

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

GIOVANNI VANZELA PAIVA

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS POTENCIAIS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERRO
SANITÁRIO CONSORCIADO NOS MUNICÍPIOS DE CENTENÁRIO DO SUL,
FLORESTÓPOLIS E PORECATU**

LONDRINA

2022

GIOVANNI VANZELA PAIVA

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS POTENCIAIS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERRO
SANITÁRIO CONSORCIADO NOS MUNICÍPIOS DE CENTENÁRIO DO SUL,
FLORESTÓPOLIS E PORECATU**

**POTENTIAL AREAS IDENTIFICATION FOR LANDFILL IMPLANTATION IN
CENTENÁRIO DO SUL, FLORESTÓPOLIS E PORECATU**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Profa. Dra. Tatiane Cristina Dal Bosco.
Coorientador(a): Profa. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista

LONDRINA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

GIOVANNI VANZELA PAIVA

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS POTENCIAIS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERRO
SANITÁRIO CONSORCIADO NOS MUNICÍPIOS DE CENTENÁRIO DO SUL,
FLORESTÓPOLIS E PORECATU**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 02/dezembro/2022

Flávia Gonçalves Pissinati Pelaquim
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Mauricio Moreira Dos Santos
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Tatiane Cristina Dal Bosco
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LONDRINA

2022

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela minha vida, saúde, por me guiar e me presentear com pessoas tão especiais durante essa trajetória.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Londrina, pelo suporte financeiro durante meu estágio na Comissão de Gestão de Resíduos Sólidos.

À minha família, em especial meus pais Odair e Regina, por todo apoio, amor, parceria, amizade, conselhos, ensinamentos e exemplos.

À minha namorada e melhor amiga, Giovanna, por todo suporte, amizade, compreensão, carinho e incentivo.

Aos meus colegas de sala que contribuíram com meu desenvolvimento e me apoiaram durante minha graduação.

À minha orientadora e coorientadora, Profa. Dra. Tatiane Cristina Dal Bosco e Profa. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista, por me aceitarem como orientando, por todas as orientações, por toda dedicação e por contribuírem tanto com o desenvolvimento dos alunos do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária.

RESUMO

Tendo em vista que os resíduos sólidos, se mal gerenciados, causam grandes impactos ao meio ambiente, a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (BRASIL, 2010), com complementação do novo marco legal do saneamento básico, Lei nº 14.026 (BRASIL, 2020), estabeleceram como prazo máximo para o fim da disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos (RSU) (lixões e aterros controlados) o ano 2024, dependendo do porte do município. No Paraná, 98 municípios ainda possuem lixões ou aterros controlados. Na Região Norte, Centenário do Sul, Florestópolis e Porecatu fazem parte desta estatística. Essa realidade se deve aos custos de implantação e operação de aterros sanitários em municípios de pequeno porte. Para isso, consórcios intermunicipais são considerados, pela PNRS, instrumentos para a redução de custos e gerenciamento adequado dos resíduos. Portanto, o objetivo deste trabalho é selecionar áreas potenciais para a implementação de um aterro sanitário consorciado para esses municípios. Logo, foi necessário dimensionar a área mínima para a disposição final dos resíduos, produzir mapas considerando a distância de corpos hídricos, de núcleos populacionais, de rodovias, declividade e profundidade do lençol freático, bem como atribuir graus de importância relativa para cada critério utilizado, com a finalidade de gerar um mapa síntese, apresentando o potencial de aptidão da área de estudo. Com o intuito de demonstrar a importância do correto gerenciamento dos resíduos para a vida útil dos aterros e para a seleção de áreas potenciais, elaborou-se duas propostas de dimensionamento do aterro sanitário consorciado, utilizando dados autodeclaratórios dos municípios e perspectivas do Plano Nacional de Resíduos Sólidos: uma considerando a coleta seletiva e aterramento apenas de rejeitos (“ideal”) e outra sem coleta seletiva (“real”). Em relação às áreas potenciais, utilizou-se a inferência *fuzzy* para atribuir valores de aptidão entre 0 e 1, conforme cada critério. Depois, aplicou-se o Processo Analítico Hierárquico para atribuir pesos a todas as variáveis estudadas e apresentar um mapa síntese com a interpretação final da aptidão da região para a implementação do aterro. Verificou-se, que o aterro precisaria comportar, para hipótese “ideal”, 53.709 m³ de RSU compactados, totalizando uma área de 28.196 m², e para a hipótese “real” um volume de 107.646,72 m³ e área de 52.156 m². Constatou-se que há áreas com potencial de aptidão máximo para todos os critérios utilizados, sendo a quantidade de cursos d’água um fator geográfico limitante. A matriz de comparação pareada, demonstrou que o critério mais importante para a seleção das áreas potenciais foi a distância de corpos hídricos, seguido da profundidade do lençol freático. A distância de rodovias representou a menor contribuição para a seleção final. Sendo assim, identificou-se cinco regiões com potencial de aptidão maior que 0,75 para a implantação do aterro, apresentando imagens de satélite para a interpretação final. Os critérios finais para a determinação das melhores regiões foram a proximidade com residências isoladas, a área de influência do manancial de abastecimento público e a titularidade do terreno, resultando na constatação de que a área mais ao centro (Área C) apresentou-se como a mais potencial para a instalação do aterro sanitário.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos Urbanos; Disposição Final de Resíduos Sólidos; Inferência *Fuzzy*; Processo Analítico Hierárquico.

ABSTRACT

Considering that solid waste, if poorly managed, causes major impacts on the environment, the National Solid Waste Policy (BRASIL, 2010), complementing the new legal framework for basic sanitation, Law No. 14,026 (BRASIL, 2020), established 2024 as the maximum deadline for the end of inadequate disposal of urban solid waste (USW) (dumps and controlled landfills), depending on the size of the municipality. In Paraná, 98 municipalities still have dumps or controlled landfills. In the North Region, Centenário do Sul, Florestópolis and Porecatu are part of this statistic. This reality is due to the costs of implementing and operating landfills in small municipalities. For this, inter-municipal trusts are considered instruments for cost reduction and proper waste management. Therefore, the objective of this work is to select potential areas for the implementation of a consortium landfill for these municipalities. Thus, it was necessary to dimension the minimum area for the final disposal of waste, produce maps considering the distance from water bodies, population centers, highways, slope and depth of the groundwater, as well as assign degrees of relative importance to each criterion used, with the purpose of generating a synthesis map, presenting the potential aptitude of the study area. In order to demonstrate the importance of correct waste management for the useful life of landfills and for the selection of potential areas, two proposals for sizing the joint sanitary landfill were prepared, using self-declaratory data from the municipalities and perspectives of the National Solid Waste Plan: one considering the selective collection (“ideal”) and the other without selective collection (“real”). Regarding the potential areas, fuzzy inference was used to assign aptitude values between 0 and 1, according to each criterion. Afterwards, the Analytic Hierarchy Process was applied to assign weights to all the variables studied and to present a synthesis map with the final interpretation of the suitability of the region for the implementation of the landfill. It was found that the landfill would need to contain, for the “ideal” hypothesis, 53,709 m³ of compacted USW, totaling an area of 28,196 m², and for the “real” hypothesis, a volume of 107,646.72 m³ and an area of 52,156 m². It was verified that there are areas with maximum suitability potential for all the criteria used, with the number of watercourses being a limiting geographic factor. The paired comparison matrix showed that the most important criteria for selecting potential areas was the distance from water bodies, followed by the depth of the groundwater. The distance from highways represented the smallest contribution to the final selection. Therefore, five regions were identified with potential suitability greater than 0.75 for landfill implementation, presenting satellite images for final interpretation. The final criteria for determining the best regions were the proximity to isolated residences, the area of influence of the public water supply source and the ownership of the land, resulting in the finding that the most central area (Area C) presented itself as the more potential for landfill installation.

Keywords: Urban Solid Waste; Final Disposal of Solid Waste; Fuzzy Inference; Analytic Hierarch Process.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Geração de RSU no Brasil de 2010 a 2020 (mt/ano).....	18
Figura 2 - Geração de RSU no Brasil e Regiões (kg/hab/dia).....	19
Figura 3 - Disposição final de RSU no Brasil em 2010 e 2020 (%).....	24
Figura 4 - Diferença dos conjuntos fuzzy (A) e Booleano (B).	35
Figura 5 - Gráficos da função sigmoidal crescente (1) e decrescente (2).	36
Figura 6 - Área de estudo	40
Figura 7 - Geomorfologia da região.....	41
Figura 8 - Pedologia da região	42
Figura 9 - Distância entre os municípios.....	44
Figura 10 - Geometria das trincheiras	52
Figura 11 - Fluxograma para a seleção de áreas potenciais para aterros sanitários	54
Figura 12 - Mapa de hidrografia, áreas urbanas e rodovias na região do estudo	67
Figura 13 - Mapa da declividade da região do estudo	68
Figura 14 - Mapa de profundidade do lençol freático na região do estudo.....	69
Figura 15 - Mapa <i>fuzzy</i> referente à distância de áreas urbanas	70
Figura 16 - Mapa <i>fuzzy</i> referente à distância de corpos hídricos na região do estudo	71
Figura 17 - Mapa <i>fuzzy</i> referente à distância de rodovias	72
Figura 18 - Mapa <i>fuzzy</i> referente à declividade	73
Figura 19 - Mapa <i>fuzzy</i> referente à profundidade do lençol freático	74
Figura 20 - Mapa final de potencial de aptidão	77
Figura 21 - Regiões potenciais.....	78
Figura 22 - Análise das regiões estudadas a partir de imagens de satélite.....	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fatores que influenciam na geração de resíduos	19
Quadro 2 - Prazos para a implementação da destinação final ambientalmente adequada.....	23
Quadro 3 - Métodos construtivos de aterros sanitários	28
Quadro 4 - Condições para operação do aterro sanitário	30
Quadro 5 - Critérios e definições para a escolha de área para aterros sanitários	31
Quadro 6 - Intensidade de importância e definição	37
Quadro 7 - Planilha de dimensionamento do aterro sanitário para a hipótese “real”	48
Quadro 8 - Planilha de dimensionamento do aterro sanitário para a hipótese “ideal”	50
Quadro 9 - Dados para seleção de área potenciais.....	53
Quadro 10 - Equações para cada critério ambiental selecionado	55
Quadro 11 - Pontos de controle que serão utilizados nas equações sigmoidais	56
Quadro 12 - Pontos positivos e negativos das áreas selecionadas	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação de fatores demográficos e socioeconômicos por região do Brasil.....	20
Tabela 2 - Resultado parcial do censo com famílias de catadores.....	26
Tabela 3 - Matriz de comparação pareada das variáveis	38
Tabela 4 - Características demográficas e sanitárias dos municípios	43
Tabela 5 - Populações dos municípios estudados nos censos de 1990 e 2010	46
Tabela 6 - Peso específico de resíduos sólidos urbanos (RSU)	51
Tabela 7 - Projeção populacional para Centenário do Sul.....	58
Tabela 8 - Somatório dos dimensionamentos da hipótese “real”	60
Tabela 9 - Somatório dos dimensionamentos da hipótese “ideal”	61
Tabela 10 - Percentual de contribuição de cada município com o aterro sanitário	62
Tabela 11 - Demonstração do cálculo das dimensões das trincheiras	64
Tabela 12 - Comparação entre a dimensão das trincheiras	64
Tabela 13 - Tempo (dias) de preenchimento de cada trincheira para hipótese “ideal”	65
Tabela 14 - Contribuição de cada ano para cada trincheira (%).....	66
Tabela 15 - Matriz de comparação pareada das variáveis	75
Tabela 16 - Pesos finais de cada critério analisado	75
Tabela 17 - Distância das áreas potenciais dos centros populacionais	79

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
AHP	<i>Analytic Hierachy Process</i>
ANA	Agência Nacional das Águas
CAR	Cadastro Ambiental Rural
CBH	Comitê das Bacias Hidrográficas do Rio Paranapanema
CEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
CIGRES	Consórcio Intermunicipal de Gestão de Resíduos Sólidos
CIRSOP	Consórcio Intermunicipal de Resíduos Sólidos do Oeste Paulista
CNM	Confederação Nacional de Municípios
CR	<i>Consistency Ratio</i>
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GP	Geração per capita
IAT	Instituto Água e Terra
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NBR	Normas Brasileiras
PLANARES	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SINIR	Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos
SINIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
UTM	Universal Transversa de Mercator

LISTA DE SÍMBOLOS

a	Ponto de controle
b	Ponto de controle
c	Ponto de controle
d	Ponto de controle
T	Tempo (ano)
P0	População no tempo zero
Pt	População no tempo t
Kg	Coeficiente
Ka	Coeficiente
V	Volume
h	Profundidade da trincheira
AB	Área da base maior
Ab	Área da base menor

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo geral	15
2.2	Objetivos específicos	15
3	REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1	Geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil	16
3.1.1	Coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos no Brasil	20
3.1.2	Disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil	22
3.1.3	Consórcios intermunicipais para gestão de resíduos sólidos urbanos ...	26
3.2	Aterro sanitário	27
3.2.1	Seleção de áreas para aterros sanitários	30
3.3	Geoprocessamento	33
3.3.1	Média Ponderada	34
3.3.2	Inferência Booleana.....	34
3.3.3	Inferência <i>fuzzy</i>	35
3.3.4	Processo Analítico Hierárquico.....	37
4	MATERIAL E MÉTODOS	40
4.1	Apresentação da área de estudo	40
4.1.1	Aspectos físicos da região.....	40
4.1.2	Aspectos relacionados aos resíduos sólidos	43
4.2	Dimensionamento do aterro sanitário	44
4.2.1	Obtenção de dados	44
4.2.2	Projeção populacional, método construtivo e procedimento de cálculo .	45
4.2.3	Procedimento de cálculo e método construtivo	46
4.3	Seleção de área potenciais	53
4.3.1	Obtenção de dados, critérios utilizados e pré-processamento	53
4.3.2	Inferência <i>fuzzy</i> e AHP	55
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
5.1	Projeção populacional	58
5.2	Dimensionamento do aterro sanitário	59
6.1	Seleção de áreas potenciais	66
6.1.1	Pré-processamento	66
6.1.2	Mapas <i>fuzzy</i>	70

6.1.3	Analytic Hierarchy Process.....	74
6.1.4	Definição das áreas potenciais.....	78
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	82
	REFERÊNCIAS.....	84
	APÊNDICE A – Planilhas de dimensionamento do aterro	91

1 INTRODUÇÃO

O gerenciamento inadequado de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) pode causar a contaminação de recursos hídricos, enchentes, proliferação de vetores, como o mosquito da dengue, propagação de patógenos, poluição atmosférica e visual, além de grandes impactos sociais (LAGO; ELIS; GIACHETI, 2006).

Devido a essa problemática, no dia 2 de agosto de 2010, foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS, que dispõe sobre os “princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos” (BRASIL, 2010, p.1). Entre todas as diretrizes estabelecidas pela PNRS, foi determinado o prazo para o fim da disposição final inadequada de resíduos sólidos (lixões e aterros controlados) para 2014. Entretanto, muitos municípios não conseguiram atender a essa exigência.

Nesse contexto, em 2020, a Lei nº 14.026 (BRASIL, 2020) atualizou o marco legal do saneamento básico, determinando novos prazos para o fim dos lixões e aterros controlados, para 31 de dezembro de 2020 a 2 de agosto de 2024, dependendo do porte do município. O marco legal foi lembrado e enfatizado no Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES) (BRASIL, 2022a).

Em 2020, 2.868 municípios ainda utilizavam locais de disposição inadequada de resíduos sólidos, de acordo com a ABRELPE (2021), fazendo com que 30.277.390 toneladas de RSU fossem dispostas em lixões e aterros controlados, representando 39,8% do total de resíduos destinados no país. Dentre estes municípios estão Centenário do Sul, Florestópolis e Porecatu, na Região Metropolitana de Londrina (SNIS, 2021).

Luiz (2018) ressalta que uma das causas deste número de lixões no Brasil deve-se aos custos para implantação e operação, quando o município é de pequeno porte. Como solução para esta situação, Lisbinski et al. (2020) demonstraram que quando se amplia a escala dos empreendimentos de aterros sanitários, diminuiu-se em 30% os custos para a disposição final adequada.

Diante do exposto, a PNRS, no art. 8º (BRASIL, 2010, p. 5), apresenta os Consórcios Intermunicipais como instrumentos “com vistas à elevação das escalas de aproveitamento e à redução dos custos envolvidos” para o gerenciamento adequado dos resíduos em municípios pequenos. Suzuki e Gomes (2009) explicam que os Consórcios Intermunicipais promovem a redução dos custos operacionais e

administrativos da disposição final, além de diminuir as chances de contaminação ambiental, visto que um único aterro sanitário é utilizado para atender mais de um município (SUZUKI; GOMES, 2009).

Diante das condições apresentadas, torna-se evidente a necessidade da regularização dos municípios brasileiros a respeito da disposição final de resíduos sólidos, para a melhoria e preservação da saúde pública, do meio ambiente e da sociedade. Um dos desafios, neste sentido, é a determinação de áreas aptas para a implantação de aterros sanitários, de modo a atender a legislação ambiental vigente e viabilizar tais empreendimentos, considerando o contexto dos municípios consorciados. No Brasil, tem-se a norma NBR 13.896 (ABNT, 1997), que apresenta “condições mínimas exigíveis” para aterros sanitários e no Paraná a Resolução CEMA nº 94 (PARANÁ, 2014), que estabelece diretrizes e critérios para projeto, implantação e operação de aterros. Uma vez considerados os critérios e as exigências para a escolha de áreas potenciais, pode-se utilizar técnicas de geoprocessamento para combiná-los e, dessa forma, gerar informações objetivas para subsidiar a tomada de decisão em relação aos locais adequados para implantação de aterro.

Em vista disso, este estudo tem como objetivo identificar áreas potenciais para implantação de um aterro sanitário consorciado para os municípios de Centenário do Sul, Florestópolis e Porecatu, atendendo às exigências da legislação ambiental vigente.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Identificar áreas potenciais para a implantação de um aterro sanitário consorciado aos municípios de Centenário do Sul, Florestópolis e Porecatu, região Norte do estado do Paraná.

2.2 Objetivos específicos

- Dimensionar a área mínima necessária para a disposição ambientalmente adequada dos RSU gerados nos municípios de Centenário do Sul, Florestópolis e Porecatu;
- Desenvolver um estudo comparativo entre dois cenários de geração de RSU (um com coleta seletiva e aterramento apenas de rejeitos e outro sem coleta seletiva), a fim de demonstrar a importância do correto gerenciamento dos resíduos para a maior vida útil dos aterros sanitários e para a seleção de áreas potenciais.
- Desenvolver mapas da região de estudo, a partir da inferência *fuzzy*, considerando os critérios ambientais: distância de corpos hídricos, distância de núcleos populacionais, distância de rodovias, declividade e profundidade do lençol freático;
- Atribuir graus de importância (pesos) para cada critério ambiental utilizado, por meio do Processo Analítico Hierárquico;
- Apontar áreas potenciais para implantação de um aterro sanitário na região de estudo, que atenda às exigências da legislação ambiental vigente.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (BRASIL, 2010), os resíduos sólidos podem ser definidos como:

Material, substância, objeto ou 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, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010, p. 2).

Além da PNRS, a norma NBR 10.004 (ABNT, 2004) também apresenta a definição dos resíduos sólidos, sendo ela:

Resíduos nos estados sólido e semissólidos, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004, p.1).

Os resíduos sólidos podem ser classificados segundo a sua periculosidade ou sua origem. De acordo com a periculosidade, ou seja, o risco que conferem à saúde e ao meio ambiente, a NBR 10.004 (ABNT, 2004) os classifica como I – Perigosos (aqueles que possuem características de Inflamabilidade, Corrosividade, Reatividade, Toxicidade ou Patogenicidade) e II – Não perigosos que, por sua vez, se subdividem em II A – Não inertes (aqueles resíduos que não se enquadram como Classe I e nem como Classe II B, e que ainda apresentam características como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água) e II B – Inertes (resíduos que não apresentam constituintes solubilizados, seguindo as diretrizes da ABNT NBR 10.006, que ultrapassem os limites estabelecidos pelo padrão de potabilidade da água).

Com relação à origem, os resíduos sólidos podem ser classificados em: resíduos domiciliares, resíduos sólidos urbanos, resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, resíduos dos serviços públicos de saneamento básico, resíduos industriais, resíduos de serviços de saúde, resíduos da construção civil, resíduos agrossilvopastoris, resíduos de serviços de transportes e resíduos de mineração (BRASIL, 2010).

Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) são definidos como o somatório dos resíduos domiciliares e de limpeza urbana (BRASIL, 2010). São gerados pela população e, se mal gerenciados, tornam-se risco ao meio ambiente, além de causar impactos sociais, econômicos e administrativos (SIQUEIRA; MORAES, 2009). Em relação aos impactos econômicos e administrativos, de acordo com o Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE, 2018), os serviços de limpeza urbana utilizam, em média, de 5 a 15% dos orçamentos públicos municipais, sendo que 40 a 60% desse valor é utilizado na coleta e transporte dos resíduos.

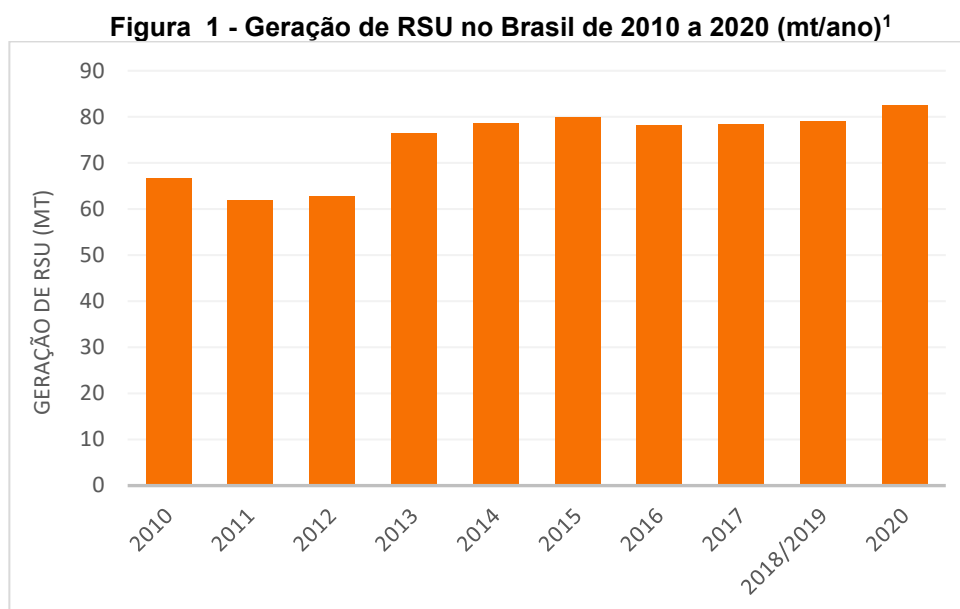
Na questão da saúde pública, os RSU representam função estratégica na estrutura epidemiológica da sociedade. Nesse sentido, destacam-se como principais fatores, as doenças transmitidas pelos vetores, que encontram, nos resíduos, habitat adequado para sua proliferação (SIQUEIRA; MORAES, 2009). A exemplo disso, tem-se a dengue, doença disseminada pelo mosquito *Aedes aegypti*, que devido à destinação inadequada dos resíduos, encontra nas latas, embalagens plásticas e garrafas, local adequado para proliferação de criadouros do mosquito (TAUIL, 2001).

Nesse contexto, o Ministério da Saúde (BRASIL, 2009) destaca a incorreta destinação dos resíduos sólidos como fator para dispersão tanto da dengue quanto do vetor transmissor e apresenta a coleta dos resíduos sólidos, destinação adequada e boas práticas na gestão dos resíduos como ações imediatas e preventivas no controle da proliferação do mosquito da dengue.

Em 2020, no Brasil, houve a geração de aproximadamente 82,5 milhões de toneladas, ou seja, 225.965 toneladas diárias de RSU (ABRELPE, 2021). Em relação ao ano de 2019, houve o aumento de 3,5 milhões de toneladas (4,43%). Além disso, a geração per capita de resíduos passou de 1,04 para 1,07 kg hab.dia⁻¹ (ABRELPE, 2020). Esse resultado pode estar associado à ocorrência da pandemia da Covid-19 (ABRELPE, 2021), que estabeleceu novas dinâmicas sociais no ano de 2020, em que as residências passaram a ser o principal local de geração e descarte de resíduos (ABRELPE, 2021).

Zambrano, Ruano e Sanchez (2020) afirmaram que na Europa, Estados Unidos e China, devido à pandemia, foi observado o aumento da demanda por compras *online* (serviços de *Delivery*), o que aumentou tanto a geração de resíduos recicláveis e orgânicos, quanto o consumo de materiais de uso único.

O aumento da geração de RSU no Brasil vem sendo acompanhado há alguns anos. Em 2020, a ABRELPE (2020) apresentou um comparativo da geração de RSU de 2010 e 2020. Observa-se, na Figura 1, um aumento de 18,55%, ao final de 2020.



Nota₁: Em 2019, a ABRELPE indicou o ano base do relatório e o ano de publicação.
Fonte: Adaptado de ABRELPE (2010 - 2020).

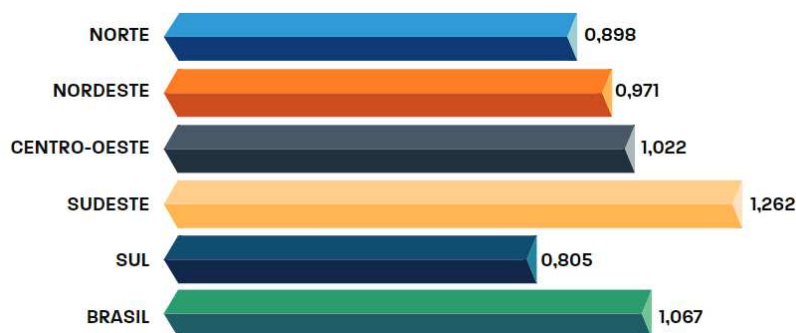
A geração de RSU está diretamente associada ao local e às atividades humanas, considerando que o descarte de um resíduo condiz com o processo de aquisição e consumo de bens e produtos (ABRELPE, 2021). Monteiro (2001) apresenta, no Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos, uma série de fatores, que influenciam as características dos resíduos (Quadro 1).

Quadro 1 - Fatores que influenciam na geração de resíduos

Fatores	Influência
Climáticos	Afetam diretamente a umidade dos resíduos e a composição gravimétrica de acordo com a época do ano.
Eventos especiais/Datas comemorativas	Variação na geração de embalagens e mudança nos locais de maior geração de resíduos.
Demográficos	Geração per capita - quanto maior a população, maior a geração.
Socioeconômicos	O poder aquisitivo, nível cultural e educacional afetam na geração de materiais recicláveis, consumo de supérfluos e incidência de matéria orgânica.

Fonte: Adaptado de Monteiro (2001, p. 3).

A geração de resíduos também varia de acordo com a região do país. No Brasil, a região com maior geração de resíduos é a Sudeste, com cerca de 113 mil toneladas diárias de resíduos, o que corresponde a cerca de 50% da geração total do país (Figura 2). Nessa região, a geração per capita também é a mais expressiva, sendo de aproximadamente 1,262 kg hab.dia⁻¹ em 2020 (ABRELPE, 2021).

Figura 2 - Geração de RSU no Brasil e Regiões (kg/hab/dia)

Fonte: ABRELPE (2021, p.20).

Na Figura 2, nota-se que as regiões Norte e Sul apresentaram menor geração per capita, enquanto a Sudeste a maior. Na Tabela 1, pode-se observar a relação de alguns fatores socioeconômicos e demográficos de todas as regiões, segundo o IBGE (2019).

