 23 de janeiro de 1986. Brasília-DF.
- Brasil. (1988). Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. Nº 05 de 15 de junho de 1988. Brasília-DF.

- Brasil. (1997). Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. Nº 237 de 19 de dezembro de 1997. Brasília-DF.
- Brasil. (2002). Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. Nº 308 de 21 de março de 2002. Brasília-DF.
- Brasil. (2010). *Política Nacional de Resíduos Sólidos*. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Poder Executivo, Brasília, DF, 2 de agosto de 2010.
- Brasil. (2011). Ministério da Integração Nacional. *Regiões Integradas de Desenvolvimento – RIDEs*. Disponível em: [http://www.mi.gov.br/web/guest/regioes\\_integradas\\_rides](http://www.mi.gov.br/web/guest/regioes_integradas_rides). Acesso em: 03 de março de 2016.
- Brasil. Constituição (1988). *Constituição da República Federativa do Brasil*. Brasília, DF: Senado, 1988.
- Brasil. Lei Federal 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. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=322>. Acesso em: 18 agosto de 2016.
- Brollo, M. J. (2001). *Metodologia automatizada para seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos. Aplicação na região Metropolitana de Campinas (SP)*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 223p.
- Cahang, N. B.; Parvathinathan, G. e Breeden, J. (2008). Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region. *Journal of Environmental Management*, 87, 139–153.
- Camargo, O. A de; Moniz, A. C.; Jorge, J. A.; Valadares, J. M. A. S. (1986). Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas. Campinas: Instituto agronômico.
- Cardoso, R. D.; Marcuzzo, F. F. N, e Barros, J. R. (2014). Classificação climática de Köppen-Geiger para o Estado de Goiás e o Distrito Federal. *ACTA Geográfica*, 8(12), 40-55p.
- Chang, N. B.; Parvathinathanb, G. e Breeden, J. B . (2008). Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region. *Journal of Environmental Management*, 87, 139–153.
- Colvero, D. A. (2014). *Análise das rotas tecnológicas existentes para os resíduos sólidos urbanos no município de Cidade Ocidental/GO*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 132p.

- Companhia de Pesquisa de Recurso Mineais (CPRM). (2008). Geologia do Estado de Goiás e do Distrito Federal. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Geologia/Geologia-Basica/Cartografia-Geologica-Regional-624.html>. Acessado em 16 de junho de 2017.
- Consórcio Público de Manejo dos Resíduos Sólidos e das Águas Plúvias da Região Integrada do Distrito Federal de Goiás (CORSAP-DF/GO). (2013). Estatuto. Disponível em: <http://corsapdfgo.eco.br/wp-content/uploads/2015/arquivos/Estatuto.pdf>. Acesso em: 06 de maio de 2016.
- Dias, S. de F. B. (1996). Alternativas de Desenvolvimento dos Cerrados: Manejo e Conservação dos Recursos Naturais Renováveis. Brasília: Fundação Pró-Natureza.
- Eastman, J.R. (2001). Decision support: decision strategy analysis. Idrisi 32 release 2: Guide to GIS and image processing. Worcester: Clark Labs, Clark University, 2, 22p.
- El-Hamouz, A. M. (2008). Logistical management and private sector involvement in reducing the cost of municipal solid waste collection service in the Tubas are of the West Bank. *Waste Management*, 28, 260–271.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). (2006). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, 286p.
- Eskandari, M.; Homae, M.; Mahmoodi, S.; Pazira, E. e Genuchten. M. Th. (2015). Optimizing landfill site selection by using land classification maps. *Environ Sci Pollut Res*, 22, 7754-7765.
- Esri. (2017). *Weighted Overlay*. Disponível em: <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/weighted-overlay.htm>. Acesso em: 04 de maio de 2017.
- Frantzis, I. (1993). “Methodology for municipal landfill sites selection”. *Waste Management & Research* (11), 441-451.
- Goiás. (2005). Sistema Estadual de Geoinformação (SIEG). Mapa de Solos-Projeto RadamBrasil. Disponível em: <http://www.sieg.go.gov.br/>. Acesso em: 18 de junho de 2017.
- Goiás. (2013). Ministério Público do Estado de Goiás. Relatório Pacuera da UHE de Corumbá IV. Goiânia 2013, 4p.
- Goiás. (2015). Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Cidades e Assuntos Metropolitanos. Plano de Resíduos Sólidos do Estado de Goiás (PERS-GO). Goiânia, 497p.
- Gomes, P. L.; Coelho, O. W.; Erba, D. A. e Veronez, M. (2001). Critérios de Seleção de Áreas para Disposição Final de Resíduos Sólidos. Projeto PROSAB, Curitiba, PR, 273p.



