

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS LONDRINA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

RAISSA FRANCO MODA

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS POTENCIAIS PARA IMPLANTAÇÃO
DE ATERRO SANITÁRIO NA REGIÃO METROPOLITANA DE
LONDRINA/PR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**LONDRINA
2017**

RAISSA FRANCO MODA

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS POTENCIAIS PARA IMPLANTAÇÃO
DE ATERRO SANITÁRIO NA REGIÃO METROPOLITANA DE
LONDRINA/PR**

Monografia apresentada à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina.

Orientadora: Prof. Dra. Lígia Flávia Antunes Batista

Coorientadora: Prof. Dra. Tatiane Cristina Dal Bosco

**LONDRINA
2017**



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Londrina
Coordenação de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

Identificação de áreas potenciais para implantação de aterro sanitário na região metropolitana de Londrina/PR

por

Raissa Franco Moda

Monografia apresentada no dia 25 de agosto de 2017 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Ajadir Fazolo
(UTFPR)

Prof. Dra. Isabela Bruna Machado Tavares Bolonhesi
(UTFPR)

Prof. Dra. Tatiane Cristina Dal Bosco
(UTFPR)

Profa. Dra Ligia Flávia Antunes Batista
(UTFPR)
Orientador

Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que tornou possível minha experiência ao longo dos anos na universidade e esteve ao meu lado trazendo paz e calma, quando o final da graduação parecia não chegar.

A minha família, em especial minha mãe e minha sobrinha Melissa, que trouxeram por tantas vezes um sorriso ao meu rosto e a vontade de continuar, mesmo quando os obstáculos pareciam enormes. Agradeço também ao meu irmão mais velho, Rafael, que foi o primeiro a incentivar minhas escolhas acadêmicas.

A minha orientadora e professora Dra. Lígia Flávia Antunes Batista, por toda paciência, dedicação a essa orientação e por estar sempre presente ao longo de toda a construção desse trabalho. Sou grata pela oportunidade de realizar um projeto em conjunto com uma profissional que eu realmente admiro.

A minha coorientadora e professora Dra. Tatiane Cristina Dal Bosco, pelas suas contribuições, possibilitando o resultado final deste trabalho. Foi uma experiência enriquecedora colocar em prática os conhecimentos atribuídos em sua disciplina.

Aos meus amigos Natalia Martini e Vinicius M. Campos, por todo companheirismo, parceria e amizade construída ao longo desses anos, que tornaram essa experiência tão especial. Aos colegas que fizeram parte da minha graduação e contribuíram direta ou indiretamente com esta etapa.

A minha namorada Gabriela Contiero, por toda sua paciência, cuidado e incentivo com a conclusão desse trabalho e também da graduação. Sua presença foi fundamental em todo esse processo.

Ao meu avô, que sempre incentivou e apoiou minhas decisões perante minha família, e por ironia do destino não está presente no final dessa etapa, deixando imensa saudade.

RESUMO

MODA, Raissa F. Identificação de áreas potenciais para implantação de aterro sanitário na região metropolitana de Londrina/PR. 2017. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2017.