Tabela 1 - Comparação de fatores demográficos e socioeconômicos por região do Brasil

Fatores	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
Estimativa da população (2018)	18,9 milhões	57,6 milhões	16,7 milhões	89,6 milhões	30,5 milhões
PIB (2019) (1.000.000 R\$)	420.424	1.047.766	457.737	3.917.485	1.272.105
Desemprego (2021)	11,2%	14,7%	8,4%	11,2%	6,7%
Analfabetismo (15 anos ou mais) (2019)	7,6%	13,9%	4,9%	3,3%	3,3%
Geração per capita (kg/hab/dia) (2020)	0,898	0,971	1,022	1,262	0,805

Fonte: Adaptado de IBGE (2019).

Essas informações ressaltam a relação existente entre a geração de resíduos, fatores demográficos e socioeconômicos apresentadas por Monteiro (2001), onde é possível observar que a região com maior população e maior PIB (Sudeste) apresentou maior geração per capita de resíduos. Por outro lado, quando comparados os dados da região Norte, que apresenta menor população e maior geração per capita em relação à região Sul, percebe-se que outros fatores podem influenciar na geração de resíduos, como escolaridade, desemprego, aspectos culturais, desenvolvimento econômico, hábitos de vida e de consumo, entre outros.

3.1.1 Coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos no Brasil

De acordo com a PNRS, a Coleta Seletiva pode ser definida como: “coleta de resíduos sólidos previamente segregados conforme sua constituição ou composição” (BRASIL, 2010, p.2). No art. 35º estabelece-se, portanto, como uma obrigação dos cidadãos, acondicionar os resíduos de maneira adequada e segregada, além de disponibilizar os materiais recicláveis para coleta ou devolução (BRASIL, 2010).

A partir do dia 12 de janeiro de 2022, novas diretrizes, relacionadas à coleta dos resíduos, foram estabelecidas pelo Decreto Federal nº 10.936 (BRASIL, 2022b). A principal mudança foi a exigência da separação dos resíduos em: “secos e orgânicos, de forma segregada dos rejeitos” (BRASIL, 2022b, p. 2). Além disso, ficou estabelecido que o sistema de coleta seletiva deverá ser implantado pelo titular do

serviço público responsável, e que a coleta será estendida progressivamente à separação específica dos resíduos recicláveis.

No Brasil, em 2020, 74,4% dos municípios brasileiros desenvolveram iniciativas de coleta seletiva, aproximadamente 4.415 municípios. Entretanto, boa parte dessas cidades não atendem a 100% da população. Assim, os resíduos gerados não são recolhidos pelos serviços locais e acabam sendo dispostos irregularmente (ABRELPE, 2021). As regiões Sul e Sudeste apresentam os melhores índices de coleta seletiva, sendo 91,2% e 90,6% respectivamente (ABRELPE, 2021).

O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) (2021) apresenta dados de coleta seletiva não tão promissores, quando comparado com os dados da ABRELPE (2021). De acordo como o SNIS (2021), nas regiões Sul e Sudeste, 77,9% e 45,8% da população é atendida pela coleta seletiva porta a porta, respectivamente. A causa dessa diferença pode ser devido aos dados apresentados pelo SNIS, de percentual da população atendida, contemplarem apenas a coleta porta a porta e não as demais formas de coleta. Além disso, a forma de coleta de dados das duas referências pode justificar tal diferença (enquanto o SNIS refere-se aos dados fornecidos pelos municípios, a ABRELPE apresenta os dados fornecidos pelas empresas que atuam nos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos). O que se observa, de fato, independente da referência, é a importância do incentivo à coleta seletiva para a correta destinação final dos resíduos.

No dia 13 de abril de 2022, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES) foi aprovado pelo Decreto nº 11.043 (BRASIL, 2022c). O PLANARES (BRASIL, 2022a, p. 40) apresentou o diagnóstico de resíduos sólidos no Brasil, cenários, metas, diretrizes, entre outras informações. Dessa forma, a coleta seletiva foi fator primordial para as metas 5, 6 e 7, sendo utilizada como indicador:

- Meta 5: Promover a inclusão social e emancipação econômica de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis;
- Meta 6: Aumentar a recuperação da fração seca dos RSU;
- Meta 7: Aumentar a reciclagem da fração orgânica dos RSU.

Ainda no PLANARES (BRASIL, 2022a, p. 165), estabeleceu-se sete estratégias para “expandir e consolidar a coleta seletiva de resíduos secos e orgânicos”. São elas:

- Instituir comunicação social continuada, como ferramenta para estimular a segregação adequada de resíduos na fonte geradora;
- Estimular o estabelecimento de programas e ações por estados e municípios para descarte de resíduos com segregação prévia;
- Apoiar a estruturação gradativa de coleta seletiva em sistemas containerizados com três frações, considerando resíduos orgânicos, resíduos secos e rejeitos;
- Promover capacitação para estados, consórcios e municípios sobre estratégias para implementação de coleta seletiva, com mecanismos legais, econômicos, técnicos e de comunicação;
- Incentivar a instituição de sistemas de separação na fonte dos resíduos gerados como condição no processo de licenciamento ambiental municipal e estadual.
- Apoiar a estruturação de sistema de coleta seletiva em consórcios e municípios localizados em regiões integradas de desenvolvimento, instituídas por lei complementar, bem como em áreas de especial interesse turístico.
- Capacitar e auxiliar municípios na identificação de modelo de coleta seletiva pertinente às suas características, evitando modelos e técnicas economicamente ineficientes para a realidade local.

3.1.2 Disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil

De acordo com o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (ABRELPE, 2021, p. 21), a disposição final de resíduos pode ser definida como uma “alternativa de destinação final ambientalmente adequada, quando a correta operação evita danos à saúde pública e ao meio ambiente”.

Já a destinação final ambientalmente adequada de resíduos sólidos é definida pela PNRS como:

Destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama¹, do SNVS² e do Suasa³, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos (BRASIL, 2010, p. 2).

¹ Sistema Nacional do Meio Ambiente

² Sistema Nacional de Vigilância Sanitária

³ Sistema Unificado De Atenção À Sanidade Agropecuária

Também na PNRS (BRASIL, 2010), foi estabelecido o prazo para implantação da disposição final ambientalmente adequada de rejeitos para quatro anos a partir da publicação da lei, ou seja, 2014. Entretanto, esse prazo foi alterado pela Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020, que atualizou o marco legal do saneamento básico (BRASIL, 2020), o qual determina o prazo para o fim dos lixões. Essa questão foi reforçada no PLANARES (BRASIL, 2022a) durante o diagnóstico dos resíduos sólidos no Brasil e também no Programa Nacional Lixão Zero, que objetiva erradicar os lixões no país.

De acordo com a Lei nº 14.026 (BRASIL, 2020) a data limite para o fim dos lixões era 31 de dezembro de 2020, exceto para as cidades que apresentaram plano intermunicipal de resíduos ou plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos. Para esses municípios, os prazos variam de acordo com alguns critérios (Quadro 2).

Quadro 2 - Prazos para a implementação da destinação final ambientalmente adequada

Cidades	Prazos
Capitais de Estados e Municípios integrantes de Região Metropolitana (RM) ou de Região Integrada de Desenvolvimento (Ride) de capitais	Até 2 de agosto de 2021
Municípios com população superior a 100.000 (cem mil) habitantes no Censo 2010, bem como para Municípios cuja mancha urbana da sede municipal esteja situada a menos de 20 (vinte) quilômetros da fronteira com países limítrofes	Até 2 de agosto de 2022
Municípios com população entre 50.000 (cinquenta mil) e 100.000 (cem mil) habitantes no Censo 2010	Até 2 de agosto de 2023
Municípios com população inferior a 50.000 (cinquenta mil) habitantes no Censo 2010	até 2 de agosto de 2024

Fonte: Adaptado de Brasil (2020, p. 28).

Para melhor entendimento sobre a destinação final em aterros, ressalta-se a importância da diferenciação de aterro sanitário e aterro controlado. O aterro controlado consiste em uma evolução do lixão, que passa a tratar os resíduos de maneira mais adequada, mas ainda não eficiente, visto que, muitas vezes, não dispõe de solo impermeabilizado, nem tratamento de gás ou chorume (NASCIMENTO, 2012).

O aterro sanitário, por mais que seja uma das técnicas mais seguras para a disposição final de resíduos, pode adquirir características indesejáveis, devido à “falta de critérios técnicos durante a implantação e operação”, chegando a condições parecidas com um aterro controlado (disposição inadequada) e trazendo riscos ao

meio ambiente e à saúde dos habitantes (LANZA; CARVALHO, 2006, p.7). Este fato destaca a importância da operação para a manutenção da qualidade de um aterro sanitário.

Em um estudo realizado em Niterói - Rio de Janeiro, Sisino e Moreira (1996) constataram que, na área do aterro controlado do Morro do Céu, havia contaminação microbiológica e grande contaminação orgânica, o que ressalta a possibilidade de poluição causada por um aterro controlado.

Em 2020, a maior parte dos resíduos coletados no Brasil foi disposta em aterros sanitários - destinação adequada, representando 60,2% do total gerado no país (Figura 3), o que corresponde a 46 milhões de toneladas de RSU. A porcentagem restante está distribuída em aterros controlados e lixões - destinação inadequada (ABRELPE, 2021). De acordo com a ABRELPE (2021), em 2020, ainda existiam 2.868 municípios com destinação inadequada de resíduos.



Fonte: ABRELPE (2010, p.46; 2021, p.22).

Além do percentual das formas de disposição final no Brasil, é importante observar a dinâmica dessa temática desde 2010 (Figura 3), quando houve a publicação da PNRS. Pode-se observar que, em 2010, 42,4% dos resíduos sólidos foram dispostos de forma inadequada e 57,6% de forma adequada. Dez anos depois, houve pequena mudança, passando para 39,8% e 60,2%, respectivamente.

Quando um resíduo é destinado incorretamente, pode ocorrer a contaminação do solo e da água por meio da lixiviação, percolação, carreamento de solo/resíduos, entre outras causas. Além disso, gases e material particulado, provenientes de lixões e aterros controlados, contribuem com a poluição atmosférica (SIQUEIRA; MORAES, 2009). No Brasil, 4% do total de emissões de gases de efeito estufa (GEE) corresponde à geração de resíduos. Entretanto, estima-se que 5 a 10% do total de

gases pode ser mitigado a partir da destinação adequada de resíduos (ABRELPE, 2021).

Ressalta-se que devido aos locais de destinação de resíduos (lixões e aterros) serem afastados dos centros populacionais, quando ocorre a incorreta destinação, não há grande pressão por parte da população, ao contrário do sistema de coleta e limpeza urbana. Portanto, muitas vezes, a disposição final é “relegada para segundo plano” (MONTEIRO, 2001, n.p). No entanto, segundo a ABRELPE (2021), os lixões a céu aberto ainda afetam a saúde de 77,5 milhões de pessoas no Brasil. Tal situação representa um custo de bilhões de dólares para o setor da saúde e também para a mitigação da contaminação ambiental (ABRELPE, 2021).

Além das questões ambientais, as formas inadequadas de disposição final de resíduos, principalmente os lixões, representam grandes adversidades sociais. Nesses locais, encontram-se muitos catadores, que se arriscam em busca de materiais recicláveis e acabam, muitas vezes, permanecendo nesses locais e formando comunidades (MONTEIRO, 2001).

Cavalcante e Franco (2007) constataram, em um estudo realizado em Fortaleza, sobre a percepção de risco à saúde entre os catadores do Lixão do Jangurussu, que o ambiente proporcionado pelos lixões expõe os catadores a condições críticas de insalubridade, visto que foi observado, *in loco*, cortes, atropelamentos, danos causados por inalação, alimentos contaminados, riscos causados pela localização das moradias (próximas a montanhas de resíduos de 6 metros de altura), entre outros problemas. Ressalta-se que, nesse estudo, Cavalcante e Franco (2007) concluíram que parte dos catadores têm consciência dos perigos, mas outra parte não tem conhecimento dos riscos à saúde que eles estão submetidos por conta da catação em lixões.

Em outro estudo, desta vez realizado em Brasília, no “Lixão da Estrutural”, Hoefel et al. (2013) realizaram um censo com as famílias que viviam da catação no lixão, totalizando uma amostra de 200 catadores. Parte dos resultados obtidos, por meio do censo, podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultado parcial do censo com famílias de catadores

Condições de trabalho e características	Número de catadores	Número de catadores (%)
Considera o trabalho muito perigoso	118	59,0%
Relatava cansaço, estresse, tristeza sobre o seu trabalho	197	98,5%
Referia ter comido alimentos catados do lixo	199	99,5%
Apresentava alguma doença no momento	199	99,5%
Apresentava diarreia nos últimos três meses	194	97,0%
Já teve acidente de trabalho	200	100,0%
Não usava Equipamento de Proteção Individual (EPI)	193	96,5%

Fonte: Adaptado de (HOEFEL et al., 2013, p.780)

Como observado, praticamente todos os catadores consultados já consumiram alimentos encontrados junto aos resíduos e, no momento do censo, apresentavam algum tipo de doença. Além disso, nota-se que todos já sofreram algum acidente de trabalho, mesmo assim, parte dos catadores não considera o trabalho perigoso. Esses fatores apenas reforçam os impactos sociais causados pelos lixões e a necessidade da sua erradicação, aliada à reinserção social dos catadores.

3.1.3 Consórcios intermunicipais para gestão de resíduos sólidos urbanos

Uma alternativa para facilitar a gestão dos resíduos e, por sua vez, a disposição final adequada, são as soluções compartilhadas. A exemplo disso, tem-se os Consórcios Intermunicipais, visto que o seu incentivo é considerado um instrumento da PNRS, de acordo com o art. 8º (BRASIL, 2010).

Suzuki e Gomes (2009) destacam que os aterros sanitários regionais podem reduzir os custos operacionais, administrativos e a área de possíveis contaminações ambientais, além de utilizar um único espaço para a disposição final de vários municípios.

Em outro estudo, realizado em Santa Maria - RS, Knopf et al. (2022) analisaram os aspectos positivos e negativos do Consórcio Intermunicipal de Gestão de Resíduos Sólidos (CIGRES), em que participam 31 municípios. Nesse estudo, constatou-se que o consórcio é viável para municípios pequenos, visto que a maioria carece de recursos financeiros para realizar a gestão de resíduos sólidos sozinhos. Knopf et al. (2022) identificaram como pontos positivos para o CIGRES a destinação

ambientalmente adequada, a Educação Ambiental, os investimentos em maquinário e a estrutura, entre outros. Em contrapartida, os pontos negativos são a falta de segregação prévia dos resíduos, a forma de cobrança pela destinação de resíduos, a coleta e o transporte.

Souza e Guedes (2019, p. 11), também concluíram que os consórcios para a gestão de resíduos funcionam como uma alternativa para o desenvolvimento dos municípios, visto que “resolvem um problema financeiro” e reduzem os impactos ambientais. Quando relacionado à destinação final de resíduos, os consórcios promovem a inclusão regional dos municípios no setor ambiental e no âmbito social.

Em geral, a maior parte dos consórcios brasileiros para resíduos sólidos atendem municípios de pequeno porte, de até 20.000 habitantes (SILVEIRA; PHILIPPI, 2008). Ressalta-se, que as soluções consorciadas são apoiadas e incentivadas pelo Estado que, em seu Plano Nacional de Resíduos Sólidos, desenvolve ações de incentivo e viabilização (BRASIL, 2022a).

No Brasil, existem 148 consórcios, atendendo um total de 54,5 milhões de pessoas (SNIS +, 2022). Entre os serviços prestados, a disposição final em aterros sanitários apresenta o maior percentual (86%), seguida pela coleta convencional de resíduos domiciliares (63%) e coleta seletiva (51%) (SINIR +, 2022). A região com o maior número de municípios com gestão compartilhada é o Nordeste, e a região com menor número é o Norte.

3.2 Aterro sanitário

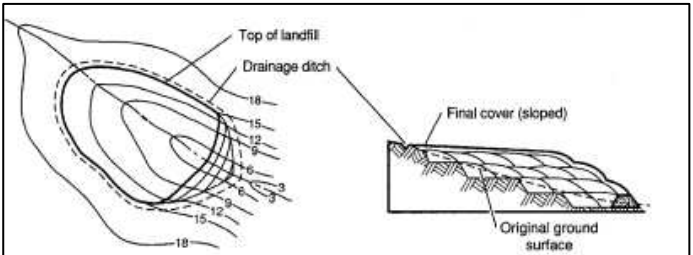
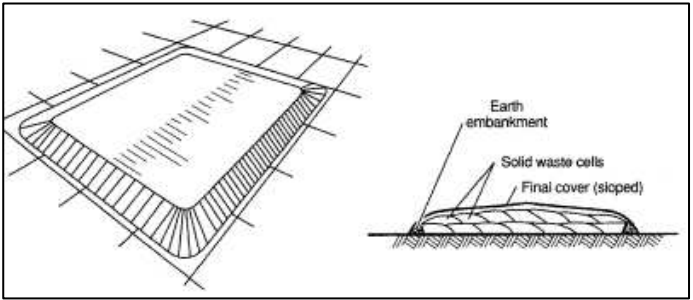
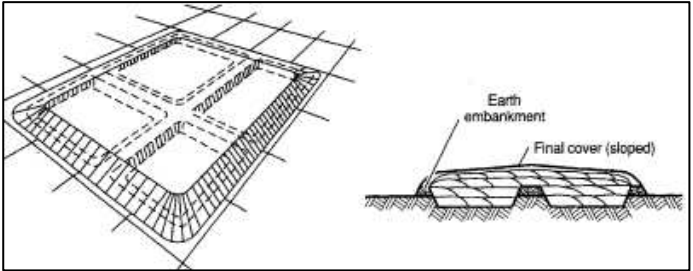
Pode-se entender um aterro sanitário de RSU como “um projeto de engenharia, que busca dispor os resíduos sólidos em menor área possível, além de comprimi-los ao máximo, cobrindo-os, sempre, com uma camada de solo após a jornada de trabalho”. Essa técnica minimiza os impactos ambientais sem causar danos à saúde pública (ABNT, 1992, p. 1).

De acordo com o Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (MONTEIRO, 2001), os aterros sanitários podem ser definidos como

Método para disposição final dos resíduos sólidos urbanos, sobre terreno natural, através do seu confinamento em camadas cobertas com material inerte, geralmente solo, segundo normas operacionais específicas, de modo a evitar danos ao meio ambiente, em particular saúde e à segurança pública (MONTEIRO, 2001, p. 150).

Sob o ponto de vista construtivo, os aterros sanitários podem ser classificados em três métodos: Método rampa, Método trincheira e Método área (OBLADEN; DE BARROS, 2009). No Quadro 3, pode-se observar os métodos existentes e seus respectivos procedimentos.

Quadro 3 - Métodos construtivos de aterros sanitários

Métodos	Procedimentos	Ilustrações
Rampa	Aproveita-se da alta declividade do terreno, onde os resíduos são depositados e compactados seguindo o relevo. Dessa forma, em toda jornada de trabalho, os resíduos são dispostos até que se atinja o topo do declive, preenchendo uma célula. Ao longo do projeto existirão diversos patamares, que serão ocupados pelas células preenchidas pelas rampas, o que estabilizará a estrutura do aterro.	
Área	Aproveita-se da superfície plana para dispor e compactar os resíduos, os quais formarão uma espécie de pirâmide.	
Trincheira	Os resíduos são dispostos e compactados nas trincheiras, que possuem de 2 a 5 metros de profundidade. O solo retirado na construção das trincheiras é utilizado para cobrir os resíduos no fim da jornada de trabalho. Ressalta-se que a profundidade depende da proximidade do lençol freático.	

Fonte: Adaptado de Obladen e De Barros (2009) e Tchobanoglous e Kreith (2002)

No desenvolvimento do projeto do aterro sanitário, existem aspectos importantes que precisam ser considerados para a correta escolha da área de implantação e do método, mas também para a operação do aterro, a fim de mitigar os

impactos ambientais (JUNIOR; BORGES, 2003). Entre esses importantes aspectos, destacam-se as informações sobre a população local, geração de resíduos, percentual da população atendido pela coleta, resíduos de varrição, possibilidades de tratamento na região e atual destinação final utilizada pelo município (JUNIOR et al., 2003).

Tais aspectos são inerentes para o cálculo da vida útil do aterro, a qual determinará a quantidade de resíduos que o aterro poderá atender em um período de tempo. O cálculo da vida útil considera o volume anual de resíduos, habitantes, geração per capita, população atendida, volume acumulado e quantidade de solo utilizado na cobertura (OBLADEN; DE BARROS, 2009).

Portella e Ribeiro (2014) ainda ressaltam que nos aterros sanitários deve haver a impermeabilização do solo com geomembrana, devido à geração de chorume, a fim de evitar sua lixiviação. Nesse sentido, pode ocorrer a recirculação do chorume, que diminuiria o percentual absorvido pelo solo. Outra solução é a presença de uma estação de tratamento de efluentes no local.

No estado do Paraná, de acordo com a Resolução CEMA n° 094 (PARANÁ, 2014), o chorume gerado pelo aterro sanitário pode ser tratado por:

- a) recirculação no próprio aterro;
- b) tratamento no local seguido de lançamento em corpo hídrico;
- c) tratamento por empresas terceirizadas;
- d) combinação dos métodos acima;
- e) demais tecnologias de tratamento validadas (PARANÁ, 2014, p. 5).

Ainda sobre a estrutura do aterro sanitário, a NBR 13.896 (ABNT, 1997) estabelece várias condições para a operação, que precisam ser consideradas (Quadro 4).

Quadro 4 - Condições para operação do aterro sanitário

Condições	Explicação
Isolamento e sinalização	O aterro deve ser cercado completamente, com controle de acesso de pessoas estranhas e animais. Além de conter cerca viva e placas de sinalização a sua volta.
Acessos	Os acessos internos e externos devem garantir o funcionamento do aterro independentemente das condições climáticas.
Iluminação e força	A iluminação e força devem permitir atividades de emergência e utilização de máquinas durante a noite.
Comunicação	O aterro deve possuir sistema de comunicação interno e externo.
Análise de resíduos	Os resíduos devem ser analisados antes da operação, para garantir a correta disposição.
Treinamento	Os colaboradores do local devem ser devidamente treinados, a fim de manter o correto funcionamento do aterro.

Fonte: Adaptado de ABNT (1997).

Como observado no Quadro 4, deve-se garantir a segurança, a proteção e a eficiência do aterro, por meio do cumprimento dessas condições, a fim de promover adequada instalação e operação (ABNT, 1997). Obladen e De Barros (2009) afirmam que a qualidade do aterro é formada a partir da união dos aspectos naturais do local, infraestrutura instalada e os procedimentos de operação.

3.2.1 Seleção de áreas para aterros sanitários

Para a escolha da área para o aterro sanitário, o Instituto Água e Terra do Paraná (IAT) estabelece critérios e diretrizes, por meio da Resolução CEMA nº 094 (PARANÁ, 2014), buscando mitigar a poluição, contaminação e demais impactos ambientais causados pelos aterros sanitários. De acordo com esta Resolução, o aterro deverá:

- a) localizar-se fora da área de influência direta do manancial de abastecimento público;
- b) manter sua área de disposição final a uma distância mínima de 200 (duzentos) metros de rios, nascentes e demais corpos hídricos, respeitando distâncias maiores estabelecidas em normas específicas referente às áreas de preservação permanente;
- c) localiza-se a uma distância mínima de 1.500 (mil e quinhentos) metros de núcleos populacionais, a partir do perímetro da área;
- d) localizar-se a uma distância mínima de 300 (trezentos) metros de residências isoladas, a partir do perímetro da área;
- e) localiza-se a uma distância mínima de aeródromos, conforme determinado pelo órgão federal de controle;
- f) possuir sistema de impermeabilização, lateral e de fundo, com geomembrana ou sistemas de impermeabilização similares, sendo vedada disposição direta no solo;
- g) possuir sistema de monitoramento de águas subterrâneas a montante e a jusante da área do empreendimento, conforme normas técnicas vigentes;
- h) realizar cobertura diária dos resíduos, com camadas de solo ou outro material apropriado, reutilizável ou não;
- i) ser projetado para uma vida útil superior a 15 anos (PARANÁ, 2014, p. 5)

Por se tratar de um grande e complexo projeto de engenharia, alguns critérios para a escolha da área do aterro não estão presentes na Resolução CEMA nº 094. Tais critérios complementares encontram-se na Norma Técnica 13.896 (ABNT, 1997) e podem ser observados no Quadro 5.

Quadro 5 - Critérios e definições para a escolha de área para aterros sanitários

Critérios	Definições
Declividade	Locais com declividade superior a 1% e inferior a 30%
Geologia e tipos de solo	Solo com coeficiente de permeabilidade inferior a 10^{-6} cm/s e uma zona não saturada com espessura superior a 3,0 m
Recursos hídricos	Distância mínima de 200 m de qualquer curso d'água
Vegetação	Presença de vegetação para a contenção do transporte de odores, poeira e erosão.
Acesso	Acesso protegidos e projetados para permitir sua utilização sob quaisquer condições climáticas
Custos	O aterro sanitário deve ser economicamente viável. Portanto, municípios pequenos podem utilizar de consórcios intermunicipais

Fonte: Adaptado de ABNT (1997, p. 3).

Para a seleção de áreas potenciais para implementação de aterros sanitários, existem diversas metodologias, mas, em geral, a maioria é baseada em processos utilizando Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Lourenço et al. (2015) realizaram um trabalho de seleção de áreas aptas para aterros sanitários, na região metropolitana de Sorocaba-SP. Neste estudo, os autores dimensionaram o volume final do aterro com vida útil de 20 anos, a partir da projeção do crescimento populacional, cálculo da massa bruta de RSU por ano e cálculo do volume de resíduos, considerando 30 metros de altura para acomodação das células. Em relação à área, os critérios considerados foram: Corpos Hídricos, Mancha Urbana, Áreas de Seguranças Aeroportuárias, Rodovias, Declividade (%), Pedologia, Uso do solo e Litologia. Lourenço et al. (2015) desenvolveram mapas abordando todos os critérios citados e, a partir desses mapas, estabeleceram pesos para a análise multicritério, de acordo com a importância para implantação do aterro. Por fim, foi desenvolvido um mapa com áreas selecionadas, que comportavam as dimensões estipuladas para o aterro; posteriormente houve o ranqueamento das áreas de acordo com as respectivas pontuações. Assim, foi possível identificar a área mais adequada para o trabalho.

Boin et al. (2022) conseguiram identificar áreas potencialmente favoráveis à implementação de aterros sanitários para o Consórcio CIRSOP (Consórcio Intermunicipal de Resíduos Sólidos do Oeste Paulista), que contempla 10 municípios do estado de São Paulo. Nesse estudo, por meio de ferramentas de geoprocessamento associadas às lógicas *fuzzy* e Booleana, duas áreas potenciais foram identificadas. Boin et al. (2022) relatam dificuldades com relação à distância de aeroportos privados, que podem variar até um raio de 20 km de acordo com o Ministério da Defesa Comando da Aeronáutica, o que poderia inviabilizar a implantação de um aterro nas áreas dos municípios do consórcio. Além disso, é relatado que trabalhos de campo devem ser realizados para avaliar as condições do solo e profundidade do lençol freático nas áreas selecionadas.

Outro estudo de seleção de áreas potenciais para aterro sanitários, foi o de Batista, Moda e Dal Bosco (2018) para as cidades de Jataizinho, Rancho Alegre e Uraí, no Paraná. As autoras selecionaram essas áreas a partir de critérios ambientais, exigências da legislação vigente, modelagem *fuzzy* e método *Analytic Hierachy Process* (AHP). Nesse contexto, foi realizada a estimativa da geração de resíduos em 15 anos, por meio de uma projeção populacional simples. Assim, soube-se o tamanho mínimo para o aterro e se as áreas selecionadas suportariam o mesmo. Além disso, Batista, Moda e Dal Bosco (2018) ressaltaram que é necessário a complementação

do trabalho por meio de estudos geológicos, hidrogeológicos e estudos de impactos ambientais.