- Guerra, A. J. T. (1996). Processos Erosivos nas encostas. In: Cunha, S.B. e Guerra, A. J. T. (Orgs.). Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 139-156p.
- Guimarães, L. T. (2000). *Utilização do Sistema de Informação Geográfica (SIG) para identificação de áreas potenciais para a disposição de resíduos na bacia de Paquerquer, município de Teresópolis - RJ*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ.
- Guiqin, W.; Li, Q.; Guoxue, L., e Lijun, C. (2009). “Landfill site selection using spatial information technologies and AHP: A case study in Beijing, China”. *Journal of Environmental Management*, **49**(2006), 2414–2421.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2014). Microrregião do IBGE Entorno do Distrito Federal. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/down/mapas/microrregioes%20-%20ibge/microrregiao do entorno de brasilia.pdf](http://www.ibge.gov.br/down/mapas/microrregioes%20-%20ibge/microrregiao%20do%20entorno%20de%20brasilia.pdf). Acesso em: 03 de março de 2016.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2008). *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico*. Rio de Janeiro, 219p.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2016). *Estimativas populacionais para os municípios e para as Unidades da Federação brasileiros*. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2015/estimativa\\_dou.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2015/estimativa_dou.shtm). Acesso em: 21 de março de 2016.
- Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). (2017). Atlas da violência 2017. Rio de Janeiro, 69p.
- Instituto Mauro Borges de Estatística e Estudos Socioeconômicos (IMB). (2013). Goiás em dados 2013. Disponível em: [http://www.imb.go.gov.br/viewcad.asp?id\\_cad=1208](http://www.imb.go.gov.br/viewcad.asp?id_cad=1208). Acesso em: 21 de novembro de 2016.
- Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). (2017). Estações Automáticas. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>. Acesso em: 12 de junho de 2017.
- IPT/CEMPRE. (2000). *Lixo municipal: Manual de gerenciamento integrado*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo.
- Jensen, J. R. (2009). Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. 2ª Edição traduzida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. São Paulo, Parêntese. 672p.
- Jucá, J. F. T. (2016). *Estudos e proposição de modelagem para execução eficiente dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos no Distrito Federal*. Produto 2: Proposição e Modelagem para Execução Eficiente dos Serviços de Limpeza Urbana e

Manejo de Resíduos Sólidos Considerando a Gestão Associada no Âmbito do CORSAP/DF-GO. Relatório.

- Karthikeyan, K.G.; Elliott, H.A. e Brandt, R.C. (1996). Siting monofills for residuals using GIS. *Journal American Water Works Association*, **88**(2), 68-75.
- Khan, D., e Samadder, S. R. (2014). “Municipal solid waste management using Geographical Information System aided methods: A mini review”. *Waste Management & Research*, **32**(11), 1049-1062.
- Lima, J. D. (2003). *Consórcio de Desenvolvimento Intermunicipal: Instrumento de Integração Regional*. ABES, Paraíba, PB.
- Lima, J. D.; Jucá, J. F.; Reichert, G. A. e Firmo, A. L. (2014). “Usos de modelos de apoio à decisão para análise de alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos sólidos urbanos na Região Sul do Brasil”. *Associação Brasileira de Engenharia Sanitária*, **9**(1), 33-42.
- Lopes, L. H. (2008). “Uso e cobertura do solo no município de Tailândia - PA utilizando o TM/Landsat e técnica de classificação não-supervisionada”. *Engevista*, **10**(2), 26-132.
- Lourenço, R. W., Silva, D. C., Sales, J. C., Medeiros, G. A., e Otero, R. A. (2015). “Metodologia para seleção de áreas aptas à instalação de aterros sanitários consorciados utilizando SIG”. *Ciência e Natura*, **37**(4), 122-140.
- Lupatini, G. (2002). *Desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão em escolha de áreas para aterros sanitários*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Ambiental, SC, 148p.
- Maguiri, A. E.; Kissi, B.; Idrissi, L. e Souabi, S. (2016). Landfill site selection using GIS, remote sensing and multicriteria decision analysis: case of the city of Mohammedia, Morocco. *Bull Eng Geol Environ*, **75**, 1301–1309.
- Malczewski, J. (2000). On the use of Weighted Linear Combination method in GIS: common and best practice approaches. *Transactions in GIS*, **4**(1), 5-22.
- Martins, E. M. O.; Silva, F. F.; Vieira, A. S.; Ventura, A. A. e Júnior, R. V. (2014). Determinação do percurso mínimo para coleta seletiva de resíduos sólidos na cidade de Sousa no sertão do estado da Paraíba. *Revista Eletrônica Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, **6**(2), 268-278.
- Melo, A. L. O. (2001). *Avaliação e seleção de áreas para implantação de aterro sanitário utilizando lógica fuzzy e análise multi-critério: Uma proposta metodológica. Aplicação ao município de Cachoeiro de Itapemirim- ES*. Dissertação de mestrado, Universidade de Viçosa, Viçosa, MG, 188p.

- Melo, L. D. (2008). *Seleção e Hierarquização de Áreas para Implantação de Aterro Sanitário, Utilizando Geoprocessamento e Lógica "Fuzzy". Aplicação na Região Metropolitana de Aracajú (SE)*. Maceió. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Alagoas.
- Mesquita Júnior, J. M. (2007). *Gestão integrada de resíduos sólidos*. IBAM, Rio de Janeiro. 40p.
- Moeinaddini, M.; Khorasani, N. e Danehkar, A. (2010). Siting MSW landfill using weighted linear combination and analytical hierarchy process (AHP) methodology in GIS environment (case study: Karaj). *Waste Management*, 30, 912–920.
- Montaño, M. (2012). Integração de critérios técnicos, ambientais e sociais em estudos de alternativas locacionais para implantação de aterro sanitário. *Engenharia Ambiental e Sanitário*, 17(1), 61-70.
- Mucelin, C. A. e Bellini, M. (2008). “Lixos e impactos ambientais perceptíveis no ecossistema urbano”. *Sociedade e Natureza*, 111-124.
- Nunes, R. R. e Silva, R. A. (2015). Transbordo de resíduos sólidos. *Revista pensar Engenharia*, 3(1), 1-18.
- Oliveira, D. R. (2010). Aterro Sanitário. Aterro Controlado. Lixão. Disponível em: [http://defesacivilrosul.blogspot.com.br/2010\\_05\\_01\\_archive.html](http://defesacivilrosul.blogspot.com.br/2010_05_01_archive.html). Acesso em: 24 de julho de 2017.
- Oliveira, E. P. (2007). *Modelo conceitual de um sistema de apoio à decisão, para gestores de logística e transporte em canais de exportação agrícola*. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia de Produção, Florianópolis.
- Oliveira, S. A.; Leite, V.; Prazad, S. e Ribeiro, M. (2004). “Estudo da produção per capita de resíduos sólidos domiciliares da cidade de Campina Grande – PB”. *Revista Saúde e Ambiente*, 5(2), 37-44.
- Ornelas, A. R. (2011). *Aplicação de métodos de análise espacial na gestão dos resíduos sólidos urbanos*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Geologia, Belo Horizonte, MG, 101p.
- Pires, E. G. e Ferreira, L. G. (2015). “Mapeamento da temperatura de superfície a partir de imagens termais dos satélites Landsat 7 e Landsat 8”. *Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, João Pessoa, Brasil.
- Região Integrada do Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno (RIDE/DF). (2015). *Diagnóstico do Saneamento Básico da Região Integrada de Desenvolvimento (RIDE) DF e Entorno*. Universidade de Brasília, Brasília, DF, 26p.
- Região Integrada do Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno (RIDE/DF). (2016). *Propostas Preliminares para Aterros Sanitários para RIDE/DF e Entorno*. Universidade de Brasília, Brasília, DF, 35p.

- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York, 287p.
- Saaty, T. L. (1991). *Método de Análise Hierárquica*, São Paulo: Makron Books, 367p.
- Sener, B.; Süzen, M.L.; Doyuran, V. (2005). Landfill site selection by using geographical information systems. *Environmental Geology*, 49(3), 376-88.
- Serviço de Limpeza Urbana do Distrito Federal (SLU/DF). (2016). *Proposição e modelagem para execução eficiente dos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos considerando a gestão associada no âmbito do CORSAP/DF-GO*. SLU/DF. 140p.
- Shahabi, H.; Keihanfard, S.; Ahmad, B. B. e Amiri, M. J. T. (2014). “Evaluating Boolean, AHP and WLC methods for the selection of waste landfill sites using GIS and satellite images”. *Environ Earth Sci*, 4221-4233.
- Siddiqui, M. Z.; Everett, J. W. e Vieux, B. E. (1996). “Landfill siting using geographical information systems: a demonstration”. *Journal of Environmental Engineering*, **122**(6), 515–523.
- Silva, A. M. (2006). A RIDE – Reflexões sobre o Entorno do DF. In: T. Mulholland, e D. S. Faria, *DF em questão: a Universidade e as eleições 2006 no DF*. Universidade de Brasília, Brasília, 53-64p.
- Souza, B. A. e Mello, M. (2015). Luziânia e o processo de metropolização de uma cidade colonial. *Anais de Seminário de Pesquisa, Pós-graduação, Ensino e Extensão do CCSEH – SEPE*. Anápolis, GO, 2015.
- Steinke, V. A.; Steinke, E. T. e Saito, C. H. (2010). “Estimativa da temperatura de superfície em áreas urbanas em processo de consolidação: reflexões e experimento em Planaltina-DF”. *Revista Brasileira de Climatologia*, 6(6), 37-56.
- Villela, S. M. e Mattos, A. (1975). *Hidrologia aplicada*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 245p.
- Zamorano, M.; Molero, E. e Grindlay, A. (2009). A planning scenario for the application of geographical information systems in municipal waste collection: A case of Churriana de la Vega (Granada, Spain). *Resources, Conservation and Recycling*, **54**(2): 123-133.

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A – TABELA DE FATORES ESCALONADOS

Critério	Fator	Faixa de classificação	Nota/escala
Ambiental	Distância de rios	0 – 200 m	0
		200 – 600 m	3
		600 – 1000 m	5
		1000 – 2000 m	7
		> 2000 m	10
	Distância de pontos de captação de água	0 - 2,5 km	0
		2,5 – 5 km	3
		5 – 10 km	5
		10 – 20 km	7
		> 20 km	10
	Distância de linhas d falhas geológicas	0 – 200 m	0
		200 – 600 m	3
		600 – 1000 m	5
		1000 – 2000 m	7
		> 2000 m	10
	Declividade	0 – 1% e > 30%	0
		1 – 3%	10
		3 – 10%	7
		10 – 20%	5
		20 – 30%	3
	Distâncias de aeroportos	0 - 13 km	0
		13 – 15 km	3
		15 – 20 km	5
		20 – 30 km	7
		> 30 km	10
	Distância de unidades de conservação	0 - 10 km	0
		10 - 15 km	3
15 - 20 km		5	
20- 30 km		7	
> 30 km		10	
Solo	Neossolo, Gleissolos	0	
	Cambissolo	7	
	Latossolo	10	
Econômico	Distância de centros de geração de RSU	0 – 3 km	0
		3 – 5 km	10
		5 – 10 km	7
		10 – 20 km	5
		20 – 30 km	3
		> 30 km	1
	Distância de estradas	0 – 200 m	0
		200 – 500 m	10
		500 – 700 m	7
		700 – 1000 m	5
		1000 – 2000 m	3
		> 2000 m	1
	Uso e cobertura do solo	Área urbanizada, Mata de galeria e Água	0
		Agricultura	1
		Pastagem	5
		Cerrado	7
		Solo exposto, Campo	10

Continuação da Tabela de fatores escalonados.