O crescimento da população, em grande parte altamente consumista, reflete no aumento da produção dos resíduos sólidos urbanos, que quando dispostos de maneira incorreta geram grandes problemas ambientais e sociais, que podem tornar-se irreversíveis. No Brasil, segundo a ABRELPE, em 2015 foi registrada a disposição incorreta de cerca de 30 milhões de toneladas de resíduos em lixões ou aterros controlados. A seleção de uma área para implantação e operação de aterro sanitário de resíduos não perigosos, deve atender os critérios técnicos da norma NBR 13.896 (ABNT, 1997), e no caso do Paraná a Resolução CEMA nº 94 (PARANÁ, 2014). Desse modo, o objetivo do presente trabalho é identificar e apontar as áreas com maior adequabilidade para implantação de um aterro sanitário consorciado entre os municípios Jataizinho, Rancho Alegre e Uraí, baseando-se nos critérios técnicos impostos pela legislação e na literatura disponível. Para tanto, foram utilizadas ferramentas de geoprocessamento possibilitando a análise das variáveis ambientais para definir a adequabilidade da área de estudo. Foi realizada uma análise multicritério com os dados de declividade, profundidade do lençol freático e distâncias da rede viária, das áreas urbanas e dos cursos d'água. Os critérios foram modelados por meio da abordagem *fuzzy* e posteriormente foi aplicada a comparação pareada dos critérios pelo método AHP. Foram gerados mapas que possibilitam a análise visual das áreas mais aptas para implantação do aterro. Também foi realizada a projeção populacional e de geração de resíduos ao longo da vida útil do aterro, com intuito de verificar se os municípios juntos geram no máximo 20 ton/dia de resíduos, enquadrando-se dessa forma na Lei Federal dos Consórcios Públicos 11.107/05 (BRASIL, 2005), e o resultado foi favorável a implantação. Foram identificadas seis áreas mais indicadas para instalação de aterros, com áreas variando de 3,8 a 10,7 km², sendo três delas em Rancho Alegre, duas em Uraí e uma em Jataizinho, a qual possui maior área das seis. Foi possível concluir que as ferramentas de geoprocessamento, mais especificamente a combinação entre a análise multicritério e a comparação pareada, podem ser utilizadas nas tomadas de decisões como ferramentas de gestão dos municípios, com a finalidade de planejamento ambiental, agregando clareza ao resultado final.

Palavras – chave: Região Metropolitana de Londrina. Resíduos sólidos. Aterro sanitário consorciado. Geoprocessamento. Análise multicritério.

ABSTRACT

MODA, Raissa F. Identification of potential areas for sanitary landfill implantation in the metropolitan region of Londrina / PR. 2017. 70 f. Course Completion Work (Undergraduate) - Superior Course in Environmental Engineering. Federal Technological University of Paraná, Londrina, 2017.

In consequence of population growth, which is mostly consumerist, is reflected in the increase in the production of urban solid waste, which, when disposed of incorrectly, creates major environmental and social problems that may become irreversible. In Brazil, according to ABRELPE, in 2015 there was an incorrect disposal of around 30 million tons of waste in landfills or controlled landfills. The selection of an area for the implantation and operation of a non-hazardous waste landfill should meet the technical criteria of NBR 13.896 (ABNT, 1997), and in the case of Paraná, according to CEMA Resolution 94 (PARANÁ, 2014). Thus, the objective of this work is to identify and indicate the most suitable areas for the implementation of a joint landfill between the municipalities of Jataizinho, Rancho Alegre and Uraí, based on the technical criteria imposed by the legislation and the available literature. For this purpose, geoprocessing tools were used, allowing the analysis of environmental variables to define the suitability of the study area. A multicriteria analysis was performed with data on slope, depth of the water table and distances from the road network, urban areas and water courses. The criteria were modeled by means of the fuzzy approach and afterwards the paired comparison of the criteria by the AHP method was applied. Maps were generated that allow the visual analysis of the areas most suitable for landfill implantation. It was also carried out the population projection and generation of residues throughout the useful life of the landfill, in order to verify if the municipalities together generate a maximum of 20 tons / day of residues, thus being classified in the Federal Law of Public Consortia 11.107 / 05 (BRASIL, 2005), and the result was favorable to the implantation. Six more suitable landfill sites were identified, with areas varying from 3.8 to 10.7 km², three of them in Rancho Alegre, two in Uraí and one in Jataizinho, which has a larger area of six. It was possible to conclude that the geoprocessing tools, more specifically the combination of the multicriteria analysis and the paired comparison, can be used in the decision making as municipal management tools, with the purpose of environmental planning, adding clarity to the final result.