3.3 Geoprocessamento

Geoprocessamento pode ser entendido como uma "tecnologia interdisciplinar", que tem relação com diferentes áreas de conhecimento para o estudo de fenômenos ambientais, utilizando técnicas matemáticas e computacionais para a manipulação de informações geográficas (CÂMARA et al., 2001).

Como ferramenta do geoprocessamento, existem os SIG (Sistemas de Informação Geográfica), que segundo Câmara et al. (2001) podem ser definidos como:

Ferramentas computacionais que permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados. Tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos. (CÂMARA et al., 2001, p.1).

Os dados podem ser divididos em representação matricial e representação vetorial.

Representação matricial: consiste no uso de uma malha quadriculada regular sobre a qual se constrói, célula a célula, o elemento que está sendo representado. A cada célula, atribui-se um código referente ao atributo estudado, de tal forma que o computador saiba a que elemento ou objeto pertence determinada célula.

Representação vetorial: a representação de um elemento ou objeto é uma tentativa de reproduzi-lo o mais exatamente possível. Qualquer entidade ou elemento gráfico de um mapa é reduzido a três formas básicas: pontos, linhas, áreas ou polígonos.(CÂMARA et al., 2001, p. 21)

Os SIG possuem métodos para processar dados e informações geoambientais, o que é de suma importância para as atividades de gestão ambiental, visto que por meio deles, uma grande quantidade de variáveis e dados podem ser analisados (BROLLO, 2001). Neste contexto, ressalta-se a importância da inferência geográfica, que gera novas informações a partir de dados espaciais combinados, ou seja, critérios são estabelecidos, manipulados e integrados por meio da inferência geográfica para a produção de um novo mapa (FUSHIMI; NUNES, 2016).

De acordo com Moreira et al. (2001) as principais técnicas de inferência geográfica são: Inferência Bayesiana, Média Ponderada, Inferência Booleana e Inferência *fuzzy*.

3.3.1 Média Ponderada

De acordo com Moreira et al. (2001) a média ponderada é uma das alternativas mais utilizadas no processamento de dados espaciais. Nesse método, atribui-se pesos diferentes para cada mapa, de acordo com o grau de importância no projeto. Esses pesos são, em geral, definidos empiricamente, formando, assim, planos de informação, que são agregados, por meio da soma ponderada, resultando em um mapa que apresenta a importância atribuída a cada variável.

3.3.2 Inferência Booleana

O método Booleano de inferência gera dados Temáticos, em que as classes de potencialidade ou risco são apresentadas espacialmente na forma de polígonos, os quais são representados por níveis como por exemplo, favorável e não favorável (MOREIRA et al., 2001).

O método Booleano utiliza mapas binários através de operadores condicionais, ou seja, cada mapa representa uma condição, que corresponde a uma evidência. Dessa forma, várias regras são combinadas para auxiliar na fundamentação de uma hipótese. Todas as evidências são testadas para averiguar se satisfazem ou não à condição estabelecida (MOREIRA et al., 2001).

Depois de testadas as evidências, o resultado é expresso na forma binária, sendo “0” para hipótese não satisfeita e “1” para hipótese satisfeita. Nota-se, portanto, que não há possibilidade de valores intermediários, que corresponderiam a regiões de transição entre uma classe e outra (MOREIRA et al., 2001).

De acordo com Moreira et al. (2001), no contexto do geoprocessamento, a abordagem Booleana é similar à sobreposição de mapas em uma mesa de luz.

Apesar de ser muito utilizada, a abordagem Booleana não é adequada em muitas situações, visto que, em muitos casos, é necessário que as evidências possuam importâncias relativas ou níveis de transição entre as classes (MOREIRA et al., 2001). Mesmo assim, Fushimi e Nunes (2016) ressaltam que para estudos ambientais, essa abordagem é viável, nos casos em que há limites/conceitos estabelecidos pela legislação, como é o caso de delimitação de Áreas de Preservação Permanente (APP) e de Reservas Legais.

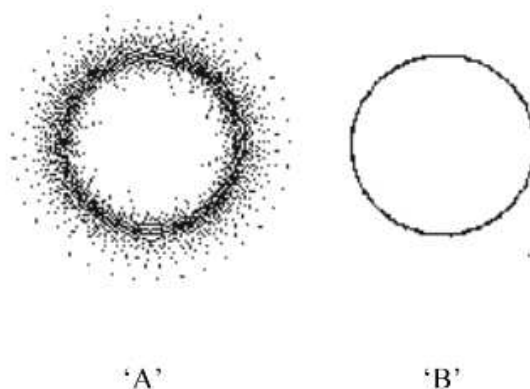
3.3.3 Inferência *fuzzy*

De acordo com Moreira et al. (2001), pode-se entender o conjunto *fuzzy* como:

Uma metodologia de caracterização de classes, que por várias razões não têm ou não podem ser definidas por limites rígidos (bordas). Essas classes definidas de maneira inexata são chamadas de conjunto *Fuzzy* (MOREIRA et al., 2001, p.3).

Por conta das classes sem exatidão, na inferência *fuzzy*, as fronteiras entre as classes são indefinidas, o que representa uma característica marcante dos conjuntos *fuzzy* e os classifica como conjuntos nebulosos (MOREIRA et al., 2001). Na Figura 4, há a interpretação de Burrough (1989) sobre as diferenças de fronteiras dos conjuntos *fuzzy* (A) e Booleano (B).

Figura 4 - Diferença dos conjuntos fuzzy (A) e Booleano (B).



Fonte: (BURROUGH, 1998)

A lógica *fuzzy* utiliza o intervalo $[0,1]$ como base. Assim, assume o valor 1 caso haja compatibilidade completa entre o conjunto e o objeto estudado, atribui o valor 0 em caso de nenhuma compatibilidade e assume valores entre 0 e 1 em casos em que a compatibilidade é parcial (MOREIRA et al., 2001). Dessa forma, pode-se observar transição gradual entre os valores (EASTMAN, 2001).

Ao contrário da inferência Booleana, neste caso há a possibilidade de representar a condição “talvez”. Dessa forma a inferência *fuzzy* se assemelha ao pensamento humano, visto que em certas situações não há uma resposta binária (sim ou não, 1 ou 0) (FUSHIMI; NUNES, 2016).

O conjunto *fuzzy* fornece uma importante base de dados para resolução de problemas e para tomadas de decisão (EASTMAN, 2001). Nesse contexto, de acordo

com Eastman (2001), existem quatro tipos de funções matemáticas nesse conjunto, são elas: sigmoidal, linear, *J-Shaped* e definidas pelo usuário. Esse trabalho abordará apenas as funções sigmoidais.

A função sigmoidal (forma de “s”) pode ser dividida em crescente (1) e decrescente (2), definidas pelas expressões (1) e (2) (EASTMAN, 1999).

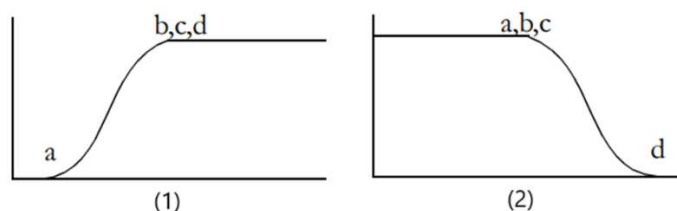
$$\mu = \cos^2 \left(1 - \left(\frac{x-a}{b-a} \right) \right) \cdot \frac{\pi}{2} \quad \text{se } x > b, \mu = 1 \quad (1)$$

$$\mu = \cos^2 \left(\frac{x-c}{d-c} \right) \cdot \frac{\pi}{2} \quad \text{se } x < c, \mu = 1 \quad (2)$$

Nas fórmulas, os valores “a”, “b”, “c” e “d” são os pontos de controle (pontos de inflexão), necessários para que o resultado seja coerente, variando de acordo com o que está sendo representado.

Os pontos de controle recebem os valores máximos e mínimos da variável analisada, de acordo com a função crescente ou decrescente, representando a adequabilidade (EASTMAN, 2001). Na Figura 5 pode-se observar o comportamento da função sigmoidal.

Figura 5 - Gráficos da função sigmoidal crescente (1) e decrescente (2).



Fonte: (EASTMAN, 2001, p. 32)

Após aplicar as funções escolhidas a cada dado georreferenciado que fizer parte da inferência, deve-se combiná-los para gerar um mapa síntese que representará o resultado final da análise. De acordo com Fushimi e Nunes (2016), existem várias formas de fazer essa agregação, como: mínimo, máximo, média, gama e ponderado. Há ainda uma técnica chamada de Processo Analítico Hierárquico (AHP), que torna a obtenção dos pesos da média ponderada mais objetiva. Todas essas técnicas possibilitam combinar dados no SIG e desenvolver diferentes cenários para estudo.

3.3.4 Processo Analítico Hierárquico

O *Analytic Hierarchy Process* (Processo Analítico Hierárquico) (AHP) é um método utilizado para auxiliar na determinação de pesos para cada fator (ou mapa) envolvido na análise. Esse método se baseia em comparar os fatores de forma pareada, ou seja, dois a dois (MOREIRA et al., 2001). Dessa forma, pode-se dizer quanto um fator é mais importante do que outro.

Para iniciar o AHP, deve-se construir uma relação de prioridades entre os critérios, atribuindo pesos de acordo com a importância. Moreira et al. (2001) sugerem o seguinte quadro de prioridades (Quadro 6).

Quadro 6 - Intensidade de importância e definição

Intensidade de Importância	Definição e explicação
1	Importância igual - Os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância moderada - Um fator é ligeiramente mais importante que o outro
5	Importância essencial - Um fator é claramente mais importante que o outro
7	Importância demonstrada - Um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática
9	Importância extrema - A evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível.
2,4,6,8	Valores intermediários entre julgamentos -possibilidade de compromissos adicionais

Fonte: Moreira et al. (2001 p. 29).

Com os pesos atribuídos, de acordo com o Quadro 6, pode-se construir uma matriz, com o objetivo de auxiliar na tomada de decisão. Essa matriz é $n \times n$, sendo n o número de critérios estabelecidos. Assim, compara-se o elemento da linha com o elemento da coluna (SAATY, 1990). Após a comparação, determina-se os pesos relativos a cada critério analisado (SAATY, 1990).

Depois da matriz pareada, deve-se normalizar a mesma, dividindo cada elemento da coluna pelo somatório da respectiva coluna (SAATY, 1990).

A matriz normalizada resultará em um vetor de pesos, chamado de vetor prioridade, que consiste na média aritmética dos elementos de cada linha (VARGAS, 2010). A partir desse vetor é possível calcular os autovalores para cada variável, ou seja, os pesos de cada critério.

Samizava et al. (2008) desenvolveram uma matriz de comparação para variáveis utilizadas na seleção de áreas potenciais para implementação de aterros sanitários (Tabela 3).

Tabela 3 - Matriz de comparação pareada das variáveis

	Geomorfologia	Solos/Geologia	Prof. Nível d'água	Declividade	Dist. Cursos d'água	Dist. Rede Viária	Dist. Área urbana
Geomorfologia	1						
Solos/geologia	1/3	1					
Prof. Nível d'água	2	3	1				
Declividade	2	3	1	1			
Dist. Cursos d'água	2	2	1	2	1		
Dist. Rede Viária	1/4	1/3	1/4	1/4	1/4	1	
Dist. Área urbana	1/2	1	1/2	1/2	1/2	3	1

Fonte: Samizava et al. (2008, p. 52)

Os autovalores obtidos na matriz devem ser multiplicados pelos mapas *fuzzy* correspondentes para a geração do mapa síntese, que indicará as áreas mais adequadas para implantação do aterro (BATISTA; MODA; DAL BOSCO, 2018).

O AHP também pode ser aplicado de forma diferente da seleção de áreas potenciais e das técnicas de geoprocessamento. Ele pode ser utilizado, por exemplo, para resolver questões estratégicas e logísticas. Reis et al. (2016) desenvolveram um estudo para identificar a melhor estratégia de comercialização de milho, utilizando como critérios: logística, preço, produtividade e disponibilidade de produto. Nesse estudo o AHP foi determinante para identificar a logística como o critério de maior peso para a tomada de decisão.

Em outro contexto de aplicação desse método, Raid et al. (2022) avaliaram, por meio do AHP, os métodos mais apropriados para o abastecimento público rural no Brasil. Para isso compararam alguns critérios como gestão municipal, companhia estadual, empresas privadas, consórcios públicos, gestão compartilhada e organização social. Sendo assim, nesse contexto, o AHP demonstrou que os melhores modelos seriam a gestão municipal e a gestão compartilhada.

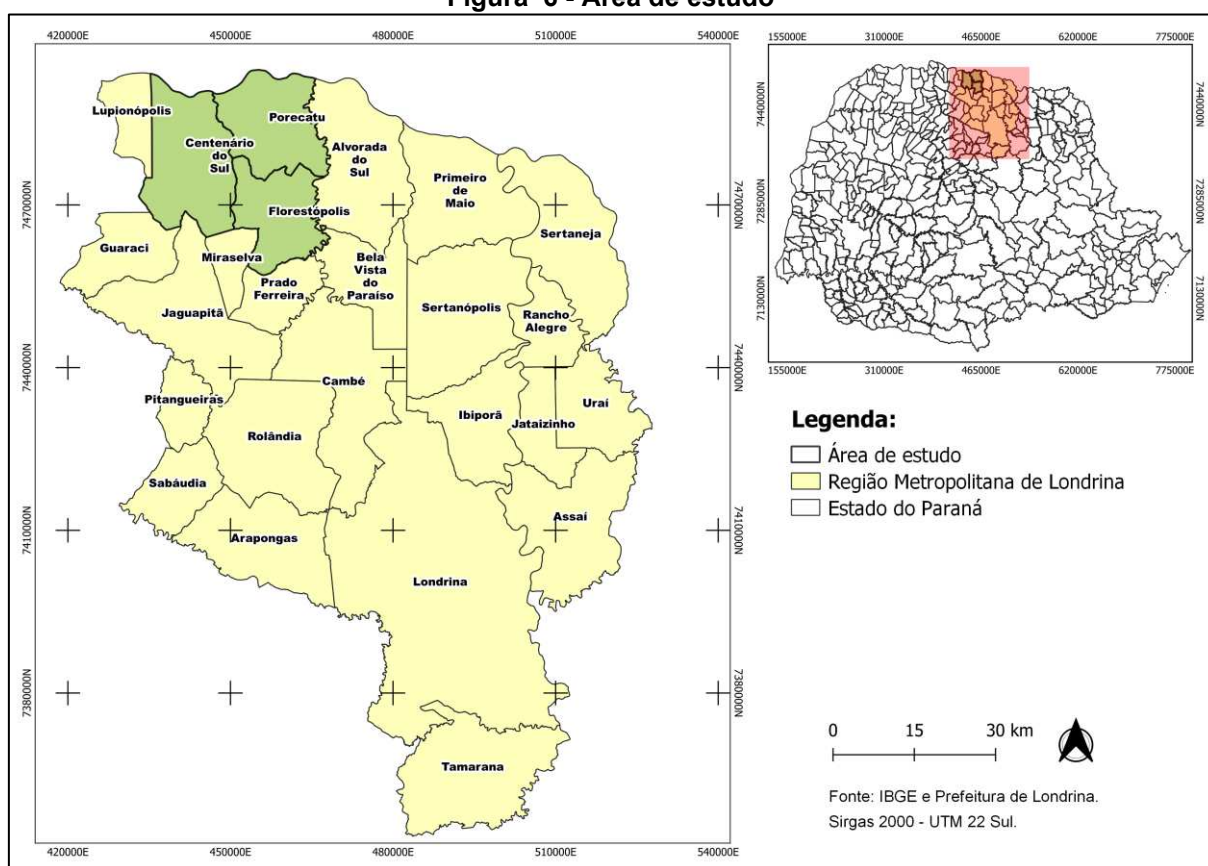
Observa-se, portanto, que o AHP é uma técnica comparativa, que é empregada para auxiliar na tomada de decisão, quando existem diferentes critérios a serem avaliados, por meio da hierarquização das variáveis.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Apresentação da área de estudo

O estudo foi realizado para as cidades de Porecatu, Centenário do Sul e Florestópolis (Figura 6), municípios localizados na região metropolitana de Londrina, no norte do estado do Paraná. Observando a Figura 6, nota-se que os três municípios fazem fronteira entre si, o que facilita para a projeção de um aterro sanitário em consórcio, na região.

Figura 6 - Área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor

4.1.1 Aspectos físicos da região

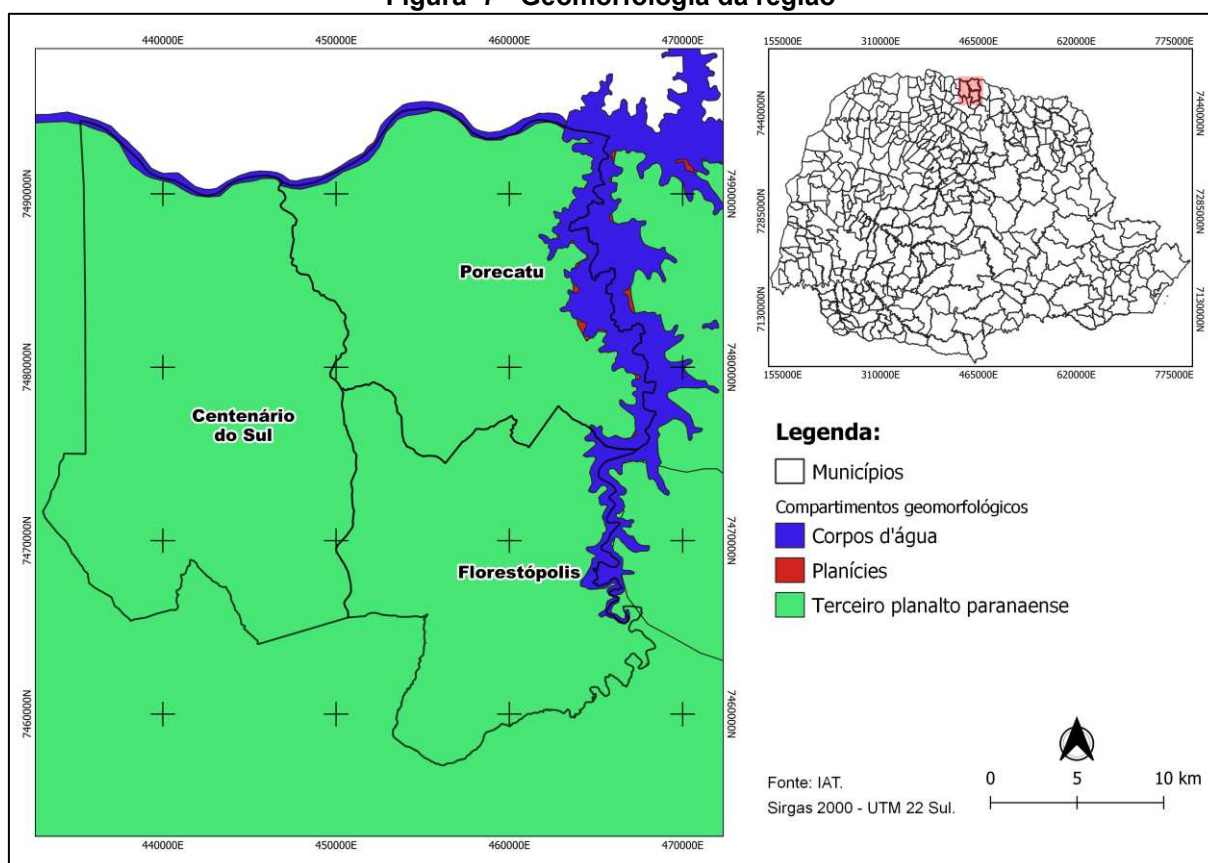
A região de estudo está localizada no Terceiro Planalto Paranaense (Figura 7), na Bacia Sedimentar do Paraná. O Terceiro Planalto Paranaense, de acordo com Santos et al. (2006), corresponde ao:

Grande derrame mesozoico de rochas eruptivas básicas associados, na porção NO, às rochas areníticas do Grupo Bauru. Abrange cerca de 2/3 do território paranaense e desenvolve-se como um conjunto de relevos

planálticos, com inclinação geral para oeste-noroeste e subdivididos pelos principais afluentes do rio Paraná, atingindo altitudes médias de cimeira de 1100 a 1250m, na Serra da Esperança, declinando para altitudes entre 220 e 300 metros na calha do rio Paraná (SANTOS et al., 2006, p. 4).

Nessa região, ainda existem algumas áreas de planícies, ou seja, áreas planas, formadas pelo acúmulo de sedimentos oriundos das áreas mais elevadas, consideradas regiões de menor tempo geológico.

Figura 7 - Geomorfologia da região

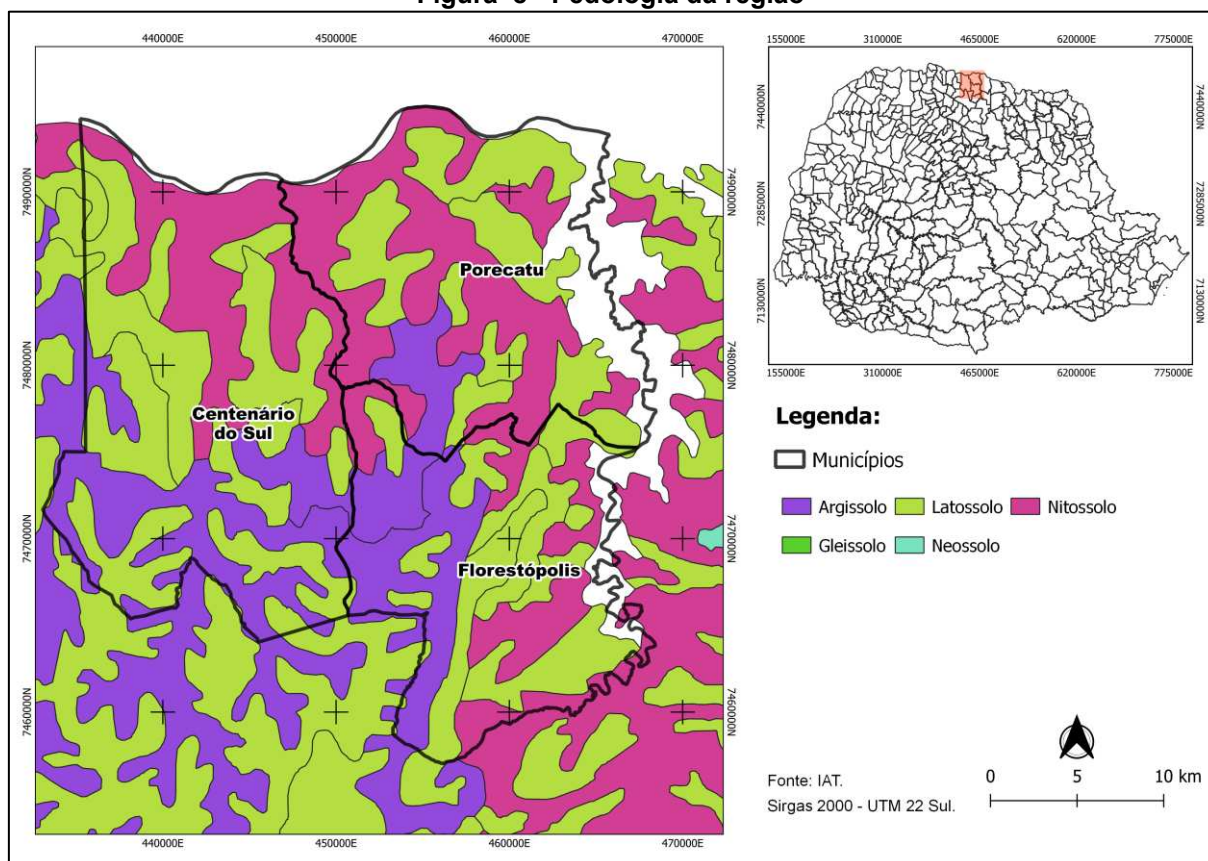


Fonte: Elaborado pelo autor

Essa região apresenta três tipos de solo (Figura 8), Argissolos, Latossolos e Nitossolos. Os Argissolos são constituídos por materiais minerais, apresentam, em grande parte, aumento no teor de argila no horizonte superficial para o horizonte B, com decréscimo ou ausência nos horizontes subjacentes, apresentam cores em tons de vermelho e amarelo e são moderadamente ácidos (EMBRAPA, 2018). Os Latossolos são formados por minerais primários ou secundários, são fortemente drenados, muito profundos, fortemente ácidos com baixa saturação por bases e, em geral, os teores de argila podem aumentar conforme a profundidade (EMBRAPA,

2018). Os Nitossolos também são constituídos de materiais minerais ou orgânicos, profundos e bem drenados, apresentam textura argilosa ou muito argilosa, que aumentam conforme a profundidade, com cores entre vermelho e brunada, e são, em geral, de moderadamente ácidos a ácidos.

Figura 8 - Pedologia da região



Fonte: Elaborado pelo autor

Em relação à hidrogeologia, os municípios estudados estão sobre as unidades aquíferas Caiuá e Serra Geral (PARANÁ, 2010). O Aquífero Caiuá é amplamente utilizado para abastecimento público no Noroeste do estado do Paraná, ocupa uma área aproximada de 29.000 km² e suas águas são caracterizadas por baixa incorporação mineral, pH entre 5,0 e 6,5, podendo ser classificadas como bicarbonatadas cálcicas a mistas (MENDES et al., 2002). O Aquífero Serra Geral possui ocorrência de água subterrânea vinculada às zonas do resfriamento dos derrames basálticos e suas águas são classificadas como bicarbonatada cálcica a bicarbonatada cálcica-magnésiana (MENDES et al., 2002).

Por fim, ressalta-se que o clima da região, de acordo com a classificação de classificação de Köppen, varia entre Clima temperado com verão ameno (Cfb), Clima subtropical com verão quente (Cfa) e Clima subtropical de inverno seco (Cwa) (ITC, 2008).

4.1.2 Aspectos relacionados aos resíduos sólidos

Os municípios de Centenário do Sul, Florestópolis e Porecatu fazem parte do Consórcio de Desenvolvimento e Inovação do Norte do Paraná - CODINORP, que contempla 10 cidades: Cafeara, Centenário do Sul, Florestópolis, Guaraci, Jaguapitã, Lupionópolis, Miraselva, Pitangueiras, Porecatu e Prado Ferreira. Entretanto, apenas Lupionópolis possui disposição final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos segundo o levantamento de 2019 do SNIS. Ao todo, o CODINORP possui aproximadamente 70.048 habitantes, com uma geração média de 24.258 toneladas de resíduos por ano (SNIS, 2019).

Os municípios estudados possuem área e população relativamente próximas. Na Tabela 4 apresenta-se as populações, áreas dos municípios, métodos de disposição final utilizados e presença/ausência de coleta seletiva. Ressalta-se que os dados utilizados estão disponíveis no SINIR + (2022), Observatório dos Lixões (CNM, 2022) e IBGE (2022).