<b>Critério</b>	<b>Fator</b>	<b>Faixa de classificação</b>	<b>Nota/escala</b>
Social	Distância de áreas urbanizadas	0 - 3 km	0
		3 - 5 km	3
		5 - 10 km	5
		10 - 20 km	7
		> 20 km	10
	Povoados	0 - 0,5 km	0
		0,5 - 1 km	3
		1 - 5 km	5
		5 - 10 km	7
		> 10 km	10

## APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DA PRIMEIRA CONSULTA

Universidade de Brasília – UnB

Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos – PTARH

Pesquisador: Renei Rocha de Carvalho

Orientador: Prof. Wagner Santos de Almeida

A presente consulta é parte integrante de uma pesquisa de mestrado no âmbito da gestão de resíduos sólidos, do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos (PTARH) da Universidade de Brasília (UnB). Com o objetivo principal de localizar áreas potenciais para a implantação de aterro sanitário regional no sul da RIDE/DF, foram selecionados critérios e subcritérios de maior relevância presentes na NBR 13.896/1997 e órgãos ambientais como o CONAMA, SNUC, artigos científicos, dissertações e teses. Sendo assim, o presente questionário busca ponderar os critérios, previamente selecionados. Para a presente pesquisa são utilizados os critérios ambiental, econômico e social, os quais devem ser ponderados de acordo com o seu grau de importância.

### QUESTIONÁRIO

Nome	
Formação	
Cargo	
Instituição	

#### **Instruções para a comparação pareada dos critérios**

- 1) Na comparação dos pares de critérios deve-se utilizar os valores da escala apresentada na tabela abaixo.

Tabela 1 - Escala fundamental de Saaty para comparação pareada (Saaty, 1980).

<b>Grau de importância</b>	
1	Igual importância
3	Importância pequena de uma para a outra
5	Importância grande
7	Importância muito grande
9	Importância absoluta

- 2) Marque apenas um **X** em cada linha;
- 3) Em caso de dúvida na comparação de algum critério, pode deixar em branco.

RIDE/DF – Região Integrado do Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação



**Questão 1:** Em relação à seleção de locais mais adequados para a implantação de aterro sanitário, compare os seguintes critérios, segundo o seu grau de importância.

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Ambiental										Econômico
Ambiental										Social
Econômico										Social

**Questão 2:** Em relação ao fator ambiental, compare os seguintes critérios de acordo com o seu grau de importância.

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Distância de Rios										Dist. de Fontes de Abast. Água
Distância de Rios										Dist. de Falhas Geológicas
Distância de Rios										Declividade
Distância de Rios										Distância de Aeroportos
Distância de Rios										Dist. de Área de Conservação
Distância de Rios										Solo
Dist. Fontes de Abast. Água										Dist. de Falhas Geológicas
Dist. Fontes de Abast. Água										Declividade
Dist. Fontes de Abast. Água										Distância de Aeroportos
Dist. Fontes de Abast. Água										Dist. de Área de Conservação
Dist. Fontes de Abast. Água										Solo
Dist. de Falhas Geológicas										Declividade
Dist. de Falhas Geológicas										Distância de Aeroportos
Dist. de Falhas Geológicas										Dist. de Área de Conservação
Dist. de Falhas Geológicas										Solo
Declividade										Distância de Aeroportos
Declividade										Dist. de Área de Conservação
Declividade										Solo
Distância de Aeroportos										Dist. de Área de Conservação
Distância de Aeroportos										Solo
Dist. de Área de Conservação										Solo

**Questão 3:** Em relação ao fator econômico, compare os seguintes critérios de acordo com o seu grau de importância.

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Dist. de Fontes de Geração de RSU										Distância de Estradas
Dist. de Fontes de Geração de RSU										Uso e Cobertura do Solo
Distância de Estradas										Uso e Cobertura do Solo

**Questão 4:** Em relação ao fator social, compare os seguintes critérios de acordo com o seu grau de importância.

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Dist. de áreas urbana										Distância de povoados
Distância de povoados										Dist. de áreas urbana

## APÊNDICE C – PARTICIPANTES DAS CONSULTAS

### a) Lista de participantes que responderam ao questionário da primeira consulta.

Nº	Nome	Formação	Cargo	Instituição
1	Participante 1	Engenharia Ambiental	Técnico em Laboratório/Área Biologia	Universidade Federal do Amazonas (UFAM)
2	Participante 2	Engenharia Sanitária e Ambiental	Analista de Infraestrutura em Saneamento	Ministério do Meio Ambiente
3	Participante 3	Engenharia Agrônoma, com mestrado e doutorado	Subsecretária	Secretaria de Estado do Meio Ambiente - DF
4	Participante 4	Engenharia Civil	Gerente de Políticas de Resíduos e Drenagem	SECIMA-GO
5	Participante 5	Eng. Ambiental e Doutorando em Física Ambiental	Professor no Curso de Engenharia Ambiental	Universidade Estadual de Maringá
6	Participante 6	Engenharia Ambiental	Chefe de Departamento III	Prefeitura Municipal de Cristalina
7	Participante 7	Engenharia Ambiental	Analista Ambiental	Unidade SMG de Frigoríficos
8	Participante 8	Ciências Biológicas	Analista Ambiental	Secretaria de Meio Ambiente de Valparaíso

### b) Lista de participantes que responderam ao questionário da segunda consulta.

Nº	Nome	Formação	Cargo	Instituição
1	Participante 1	Engenharia Civil	Diretor Técnico/Professor Adjunto	SLU/UnB-FT
2	Participante 2	Engenharia Mecânica	Superintendente	CORSAP/DF-GO
3	Participante 3	Engenharia Ambiental	Analista Ambiental	Prefeitura de Cristalina
4	Participante 4	Geografia	Assessor Especial Diretoria Técnica	SLU-DF

## APÊNDICE D – ESTIMATIVA DA POPULAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DO SUL DA RIDE

a) Dados para estimativa da população do sul da RIDE/DF (RIDE e PERS-GO, 2015).