Key-words: Metropolitan Region of Londrina. Solid waste. Landfill consortium. Geoprocessing. Multicriteria analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de classificação dos resíduos sólidos de acordo com a NBR 10.004.....	14
Figura 2 - Disposição final de RSU no Brasil por tipo de destinação (ton/dia) em 2014 em 2015.....	17
Figura 3 - Esquema básico de funcionamento de um aterro sanitário.....	18
Figura 4 - Esquema geral de um aterro controlado.....	22
Figura 5 - Estrutura geral de SIG.....	26
Figura 6 - Funções sigmoidais.....	29
Figura 7 - Estrutura referente à comparação pareada de variáveis.....	30
Figura 8 - Matriz de comparação hipotética.....	31
Figura 9 - Região Metropolitana de Londrina.....	33
Figura 10 - Modelo geral da ferramenta proximidade.....	36
Figura 11 - Função sigmoideal decrescente do critério declividade.....	39
Figura 12 - Função sigmoideal simétrica do critério distância da rede viária.....	39
Figura 13 - Função sigmoideal crescente do critério distância das áreas urbanizadas..	40
Figura 14 - Função sigmoideal crescente do critério distância dos cursos d'água.....	41
Figura 15 - Função sigmoideal crescente do critério nível estático do lençol freático....	42
Figura 16 - Modelo geral de uma trincheira (vala) de aterro sanitário.....	45
Figura 17 - Mapa hipsométrico.....	46
Figura 18 - Mapa da declividade em percentual e interpretação do relevo.....	47
Figura 19 - Mapa da rede viária.....	48
Figura 20 - Carta imagem da área de estudo.....	48
Figura 21 - Mapa do contorno das áreas urbanizadas.....	49
Figura 22 - Mapa da hidrografia.....	50
Figura 23 - Mapa do nível estático do lençol freático.....	50
Figura 24 - Mapa de proximidade da rede viária.....	51
Figura 25 - Mapa de proximidade das áreas urbanizadas.....	52
Figura 26 - Mapa de proximidade dos cursos d'água.....	53
Figura 27 - Mapa <i>fuzzy</i> da declividade.....	54
Figura 28 - Mapa <i>fuzzy</i> da distância da rede viária.....	54
Figura 29 - Mapa <i>fuzzy</i> da distância das áreas urbanizadas.....	56
Figura 30 - Mapa <i>fuzzy</i> da distância dos corpos hídricos.....	56

Figura 31 - Mapa <i>fuzzy</i> do nível estático do lençol freático.....	57
Figura 32 - Mapa da adequabilidade da área de estudo.....	59
Figura 33 - Esboço do dimensionamento da trincheira.....	62
Figura 34 - Esboço da área destinada as valas do aterro sanitário.....	63

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Geração de RSU no estado do Paraná.....	15
Quadro 2 - Principais critérios técnicos para implantação de um aterro sanitário.....	21
Quadro 3 - Escala de importância do método AHP.....	30
Quadro 4 - Características dos municípios pertencentes a área de estudo.....	34
Quadro 5 - Funções utilizadas na modelagem <i>fuzzy</i>	38
Quadro 6 - Matriz de comparação pareada das variáveis.....	58
Quadro 7 - Pesos finais obtidos pelo método AHP.....	58
Quadro 8 - Áreas das regiões apontadas como possibilidade para implantação de um aterro sanitário.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Resultados da projeção populacional, geração dos resíduos e dimensionamento das valas do aterro.....	61
--	----