Tabela 4 - Características demográficas e sanitárias dos municípios

Município	População declarada em 2019¹	Área (km²)²	Destinação Final³	Coleta Seletiva⁴
Centenário do Sul	9031	371,834	Lixão/Aterro Controlado	Não
Florestópolis	9911	246,331	Lixão/Aterro Controlado	Sim
Porecatu	12000	291,663	Aterro Controlado	Sim

Nota₁: SINIR +

Nota₂: IBGE

Nota₃: SINIR + e Observatório dos Lixões

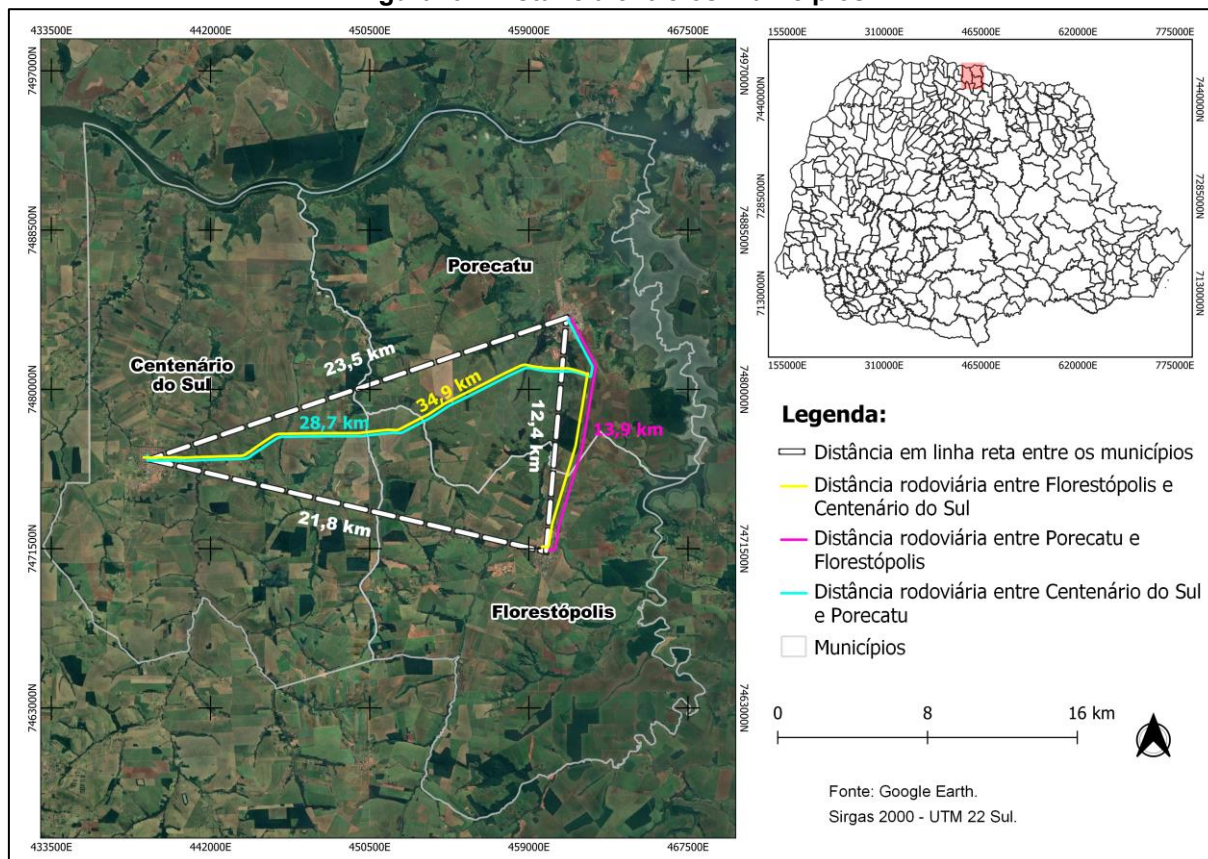
Nota₄: SINIR + e Observatório dos Lixões

Fonte: Elaborado pelo autor

Outro critério importante para a viabilização de um aterro sanitário em um consórcio intermunicipal é a distância entre os centros populacionais dos municípios. Na Figura 9 observa-se que as distâncias entre um município e outro são menores

que 25 km. Em relação ao deslocamento pela rede viária, a distância maior está entre Florestópolis e Centenário do Sul, cerca de 34,5 km.

Figura 9 - Distância entre os municípios



Fonte: Elaborado pelo autor

4.2 Dimensionamento do aterro sanitário

4.2.1 Obtenção de dados

Os dados utilizados para o dimensionamento do aterro foram:

- Série histórica da população dos três municípios: Obtida por meio do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e utilizada para a projeção populacional para os próximos 15 anos de operação do aterro sanitário.
- Percentual da população atendida pela coleta de resíduos: Utilizou-se a Meta 3 do PLANARES (BRASIL, 2022a, p. 40), a qual refere-se à eliminação de práticas inadequadas de destinação final e estabelece metas para a universalização da coleta regular de RSU até 2036.

- Coleta Seletiva na região: Essa informação também foi obtida por meio do PLANARES, Meta 5, que objetiva assegurar que 100% da população do Sul do Brasil tenha acesso a coleta seletiva até 2040, de modo que ocorra um aumento da recuperação da fração seca dos RSU e se evite que resíduos recicláveis e orgânicos cheguem ao aterro sanitário.
- Geração per capita de resíduos sólidos: Foram utilizados dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e do SINIR + (2022).

4.2.2 Projeção populacional, método construtivo e procedimento de cálculo

A projeção populacional foi necessária para estimar o volume de RSU destinados ao aterro sanitário ao longo dos seus 15 anos de operação, sendo fator determinante para a obtenção do tamanho do aterro.

Qasim (1985) apresentou os principais métodos para projeção populacional com base em fórmulas matemáticas, como: Projeção aritmética, Projeção geométrica, Taxa decrescente de crescimento e Crescimento logístico. Entretanto, apenas as projeções aritmética e geométrica são aplicáveis aos municípios estudados, visto que os outros dois métodos exigem que a população apresente uma taxa de crescimento populacional, enquanto os municípios estudados apresentam decréscimo populacional. Sendo assim, a projeção escolhida foi a geométrica, uma vez que apresenta uma população final (2037), maior do que o método aritmético.

O método geométrico utiliza as seguintes equações (4 e 5):

$$P_t = P_0 \times e^{Kg \times (t-t_0)} \quad (4)$$

$$Kg = (\ln P_2 - \ln P_0) / (t_2 - t_0) \quad (5)$$

Onde,

t é o tempo (ano);

P_t é a população estimada no tempo t (ano);

P₀ é a população no tempo t₀ (hab);

Kg é o coeficiente;

P₂ é a população no tempo t₂ (hab);

t₀ refere-se ao ano de 1990;

t_2 refere-se ao ano de 2010;

Em relação ao método aritmético, as equações utilizadas foram:

$$P_t = P_0 + K_a \times (t - t_0) \quad (6)$$

$$K_a = (P_2 - P_0)/(t_2 - t_0) \quad (7)$$

Onde,

K_a é o coeficiente.

Utilizou-se os dados dos censos do IBGE de 1990 e 2010 (Tabela 5) para estimar a população de cada ano (2023 a 2037), as quais foram consideradas para o dimensionamento do aterro sanitário.

Tabela 5 - Populações dos municípios estudados nos censos de 1990 e 2010

Ano	Centenário do Sul (habitantes)	Florestópolis (habitantes)	Porecatu (habitantes)
1990	14.268	11.998	17.102
2010	11.190	11.222	14.189

Fonte: IBGE (2010).

4.2.3 Procedimento de cálculo e método construtivo

O aterro sanitário foi dimensionado para duas hipóteses:

- Hipótese “real”: Considerou-se as Metas 3 e 6 do PLANARES. Sendo assim, esta hipótese leva em consideração a realidade brasileira de segregação e coleta dos RSU, entendendo que, em uma situação real, não haveria a separação correta de 100% dos resíduos e o sistema de coleta seletiva não atenderia a todos os habitantes desde o primeiro ano da operação do aterro. Portanto, resíduos recicláveis e orgânicos seriam aterrados junto aos rejeitos, entretanto haveria melhoria progressiva destes parâmetros ao longo dos anos.
- Hipótese “ideal”: Considerou-se que 100% dos habitantes teriam acesso à coleta seletiva e que realizariam a exata segregação dos resíduos, fazendo com que apenas os rejeitos fossem dispostos no aterro, o que atenderia aos critérios da PNRS (BRASIL, 2010) e do Decreto Federal nº 10.936 (BRASIL, 2022b).

A partir destas projeções foi possível comparar as hipóteses e demonstrar os impactos e a importância do correto gerenciamento dos RSU nos municípios estudados. Para ambas, o método construtivo utilizado foi o método de trincheiras.

O dimensionamento dos aterros consistiu, basicamente, na elaboração de duas planilhas de cálculos para cada município. Essas planilhas contemplam dados para um aterro com 15 anos de vida útil, visto que a Resolução CEMA nº 094 (PARANÁ, 2014) estabelece este período como o mínimo aceitável para projetos desta natureza.

A planilha para hipótese “real” possui 14 colunas (Quadro 7), cada uma representando um dado ou um cálculo.

Para o dimensionamento, os dados utilizados foram:

- A. Ano (2023 - 2037);
- B. População de cada ano (habitantes), de acordo com a projeção realizada;
- C. Percentual da população atendida pela coleta regular de resíduos a partir da Meta 3 do PLANARES (%);
- D. População atendida pela coleta regular (habitantes);
- E. Percentual da população atendida pela coleta seletiva a partir da Meta 6 do PLANARES (%);
- F. População atendida pela coleta seletiva (habitantes);
- G. Geração per capita de rejeitos dos habitantes com coleta seletiva (kg/dia);
- H. Geração per capita de resíduos sólidos sem segregação dos habitantes com apenas coleta regular (kg/dia);
- I. Total de resíduos destinados ao aterro sanitário por dia (kg/dia);
- J. Total de resíduos destinados ao aterro sanitário por ano (kg/ano);
- K. Volume de resíduos compactado por dia (m^3 /dia);
- L. Volume de resíduos compactado por ano (m^3 /ano);
- M. Volume de resíduos e taxa de cobertura com solo por dia (m^3 /dia);
- N. . Volume de resíduos e taxa de cobertura com solo por ano (m^3 /ano).

Quadro 7 - Planilha de dimensionamento do aterro sanitário para a hipótese “real”

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Ano	População (hab)	Coleta Regular (%)	Pop. Coleta Regular (hab)	Coleta Seletiva (%)	Pop. Coleta Seletiva (hab)	Geração Coleta Seletiva (kg/dia)	Geração Coleta Regular (kg/dia)	Geração total dia (kg/dia)	Geração total ano (kg/ano)	Volume compactado (m³/dia)	Volume compactado (m³/ano)	Volume de resíduo + cobertura de 20% (m³/dia)	Volume de resíduo + cobertura de 20% (m³/ano)
2	2037	Projeção da População (IBGE)	Meta 3 (PLANARES)	B2*C2	Meta 5 (PLANARES)	B2*E2	F2*GP ¹ de rejeito (SNIS)	(D2-F2) *GP total (SNIS)	G2+H2	I2*365	I2/550	K2*365	L2+(L2*0,2)	M1*365
3	2036	Projeção da População (IBGE)	Meta 3 (PLANARES)	B3*C3	Meta 5 (PLANARES)	B3*E3	F3*GP (SNIS)	(D3-F3) *GP total (SNIS)	G3+H3	I3*365	I3/550	K3*365	L3+(L3*0,2)	M2*365
4	2035	Projeção da População (IBGE)	Meta 3 (PLANARES)	B4*C4	Meta 5 (PLANARES)	B4*E4	F3*GP de rejeito (SNIS)	(D4-F4) *GP total (SNIS)	G4+H4	I4*365	I4/550	K4*365	L4+(L4*0,2)	M3*365
5	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
6	2023	Projeção da População (IBGE)	Meta 3 (PLANARES)	B6*C6	Meta 5 (PLANARES)	B6*E6	F5*GP de rejeito (SNIS)	(D5-F5) * GP total (SNIS)	G6+H6	I6*365	I6/550	K6*365	L6+(L6*0,2)	M6*365

Nota₁: Geração per capita

Fonte: Elaborado pelo autor

A segunda planilha, hipótese “ideal” (Quadro 8), é mais enxuta que a planilha “real” (Quadro 7), visto que apresenta uma conjuntura de dados mais simples para o dimensionamento do aterro, utilizando 11 colunas:

- A. Ano (2023 - 2037);
- B. População de cada ano (habitantes);
- C. População atendida pela coleta de resíduos (%);
- D. População geradora (habitantes) - aquela que terá seus resíduos destinados para o aterro sanitário;
- E. Geração per capita de resíduos (kg/habitante.dia);
- F. Total de resíduos por dia (kg/dia);
- G. Total de resíduos por ano (kg/ano);
- H. Volume compactado por dia (m³/dia);
- I. Volume compactado por ano (m³/ano);
- J. Volume de resíduos e taxa de cobertura com solo por dia (m³/dia);
- K. Volume de resíduos e taxa de cobertura com solo por ano (m³/ano).

Quadro 8 - Planilha de dimensionamento do aterro sanitário para a hipótese “ideal”

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Ano	População (hab)	População atendida (%)	População geradora (hab)	Geração per capita (kg/hab. dia)	Total de resíduos por dia (kg/dia)	Total de resíduos por ano (kg/ano)	Volume compactado de resíduos (m³/dia)	Volume compactado de resíduos (m³/ano)	Volume de resíduos + cobertura de 20% (m³/dia)	Volume de resíduos + cobertura de 20% (m³/ano)
2	2037	Projeção da População (IBGE)	100%	B2*C2	GP de rejeito (SNIS)	D2*E2	F2*365	F2/700	H2*365	H2+(H2*0,2)	J2*365
3	2036	Projeção da População (IBGE)	100%	B3*C3	GP de rejeito (SNIS)	D3*E3	F3*365	F3/700	H3*365	H3+(H3*0,2)	J3*365
4	2035	Projeção da População (IBGE)	100%	B4*C4	GP de rejeito (SNIS)	D4*E4	F4*365	F4/700	H4*365	H4+(H4*0,2)	J4*365
5	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
6	2033	Projeção da População (IBGE)	100%	B6*C6	GP de rejeito (SNIS)	D6*E6	F6*365	F6/700	H6*365	H6+(H6*0,2)	J6*365

Fonte: Elaborado pelo autor.

Utilizou-se as estimativas de geração per capita de RSU específicas de cada município, de acordo com o levantamento do SNIS de 2019, aplicando a porcentagem de rejeitos da composição gravimétrica da geração de resíduos conforme o Panorama da ABRELPE (2020).

Em relação ao volume compactado, como pode ser observado no Quadro 7 e 8, aplicou-se um coeficiente de compactação dos resíduos para a hipótese “real” e outro para a “ideal”. Considerou-se 700 kg m^{-3} , para a hipótese “ideal”, o mesmo coeficiente utilizado por Viana et al. (2020), no estudo de uma proposta de dimensionamento de aterro sanitário para o município de Esperantinópolis – MA. Tal valor é considerado por LIMA (2004) como aterros sanitários “fortemente compactados”.

Para o cenário “real” aplicou-se um coeficiente de compactação moderado de 550 kg m^{-3} , obtido a partir de um levantamento bibliográfico realizado por Marques (2001) (Tabela 6).

Tabela 6 - Peso específico de resíduos sólidos urbanos (RSU)

Características dos Resíduos	Peso específico (kN/m³)	Referência
RSU mal compactado	3,0 a 9,0	FASSET et al. (1994)
RSU não compactado	2,2 a 2,7	MERZ & STONE (1962)
RSU não compactado	2,9	SCHOMAKER
RSU não compactado	3,1	BROMWELL (1978)
RSU pouco compactado	5,5 a 6,9	SARGUNAN et al. (1986)
RSU medianamente compactado	4,7 a 5,9	SCHOMAKER (1972)
RSU medianamente compactado	6,2	BROMWELL (1978)
RSU medianamente compactado	5,0 a 8,0	FASSET et al. (1994)
RSU compactado	6,3 a 9,4	OWEIS & KHERA (1990)
RSU bem compactado	4,7 a 9,4	SOWERS (1968)
RSU bem compactado	8,8	SCHOMAKER (1972)
RSU bem compactado	9,3	BROMWELL (1978)
RSU bem compactado	6,6	HAM et al. (1978)
RSU bem compactado	6,8 a 16,2	LANDVA & CLARK (1986)
RSU bem compactado	5,4 a 8,0	WATTS & CHARLES (1990)
RSU bem compactado	9,9 a 10,9	GALANTE et al. (1991)
RSU bem compactado	9,0 a 10,5	FASSET et al. (1994)

Fonte: Adaptado de Marques (2001)

Ao final da jornada de trabalho no aterro sanitário, é necessário a cobertura dos resíduos compactados com uma camada de solo, como explicitado pela Resolução CEMA n°94 de 2014, no art. 15 (PARANÁ, 2014) e pela NBR 8419 de 1992

(ABNT, 1992). Atribuiu-se, portanto, o percentual de cobertura do solo de 20%, uma vez que Obladen e De Barros (2009) indicam cobertura variando de 10 a 20%.

Ao terminar o preenchimento das planilhas, obteve-se o volume de projeto para cada ano, ou seja, o volume anual ocupado por resíduos e solo no aterro sanitário para cada município. A partir do somatório dos três municípios, projetou-se as trincheiras necessárias.

O volume das trincheiras foi calculado com base nas variáveis apresentadas na Figura 10 e conforme a equação 8, apresentada por Venegas e Silva (2013) em um trabalho sobre o cálculo do volume de pirâmide com métodos didáticos.

$$V = \frac{h}{3} \times (AB + \sqrt{(AB \times Ab)} + Ab) \quad (8)$$

Onde,

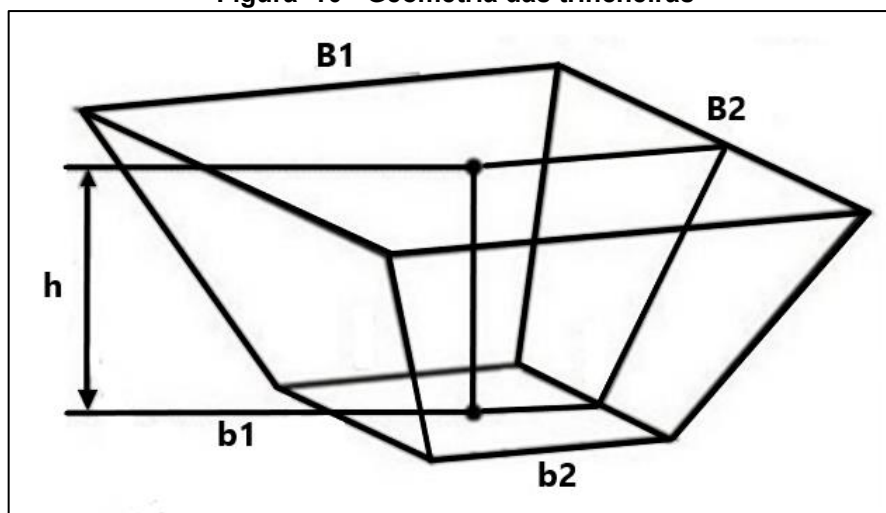
V é o volume da trincheira;

h é a profundidade da trincheira;

AB é a área da base maior;

Ab é a área da base menor.

Figura 10 - Geometria das trincheiras



Fonte: Elaborado pelo autor

Considerou-se o tamanho da trincheira capaz de atender o volume do maior ano de geração de resíduos (2037), replicando essa trincheira o número de vezes necessárias para comportar o volume total de resíduos em 15 anos. Dessa forma, foi possível estipular o tempo de vida útil de cada célula e a porcentagem de contribuição de cada ano para o preenchimento de cada trincheira.

Por fim, a partir do cálculo das trincheiras, estimou-se qual a área mínima necessária para a operação do aterro (considerando o somatório da área superficial de todas as trincheiras), o que é crucial para a determinação de áreas potenciais, visto que as mesmas deverão ter tamanho suficiente para comportar o aterro dimensionado.

Ressalta-se que apenas a hipótese “ideal” foi considerada para a determinação das áreas potenciais, visto que a hipótese “real” foi utilizada apenas a critérios de comparação e discussão, e não atende os parâmetros exigidos pela legislação ambiental.

4.3 Seleção de área potenciais

4.3.1 Obtenção de dados, critérios utilizados e pré-processamento

Para a seleção de áreas potenciais para implementação de um aterro sanitário na região de Centenário do Sul, Florestópolis e Porecatu, alguns mapas e dados georreferenciados foram necessários. Obteve-se esses dados de fontes públicas (Quadro 9).

Quadro 9 - Dados para seleção de área potenciais

Dados	Fontes
Hidrografia	ANA ¹
Núcleos populacionais	IBGE
Rodovias	IAT
Declividade	SRMT ²
Profundidade do lençol freático	SIAGAS ³

Nota₁: Agência Nacional das Águas

Nota₂: *Shuttle Radar Topography Mission*

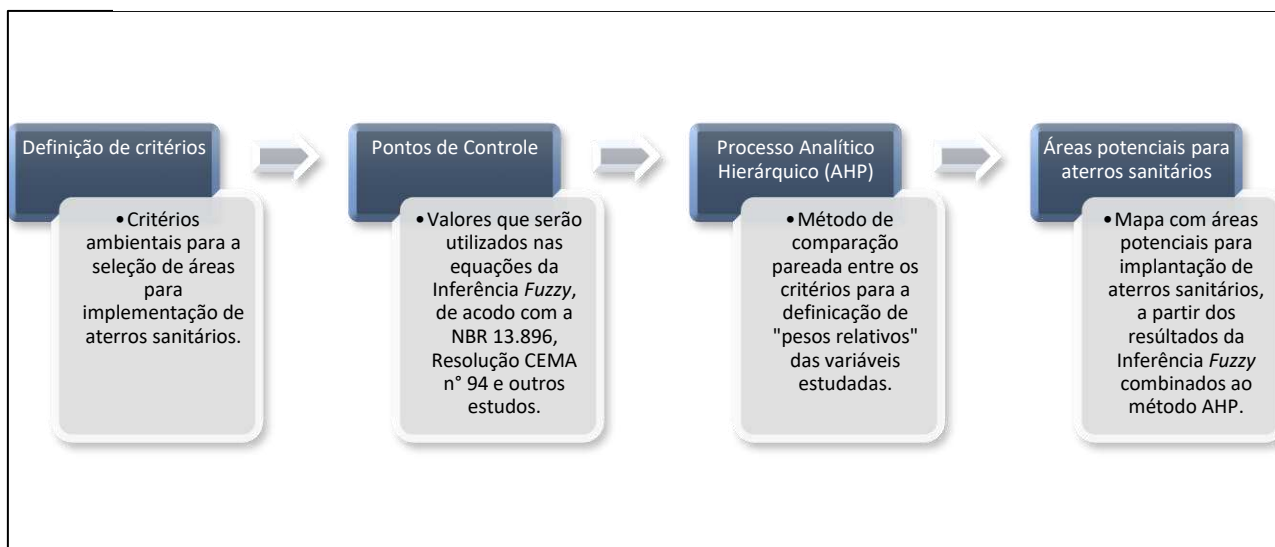
Nota₃: Sistema de Informações de Águas Subterrâneas

Fonte: Elaborado pelo autor

O processamento de dados e construção de mapas foram realizados no software QGIS versão 3.24.1, que é um Sistema de Informação Geográfica livre.

Desenvolveu-se a seleção de áreas potenciais conforme fluxograma da Figura 11.

Figura 11 - Fluxograma para a seleção de área potenciais para aterros sanitários



Fonte: Elaborado pelo autor

O processo metodológico desse estudo, inicia-se com a definição de critérios ambientais, utilizados na Inferência *fuzzy*.

Os critérios utilizados são: distância de corpos hídricos (ANA), de núcleos populacionais (IBGE), de rodovias (IAT), declividade (SRTM) e profundidade do lençol freático (SIAGAS). Ressalta-se que além destes, a proximidade com residências isoladas, a área de influência do manancial de abastecimento públicos e titularidade do terreno foram analisadas, após a definição das áreas potenciais.

Primeiramente, fez-se o pré-processamento dos dados georreferenciados, pela conversão de todos os critérios para o sistema de referência geodésico oficial do Brasil, SIRGAS 2000, e para a projeção cartográfica UTM, zona 22 do hemisfério Sul. Assim, pôde-se desenvolver os mapas no fuso da região de estudo e com unidade de medida em metros, ao invés de graus, sendo possível aplicar análises de proximidade. Essas análises, realizadas no Software QGIS, possibilitam a geração de distância do critério desejado para cada ponto, resultando em um arquivo matricial (*raster*) com intervalos de distâncias.

Os dados obtidos para hidrografia e rodovias foram camadas vetoriais de linhas; para profundidade do lençol freático, camada vetorial de pontos; e para a declividade uma camada matricial.

No pré-processamento todos os dados obtidos foram recortados utilizando os limites dos municípios Centenário do Sul, Florestópolis e Porecatu.

4.3.2 Inferência *fuzzy* e AHP

Elaborou-se um mapa para cada critério ambiental estabelecido. Para isto, considerou-se a Inferência *fuzzy*, estabelecendo mapas com intervalos de adequabilidade da área para cada variável. Nesse sentido, as funções utilizadas foram: sigmoidal crescente (1), decrescente (2) e simétrica (união das duas funções). Essas funções são estabelecidas pelas equações 1 e 2, como explicitado no tópico 4.3.3.

A escolha da equação foi realizada de acordo com a adequabilidade da área em função de cada critério, ou seja, se a adequabilidade aumenta ou diminui de acordo com o aumento do valor do critério. Por exemplo: a adequabilidade da área diminui com o aumento da declividade, portanto, deve-se utilizar a equação sigmoidal decrescente. Esse raciocínio foi seguido para todos os critérios (Quadro 10).

Quadro 10 - Equações para cada critério ambiental selecionado

Critério	Equação
Distância de corpos hídricos	Sigmoidal Crescente
Distância de núcleos populacionais	Sigmoidal Crescente
Distância de rodovias	Sigmoidal Simétrica
Profundidade do lençol freático	Sigmoidal Crescente
Declividade	Sigmoidal Decrescente

Fonte: Elaborado pelo autor

Além da definição das equações utilizadas, também foi necessário estabelecer os pontos de controle para cada critério, que são os valores utilizados (a, b, c, d) nas equações 1 e 2. Esses valores seguem os limites da legislação, normas técnicas e outros estudos. No Quadro 11 apresenta-se os valores utilizados neste estudo e suas respectivas referências.

Quadro 11 - Pontos de controle que serão utilizados nas equações sigmoidais

Critério	a	b	c	d	Fonte
Distância de corpos hídricos	200	500	-	-	Resolução CEMA N° 94 e Samizava (2006)
Distância de núcleos populacionais	1500	15000	-	-	Resolução CEMA n° 94 e Gomes (2003)
Distância de rodovias	0	1000	2000	3000	Gomes (2003)
Profundidade do lençol freático	5	15	-	-	NBR 13.896 (1997) e Samizava (2006)
Declividade	-	-	1%	30%	NBR 13.896 (1997)

Fonte: Elaborado pelo autor

Depois desta definição, aplicou-se as respectivas equações sigmoidais *fuzzy* para cada critério. Nessa etapa os mapas de entrada são convertidos para a escala de 0 a 1 conforme as condições estabelecidas. Por exemplo, para o critério “distância de corpos hídricos”, o SIG considerou o valor 0 para regiões com distância menor que 200 metros (ponto de controle “a”) e valor 1 para distâncias maiores 500 metros (ponto de controle “b”). Já para as distâncias entre 200 e 500 metros, considerou-se a equação sigmoideal crescente (equação 1), atribuindo valores entre 0 e 1. O mesmo procedimento foi realizado para cada critério, considerando os respectivos pontos de controle e funções sigmoidais. Dessa forma, elaborou-se todos os mapas *fuzzy*, os quais apresentam o potencial de aptidão da área para cada variável, conforme a Resolução CEMA N° 94 (PARANÁ, 2014) e NBR 13.896 (ABNT, 1997).

Após a análise *fuzzy*, pesos foram atribuídos a cada critério, por meio do Processo Analítico Hierárquico, o que delimitou os graus de relevância entre eles.