Município	População		Taxa a.a.	Geração per capita	
	2000*	2010*	kg (%)	t/ano**	t/ano.hab.
Águas Lindas de Goiás	105.583	159.139	4,10	48.635,29	0,260
Santo Antônio do Descoberto	48.398	56.809	1,60	21.939,87	0,313
N. Gama	73.026	93.973	2,52	36.802,29	0,345
Valparaíso de Goiás	94.856	132.982	3,38	53.420,86	0,349
C. Ocidental	34.465	43.653	2,36	17.495,70	0,272
Luziânia	130.165	162.803	2,24	58.783,72	0,303
Cristalina	27.569	38.419	3,32	22.467,11	0,422

\*Dados do IBGE, 2016.

\*\*Dados da RIDE/DF, 2016.

b) Estimativa da população e de resíduos sólidos dos municípios do sul da RIDE/DF.

Águas Lindas de Goiás		
Ano	Pop. Urbana	RSU (ton.)
2018	220.965	57.446,75
2019	230.219	117.299,44
2020	239.861	179.658,85
2021	249.906	244.629,95
2022	260.373	312.322,13
2023	271.278	382.849,35
2024	282.639	456.330,34
2025	294.476	532.888,82
2026	306.810	612.653,67
2027	319.659	695.759,18
2028	333.047	782.345,26
2029	346.995	872.557,68
2030	361.528	966.548,32
2031	376.669	1.064.475,41
2032	392.445	1.166.503,82
2033	408.881	1.272.805,32
2034	426.005	1.383.558,87
2035	443.847	1.498.950,92
2036	462.436	1.619.175,76
<b>2037</b>	<b>481.803</b>	<b>1.744.435,76</b>

Santo Antônio do Descoberto		
Ano	Pop. Urbana	RSU (ton.)
2018	64.579	20.244,14
2019	65.622	40.815,28
2020	66.682	61.718,70
2021	67.759	82.959,77
2022	68.853	104.543,94
2023	69.965	126.476,75
2024	71.096	148.763,83
2025	72.244	171.410,91
2026	73.411	194.423,80
2027	74.597	217.808,41
2028	75.802	241.570,75
2029	77.026	265.716,91
2030	78.270	290.253,09
2031	79.535	315.185,61
2032	80.819	340.520,85
2033	82.125	366.265,32
2034	83.451	392.425,63
2035	84.799	419.008,51
2036	86.169	446.020,77
<b>2037</b>	<b>87.561</b>	<b>473.469,34</b>

Novo Gama		
Ano	Pop. Urbana	RSU (ton.)
2018	114.980	39.666,84
2019	117.917	80.346,77
2020	120.929	122.065,65
2021	124.017	164.850,04
2022	127.184	208.727,13
2023	130.433	253.724,84
2024	133.764	299.871,78
2025	137.180	347.197,31
2026	140.684	395.731,54
2027	144.277	445.505,32
2028	147.962	496.550,31
2029	151.741	548.898,99
2030	155.616	602.584,65
2031	159.590	657.641,44
2032	163.666	714.104,37
2033	167.846	772.009,36
2034	172.133	831.393,23
2035	176.529	892.293,76
2036	181.038	954.749,69
<b>2037</b>	<b>185.662</b>	<b>1.018.800,73</b>

Valparaíso de Goiás		
Ano	Pop. Urbana	RSU (ton.)
2018	174.251	60.739,54
2019	180.239	123.566,26
2020	186.432	188.551,86
2021	192.838	255.770,53
2022	199.465	325.299,01
2023	206.319	397.216,67
2024	213.409	471.605,61
2025	220.742	548.550,75
2026	228.327	628.139,91
2027	236.173	710.463,97
2028	244.289	795.616,90
2029	252.683	883.695,90
2030	261.366	974.801,53
2031	270.347	1.069.037,78
2032	279.637	1.166.512,23
2033	289.246	1.267.336,15
2034	299.185	1.371.624,65
2035	309.466	1.479.496,77
2036	320.100	1.591.075,66
<b>2037</b>	<b>331.100</b>	<b>1.706.488,68</b>

Cidade Ocidental		
Ano	Pop. Urbana	RSU (ton.)
2018	52.738	14.365,57
2019	53.999	29.074,68
2020	55.290	44.135,56
2021	56.613	59.556,59
2022	57.966	75.346,42
2023	59.353	91.513,84
2024	60.772	108.067,90
2025	62.225	125.017,83
2026	63.713	142.373,11
2027	65.237	160.143,42
2028	66.797	178.338,70
2029	68.395	196.969,11
2030	70.030	216.045,04
2031	71.705	235.577,17
2032	73.420	255.576,39
2033	75.176	276.053,87
2034	76.973	297.021,06
2035	78.814	318.489,66
2036	80.699	340.471,67
<b>2037</b>	<b>82.629</b>	<b>362.979,36</b>

Luziânia		
Ano	Pop. Urbana	RSU (ton.)
2018	194.714	58.988,18
2019	199.119	119.311,02
2020	203.625	180.998,73
2021	208.232	244.082,18
2022	212.943	308.592,95
2023	217.761	374.563,35
2024	222.689	442.026,39
2025	227.727	511.015,84
2026	232.880	581.566,25
2027	238.149	653.712,93
2028	243.537	727.492,00
2029	249.047	802.940,39
2030	254.682	880.095,87
2031	260.445	958.997,07
2032	266.338	1.039.683,49
2033	272.364	1.122.195,52
2034	278.526	1.206.574,46
2035	284.828	1.292.862,56
2036	291.273	1.381.103,01
<b>2037</b>	<b>297.863</b>	<b>1.471.339,99</b>