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
CEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
IAP	Instituto Ambiental do Paraná
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INDE	Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
IPARDES	Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social
ITCG	Instituto de Terras, Cartografia e Geociências do Paraná
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MNT	Modelo Numérico de Terreno
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RML	Região Metropolitana de Londrina
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SIAGAS	Serviços de Informações de Águas Subterrâneas
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	12
2.1	Objetivo geral	12
2.2	Objetivos específicos	12
3	REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1	Resíduos sólidos urbanos	13
3.2	Formas de disposição final dos resíduos	16
3.2.1	Aterro sanitário.....	17
3.2.2	Aterro controlado.....	21
3.2.3	Lixões.....	22
3.3	PNRS e consórcios intermunicipais	23
3.4	Geoprocessamento	25
3.4.1	Inferência geográfica.....	26
3.4.1.1	Abordagem fuzzy	28
3.4.1.2	Processo Analítico Hierárquico	29
4	METODOLOGIA	33
4.1	Área de estudo	33
4.2	Materiais	34
4.3	Métodos	35
4.3.1	Pré-processamento dos dados georreferenciados.....	35
4.3.2	Análise multicritério	37
4.3.2.1	Modelagem fuzzy	37
4.3.2.2	Método Analytic Hierachy Process (AHP)	42
4.3.3	Projeção populacional e geração de resíduos	42
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
5.1	Caracterização da área de estudo	46
5.2	Análise de proximidade	51
5.3	Aplicação da modelagem fuzzy	53
5.4	Aplicação do método AHP	57
5.5	Estimativa da geração de resíduos	60
6	CONCLUSÃO	64
	REFERÊNCIAS	65
	APÊNDICE A – Razão de consistência	70

1 INTRODUÇÃO

A modernização, associada ao aumento da renda e da expectativa de vida da população, tem ocasionado o crescimento de sociedades urbanas, sendo grande parte altamente consumistas, refletindo no aumento da produção dos resíduos sólidos urbanos.

Os resíduos, quando dispostos de maneira incorreta, acarretam sérios problemas para a sociedade e para o meio ambiente como, por exemplo, sua degradação, poluição do solo, das águas superficiais e subterrâneas, do ar, além da proliferação de vetores, os aspectos estéticos negativos e ainda a depreciação imobiliária (LOPES, 2011).

No Brasil, de maneira geral, a destinação inadequada dos resíduos sólidos nos últimos anos tem sido uma das questões mais amplamente discutidas, sendo considerado um problema grave, pois afeta a vida das populações. Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), em 2015 registrou-se um aumento no volume de resíduos enviados para destinação inadequada, com quase 30 milhões de toneladas de resíduos dispostos em lixões ou aterros controlados, que não possuem o conjunto de sistemas e medidas necessários para proteção do meio ambiente contra danos e degradações.

Para tentar minimizar os impactos ambientais é importante selecionar locais adequados para depositar os resíduos sólidos urbanos (RSU), sendo o aterro sanitário a solução mais apropriada para os rejeitos. Com a implantação da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) em 02 de agosto de 2010, essa tendência intensificou-se, já que determinou-se aos municípios brasileiros que até 02 de novembro de 2014 os lixões a céu aberto e os aterros controlados fossem extintos (CONDE et al., 2015). Entretanto, mesmo após esse prazo, grande parte dos municípios brasileiros continuam realizando de forma inadequada a disposição final de seus resíduos.

A seleção de uma área para servir de aterro sanitário de resíduos não perigosos deve atender aos critérios técnicos impostos pela norma NBR 13.896 (ABNT, 1997) e no caso do Estado do Paraná, a Resolução CEMA nº 94 (PARANÁ, 2014), sendo os critérios mais relevantes para implantação: declividade, proximidade de corpos hídricos, proximidade a núcleos urbanos, profundidade do lençol freático,

facilidade de acesso e vida útil. Dessa forma, o processo de análise para identificação de áreas com potencial para instalação de aterro sanitário envolve muitas variáveis e, para tanto, uma equipe multidisciplinar deve estar envolvida.

No Paraná muitos municípios ainda não contam com locais adequados para destinação dos resíduos sólidos, como é o caso de algumas cidades da Região Metropolitana de Londrina (RML), como Jataizinho, Rancho Alegre e Uraí. Por serem municípios de pequeno porte, com poucos habitantes, não há condições econômicas, muitas vezes, para cada um dos gestores municipais realizarem investimentos em obras desse tipo. Outro agravante é que, na maioria dos municípios, não há corpo técnico habilitado para liderar projetos como este.