Neste estudo, a matriz de comparação utilizada foi a mesma utilizada por Samizava (2008), a qual está presente na Tabela 3. Essa tabela pode ser entendida como uma matriz 5x5, que resultou em um autovalor para cada variável. Para essa etapa, utilizou-se o Plugin “Easy AHP”, no software QGIS, por meio do qual obtém-se os autovalores a partir dos pesos da matriz.

Por fim, multiplicou-se os autovalores, correspondentes aos pesos, pelos respectivos mapas *fuzzy*, o que resultou em um mapa final, reunindo as cinco variáveis estudadas e apresentando o potencial de aptidão da área de estudo.

As áreas potenciais para implementação de aterro sanitário na região, encontradas pelo mapa final, foram analisadas e comparadas. Com base nos resultados do dimensionamento, verificou-se a área mínima para atender o aterro sanitário consorciado.

Além disso, apresentou-se imagens de satélite das áreas potenciais, bem como a análise de titularidade do terreno, proximidade do manancial de abastecimento público e presença de residências isoladas, com o objetivo de estabelecer as áreas mais aptas para o desenvolvimento do projeto. Ressalta-se que a proximidade com o manancial e a presença de residências isoladas são critérios estabelecidos pela Resolução CEMA n° 94 (PARANÁ, 2014), enquanto o número de proprietários dos terrenos trata-se de uma análise para verificar a facilidade de aquisição e a eventual morosidade envolvida no processo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Projeção populacional

Na Tabela 7 apresenta-se as estimativas populacionais, conforme o método aritmético e geométrico, para os três municípios estudados.

Tabela 7 - Projeção populacional para Centenário do Sul

Ano	Centenário do Sul		Florestópolis		Porecatu	
	Aritmética	Geométrica	Aritmética	Geométrica	Aritmética	Geométrica
2023	9189	9555	10718	10745	12296	12567
2024	9035	9440	10679	10709	12150	12450
2025	8882	9326	10640	10673	12004	12335
2026	8728	9213	10601	10637	11859	12220
2027	8574	9102	10562	10602	11713	12107
2028	8420	8992	10524	10567	11567	11994
2029	8266	8883	10485	10531	11422	11883
2030	8112	8776	10446	10496	11276	11772
2031	7958	8670	10407	10461	11130	11663
2032	7804	8565	10368	10426	10985	11554
2033	7650	8462	10330	10391	10839	11447
2034	7496	8360	10291	10357	10693	11341
2035	7343	8259	10252	10322	10548	11235
2036	7189	8159	10213	10288	10402	11131
2037	7035	8060	10174	10253	10256	11027

Fonte: Elaborado pelo autor

O município com a maior população é Porecatu, seguido por Florestópolis e, por último, Centenário do Sul. Nota-se, na Tabela 7, que houve decréscimo das populações durante o período projetado para a vida útil do aterro, 2023 a 2037, o que está em concordância com as estimativas do IBGE, visto que, em 2017, por exemplo, quase um quarto dos municípios brasileiros apresentaram redução populacional, sendo que a taxa de crescimento de mais de metade foi inferior a 1% (IBGE, 2017). Izabel Marri, gerente de Estimativas e Projeção de População do IBGE (IBGE, 2017), explica que há uma tendência de deslocamento dos habitantes de municípios menores para cidades maiores, com o objetivo de conseguirem melhores condições de vida, o que provoca uma reorganização populacional. Observa-se, também, que para todos os municípios a Projeção Geométrica apresenta resultados mais otimistas (menor diminuição da população), sendo esse um dos critérios para a escolha deste método.

Em um estudo realizado por Brito (2006) evidencia-se que essa reorganização populacional é algo histórico. Em 1970, pouco mais da metade da população brasileira

residia em cidades com mais de cem mil habitantes, e em 2000 o percentual de habitantes nessas cidades já chegava a 60% (BRITO, 2006).

Por fim, ressalta-se que somando as populações dos municípios estudados, o aterro sanitário consorciado atenderia de 32.867 em 2023 a 29.340 habitantes em 2037.

5.2 Dimensionamento do aterro sanitário

A partir das planilhas de cálculo apresentadas no tópico 4.2.3, foi possível estimar o volume de resíduos compactados mais a camada de cobertura de solo para cada município, conforme a hipótese “real” e “ideal”, resultando em seis planilhas (APÊNDICE A). Os volumes das trincheiras de cada município, calculados por meio das planilhas, foram somados, obtendo-se assim o volume total do aterro sanitário a ser construído (Tabelas 8 e 9).

Tabela 8 - Somatório dos dimensionamentos da hipótese “real”

Ano	População (hab) ¹	Coleta Regular (%) ²	Pop. Coleta Regular (hab) ³	Coleta Seletiva (%) ⁴	Pop Coleta Seletiva (hab) ⁵	Geração Coleta Seletiva (kg/dia) ⁶	Geração Coleta Regular (kg/ano) ⁷	Total de resíduos por dia (kg/dia)	Total de resíduos por ano (kg/ano)	Volume compactado de resíduos por dia (m ³ /dia) ⁸	Volume compactado de resíduos por ano (m ³ /ano)	Volume de resíduos + cobertura de 20% (m ³ /dia) ⁹	Volume de resíduos + cobertura de 20% (m ³ /ano)
2037	29.341,29	100,00%	293,41	96,10%	28.196,98	5.176,74	1.490,28	6.667,03	2.433.464,84	12,12	4.424,48	14,55	5.309,38
2036	29.577,59	100,00%	295,78	94,80%	28.039,56	5.150,03	2.003,90	7.153,93	2.611.184,41	13,01	4.747,61	15,61	5.697,13
2035	29.816,19	100,00%	298,16	93,50%	27.878,14	5.122,56	2.526,16	7.648,72	2.791.783,87	13,91	5.075,97	16,69	6.091,16
2034	30.057,10	100,00%	300,57	92,20%	27.712,65	5.094,33	3.057,20	8.151,52	2.975.306,38	14,82	5.409,65	17,79	6.491,58
2033	30.300,35	100,00%	303,00	90,90%	27.543,02	5.065,31	3.597,14	8.662,45	3.161.795,72	15,75	5.748,72	18,90	6.898,46
2032	30.545,96	100,00%	305,46	89,60%	27.369,18	5.035,51	4.146,13	9.181,63	3.351.296,29	16,69	6.093,27	20,03	7.311,92
2031	30.793,96	98,58%	303,55	88,30%	27.191,07	5.004,89	4.131,34	9.136,23	3.334.723,13	16,61	6.063,13	19,93	7.275,76
2030	31.044,37	97,15%	301,60	87,00%	27.008,60	4.973,46	4.116,05	9.089,50	3.317.668,00	16,53	6.032,12	19,83	7.238,55
2029	31.297,23	95,73%	299,59	85,70%	26.821,72	4.941,18	4.100,25	9.041,43	3.300.122,23	16,44	6.000,22	19,73	7.200,27
2028	31.552,54	94,30%	297,54	84,40%	26.630,35	4.908,06	4.083,93	8.991,99	3.282.077,04	16,35	5.967,41	19,62	7.160,90
2027	31.810,35	94,03%	299,10	83,10%	26.434,40	4.874,07	4.545,57	9.419,64	3.438.169,24	17,13	6.251,22	20,55	7.501,46
2026	32.070,68	93,75%	300,66	81,80%	26.233,81	4.839,19	5.014,93	9.854,13	3.596.756,75	17,92	6.539,56	21,50	7.847,47
2025	32.333,55	93,48%	302,24	80,50%	26.028,51	4.803,43	5.492,13	10.295,55	3.757.876,75	18,72	6.832,50	22,46	8.199,00
2024	32.598,99	93,20%	303,82	79,20%	25.818,40	4.766,74	5.977,27	10.744,02	3.921.566,98	19,53	7.130,12	23,44	8.556,15
2023	32.867,03	92,78%	304,92	77,90%	25.603,41	4.729,13	6.405,90	11.135,03	4.064.287,68	20,25	7.389,61	24,29	8.867,54
Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	107.646,72

Nota₁: Projeção populacional geométrica utilizando dados do IBGE.

Nota₂: Estimativa do percentual da população atendida pela coleta regular, conforme a Meta 3 do PLANARES (BRASIL, 2022a).

Nota₃: População atendida pela coleta regular.

Nota₄: Estimativa do percentual da população atendida pela coleta seletiva, conforme a Meta 5 do PLANARES (BRASIL, 2022a).

Nota₅: População atendida pela coleta seletiva.

Nota₆: Geração de rejeito da população atendida pela coleta seletiva, considerando a geração per capita de resíduos de cada município (SNIS, 2019) e a análise gravimétrica realizada pela ABRELPE (2020).

Nota₇: Geração de RSU da população atendida pela coleta regular considerando a geração per capita de resíduos de cada município (SNIS, 2019).

Nota₈: Volume compactado de resíduo por dia, considerando um coeficiente de compactação de 550 kg m⁻³.

Nota₉: Volume de resíduo compactado por dia somado à uma taxa de 20% de cobertura com solo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 9 - Somatório dos dimensionamentos da hipótese “ideal”

Ano	População (hab) ₁	População atendida (%)	População geradora (hab)	Geração per capita (kg/hab. dia) ²	Total de resíduos por dia (kg/dia)	Total de resíduos por ano (kg/ano)	Volume compactado de resíduos ³ (m ³ /dia)	Volume compactado de resíduos (m ³ /ano)	Volume de resíduos + cobertura de 20% (m ³ /dia)	Volume de resíduos + cobertura de 20% (m ³ /ano)
2037	29.341,29	100%	29.341,29	0,57	5.387,95	1.966.601,61	7,70	2.809,43	9,24	3.371,32
2036	29.577,59	100%	29.577,59	0,57	5.433,66	1.983.284,60	7,76	2.833,26	9,31	3.399,92
2035	29.816,19	100%	29.816,19	0,57	5.479,83	2.000.137,53	7,83	2.857,34	9,39	3.428,81
2034	30.057,10	100%	30.057,10	0,57	5.526,47	2.017.162,30	7,89	2.881,66	9,47	3.457,99
2033	30.300,35	100%	30.300,35	0,57	5.573,59	2.034.360,79	7,96	2.906,23	9,55	3.487,48
2032	30.545,96	100%	30.545,96	0,57	5.621,19	2.051.734,93	8,03	2.931,05	9,64	3.517,26
2031	30.793,96	100%	30.793,96	0,57	5.669,28	2.069.286,65	8,10	2.956,12	9,72	3.547,35
2030	31.044,37	100%	31.044,37	0,57	5.717,86	2.087.017,92	8,17	2.981,45	9,80	3.577,74
2029	31.297,23	100%	31.297,23	0,57	5.766,93	2.104.930,72	8,24	3.007,04	9,89	3.608,45
2028	31.552,54	100%	31.552,54	0,57	5.816,51	2.123.027,07	8,31	3.032,90	9,97	3.639,47
2027	31.810,35	100%	31.810,35	0,57	5.866,60	2.141.308,99	8,38	3.059,01	10,06	3.670,82
2026	32.070,68	100%	32.070,68	0,57	5.917,20	2.159.778,54	8,45	3.085,40	10,14	3.702,48
2025	32.333,55	100%	32.333,55	0,57	5.968,32	2.178.437,80	8,53	3.112,05	10,23	3.734,46
2024	32.598,99	100%	32.598,99	0,57	6.019,97	2.197.288,87	8,60	3.138,98	10,32	3.766,78
2023	32.867,03	100%	32.867,03	0,57	6.072,15	2.216.333,87	8,67	3.166,19	10,41	3.799,43
Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53.709,76

Nota₁: Projeção populacional geométrica utilizando dados do IBGE.

Nota₂: Geração per capita de rejeito conforme dados do SNIS (2019) e composição gravimétrica da ABRELPE (2020).

Nota₃: Volume compactado de resíduo por dia, considerando um coeficiente de compactação de 700 kg m⁻³.

Fonte: Elaborado pelo autor

O município com maior geração per capita de RSU é Centenário do Sul com 1,85 kg hab.dia⁻¹, seguido de Florestópolis com 1,24 kg hab.dia⁻¹ e, por último, Porecatu com 0,96 kg hab.dia⁻¹ (SNIS, 2019). Essa diferença na geração per capita de resíduos, aliada a quantidade de habitantes, gera uma diferente contribuição de cada município para o dimensionamento do aterro sanitário (Tabela 10).

Tabela 10 - Percentual de contribuição de cada município com o aterro sanitário

Município	Volume de resíduo e camada de solo (m³)	Percentual de contribuição com o volume final do aterro sanitário
Centenário do Sul	21.515,60	40,06%
Florestópolis	17.226,03	32,07%
Porecatu	14.968,13	27,87%
Total	53.709,76	100,00%

Fonte: Elaborado pelo autor

Nota-se que Centenário do Sul mesmo apresentando a menor estimativa populacional, é a cidade com maior contribuição para o volume final do aterro sanitário. Já Porecatu, possui a menor participação, mesmo possuindo a maior população. Essa afirmação reforça que existem outros fatores, além do número de habitantes, que influenciam na geração de RSU, como fatores socioeconômicos, escolaridade, desemprego, aspectos culturais, hábitos de vida, entre outros, como apresentado no tópico 3.1. Sendo assim, com o objetivo de diminuir a geração de resíduos e a quantidade encaminhada ao aterro sanitário, deve-se priorizar as diretrizes da PNRS (2010, p.3) de não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Comparando o dimensionamento do aterro para as duas hipóteses, nota-se que o aterro sanitário para hipótese “real” ocuparia um volume final de 107.646 m³, com uma geração de 49.338 t de RSU em 15 anos. Em comparação, o aterro sanitário para hipótese “ideal” comportaria 53.709 m³, com uma geração de 31.331 t de RSU.

Observa-se também que a situação “ideal” é cerca de duas vezes menos volumosa que a hipótese “real”. Além disso, a geração de RSU seria 1,57 vezes menor no período de projeção do aterro.

É evidente que ambas as possibilidades levam em consideração critérios diferentes. Entretanto, os fatores mais impactantes para esse resultado são a coleta seletiva e a melhor compactação dos resíduos.

De acordo com a ABRELPE (2020), o percentual de rejeitos corresponde a apenas 14,1% da composição gravimétrica dos RSU no Brasil, enquanto os outros 85,9% estão divididos em 45,3% de matéria orgânica e 40,6% de resíduos recicláveis. Portanto, é perceptível o quanto a coleta seletiva e a compostagem contribuiriam com o aumento da vida útil do aterro sanitário ou com um menor volume necessário para atender os municípios estudados.

Lima et al. (2022) demonstraram, em uma análise econômica sobre o planejamento estratégico do sistema integrado de resíduos sólidos urbanos de Campo Grande (MS), que o investimento na melhoria da eficiência da coleta seletiva, triagem dos resíduos recicláveis e compostagem são mais viáveis e lucrativos ao município, do que a recuperação energética no aterro sanitário. Tal estratégia reduziria a massa de resíduos recicláveis aterrada e prolongaria a vida útil do aterro, minimizando impactos no meio ambiente e auxiliando Campo Grande a cumprir as diretrizes da PNRS (BRASIL, 2010).

A compactação dos RSU é outro fator que impactou nas diferenças entre as hipóteses. Catapreta (2008) avaliou os procedimentos operacionais durante a execução de um aterro sanitário experimental e constatou que a compactação dos RSU proporciona a diminuição do volume do aterro, além de promover maior estabilidade. A partir de uma boa compactação ocorre o aumento da vida útil do aterro, diminui-se a vazão de lixiviados, melhora-se os aspectos estéticos e diminui-se a movimentação de gases (CATAPRETA, 2008).

Além do volume e da quantidade de RSU gerada, outra diferença impactante entre as hipóteses é a área necessária para implementação do aterro sanitário. Dimensionou-se as trincheiras necessárias para atender os municípios estudados, considerando o ano de maior volume. Sendo assim, a partir da Equação 6, as trincheiras foram calculadas com os seguintes parâmetros (Tabela 11):

Tabela 11 - Demonstração do cálculo das dimensões das trincheiras

Variáveis ¹	Hipótese "real"	Hipótese "ideal"
h (m)	3,00	3,00
B1 (m)	68,00	53,00
B2 (m)*	59,00	38,00
b1 (m)	50,00	35,00
b2 (m)	41,00	20,00
(AB*Ab) ^{1/2} (m ²)	2.867,86	1.187,35
AB (m ²)	4.012,00	2.014,00
Ab (m ²)	2.050,00	700,00

Nota₁: Considerando o ano de maior geração de resíduos, 2023.

Fonte: Elaborado pelo autor

Utilizou-se parâmetro "AB", que representa a área superficial das trincheiras, para calcular a área total necessária, de acordo com cada hipótese (Tabela 12).

Tabela 12 - Comparação entre a dimensão das trincheiras

Parâmetros	Hipótese "real"	Hipótese "ideal"
Volume da trincheira (m ³)	8.929,86	3.901,35
Quantidade de trincheiras	13	14
Área ocupada pelas trincheiras (m ²)	52.156	28.196

Fonte: Elaborado pelo autor

Observa-se que a área necessária para a hipótese "ideal" (28.196 m²) é cerca de 1,85 vezes menor que a "real" (52.156 m²). Isso impacta diretamente na complexidade para a escolha da área potencial, no investimento necessário e nos impactos ambientais.

Batista, Moda e Dal Bosco (2018) dimensionaram um aterro sanitário para 15 anos e cerca de 30.641 habitantes. Neste estudo a área de superfície de todas as trincheiras foi de 52.500 m², onde a geração de resíduos esteve mais próxima do cenário "real" de estimativa, visto que as autoras consideraram a geração per capita e peso específico dos resíduos propostos por Monteiro (2001), 0,5 kg hab.dia⁻¹ e 230 kg m⁻³, respectivamente. Sendo assim, comparando os resultados de Batista, Moda e Dal Bosco (2018), a área ocupada pelas trincheiras foi apenas 0,66% maior do que a hipótese "real". Em relação à "ideal" houve grande diferença, cerca de 86,20% maior, devido esta hipótese considerar apenas a disposição final de rejeitos e um melhor coeficiente de compactação.

Santos (2019) projetou um aterro para uma população de 34.558 habitantes para 4 anos. A área ocupada por todas as trincheiras foi de 38.610 m², 37%% maior que o estudo em questão.

Essas informações destacam a variabilidade no dimensionamento de aterros sanitários, principalmente em relação à geração per capita abordada e estimativas do percentual de população atendida, presença de coleta seletiva, entre outros fatores.

Por conta da legislação ambiental vigente, a hipótese escolhida para seguir com a seleção de áreas potenciais foi a “ideal”. Nesse sentido, cada trincheira (dimensionada a partir dos dados do ano de maior geração) possui um tempo determinado para seu preenchimento. Na Tabela 13 é possível observar a quantidade de dias necessários para completar cada trincheira. Ressalta-se que a numeração das trincheiras segue da primeira à última construída.

Tabela 13 - Tempo (dias) de preenchimento de cada trincheira para hipótese “ideal”

Trincheira	Tempo (dias)
1	375
2	378
3	382
4	385
5	389
6	392
7	396
8	400
9	403
10	407
11	411
12	415
13	419
14	324

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota-se que o tempo para preenchimento aumenta com os anos, visto que os municípios apresentam características de decréscimo populacional, ou seja, a cada ano há menos habitantes, portanto, menor geração de RSU. Destaca-se que a última célula não ficaria completamente preenchida depois de 324 dias e ainda sobraria aproximadamente 909 m³ disponíveis.

Conforme mencionado anteriormente, projetou-se a trincheira para atender o maior ano de geração, depois replicou-se essa trincheira para atender a disposição de resíduos durante os 15 anos do aterro sanitário. Dessa forma as trincheiras não são preenchidas em 365 dias, havendo um percentual de preenchimento em cada ano (Tabela 14).

Tabela 14 - Contribuição de cada ano para cada trincheira (%)

Ano	T1 ¹	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14
2023	97%													
2024	3%	94%												
2025		6%	90%											
2026			10%	84%										
2027				16%	79%									
2028					21%	72%								
2029						28%	64%							
2030							36%	56%						
2031								44%						
2032									47%					
2033									53%	37%				
2034										63%	26%			
2035											74%	15%	3%	
2036												85%	87%	
2037													10%	77%

Nota₁: Onde "T" corresponde a Trincheira.

Fonte: Elaborado pelo autor

Nota-se que apenas a trincheira 13 teve contribuição de três anos, enquanto as demais dois anos. Por exemplo, a trincheira 4 foi preenchida durante os anos de 2026 e 2027; já a trincheira 13 em 2035, 2036 e 2037, conforme as respectivas porcentagens.

A partir das informações apresentadas é possível iniciar o processamento dos dados georreferenciados para a seleção de áreas potenciais para implementação do aterro sanitário consorciado.

6.1 Seleção de áreas potenciais

6.1.1 Pré-processamento

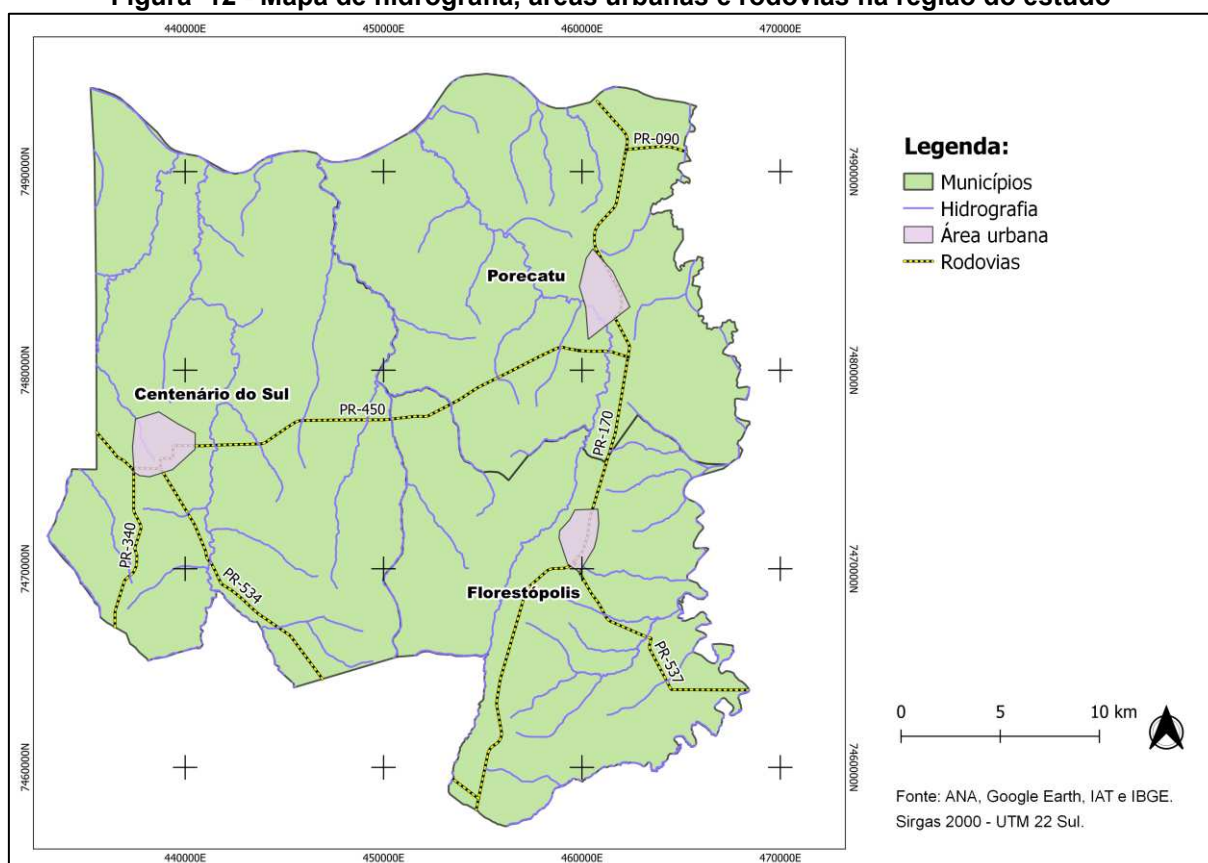
A análise levou em consideração cinco critérios para a seleção de áreas potenciais: distância de corpos hídricos, de rodovias, de áreas urbanas, profundidade do lençol freático e declividade.

As áreas urbanas foram obtidas por meio da sobreposição da região estudada e imagens de satélite do Google Earth (Figura 12).

Em relação às rodovias da região, estão presentes a PR-090, PR-170, PR-340, PR-450, PR-534 e PR-537 (Figura 12). Esse é um critério fundamental para a seleção das áreas potenciais, visto que afetam diretamente a logística da coleta de RSU e os custos com transporte.

No que se refere à hidrografia, a região apresenta vários cursos d'água (Figura 12), todos integrantes da Bacia do Rio Paranapanema, mais especificamente no Pontal do Paranapanema (CBH, 2022). A quantidade de corpos hídricos na região impacta na complicação da escolha de áreas, uma vez que a distância mínima permitida é 200 metros (PARANÁ, 2014).

Figura 12 - Mapa de hidrografia, áreas urbanas e rodovias na região do estudo



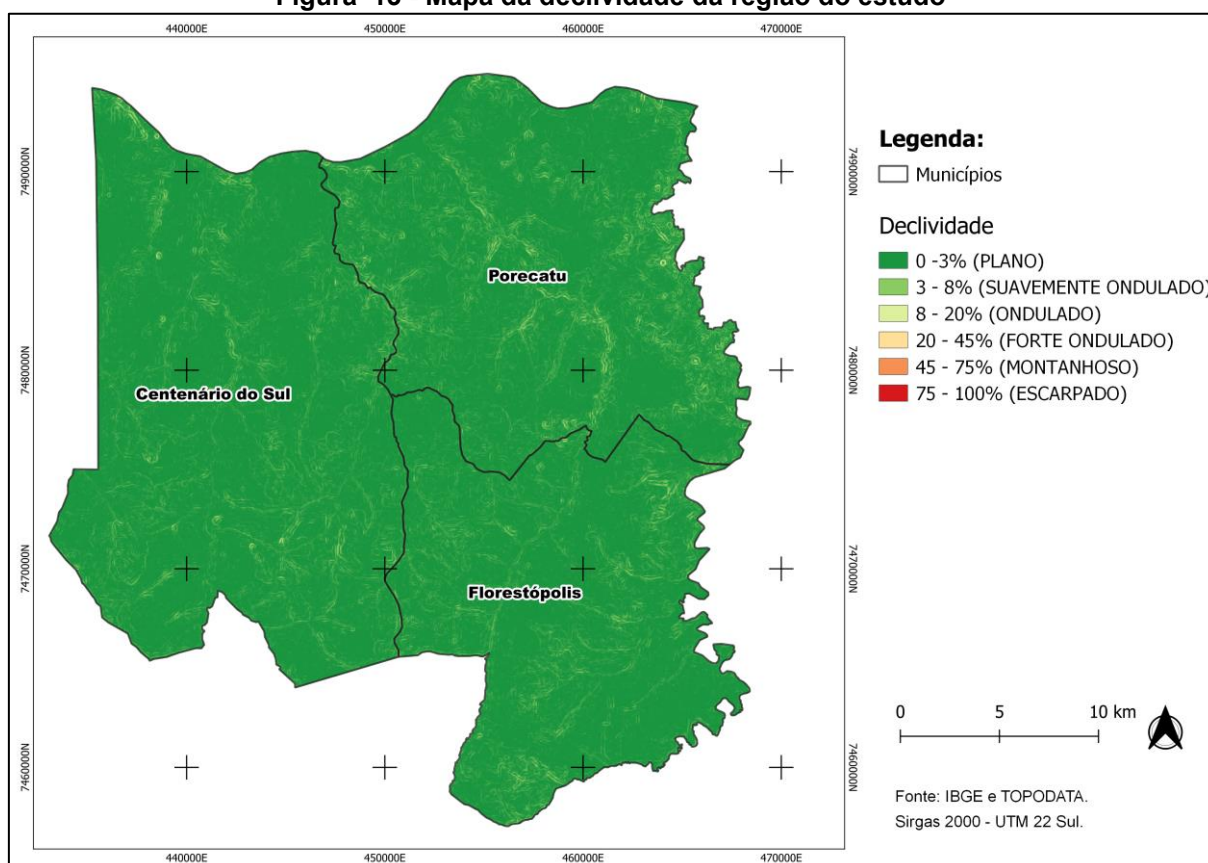
Fonte: Elaborado pelo autor.