<b>Cristalina</b>		
<b>Ano</b>	<b>Pop. Urbana</b>	<b>RSU (ton.)</b>
2018	50.101	21.118,65
2019	51.792	42.949,90
2020	53.539	65.517,79
2021	55.346	88.847,20
2022	57.213	112.963,80
2023	59.144	137.894,16
2024	61.139	163.665,75
2025	63.202	190.306,94
2026	65.335	217.847,08
2027	67.540	246.316,50
2028	69.819	275.746,56
2029	72.174	306.169,67
2030	74.610	337.619,34
2031	77.127	370.130,22
2032	79.730	403.738,10
2033	82.420	438.480,01
2034	85.201	474.394,20
2035	88.076	511.520,25
2036	91.048	549.899,03
<b>2037</b>	<b>94.120</b>	<b>589.572,82</b>

<b>Sul da RIDE/DF e Entorno</b>		
<b>Ano</b>	<b>Pop. Urbana</b>	<b>RSU (ton.)</b>
2018	872327,35	272569,67
2019	898906,39	553363,35
2020	926357,50	842647,14
2021	954711,07	1140696,26
2022	983998,61	1447795,38
2023	1014252,76	1764238,96
2024	1045507,37	2090331,59
2025	1077797,53	2426388,39
2026	1111159,62	2772735,35
2027	1145631,34	3129709,72
2028	1181251,79	3497660,47
2029	1218061,50	3876948,64
2030	1256102,51	4267947,85
2031	1295418,39	4671044,69
2032	1336054,33	5086639,24
2033	1378057,19	5515145,55
2034	1421475,57	5956992,11
2035	1466359,86	6412622,44
2036	1512762,33	6882495,58
<b>2037</b>	<b>1.560.737,18</b>	<b>7.367.086,69</b>

## APÊNDICE E – QUESTIONÁRIO DA SEGUNDA CONSULTA

Universidade de Brasília – UnB

Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos – PTARH

Pesquisador: Renei Rocha de Carvalho

Orientador: Prof. Wagner Santos de Almeida

A presente consulta é parte integrante de uma pesquisa de mestrado no âmbito da gestão de resíduos sólidos, do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos (PTARH) da Universidade de Brasília (UnB). Com o objetivo principal de selecionar áreas para a implantação de aterro sanitário regional no sul da RIDE/DF (composta por sete municípios), foram selecionados critérios de maior relevância, os quais devem ser validados e ponderados. Esta é segunda consulta, que consiste em perguntar a opinião de especialistas, ligados às áreas ambiental, econômica e social, sobre a importância de cada um dos critérios.

### QUESTIONÁRIO

Nome	
Formação	
Cargo	
Instituição	

#### Seleção dos critérios

**Questão 1:** Para selecionar uma alternativa de área para aterro sanitário precisa-se de critérios. Dos critérios listados abaixo, enumere-os do mais importante para o menos importante, ou seja, o critério mais importante deve receber o número 1 e o menos importante, o número 6.

<b>Critério</b>	<b>Número</b>
Proteção das águas superficiais	
Geração de resíduos sólidos	
Vida útil do aterro	
Custo de transporte	
Condições de acesso	
Uso e ocupação das áreas	

Desde já agradecemos a sua colaboração, estamos à disposição para quaisquer esclarecimentos e solicitamos que o questionário com suas respostas seja nos encaminhado o mais breve possível.

## Instruções para a comparação pareada dos critérios

- 1) Na comparação dos pares de critérios deve-se utilizar os valores da escala apresentada na tabela abaixo:

Tabela 1 - Escala fundamental de Saaty para comparação pareada (Saaty, 1980).

<b>Grau de importância</b>	
1	Igual importância
3	Importância pequena de uma para a outra
5	Importância grande
7	Importância muito grande
9	Importância absoluta

- 2) Marque apenas um **X** em cada linha;  
 3) Em caso de dúvida na comparação de algum critério, pode deixar em branco.

**Questão 2:** Em relação à seleção de áreas para aterro sanitário, compare os seguintes critérios indicando o seu grau de importância.

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Distância de povoados										Geração de resíduos sólidos
Distância de povoados										Vida útil do aterro
Distância de povoados										Custo de transporte
Distância de povoados										Condições de acesso
Distância de povoados										Uso e ocupação da área
Geração de resíduos sólidos										Vida útil do aterro
Geração de resíduos sólidos										Custo de transporte
Geração de resíduos sólidos										Condições de acesso
Geração de resíduos sólidos										Uso e ocupação da área
Vida útil do aterro										Custo de transporte
Vida útil do aterro										Condições de acesso
Vida útil do aterro										Uso e ocupação da área
Custo de transporte										Condições de acesso
Custo de transporte										Uso e ocupação da área
Condições de acesso										Uso e ocupação da área



## APÊNDICE F – QUADROS DE JULGAMENTOS INDIVIDUAIS

### a) Julgamentos individuais da primeira consulta.

- Critérios

Participante 1	Ambiental	Econômico	Social
Ambiental	<b>1</b>	5	3
Econômico	1/5	<b>1</b>	1/3
Social	1/3	3	<b>1</b>