O mapa da declividade da região (Figura 13) demonstra que a região de estudo é predominantemente plana (0 a 3%), com poucos trechos de declividade suavemente ondulada (3 a 8%) ou ondulado (8 a 20%) (EMBRAPA, 2018). Segundo a NBR 13.896 (ABNT, 1997) a topografia é determinante para a escolha do método construtivo do aterro sanitário, sendo recomendado declividade entre 1 e 30%.

Entende-se, portanto, que toda a região estudada se enquadra nos critérios da referida NBR.

É importante destacar que o mapa de declividade foi gerado a partir do Modelo Digital de Elevação SRTM, produzido no ano de 2000 a partir de dados de satélite, com resolução espacial de 30 m. Devido a essas características do dado, há certas limitações inerentes à forma de aquisição e detalhamento que podem não representar a realidade de campo, sendo importante complementar essa informação em trabalhos posteriores com dados mais refinados e com levantamentos in loco para confirmar se a declividade de fato se apresenta conforme o modelo SRTM.

Figura 13 - Mapa da declividade da região do estudo



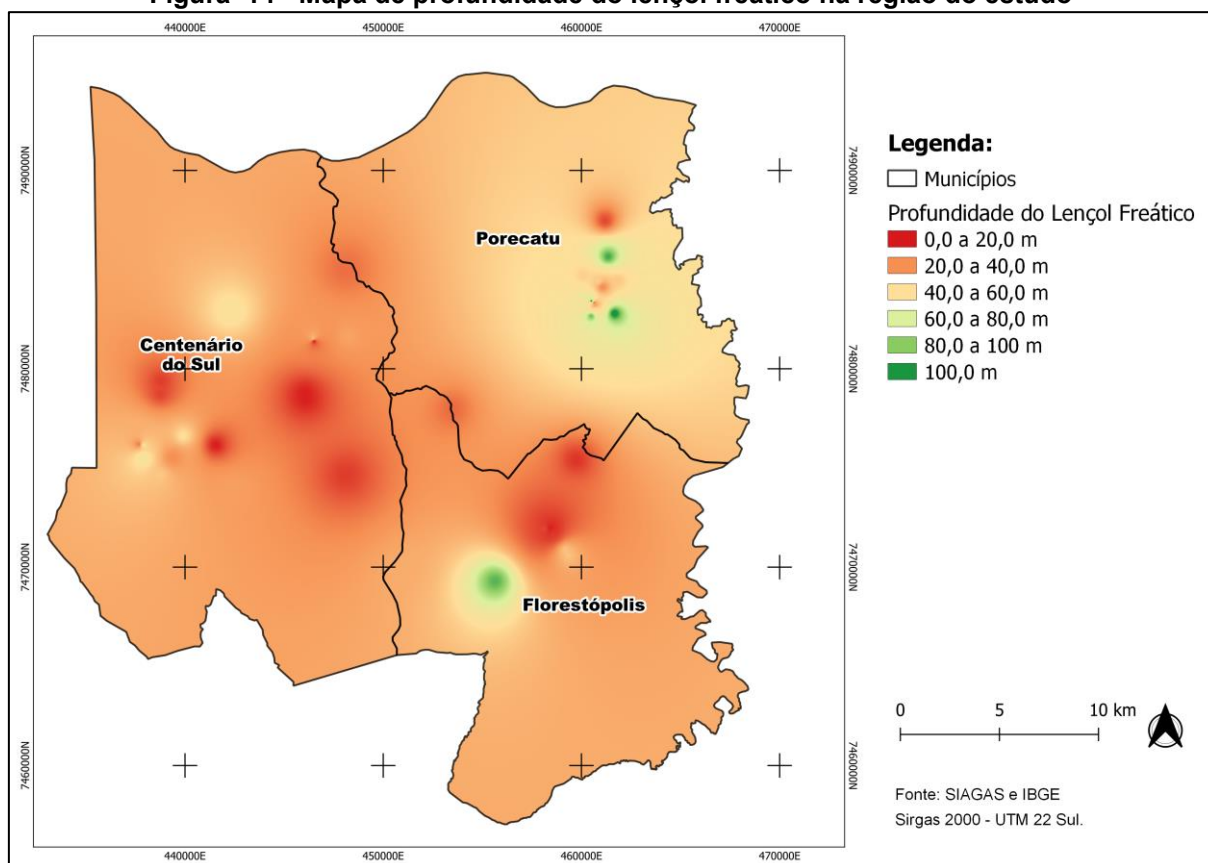
Fonte: Elaborado pelo autor.

Obteve-se, a partir de dados matriciais, um mapa com intervalos conforme a profundidade do lençol freático da área de estudo (Figura 14), elaborado a partir dos dados disponíveis no SIAGAS. O SIAGAS é o sistema de informações de águas subterrâneas do Brasil, que é constituído por uma base de dados atualizada permanentemente de informações hidrogeológica georreferenciadas. Neste sistema é possível obter, por exemplo, dados do nível estático e dinâmico da água em diversos

poços cadastrados. Essas informações são fornecidas pelos órgãos gestores de recursos hídricos, pelo cadastramento e projetos desenvolvidos pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), e por empresas privadas. Para esse mapa, utilizou-se no *Software* QGIS a interpolação pelo inverso do quadrado da distância (IDW).

Nota-se que a profundidade predominante é de 20 e 40 metros, mas pode-se encontrar regiões com 5 ou 50 metros de profundidade. A NBR 13.896 (ABNT, 1997) estabelece que entre o fundo da trincheira mais baixa do aterro e o nível de lençol freático mais alto, deve haver uma distância mínima de 1,5 m. Samizava (2008) considerou o nível d'água subterrânea menor que 5 m como regiões inaptas para implementação de aterros sanitários.

Figura 14 - Mapa de profundidade do lençol freático na região do estudo



Fonte: Elaborado pelo autor.

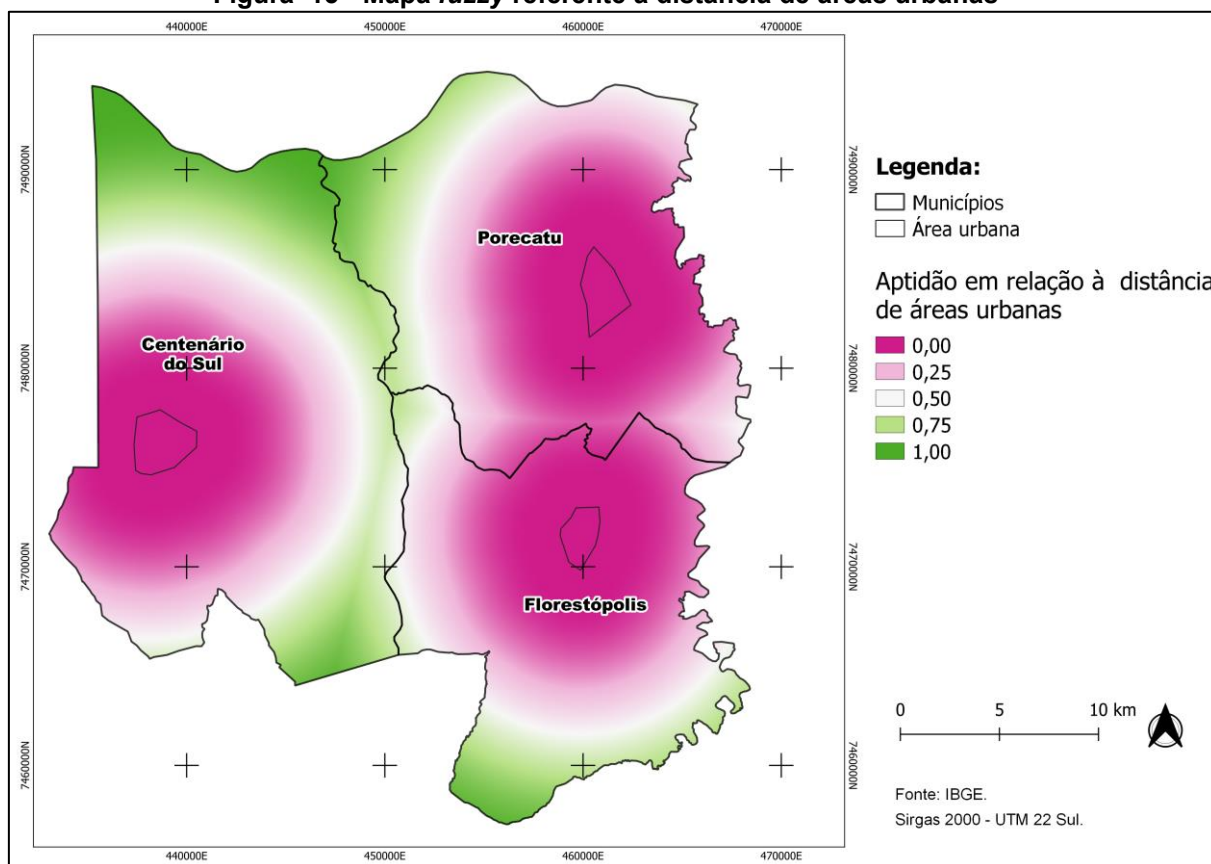
Depois do desenvolvimento de todos os mapas apresentados neste tópico, pôde-se realizar análises de proximidade para os critérios de distância de áreas urbanas, distância de rodovias e distância de cursos d'água.

6.1.2 Mapas *fuzzy*

Elaborou-se mapas aplicando a modelagem *fuzzy*, utilizando as funções sigmoidais crescente, decrescente e simétrica, apontado por Eastman (2001). Sendo assim, gerou-se cinco mapas *fuzzy*, os quais apresentam o potencial de aptidão da área de estudo para a implementação de um aterro sanitário de acordo com cada critério.

Demonstra-se, na Figura 15, a aptidão em relação à distância das áreas urbanas dos municípios de Centenário do Sul, Porecatu e Florestópolis. Percebe-se que a região de maior aptidão se encontra na divisa entre os três municípios, visto que, de acordo com a Resolução CEMA n° 94 de 2014 (PARANÁ, 2014), o aterro sanitário deve respeitar a distância mínima de 1.500 m dos núcleos populacionais, ou seja, as regiões dentro deste limite apresentaram aptidão nula.

Figura 15 - Mapa *fuzzy* referente à distância de áreas urbanas⁴

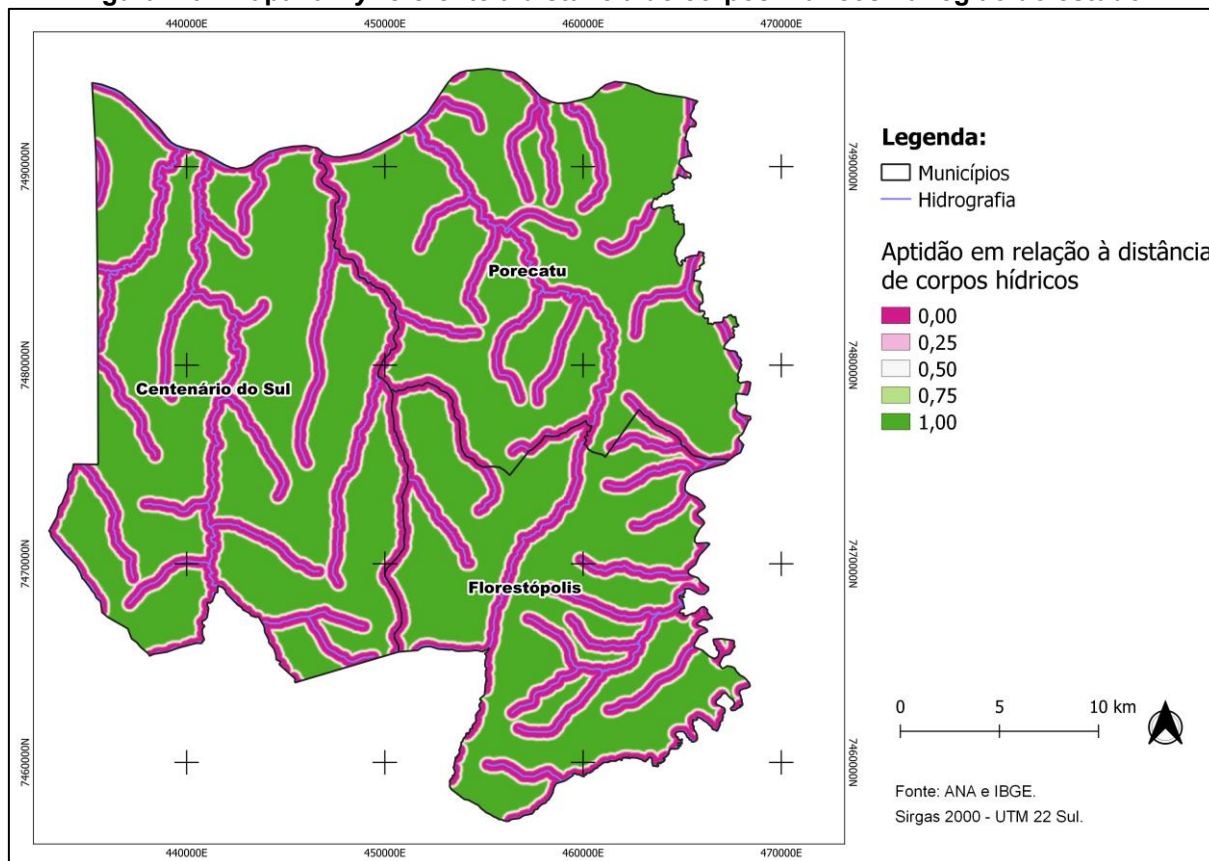


Fonte: Elaborado pelo autor.

⁴ Aptidão 0 corresponde à aptidão nula, ou seja, são áreas que não atendem aos critérios estabelecidos (pontos de controle).

No que se refere à distância de corpos hídricos (Figura 16) todas as regiões com menos de 200 m de distância de cursos d'água são consideradas inaptas (PARANÁ, 2014). Evidencia-se como este critério é um fator limitante para a escolha de áreas potenciais, devido à hidrografia da região. Mesmo assim, existem áreas com potencial de aptidão máximo.

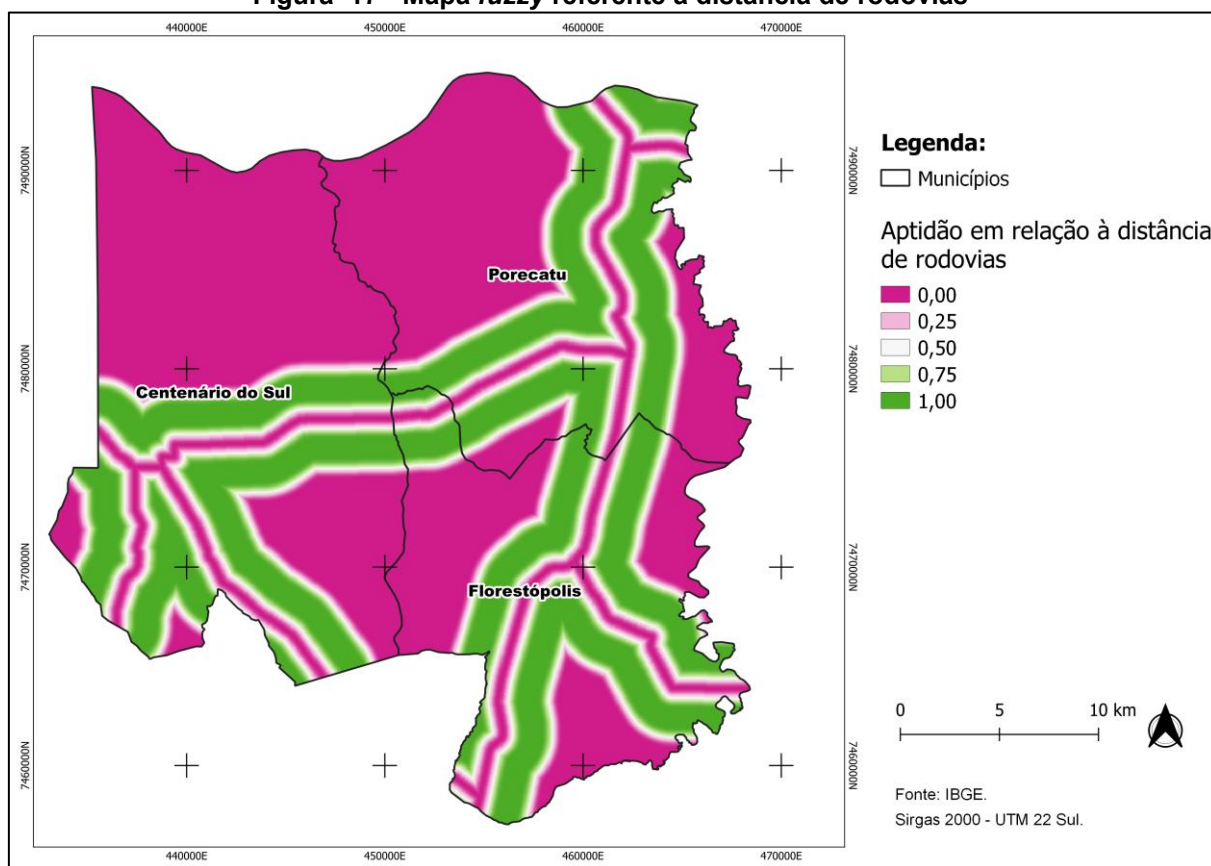
Figura 16 - Mapa fuzzy referente à distância de corpos hídricos na região do estudo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao contrário do critério anterior, o potencial de aptidão em relação à distância de rodovias se dá pela proximidade e não pela distância, ou seja, os valores com maior aptidão (valores próximos de 1) são os mais próximos das rodovias, enquanto a menor aptidão está mais distante (Figura 17). O município mais afetado por essa análise foi Florestópolis, visto que possui a menor área entre os três municípios.

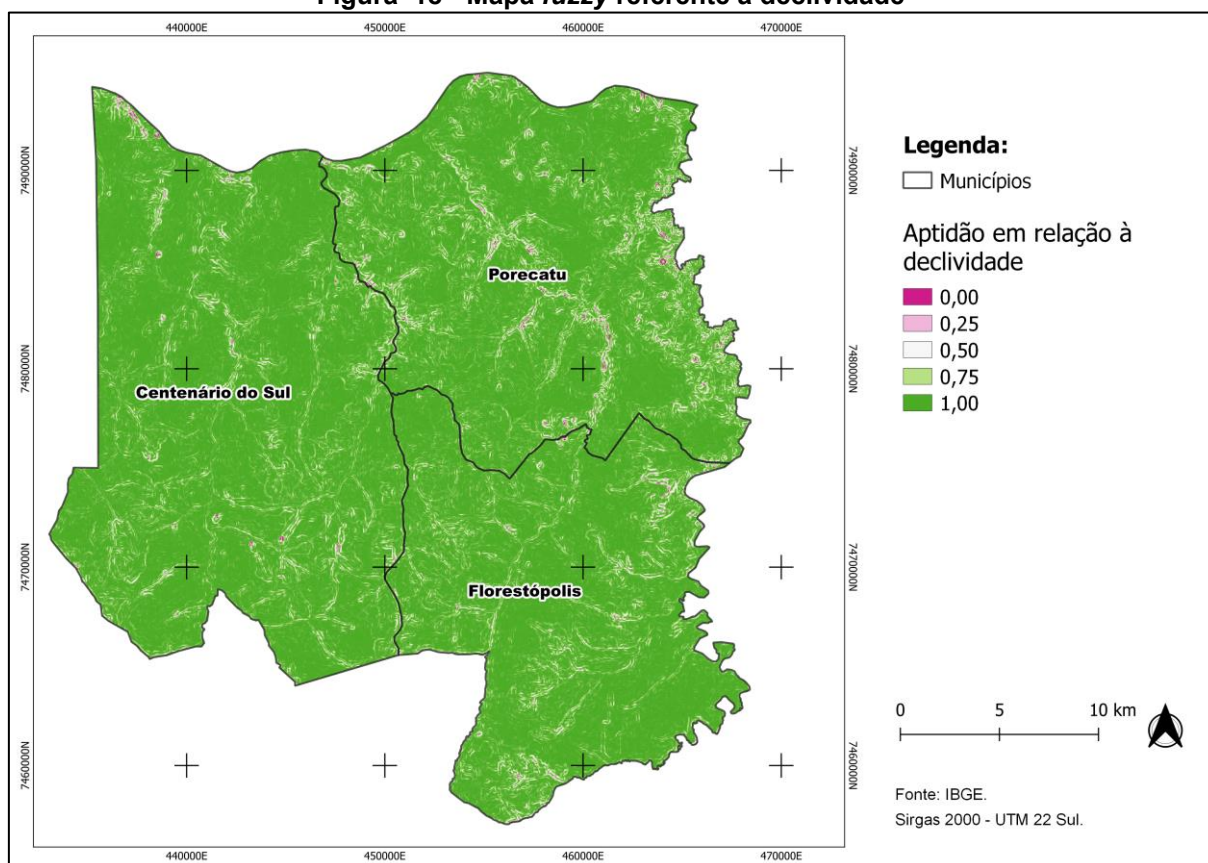
Figura 17 - Mapa fuzzy referente à distância de rodovias



Fonte: Elaborado pelo autor.

A declividade foi o critério com o menor número de áreas com potencial de aptidão nulo (Figura 18), pois como explicitado no tópico 6.1.1, a região é predominantemente plana, com declividade entre 0 e 3%. Sendo assim, a maior parte da região possui aptidão entre 0,75 e 1,0.

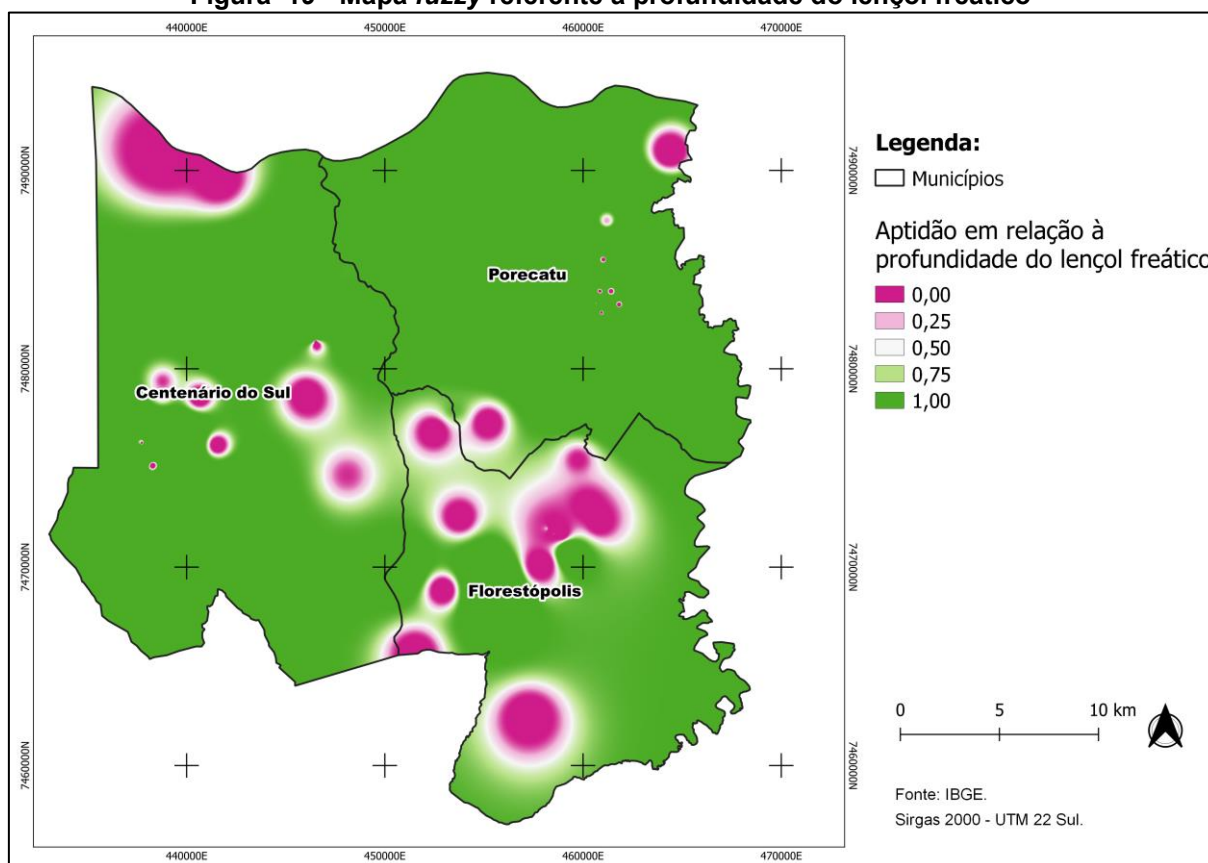
Figura 18 - Mapa fuzzy referente à declividade



Fonte: Elaborado pelo autor.

O critério de profundidade do lençol freático apresentou potencial máximo em grande parte dos municípios, apenas em pontos específicos (onde há registo do nível estático da água mais raso) há áreas inaptas em relação a esse critério (Figura 19). Porecatu foi o município que apresentou maior área com aptidão máxima na região.

Figura 19 - Mapa *fuzzy* referente à profundidade do lençol freático



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a apresentação de todos os mapas *fuzzy*, fica claro o potencial de aptidão da região de estudo em relação a cada critério avaliado. Entretanto, foi necessário estabelecer pesos conforme cada variável, para elaborar um mapa que apresente o potencial de aptidão final da região, considerando todos os critérios simultaneamente. Assim, mesmo que em um mapa *fuzzy* exista uma região considerada inapta por um dos critérios, essa região ainda pode ser utilizada para implementação de um aterro sanitário (desde que dentro dos parâmetros estabelecidos pela legislação ambiental), em virtude do grau de importância relativa de cada critério, haja vista que existem critérios mais e menos importantes para a instalação de um aterro sanitário. Para atender a essa necessidade utilizou-se do Processo Analítico Hierárquico (AHP).

6.1.3 Analytic Hierarchy Process

Iniciou-se o AHP, método desenvolvido por Saaty (1990), pela determinação da matriz de comparação. Neste caso, a matriz utilizada foi a mesma utilizada por

Samizava et al. (2008), retirando apenas os critérios divergentes e permanecendo os semelhantes (Tabela 15).

Tabela 15 - Matriz de comparação pareada das variáveis

	Prof. Nível d'água	Declividade	Dist. Cursos d'água	Dist. Rede Viária	Dist. Área urbana
Profundidade do Lençol Freático	1				
Declividade	1	1			
Dist. Cursos d'água	1	2	1		
Dist. Rede Viária	1/4	1/4	1/4	1	
Dist. Área urbana	1/2	1/2	1/2	3	1

Fonte: Adaptado de Samizava et al. (2008, p. 52)

Após a comparação pareada dos critérios, calculou-se os autovetores associados a cada variável, ou seja, o peso de cada critério, conforme a Tabela 16.

Tabela 16 - Pesos finais de cada critério analisado

Critério	Peso
Distância de cursos d'água	0,304
Profundidade do Lençol Freático	0,262
Declividade	0,231
Distância de áreas urbanas	0,143
Distância de rodovias	0,061

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota-se que o critério com maior grau de importância é a distância de corpos hídricos, seguido pela profundidade do lençol freático, devido à matriz de comparação utilizada. Já a distância de rodovias foi o critério com menor peso.

Outros estudos semelhantes também utilizaram o método AHP para determinação de áreas potenciais para aterro sanitários. No trabalho de Andrade e Barbosa (2015), o critério de maior relevância foi a distância de núcleos populacionais, seguido da permeabilidade do solo. Weber e Hasenack (2000) obtiveram a declividade

como variável de maior peso no projeto e a distância de rodovias como critério menos importante.

Batista, Dal Bosco e Moda (2018), Calijuri et al. (2002) e Samizava et al. (2008) são estudos em que a distância de corpos hídricos também prevaleceu como critério mais relevante. Essas referências exemplificam como a matriz de comparação e os critérios escolhidos podem influenciar na decisão para seleção de áreas potenciais a partir do método AHP.

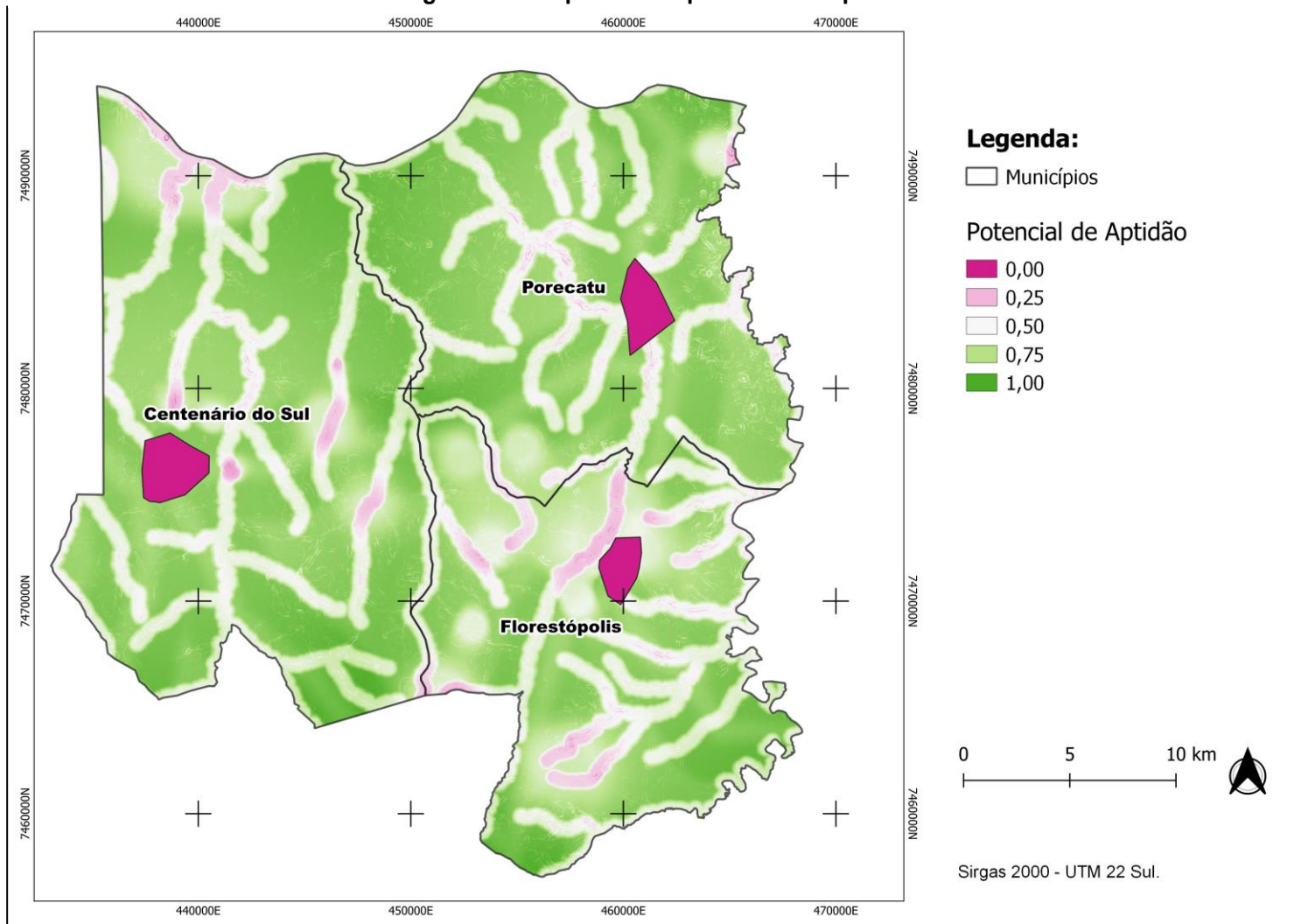
Os pesos utilizados neste estudo (Tabela 16) foram obtidos pelo Plug-in EasyAHP, no software QGIS. Para este cálculo foi utilizado o autovalor máximo da matriz de comparação ($\lambda_{\text{máx}}$) que foi de 5,083. A partir deste autovalor e dos autovetores (pesos), conferiu-se a consistência da matriz de comparação utilizada.

Saaty (1990) estabeleceu que o grau de inconsistência, *Consistency Ratio* (CR), deve assumir valores menores que 0,1. No caso da matriz apresentada (Tabela 15), alcançou-se o CR de 0,019, o que demonstra a consistência da matriz.

Por fim, o último passo foi a multiplicação de todos os mapas *fuzzy* com os pesos de cada critério, conforme a equação 9. Assim, esse processo resultou em um mapa final com síntese de todos os mapas e pesos (Figura 20).

$$\text{Mapa final} = (\text{Dist. Corpos hídros} \times 0,304) + (\text{Prof. Lençol Freático} \times 0,262) + (\text{Declividade} \times 0,231) + (\text{Dist. Áreas Urb.} \times 0,143) + (\text{Dist. Rodovias} \times 0,061) \quad (9)$$

Figura 20 - Mapa final de potencial de aptidão

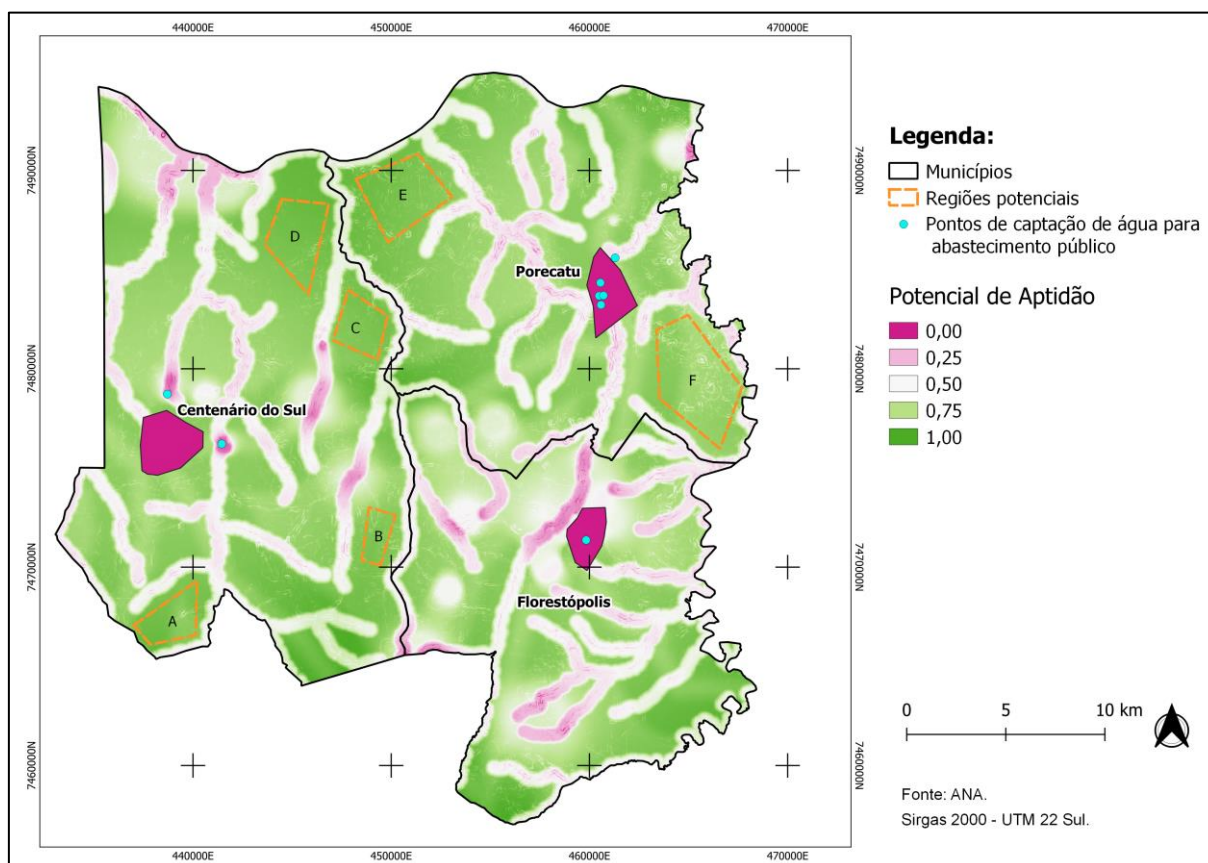


Fonte: Elaborado pelo autor.

6.1.4 Definição das áreas potenciais

A definição das áreas potenciais iniciou-se pela seleção de seis regiões, destacadas com polígonos de “A” a “F” na Figura 21, que possuem as maiores áreas e maiores potenciais de aptidão.

Figura 21 - Regiões potenciais



Fonte: Elaborado pelo autor.

Realizou-se a análise das regiões a partir de imagens de satélite (Figura 22). Observa-se, em verde claro, as propriedades rurais dos municípios, obtidas por meio do Cadastro Ambiental Rural (CAR). Está presente também a área ocupada pelas trincheiras do aterro sanitário proposto, em escala. Nota-se que todas as regiões suportariam a área utilizada pelas trincheiras. Ressalta-se que essa representação do aterro considera apenas a área de disposição de resíduos, mas um aterro sanitário necessita de espaço para funcionários, refeitório, portaria, isolamento, balança, espaço para veículo, entre outros. Mesmo assim, por se tratarem de grandes propriedades, todas as regiões estão aptas em termos de área para receber o aterro.

Em relação à titularidade, as regiões que apresentam menor número de proprietários são as regiões C e B. A quantidade de proprietários dificulta a instalação do aterro sanitário, visto que quanto mais proprietários forem envolvidos, mais terrenos precisariam ser comprados, maior o processo de desapropriação, maior a burocracia de aquisição, entre outros fatores que elevam o custo de instalação de um aterro sanitário e podem resultar em maior morosidade.

As regiões E, F e B possuem grandes parcelas de vegetação nativa. Dessa forma, caso os municípios optassem por essas regiões haveria áreas que não poderiam ser utilizadas para a instalação do aterro sanitário, ou ainda requereriam processos de autorização para a supressão da vegetação. Nota-se também, que em nenhuma das regiões há a presença de moradias isoladas.

No que diz respeito à distância dos centros populacionais, as áreas apresentam as seguintes características (Tabela 17).

Tabela 17 - Distância das áreas potenciais dos centros populacionais

Área	Distância de Centenário do Sul (km)	Distância de Florestópolis (km)	Distância de Porecatu (km)
A	8,71	21,09	27,05
B	11,81	10,87	16,90
C	11,72	15,29	12,83
D	12,60	21,44	16,56
E	17,38	19,88	11,91
F	28,55	9,94	6,30

Fonte: Elaborado pelo autor.

As áreas B e C apresentam maior equilíbrio em relação às distâncias. A área F está muito distante de Centenário do Sul, que é o município com maior geração de resíduos. Sendo assim, isso poderia inviabilizar essa área em função dos custos com o deslocamento dos resíduos.

O último parâmetro analisado foi a proximidade dos mananciais de abastecimento público. Nota-se que todas as regiões estão distantes dos mananciais,

conforme a Figura 22 e dados obtidos do SINIRH (ANA, 2022). As informações apresentadas foram compiladas, apresentando os pontos negativos e positivos de cada área. (Quadro 12).

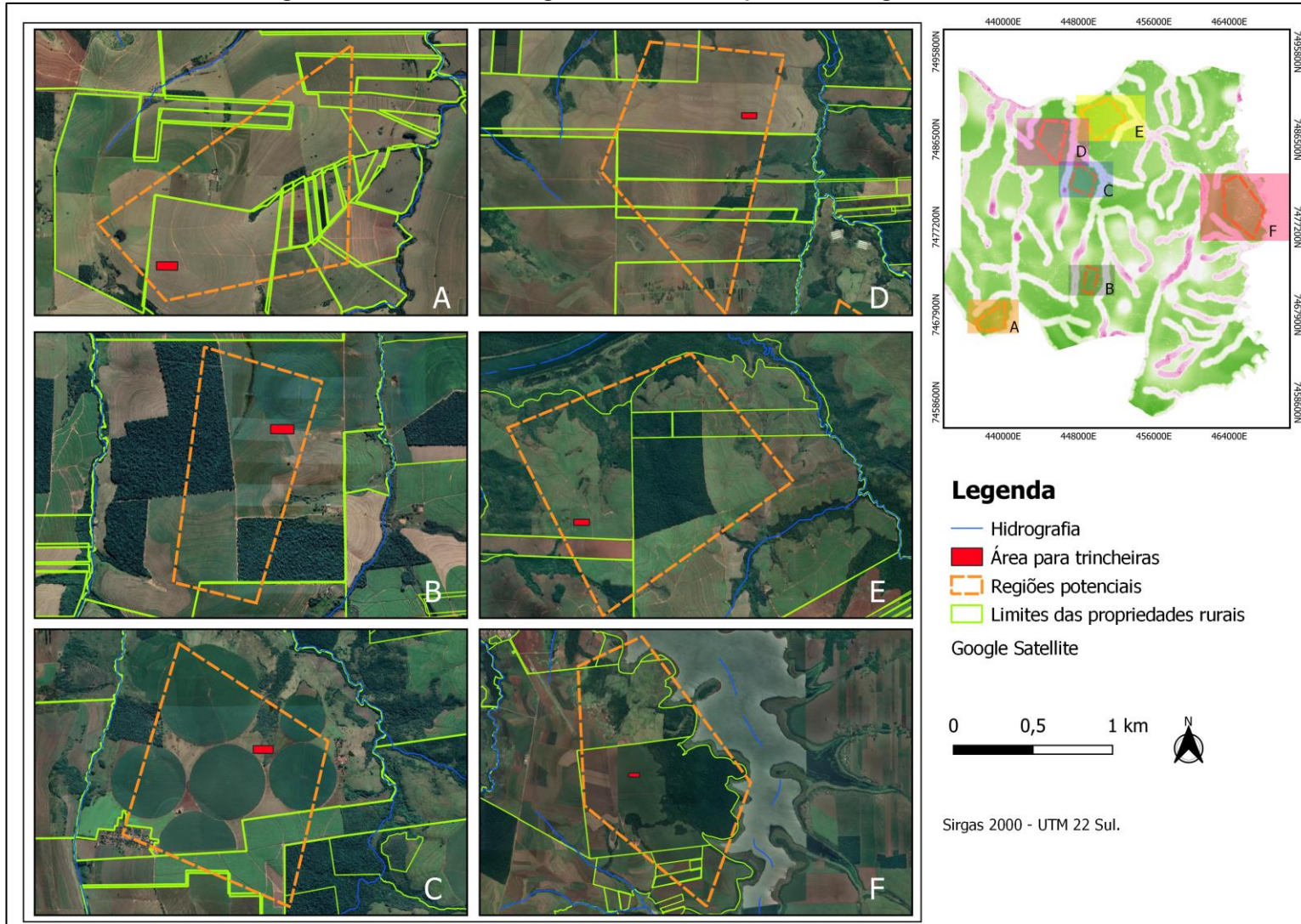
Quadro 12 - Pontos positivos e negativos das áreas selecionadas

Área	Pontos positivos	Pontos negativos
A	Ausência de vegetação e de moradias isoladas.	Distante de Florestópolis e Porecatu.
B	Baixo número de proprietários, equilíbrio entre as distâncias dos municípios e ausência de moradias isoladas.	Presença de vegetação.
C	Baixo número de proprietários, equilíbrio de distância dos municípios, ausência de vegetação e moradias isoladas.	-
D	Ausência de vegetação e moradias isoladas.	Grande número de proprietários, distante de Florestópolis.
E	Ausência de moradias isoladas.	Grande número de proprietários, presença de vegetação, distante de Centenário do Sul e Florestópolis.
F	Ausência de moradias isoladas.	Grande número de proprietários, presença de vegetação, distante de Centenário do Sul.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, em concordância com as informações apresentadas e a metodologia utilizada neste estudo, entende-se que a área com maior potencial para implantação de um aterro sanitário consorciado para os municípios de Centenário do Sul, Florestópolis e Porecatu é a área C.

Figura 22 - Análise das regiões estudadas a partir de imagens de satélite.



Fonte: Elaborado pelo autor.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No início do trabalho de pesquisa, constatou-se que os municípios de Centenário do Sul, Florestópolis e Porecatu, na região metropolitana de Londrina-PR, ainda não possuíam aterro sanitário ou outra forma de disposição final adequada para os resíduos sólidos, como estabelecido pela PNRS (BRASIL, 2010). A ausência de aterros sanitários nesses municípios pode ser justificada pelos custos envolvidos no projeto e na operação, mas também em relação à complexidade da gestão dos resíduos sólidos e escolha de áreas para sua implementação. Assim, identificou-se a necessidade de apresentar possibilidades de regularização do sistema de disposição final desses municípios e prevenir maiores contaminações ambientais.

Diante disso, este trabalho teve como objetivo geral identificar áreas potenciais para a implantação de um aterro sanitário consorciado aos municípios de Centenário do Sul, Florestópolis e Porecatu. Constatou-se que esse objetivo foi atingido, visto que o trabalho apresentou seis áreas potenciais, que atendem aos limites, exigências e orientações da Resolução CEMA n° 94 de 2014 (PARANÁ, 2014), NBR 13.896 (ABNT, 1997) e outros estudos.

Em relação aos objetivos específicos, entende-se que todos foram alcançados, uma vez que dimensionou-se a área necessária para disposição ambientalmente adequada dos RSU dos municípios, bem como fez-se uma comparação entre duas situações (real e ideal) de dimensionamento, a qual evidenciou a importância do correto gerenciamento dos resíduos para o aumento da vida útil do aterro sanitário, chegando à seleção das áreas potenciais anteriormente mencionadas.

Para isso, já era esperado que a inferência *fuzzy* e o Processo Analítico Hierárquico poderiam ser utilizados, pois por meio de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), é possível efetuar, simultaneamente, análises complexas, como a inferência *fuzzy* e o AHP, aplicando diferentes condições, de forma a integrar dados de diferentes fontes e tornar a seleção da área um processo técnico e objetivo. Durante o estudo, constatou-se que a união desses dois métodos foi capaz de gerar mapas com regiões com potencial de aptidão à implementação de um aterro sanitário.

Para chegar a essa conclusão, realizou-se o dimensionamento do aterro sanitário, depois desenvolveu-se cinco mapas *fuzzy*, um para cada critério estudado, e um mapa síntese final que reuniu todas as informações dos mapas anteriores, levando em consideração o grau de importância relativa de cada critério, produzido

pelo AHP. Diante da metodologia proposta, percebe-se que o trabalho poderia ter sido realizado utilizando a área total de um aterro sanitário, considerando toda a estrutura e não apenas a área para a disposição dos resíduos.

Para pesquisas futuras, recomenda-se a utilização de mais critérios durante a etapa da inferência *fuzzy* e AHP, a fim de complementar as exigências da legislação com conhecimentos geológicos, hidrogeológicos e de planejamento financeiro dos municípios.

Destaca-se que os dados geográficos utilizados são de pequena escala, ou seja, informações que abrangem grandes regiões, o que pode diminuir a exatidão dos dados. Para maior precisão, recomenda-se trabalhar com ortofotos, mapas com escalas maiores ou ainda com mapeamento topográfico aéreo, a partir da utilização de imagens de drones.

Por fim, ressalta-se que são necessários trabalhos de campo, prospecções de solo, determinação do lençol freático *in loco*, entre outras técnicas de engenharia, com o objetivo de definir com maior exatidão as áreas para a implementação do aterro sanitário, na prática.

REFERÊNCIAS

- ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL 2010**. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 22 maio. 2022.
- ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL 2020**. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 22 maio. 2022.
- ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL 2021**. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 22 maio. 2022.
- ANDRADE, A. J. B.; BARBOSA, N. P. P. **Combinação do método AHP e SIGna seleção de áreas com potenciais para a instalação de aterro sanitário: caso da ilha do fogo, na república de cabo verde**. Revista de Geografia (UFPE), Recife, 16 Fev 2015. , v. 32, n. 2, p. 1–19Disponível em: <www.ufpe.br/revistageografia>.
- ANDRADE, P. A. G.; SILVA, Carlos Alexandre Gomes Da. **Pirâmide e seu Volume**. João Pessoa: [s.n.], 2013. Disponível em: <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/8986>>. Acesso em: 15 out 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.896: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- BATISTA, L. F. A.; MODA, R. F.; DAL BOSCO, T. C. Estimativa de geração de resíduos sólidos e uso de técnicas de geoprocessamento para identificação de áreas potenciais de disposição final. In: ANAP (Ed.). **Saneamento e o Ambiente**. 1. ed. Tupã: ANAP, 2018. p. 165–181.
- BOIN, M. N. et al. Identificação de áreas potencialmente favoráveis para a destinação ambientalmente adequada de resíduos sólidos. **Caminhos de Geografia**, v. 23, n. 85, p. 137–156, 4 fev. 2022.
- BRASIL. **Diretrizes Nacionais para a Prevenção e Controle de Epidemias de Dengue**. 1. ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2009.

BRASIL. Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022b. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**: Poder executivo, Brasília, 12 jan. 2022. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ Ato2019-2022/2022/Decreto/D10936.htm. Acesso em: 24 maio 2022.

BRASIL. Decreto nº 11.043, de 13 de abril de 2022c. Aprova o Plano Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**: Poder executivo, Brasília, 13 abr. 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-11.043-de-13-de-abril-de-2022-393566799>. Acesso em: 24 maio 2022.

BRASIL. Lei n.º 12.305. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 2 ago.2010. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 17 maio. 2022.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de junho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**: Poder executivo, Brasília, 15 jun. 2020. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: 24 maio 2022.

BRASIL. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. 1. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente e Secretaria de Qualidade Ambiental, 2022a.

BRITO, F. **O deslocamento da população brasileira para as metrópoles**. Estudos Avançados, v. 20, n. 57, p. 221–236, Ago 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142006000200017&lng=pt&tlng=pt>.

BRITO, M.M. **Identificação de Cicatrizes de Movimentos de Massa na Borda Oriental da Bacia do Paraná com base em Imagens Landsat 5-TM**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 8, n. 1, p. 056, 21 Jul 2015. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233248>>.

BROLLO, M. J. **Metodologia Automatizada para Seleção de Áreas para Disposição de Resíduos Sólidos. Aplicação na Região Metropolitana de Campinas (SP)**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 11 maio 2001.

BROMWELL, L.G. (1978). **Properties, behavior and treatment of waste fills**. In: SEMINAR SERIES ON METHODS OF SOIL IMPROVEMENT, Metropolitan Section, ASCE, November, p.1-103.

BURROUGH P.A. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**. Oxford: Clarendon Press; 1987. 193p

BURROUGH, P.A. & McDONNEL, R.A. **Principles of geographic information systems**. New York, Oxford University Press, 1998. 333p.

CÂMARA, G. et al. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 22 maio. 2022.

CAVALCANTE, S.; FRANCO, M. F. A. Profissão perigo: percepção de risco à saúde entre os catadores do Lixão do Jangurussu. In: **Rev. Mal-Estar Subj. [online]**. 1. ed. Fortaleza. v. 7p. 211–231.

CATAPRETA, C. A. A. **Comportamento de um Aterro Sanitário Experimental: Avaliação da Influência do Projeto, Construção e Operação**. . Belo Horizonte: [s.n.], 2008.

LISBINSKI, F. et al. A importância dos consórcios públicos na gestão dos resíduos sólidos urbanos: uma análise do consórcio intermunicipal cigres. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, n. 2, p. 3, 17 jul. 2020.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS. Observatório dos lixões, 2022. Página Inicial. Disponível em:< <http://www.lixoes.cnm.org.br/>> Acesso em: 24/05/2022.

CBH – COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAPANEMA. Caracterização Geral. **CBH**. Disponível em < <https://www2.paranapanema.org/a-bacia/mapas/#>>. Acesso em: 10 de outubro de 2022.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (CEMPRE). **Lixo Municipal: Manual do Gerenciamento Integrado**. 3. ed. São Paulo: CEMPRE, 2018. 310 p.

DOS SANTOS R. A.; DE OLIVEIRA, R. C. **A cartografia geomorfológica em escala regional: o caso da região metropolitana da Baixada Santista -SP**. Caminhos de Geografia, v. 22, n. 83, p. 219–239, 4 Out 2021. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/56334>>.

EASTMAN, J. Ronald. IDRISI 32: **Guide to GIS and image processing**. Clark University, 1999.

EASTMAN, J. Ronald. IDRISI 32: **Guide to GIS and image processing**. Clark University, 2001.

FASSETT, J.B.; LEONARDS, G.A.; REPETTO, P.C. (1994). **Geotechnical properties of municipal solid wastes and their use in landfill design**. Proc., Waste Technical Conference – WasteTech '94, Charleston, SC, 32 p.

FUSHIMI, M.; NUNES, J. O. R. Geoprocessamento e Sistemas de Informação Geográfica sob a perspectiva do pensamento da complexidade. In: **Revista Interface (Porto Nacional)**. 11. ed. p. 167–182.

GALANTE, V.N.; LEONARD, M.S.M. (1991). **An assessment of deep dynamic compaction as a means to increase refuse density for an operating municipal**

waste landfill. Proc., Conference on The Planning and Engineering of Landfills, Midland Geotechnical Society, p.165-169.

HAM, R.K.; REINHARDT, J.J.; SEVICK, G.W. (1978). **Density of milled and unprocessed refuse.** Journal of the Environmental Engineering Division, v.104, n.EE1, p.109-125.

HOEFEL, M. DA G. et al. Acidentes de trabalho e condições de vida de catadores de resíduos sólidos recicláveis no lixão do Distrito Federal. **Rev. Bras. Epidemiol**, v. 16, n. 3, p. 764–785, 2013.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2010.** Rio de Janeiro: IBGE, 2012

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Desemprego. **IBGE.** Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/explica/desemprego.php>>. Acesso em: 24 de maio de 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Estatísticas Sociais. **IBGE.** Disponível em < <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/16132-quase-25-dos-municipios-tiveram-reducao-de-populacao-em-2017>>. Acesso em: 16 de outubro de 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produto Interno Bruto - PIB. **IBGE.** Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php>>. Acesso em: 24 de maio de 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Projeções da População. **IBGE.** Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9109-projecao-da-populacao.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 24 de maio de 2022.

JUNIOR, C.; BORGES, A. Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte. **Projeto Prosab**, 2003.

KNOPF, D. D. S. et al. Gestão de resíduos sólidos: dificuldades e potencialidades em um consórcio intermunicipal. **Exacta**, 16 fev. 2022.

LAGO, A. L.; ELIS, V. R.; GIACHETI, H. L. Aplicação integrada de métodos geofísicos em uma área de disposição de resíduos sólidos urbanos em Bauru-SP. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 24, n. 3, set. 2006.

LANDVA, A.; KNOWLES, D., eds. **Geotechnics of Waste Fills – Theory and Practice**, ASTM STP 1070, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, p.240-258.

LANZA, V. C. V.; CARVALHO, A. L. DE. **Orientações básicas para operação de aterro sanitário.** Belo Horizonte. Disponível em: <<http://www.feam.br/images/stories/arquivos/Cartilha%20Aterro2.pdf>>. Acesso em: 23 maio. 2022.