Participante 2	Ambiental	Econômico	Social
Ambiental	<b>1</b>	<b>7</b>	5
Econômico	1/7	<b>1</b>	1
Social	1/5	1	<b>1</b>

Participante 3	Ambiental	Econômico	Social
Ambiental	<b>1</b>	<b>5</b>	5
Econômico	1/5	<b>1</b>	1
Social	1/5	1	<b>1</b>

Participante 4	Ambiental	Econômico	Social
Ambiental	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>7</b>
Econômico	1/7	<b>1</b>	9
Social	1/7	1/9	<b>1</b>

Participante 5	Ambiental	Econômico	Social
Ambiental	<b>1</b>	9	1/9
Econômico	1/9	<b>1</b>	1/7
Social	9	7	<b>1</b>

Participante 6	Ambiental	Econômico	Social
Ambiental	<b>1</b>	3	1/3
Econômico	1/3	<b>1</b>	1
Social	3	1	<b>1</b>

Participante 7	Ambiental	Econômico	Social
Ambiental	<b>1</b>	1	3
Econômico	1	<b>1</b>	1/5
Social	1/3	5	<b>1</b>

Participante 8	Ambiental	Econômico	Social
Ambiental	<b>1</b>	5	1
Econômico	1/5	<b>1</b>	1/5
Social	1	5	<b>1</b>

• **Fatores Ambientais**

Participante 1	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
F1	<b>1</b>	1	1	1/3	3	1/3	1/3
F2	1	<b>1</b>	1/3	1/3	3	1	1
F3	1	3	<b>1</b>	1/3	3	1	1
F4	3	3	3	<b>1</b>	3	3	3
F5	1/3	1/3	1/3	1/3	<b>1</b>	1/3	1/3
F6	3	1	1	1/3	3	<b>1</b>	1
F7	3	1	1	1/3	3	1	<b>1</b>

Participante 2	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
F1	<b>1</b>	1/5	1	3	3	1/3	5
F2	5	<b>1</b>	3	5	3	1/5	5
F3	1	1/3	<b>1</b>	1	1/3	1/5	3
F4	1/3	1/5	1	<b>1</b>	1/3	1/5	1/3
F5	1/3	1/3	3	3	<b>1</b>	1/5	3
F6	3	5	5	5	5	<b>1</b>	5
F7	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1/5	<b>1</b>

Participante 3	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
F1	<b>1</b>	1	3	3	5	3	1/5
F2	1	<b>1</b>	5	3	5	1	1/3
F3	1/3	1/5	<b>1</b>	1/3	5	1/3	1/3
F4	1/3	1/3	3	<b>1</b>	5	1/3	1/5
F5	1/5	1/5	1/5	1/5	<b>1</b>	1/5	1/5
F6	1/3	1	3	3	5	<b>1</b>	1/3
F7	5	3	3	5	5	3	<b>1</b>

Participante 4	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
F1	<b>1</b>	1/9	1/5	1/5	1/5	1/5	1/7
F2	9	<b>1</b>	9	9	9	9	9
F3	5	1/9	<b>1</b>	1	3	3	1/3
F4	5	1/9	1	<b>1</b>	1	1	1/7
F5	5	1/9	1/3	1	<b>1</b>	1/7	1/7
F6	5	1/9	1/3	1	7	<b>1</b>	1/5
F7	7	1/9	3	7	7	5	<b>1</b>

Participante 5	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
F1	<b>1</b>	9	1/9	9	7	9	8
F2	1/9	<b>1</b>	7	7	7	7	7
F3	9	1/7	<b>1</b>	1	5	5	5
F4	1/9	1/7	1	<b>1</b>	1/5	5	5
F5	1/7	1/7	1/5	5	<b>1</b>	1/7	5
F6	1/9	1/7	1/5	1/5	7	<b>1</b>	1
F7	1/8	1/7	1/5	1/5	1/5	1	<b>1</b>

Participante 6	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
F1	<b>1</b>	1	5	3	3	1	3
F2	1	<b>1</b>	3	3	5	1/3	5
F3	1/5	1/3	<b>1</b>	1/3	1	1/5	1/3
F4	1/3	1/3	3	<b>1</b>	1/3	1/5	5
F5	1/3	1/5	1	3	<b>1</b>	1/5	3
F6	1	3	5	5	5	<b>1</b>	1
F7	1/3	1/5	3	1/5	1/3	1	<b>1</b>

Participante 7	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
F1	<b>1</b>	1/9	5	1	5	1	1
F2	9	<b>1</b>	9	3	5	1	3
F3	1/5	1/9	<b>1</b>	1	1/3	1/5	1
F4	1	1/3	1	<b>1</b>	1/5	1/7	1
F5	1/5	1/5	3	5	<b>1</b>	1/5	3
F6	1	1	5	7	5	<b>1</b>	5
F7	1	1/3	1	1	1/3	1/5	<b>1</b>

Participante 8	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
F1	<b>1</b>	1	1	3	5	3	5
F2	1	<b>1</b>	3	3	5	1	3
F3	1	1/3	<b>1</b>	1	3	1/5	1
F4	1/3	1/3	1	<b>1</b>	1/3	1/3	1
F5	1/5	1/5	1/3	3	<b>1</b>	1/5	1
F6	1/3	1	5	3	5	<b>1</b>	5
F7	1/5	1/3	1	1	1	1/5	<b>1</b>

F<sub>1</sub> = Fator distância de rios; F<sub>2</sub> = Fator distância de fontes de abastecimento de água; F<sub>3</sub> = Fator distância de linhas de falhas geológicas; F<sub>4</sub> = Fator declividade; F<sub>5</sub> = Fator distância de aeroportos; F<sub>6</sub> = Fator distância de áreas de conservação e F<sub>7</sub> = Fator solo.