LIMA, M. Q. **Lixo: Tratamento e biorremediação**. 3ª Ed. São Paulo: Hemus Editora Ltda, 2004. 265 p.

LIMA, P. M. et al. **Cost analysis of the strategic planning of the integrated urban solid waste system in Campo Grande, Mato Grosso do Sul**. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 27, n. 4, p. 749–759, 2022.

LOURENÇO, R. W.; SILVA, D. C. C. e; SALES, J. C. A.; MEDEIROS, G. A. de; OTERO, R. A. P. Metodologia para Seleção de Áreas Aptas à Instalação de Aterros Sanitários Consorciados Utilizando SIG. **Ciência e Natura**, v. 37, p. 122–140, 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/15973>. Acesso em: 24 maio. 2022.

LUIZ, G. C. **Política nacional de resíduos sólidos: uma análise da gestão em municípios de pequeno porte**. Santa Maria. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15232/DIS_PPGGOP_2018_LUIZ_GUSTAVO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 23 maio. 2022.

MARQUES, A. C. M. **Compactação e compressibilidade de resíduos sólidos urbanos**. 2001. 1–267 f. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-07082007-162407/>>.

MENDES, E. A. A.; NAKANDAKARE, K. C.; SOUZA, A. M.; FERNANDES, A. M. P.; SILVEIRA, E. L.; FELTRIN, J.; GUARDA, M. J. MANANCIAIS SUBTERRÂNEOS NO ESTADO DO PARANÁ. **Águas Subterrâneas**, [S. l.], n. 1, 2002. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22845>. Acesso em: 13 dez. 2022.

MERZ, R.C.; STONE, R. (1962). **Landfill settlement rates**. Public Works, v.93, n.9, p.103- 106; 210-212.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. SINIR +, 2022. Página Inicial. Disponível em: <https://sinir.gov.br/>. Acesso em: 24 de maio de 2022.

MONTEIRO, J. H. P. **Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Administração Municipal – IBAM, 2001.

MOREIRA, F. R. et al. **Inferência geográfica e suporte à decisão**. São José dos Campos Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001.

OBLADEN, N. L.; OBLADEN, N. T. R.; DE BARROS, ALIM. K. R. **Guia para Elaboração de Projetos de Aterros Sanitários para Resíduos Sólidos Urbanos**. 1. ed. Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Paraná, 2009. v. 3.

OWEIS, I.S.; SMITH, D.A.; ELLWOOD, R.B.; GREENE, D.S. (1990). **Hydraulic characteristics of municipal refuse**. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, v.116, n.4, p.539-553.

PARANÁ. Resolução CEMA nº 094, de 04 de novembro de 2014. **Casa Civil do Governo do Estado do Paraná**, Curitiba, PR. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=155727>>. Acesso em: 2022.

PARANÁ. **Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos: Revisão Final**. Curitiba: [s. n.], 2010. v. 2. Disponível em: https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-03/produto1_2_partec_volii_revisaofinal_0.pdf. Acesso em: 13 dez. 2022.

PORTELLA, M. O.; RIBEIRO, J. C. J. Aterros sanitários aspectos gerais e destino final dos resíduos. **Revista Direito Ambiental e sociedade**, v. 4, n. 1, p. 115–134, 2014.

QASIM, S. R. **Wastewater treatment plants: planning, design and operation**. New York: Rinehart and Winston, 1985.

RAID, M. A., et al. “Modelos de prestação de serviços de abastecimento de água para comunidades rurais do Brasil: uma avaliação comparativa pelo método Analytic Hierarchy Process”. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, vol. 27, no 4, agosto de 2022, p. 795–803.

REIS, J.G. M., et al. “Avaliação das Estratégias de Comercialização do Milho em MS Aplicando o Analytic Hierarchy Process (AHP)”. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, vol. 54, no 1, março de 2016, p. 131–46.

SAATY, T. L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, v. 48, n. 1, p. 9–26, set. 1990.

SAMIZAVA, T. M. et al. SIG aplicado à escolha de áreas potenciais para instalação de aterros sanitários no município de Presidente Prudente - SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 60, p. 43–55, abr. 2008.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: EMBRAPA, 2018.

SANTOS, L. J. C., et al. “Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná”. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, vol. 7, no 2, dezembro de 2006.

SARGUNAN, A.; MALLIKARJUN, N.; RANAPRATAP, K. (1986). **Geotechnical properties of refuse fills of Madras**, India. Proc., International Symposium on Environmental Geotechnology, FANG, H.Y., ed., v.1, p.197-204.

SCHOMAKER, N.B. (1972). **Construction techniques for sanitary landfills**. Waste Age Magazine, March/April, p.24-25; 42-44.

SILVEIRA, R. C. E.; PHILIPPI, L. S. Consórcios Públicos: uma alternativa viável para a gestão regionalizada de resíduos sólidos urbanos. **REDES. Revista do Desenvolvimento**, v. 13, n. 1, p. 205–224, 14 dez. 2008.

SIQUEIRA, M. M.; MORAES, M. S. DE. Saúde coletiva, resíduos sólidos urbanos e os catadores de lixo. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 14, n. 6, p. 2115–2122, dez. 2009.

SISINNO, C. L. S.; MOREIRA, J. C. Avaliação da contaminação e poluição ambiental na área de influência do aterro controlado do Morro do Céu, Niterói, Brasil. **Cad. Saúde Públ.**, v. 12, n. 4, p. 515–523, 1996.

SINIRH- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS. Portal de Metadados. **SINIRH**. Disponível em < <https://www.snirh.gov.br/>> Acesso em: 16 de outubro de 2022.

SNIS. **Diagnóstico Temático Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos**. 1. ed. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2021. v. 1.

SOUZA, L. M. DE M.; GUEDES, L. G. DE R. Consórcios intermunicipais em municípios de pequeno porte. **DRd - Desenvolvimento Regional em debate**, v. 9, p. 421–433, 11 jul. 2019.

SOWERS, G.F. (1968). **Foundation problems in sanitary landfills**. Journal of the Sanitary Engineering Division, ASCE, v.94, n.SA1, p.103-116.

SUZUKI, J. A. N.; GOMES, J. Consórcios intermunicipais para a destinação de RSU em aterros regionais: estudo prospectivo para os municípios no Estado do Paraná. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 155–158, jun. 2009.

TAUIL, P. L. Urbanização e ecologia do dengue. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 17, n. suppl, p. S99–S102, 2001.

TCHOBANOGLOUS, G.; KREITH, F. **Handbook of solid waste management**. 2. ed. [s.l.] McGraw Hill, 2002. v. 1

VARGAS, R. Utilizando a programação multicritério (AHP) para selecionar e priorizar projetos na gestão de portfólio. **PMI Global Congres**, p. 0–23, 2010.

VIANA, F. L. F. M. et al. Proposta de pré-projeto de dimensionamento de aterro sanitário para o município de Esperantinópolis – MA. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 11862–11891, 2020.

WATTS, K.S.; CHARLES, J.A. (1990). **Settlement of recently placed domestic refuse landfills**. Proc. Institution of Civil Engineering, London, part 1, v.88, Dec., p. 971-993.

ZAMBRANO-MONSERRATE, M. A.; RUANO, M. A.; SANCHEZ-ALCALDE, L. Indirect effects of COVID-19 on the environment. **Science of the Total Environment**, v. 728, 1 ago. 2020.

APÊNDICE A – Planilhas de dimensionamento do aterro

Centenário do Sul – Hipótese “real”

Ano	População (hab) ¹	Coleta Regular (%) ²	Pop. Coleta Regular ³	Coleta Seletiva (%) ⁴	Pop Coleta Seletiva ⁵	Geração Coleta Seletiva ⁶	Geração Coleta Regular ⁷	Total de resíduos por dia (kg/dia)	Total de resíduos por ano (kg/ano)	Volume compactado de resíduos (m ³ /dia) ⁸	Volume compactado de resíduos (m ³ /ano)	Volume de resíduos + cobertura de 20% (m ³ /dia) ⁹	Volume de resíduos + cobertura de 20% (m ³ /ano)
2037	8.060,47	100,00	8.060,47	0,961	7.746,11	2.021,74	581,56	2.603,30	950.204,12	4,73	1.727,64	5,68	2.073,17
2036	8.159,00	100,00	8.159,00	0,948	7.734,74	2.018,77	784,90	2.803,66	1.023.336,76	5,10	1.860,61	6,12	2.232,73
2035	8.258,74	100,00	8.258,74	0,935	7.721,92	2.015,42	993,11	3.008,54	1.098.115,37	5,47	1.996,57	6,56	2.395,89
2034	8.359,70	100,00	8.359,70	0,922	7.707,64	2.011,69	1.206,30	3.218,00	1.174.569,26	5,85	2.135,58	7,02	2.562,70
2033	8.461,89	100,00	8.461,89	0,909	7.691,85	2.007,57	1.424,56	3.432,13	1.252.728,22	6,24	2.277,69	7,49	2.733,23
2032	8.565,32	100,00	8.565,32	0,896	7.674,53	2.003,05	1.647,97	3.651,02	1.332.622,50	6,64	2.422,95	7,97	2.907,54
2031	8.670,03	98,58	8.546,48	0,883	7.655,63	1.998,12	1.648,06	3.646,18	1.330.857,14	6,63	2.419,74	7,96	2.903,69
2030	8.776,01	97,15	8.525,89	0,870	7.635,13	1.992,77	1.647,92	3.640,68	1.328.849,50	6,62	2.416,09	7,94	2.899,31
2029	8.883,29	95,73	8.503,53	0,857	7.612,98	1.986,99	1.647,52	3.634,50	1.326.593,91	6,61	2.411,99	7,93	2.894,39
2028	8.991,88	94,30	8.479,34	0,844	7.589,14	1.980,77	1.646,86	3.627,63	1.324.084,60	6,60	2.407,43	7,91	2.888,91
2027	9.101,79	94,03	8.557,96	0,831	7.563,59	1.974,10	1.839,59	3.813,68	1.391.994,57	6,93	2.530,90	8,32	3.037,08
2026	9.213,06	93,75	8.637,24	0,818	7.536,28	1.966,97	2.036,78	4.003,75	1.461.366,95	7,28	2.657,03	8,74	3.188,44
2025	9.325,68	93,48	8.717,18	0,805	7.507,17	1.959,37	2.238,51	4.197,88	1.532.227,35	7,63	2.785,87	9,16	3.343,04
2024	9.439,67	93,20	8.797,78	0,792	7.476,22	1.951,29	2.444,88	4.396,17	1.604.601,78	7,99	2.917,46	9,59	3.500,95
2023	9.555,06	92,78	8.864,71	0,779	7.443,40	1.942,73	2.629,43	4.572,16	1.668.838,59	8,31	3.034,25	9,98	3.641,10

Nota₁: Projeção populacional geométrica utilizando dados do IBGE.

Nota₂: Estimativa do percentual da população atendida pela coleta regular, conforme a Meta 3 do PLANARES (BRASIL, 2022a).

Nota₃: População atendida pela coleta regular.

Nota₄: Estimativa do percentual da população atendida pela coleta seletiva, conforme a Meta 5 do PLANARES (BRASIL, 2022a).

Nota₅: População atendida pela coleta seletiva.

Nota₆: Geração de rejeito da população atendida pela coleta seletiva, considerando a geração per capita de resíduos de 1,85 kg hab.dia⁻¹ (SNIS, 2019) e a análise gravimétrica realizada pela ABRELPE (ABRELPE, 2020).

Nota₇: Geração de RSU da população atendida pela coleta regular considerando a geração per capita de resíduos de 1,85 kg hab.dia⁻¹ (SNIS, 2019).

Nota₈: Volume compactado de resíduo por dia, considerando um coeficiente de compactação de 550 kg m⁻³.

Nota₉: Volume de resíduo compactado por dia somado à uma taxa de 20% de cobertura com solo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Florestópolis – Hipótese “real”

Ano	População (hab) ¹	Coleta Regular (%) ²	Pop. Coleta Regular ³	Coleta Seletiva (%) ⁴	Pop Coleta Seletiva ⁵	Geração Coleta Seletiva ⁶	Geração Coleta Regular ⁷	Total de resíduos por dia (kg/dia)	Total de resíduos por ano (kg/ano)	Volume compactado de resíduos (m ³ /dia) ⁸	Volume compactado de resíduos (m ³ /ano)	Volume de resíduos + cobertura de 20% (m ³ /dia) ⁹	Volume de resíduos + cobertura de 20% (m ³ /ano)
2037	10253	100,00	10.253,41	0,961	9.853,52	1.724,37	495,85	2.220,22	810.380,78	4,04	1.473,42	4,84	1.768,10
2036	10288	100,00	10.287,74	0,948	9.752,78	1.706,74	663,35	2.370,09	865.082,91	4,31	1.572,88	5,17	1.887,45
2035	10322	100,00	10.322,19	0,935	9.651,25	1.688,97	831,97	2.520,94	920.142,32	4,58	1.672,99	5,50	2.007,58
2034	10357	100,00	10.356,76	0,922	9.548,93	1.671,06	1.001,71	2.672,77	975.560,79	4,86	1.773,75	5,83	2.128,50
2033	10391	100,00	10.391,44	0,909	9.445,82	1.653,02	1.172,57	2.825,59	1.031.340,12	5,14	1.875,16	6,16	2.250,20
2032	10426	100,00	10.426,24	0,896	9.341,91	1.634,83	1.344,57	2.979,40	1.087.482,09	5,42	1.977,24	6,50	2.372,69
2031	10461	98,58	10.312,09	0,883	9.237,20	1.616,51	1.332,86	2.949,37	1.076.518,75	5,36	1.957,31	6,43	2.348,77
2030	10496	97,15	10.197,05	0,870	9.131,69	1.598,04	1.321,05	2.919,10	1.065.469,79	5,31	1.937,22	6,37	2.324,66
2029	10531	95,73	10.081,12	0,857	9.025,36	1.579,44	1.309,15	2.888,59	1.054.334,76	5,25	1.916,97	6,30	2.300,37
2028	10567	94,30	9.964,31	0,844	8.918,22	1.560,69	1.297,16	2.857,84	1.043.113,19	5,20	1.896,57	6,24	2.275,88
2027	10602	94,03	9.968,52	0,831	8.810,26	1.541,79	1.436,25	2.978,05	1.086.986,96	5,41	1.976,34	6,50	2.371,61
2026	10637	93,75	9.972,65	0,818	8.701,47	1.522,76	1.576,26	3.099,02	1.131.142,87	5,63	2.056,62	6,76	2.467,95
2025	10673	93,48	9.976,70	0,805	8.591,86	1.503,58	1.717,20	3.220,77	1.175.582,33	5,86	2.137,42	7,03	2.564,91
2024	10709	93,20	9.980,66	0,792	8.481,42	1.484,25	1.859,06	3.343,31	1.220.306,75	6,08	2.218,74	7,29	2.662,49
2023	10745	92,78	9.968,42	0,779	8.370,14	1.464,77	1.981,86	3.446,64	1.258.022,93	6,27	2.287,31	7,52	2.744,78

Nota₁: Projeção populacional geométrica utilizando dados do IBGE.

Nota₂: Estimativa do percentual da população atendida pela coleta regular, conforme a Meta 3 do PLANARES (BRASIL, 2022a).

Nota₃: População atendida pela coleta regular.

Nota₄: Estimativa do percentual da população atendida pela coleta seletiva, conforme a Meta 5 do PLANARES (BRASIL, 2022a).

Nota₅: População atendida pela coleta seletiva.

Nota₆: Geração de rejeito da população atendida pela coleta seletiva, considerando a geração per capita de resíduos de 1,24 kg hab.dia⁻¹ (SNIS, 2019) e a análise gravimétrica realizada pela ABRELPE (ABRELPE, 2020).

Nota₇: Geração de RSU da população atendida pela coleta regular considerando a geração per capita de resíduos de 1,24 kg hab.dia⁻¹ (SNIS, 2019).

Nota₈: Volume compactado de resíduo por dia, considerando um coeficiente de compactação de 550 kg m⁻³.

Nota₉: Volume de resíduo compactado por dia somado à uma taxa de 20% de cobertura com solo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Porecatu – Hipótese “real”

Ano	População (hab) ¹	Coleta Regular (%) ²	Pop. Coleta Regular ³	Coleta Seletiva (%) ⁴	Pop Coleta Seletiva ⁵	Geração Coleta Seletiva ⁶	Geração Coleta Regular ⁷	Total de resíduos por dia	Total de resíduos por ano (kg/ano)	Volume compactado de resíduos (m ³ /dia) ⁸	Volume compactado de resíduos (m ³ /ano)	Volume de resíduos + cobertura de 20% (m ³ /dia) ⁹	Volume de resíduos + cobertura de 20% (m ³ /ano)
2037	11027	100,00	11.027,41	0,961	10.597,34	1.430,64	412,87	1.843,51	672.879,94	3,35	1.223,42	4,02	1.468,10
2036	11131	100,00	11.130,85	0,948	10.552,04	1.424,53	555,65	1.980,18	722.764,73	3,60	1.314,12	4,32	1.576,94
2035	11235	100,00	11.235,25	0,935	10.504,96	1.418,17	701,08	2.119,25	773.526,18	3,85	1.406,41	4,62	1.687,69
2034	11341	100,00	11.340,64	0,922	10.456,07	1.411,57	849,19	2.260,76	825.176,32	4,11	1.500,32	4,93	1.800,38
2033	11447	100,00	11.447,02	0,909	10.405,34	1.404,72	1.000,01	2.404,73	877.727,38	4,37	1.595,87	5,25	1.915,04
2032	11554	100,00	11.554,39	0,896	10.352,74	1.397,62	1.153,59	2.551,21	931.191,70	4,64	1.693,08	5,57	2.031,69
2031	11663	98,58	11.496,58	0,883	10.298,23	1.390,26	1.150,42	2.540,68	927.347,23	4,62	1.686,09	5,54	2.023,30
2030	11772	97,15	11.436,67	0,870	10.241,79	1.382,64	1.147,08	2.529,72	923.348,71	4,60	1.678,82	5,52	2.014,58
2029	11883	95,73	11.374,62	0,857	10.183,39	1.374,76	1.143,58	2.518,34	919.193,57	4,58	1.671,26	5,49	2.005,51
2028	11994	94,30	11.310,40	0,844	10.122,99	1.366,60	1.139,92	2.506,52	914.879,25	4,56	1.663,42	5,47	1.996,10
2027	12107	94,03	11.383,20	0,831	10.060,56	1.358,18	1.269,74	2.627,91	959.187,72	4,78	1.743,98	5,73	2.092,77
2026	12220	93,75	11.456,37	0,818	9.996,06	1.349,47	1.401,89	2.751,36	1.004.246,93	5,00	1.825,90	6,00	2.191,08
2025	12335	93,48	11.529,91	0,805	9.929,48	1.340,48	1.536,42	2.876,90	1.050.067,07	5,23	1.909,21	6,28	2.291,06
2024	12450	93,20	11.603,82	0,792	9.860,76	1.331,20	1.673,34	3.004,54	1.096.658,45	5,46	1.993,92	6,56	2.392,71
2023	12567	92,78	11.659,26	0,779	9.789,88	1.321,63	1.794,60	3.116,24	1.137.426,16	5,67	2.068,05	6,80	2.481,66

Nota₁: Projeção populacional geométrica utilizando dados do IBGE.

Nota₂: Estimativa do percentual da população atendida pela coleta regular, conforme a Meta 3 do PLANARES (BRASIL, 2022a).

Nota₃: População atendida pela coleta regular.

Nota₄: Estimativa do percentual da população atendida pela coleta seletiva, conforme a Meta 5 do PLANARES (BRASIL, 2022a).

Nota₅: População atendida pela coleta seletiva.

Nota₆: Geração de rejeito da população atendida pela coleta seletiva, considerando a geração per capita de resíduos de 0,96 kg hab.dia⁻¹ (SNIS, 2019) e a análise gravimétrica realizada pela ABRELPE (ABRELPE, 2020).

Nota₇: Geração de RSU da população atendida pela coleta regular considerando a geração per capita de resíduos de 0,96 kg hab.dia⁻¹ (SNIS, 2019).

Nota₈: Volume compactado de resíduo por dia, considerando um coeficiente de compactação de 550 kg m⁻³.

Nota₉: Volume de resíduo compactado por dia somado à uma taxa de 20% de cobertura com solo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Centenário do Sul – Hipótese “ideal”										
Ano	População (hab) ¹	População atendida (%)	População geradora (hab)	Geração per capita (kg/hab. dia) ²	Total de resíduos por dia (kg/dia)	Total de resíduos por ano (kg/ano)	Volume compactado de resíduos (m ³ /dia) ³	Volume compactado de resíduos (m ³ /ano)	Volume de resíduos + cobertura de 20% (m ³ /dia)	Volume de resíduos + cobertura de 20% (m ³ /ano)
2037	8.060,47	100%	8.060,47	0,26	2.102,57	767.439,63	3,00	1.096,34	3,60	1.315,61
2036	8.159,00	100%	8.159,00	0,26	2.128,28	776.820,85	3,04	1.109,74	3,65	1.331,69
2035	8.258,74	100%	8.258,74	0,26	2.154,29	786.316,75	3,08	1.123,31	3,69	1.347,97
2034	8.359,70	100%	8.359,70	0,26	2.180,63	795.928,72	3,12	1.137,04	3,74	1.364,45
2033	8.461,89	100%	8.461,89	0,26	2.207,28	805.658,19	3,15	1.150,94	3,78	1.381,13
2032	8.565,32	100%	8.565,32	0,26	2.234,26	815.506,59	3,19	1.165,01	3,83	1.398,01
2031	8.670,03	100%	8.670,03	0,26	2.261,58	825.475,38	3,23	1.179,25	3,88	1.415,10
2030	8.776,01	100%	8.776,01	0,26	2.289,22	835.566,03	3,27	1.193,67	3,92	1.432,40
2029	8.883,29	100%	8.883,29	0,26	2.317,21	845.780,03	3,31	1.208,26	3,97	1.449,91
2028	8.991,88	100%	8.991,88	0,26	2.345,53	856.118,89	3,35	1.223,03	4,02	1.467,63
2027	9.101,79	100%	9.101,79	0,26	2.374,20	866.584,13	3,39	1.237,98	4,07	1.485,57
2026	9.213,06	100%	9.213,06	0,26	2.403,23	877.177,29	3,43	1.253,11	4,12	1.503,73
2025	9.325,68	100%	9.325,68	0,26	2.432,60	887.899,95	3,48	1.268,43	4,17	1.522,11
2024	9.439,67	100%	9.439,67	0,26	2.462,34	898.753,68	3,52	1.283,93	4,22	1.540,72
2023	9.555,06	100%	9.555,06	0,26	2.492,44	909.740,09	3,56	1.299,63	4,27	1.559,55

Nota₁: Projeção populacional geométrica utilizando dados do IBGE.

Nota₂: Geração per capita de rejeito conforme dados do SNIS (2019) e composição gravimétrica da ABRELPE (2020).

Nota₃: Volume compactado de resíduo por dia, considerando um coeficiente de compactação de 700 kg m⁻³.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Florestópolis – Hipótese “ideal”										
Ano	População (hab) ¹	População atendida (%)	População geradora (hab)	Geração per capita (kg/hab. dia) ²	Total de resíduos por dia (kg/dia)	Total de resíduos por ano (kg/ano)	Volume compactado de resíduos (m ³ /dia) ³	Volume compactado de resíduos (m ³ /ano)	Volume de resíduos + cobertura de 20% (m ³ /dia)	Volume de resíduos + cobertura de 20% (m ³ /ano)
2037	10253	100,00%	10253	0,175	1792,71	654337,52	2,56	934,77	3,07	1121,72
2036	10288	100,00%	10288	0,175	1798,71	656528,76	2,57	937,90	3,08	1125,48
2035	10322	100,00%	10322	0,175	1804,73	658727,33	2,58	941,04	3,09	1129,25
2034	10357	100,00%	10357	0,175	1810,78	660933,27	2,59	944,19	3,10	1133,03
2033	10391	100,00%	10391	0,175	1816,84	663146,60	2,60	947,35	3,11	1136,82
2032	10426	100,00%	10426	0,175	1822,92	665367,33	2,60	950,52	3,13	1140,63
2031	10461	100,00%	10461	0,175	1829,03	667595,50	2,61	953,71	3,14	1144,45
2030	10496	100,00%	10496	0,175	1835,15	669831,14	2,62	956,90	3,15	1148,28
2029	10531	100,00%	10531	0,175	1841,30	672074,26	2,63	960,11	3,16	1152,13
2028	10567	100,00%	10567	0,175	1847,47	674324,89	2,64	963,32	3,17	1155,99
2027	10602	100,00%	10602	0,175	1853,65	676583,06	2,65	966,55	3,18	1159,86
2026	10637	100,00%	10637	0,175	1859,86	678848,80	2,66	969,78	3,19	1163,74
2025	10673	100,00%	10673	0,175	1866,09	681122,12	2,67	973,03	3,20	1167,64
2024	10709	100,00%	10709	0,175	1872,34	683403,05	2,67	976,29	3,21	1171,55
2023	10745	100,00%	10745	0,175	1878,61	685691,62	2,68	979,56	3,22	1175,47

Nota₁: Projeção populacional geométrica utilizando dados do IBGE.

Nota₂: Geração per capita de rejeito conforme dados do SNIS (2019) e composição gravimétrica da ABRELPE (2020).

Nota₃: Volume compactado de resíduo por dia, considerando um coeficiente de compactação de 700 kg m⁻³.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Porecatu – Hipótese “ideal”										
Ano	População (hab) ¹	População atendida (%)	População geradora (hab)	Geração per capita (kg/hab. dia) ²	Total de resíduos por dia (kg/dia)	Total de resíduos por ano (kg/ano)	Volume compactado de resíduos (m ³ /dia) ³	Volume compactado de resíduos (m ³ /ano)	Volume de resíduos + cobertura de 20% (m ³ /dia)	Volume de resíduos + cobertura de 20% (m ³ /ano)
2037	11027	100,00%	11027	0,135	1492,67	544824,46	2,13	778,32	2,56	933,98
2036	11131	100,00%	11131	0,135	1506,67	549934,99	2,15	785,62	2,58	942,75
2035	11235	100,00%	11235	0,135	1520,80	555093,46	2,17	792,99	2,61	951,59
2034	11341	100,00%	11341	0,135	1535,07	560300,31	2,19	800,43	2,63	960,51
2033	11447	100,00%	11447	0,135	1549,47	565556,01	2,21	807,94	2,66	969,52
2032	11554	100,00%	11554	0,135	1564,00	570861,00	2,23	815,52	2,68	978,62
2031	11663	100,00%	11663	0,135	1578,67	576215,76	2,26	823,17	2,71	987,80
2030	11772	100,00%	11772	0,135	1593,48	581620,74	2,28	830,89	2,73	997,06
2029	11883	100,00%	11883	0,135	1608,43	587076,43	2,30	838,68	2,76	1006,42
2028	11994	100,00%	11994	0,135	1623,52	592583,28	2,32	846,55	2,78	1015,86
2027	12107	100,00%	12107	0,135	1638,74	598141,80	2,34	854,49	2,81	1025,39
2026	12220	100,00%	12220	0,135	1654,12	603752,45	2,36	862,50	2,84	1035,00
2025	12335	100,00%	12335	0,135	1669,63	609415,74	2,39	870,59	2,86	1044,71
2024	12450	100,00%	12450	0,135	1685,29	615132,14	2,41	878,76	2,89	1054,51
2023	12567	100,00%	12567	0,135	1701,10	620902,17	2,43	887,00	2,92	1064,40

Nota₁: Projeção populacional geométrica utilizando dados do IBGE.

Nota₂: Geração per capita de rejeito conforme dados do SNIS (2019) e composição gravimétrica da ABRELPE (2020).

Nota₃: Volume compactado de resíduo por dia, considerando um coeficiente de compactação de 700 kg m⁻³.

Fonte: Elaborado pelo autor.