### • Fatores Econômicos

Participante 1	Dist. Cent. Ger. RSU	Dist. Estradas	Uso Cobertura Solo
Dist. Cent. Ger. RSU	<b>1</b>	1/3	1/7
Dist. Estradas	3	<b>1</b>	1/7
Uso Cobertura Solo	7	7	<b>1</b>

Participante 2	Dist. Cent. Ger. RSU	Dist. Estradas	Uso Cobertura Solo
Dist. Cent. Ger. RSU	<b>1</b>	7	5
Dist. Estradas	1/7	<b>1</b>	1
Uso Cobertura Solo	1/5	1	<b>1</b>

Participante 3	Dist. Cent. Ger. RSU	Dist. Estradas	Uso Cobertura Solo
Dist. Cent. Ger. RSU	<b>1</b>	1	3
Dist. Estradas	1	<b>1</b>	3
Uso Cobertura Solo	1/3	1/3	<b>1</b>

Participante 4	Dist. Cent. Ge.r RSU	Dist. Estradas	Uso Cobertura Solo
Dist. Cent. Ger. RSU	<b>1</b>	9	7
Dist. Estradas	1/9	<b>1</b>	<b>7</b>
Uso Cobertura Solo	1/7	0,14	<b>1</b>

Participante 5	Dist. Cent. Ger. RSU	Dist. Estradas	Uso Cobertura Solo
Dist. Cent. Ger. RSU	<b>1</b>	9	1/5
Dist. Estradas	1/9	<b>1</b>	1/7
Uso Cobertura Solo	5	7	<b>1</b>

Participante 6	Dist. Cent. Ger. RSU	Dist. Estradas	Uso Cobertura Solo
Dist. Cent. Ger. RSU	<b>1</b>	1	3
Dist. Estradas	1	<b>1</b>	1/3
Uso Cobertura Solo	1/3	3	<b>1</b>

Participante 7	Dist. Cent. Ger. RSU	Dist. Estradas	Uso Cobertura Solo
Dist. Cent. Ger. RSU	<b>1</b>	7	1
Dist. Estradas	1/7	<b>1</b>	1/5
Uso Cobertura Solo	1	5	<b>1</b>

Participante 8	Dist. Cent. Ger. RSU	Dist. Estradas	Uso Cobertura Solo
Dist. Cent. Ger. RSU	<b>1</b>	3	3
Dist. Estradas	1/3	<b>1</b>	1/5
Uso Cobertura Solo	1/3	5	<b>1</b>

- Fatores Sociais**

Participante 1	Distância de Áreas Urbanas	Distância de Povoados
Distância de Áreas Urbanas	<b>1</b>	1
Distância de Povoados	1	<b>1</b>

Participante 2	Distância de Áreas Urbanas	Distância de Povoados
Distância de Áreas Urbanas	<b>1</b>	9
Distância de Povoados	1/9	<b>1</b>

Participante 3	Distância de Áreas Urbanas	Distância de Povoados
Distância de Áreas Urbanas	<b>1</b>	3
Distância de Povoados	1/3	<b>1</b>

Participante 4	Distância de Áreas Urbanas	Distância de Povoados
Distância de Áreas Urbanas	<b>1</b>	1/7
Distância de Povoados	7	<b>1</b>

Participante 5	Distância de Áreas Urbanas	Distância de Povoados
Distância de Áreas Urbanas	<b>1</b>	1/7
Distância de Povoados	7	<b>1</b>

Participante 6	Distância de Áreas Urbanas	Distância de Povoados
Distância de Áreas Urbanas	<b>1</b>	1
Distância de Povoados	1	<b>1</b>

Participante 7	Distância de Áreas Urbanas	Distância de Povoados
Distância de Áreas Urbanas	<b>1</b>	1/5
Distância de Povoados	5	<b>1</b>

Participante 8	Distância de Áreas Urbanas	Distância de Povoados
Distância de Áreas Urbanas	<b>1</b>	3
Distância de Povoados	1/3	<b>1</b>

**b) Julgamentos individuais da segunda consulta.**

Participante 1	Geração de resíduos sólidos	Vida útil do aterro	Custo de transporte	Condições de acesso
Geração de resíduos sólidos	<b>1</b>	3	1/5	3
Vida útil do aterro	1/3	<b>1</b>	1/5	3
Custo de transporte	5	5	<b>1</b>	9
Condições de acesso	1/3	1/3	1/9	<b>1</b>

Participante 2	Geração de resíduos sólidos	Vida útil do aterro	Custo de transporte	Condições de acesso
Geração de resíduos sólidos	<b>1</b>	1	1	3
Vida útil do aterro	1	<b>1</b>	1/7	1
Custo de transporte	1	7	<b>1</b>	7
Condições de acesso	1/3	1	1/7	<b>1</b>

Participante 3	Geração de resíduos sólidos	Vida útil do aterro	Custo de transporte	Condições de acesso
Geração de resíduos sólidos	<b>1</b>	1	3	1
Vida útil do aterro	1	<b>1</b>	3	5
Custo de transporte	1/3	1/3	<b>1</b>	1/3
Condições de acesso	1	1/5	3	<b>1</b>

Participante 4	Geração de resíduos sólidos	Vida útil do aterro	Custo de transporte	Condições de acesso
Geração de resíduos sólidos	1	1/5	1	1
Vida útil do aterro	5	1	5	7
Custo de transporte	1	1/5	1	7
Condições de acesso	1	1/7	1/7	1