A Lei 12.305 (BRASIL, 2010), apresenta uma solução possivelmente viável para municípios que se deparam com tais problemas, uma vez que é proposto a realização de consórcios intermunicipais com intuito de aumentar a eficiência do processo de destinação final dos resíduos e diminuir seus custos.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo indicar as áreas mais aptas para implantação de um aterro sanitário consorciado entre as cidades de Jataizinho, Rancho Alegre e Uraí, que atenda as legislações vigentes, e diminua os impactos ambientais da implantação de tal empreendimento. Quando não existem pesquisas como esta para realizar a seleção de uma área apropriada para inserção de um aterro sanitário considerando critérios ambientais, a implantação pode ser guiada por fatores sociais, econômicos e políticos, gerando consequências ambientais irreversíveis para o futuro.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Identificar e apontar as áreas potenciais para implantação de um aterro sanitário consorciado entre os municípios de Jataizinho, Rancho Alegre e Uraí.

2.2 Objetivos específicos

- Criar um banco de dados geográfico para os municípios: Jataizinho, Rancho Alegre e Uraí, caracterizando-os no que se refere à declividade, distância de corpos d'água, distância da malha urbana, distância de vias rodoviárias e profundidade do lençol freático;
- Atribuir pesos às variáveis que serão consideradas na análise, por meio de comparação pareada e atribuição qualitativa de grau de importância entre elas;
- Gerar um mapa que ilustre a adequabilidade da área para instalação de um aterro sanitário, com base nos critérios e pesos definidos;
- Realizar uma projeção com relação à população dos municípios selecionados assim como a quantidade de resíduos destinados para o aterro sanitário.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Resíduos sólidos urbanos

A NBR 10.004/2004 (ABNT, 2004a), define resíduo sólido como:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, resultantes das atividades de uma comunidade, de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviço e de varrição. Além disso, também são considerados resíduos sólidos os lodos provenientes dos sistemas de tratamento de água e também aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos, cujas particularidades tornem o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpo d'água inviável, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em detrimento da melhor tecnologia disponível.

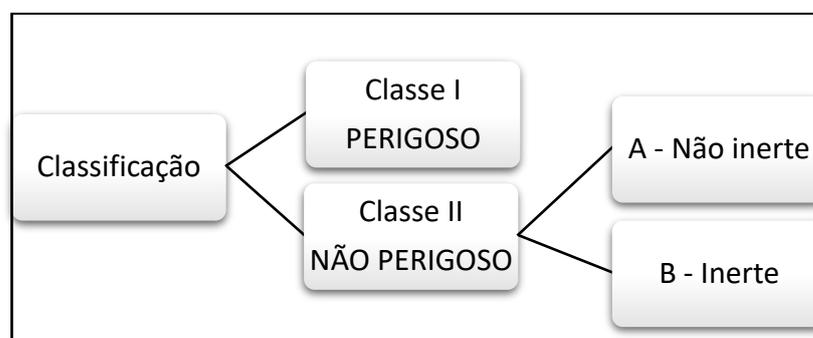
Os RSU podem ser classificados com relação a sua origem ou com relação aos riscos potenciais de contaminação do meio ambiente. De acordo com a PNRS (BRASIL, 2010) quanto a sua origem, podem ser classificados em:

- Resíduos domiciliares: são aqueles provenientes de atividades domésticas nas residências;
- Resíduos de limpeza urbana: provenientes da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas;
- Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviço: resíduos provenientes das atividades domésticas, processos produtivos, atividades agropecuárias e silviculturais e os resíduos gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;
- Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: resíduos provenientes dos processos produtivos, gerados nos serviços de saúde, gerados nas construções, provenientes de atividades agropecuárias e silviculturais, resíduos originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteiras;
- Resíduos industriais: resíduos provenientes do processo produtivo e de instalações industriais;
- Resíduos de serviço de saúde: resíduos gerados nos serviços de saúde, conforme regulamentado pelo Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama) e pelo Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS);

- Resíduos de construção civil: resíduos originados de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, além dos resíduos resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- Resíduos agrossilvopastoris: resíduos provenientes de atividades agropecuárias e silviculturais, bem como os resíduos advindos dos insumos utilizados nessas atividades;
- Resíduos de serviços de transporte: resíduos provenientes de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- Resíduos de mineração: resíduos gerados pela pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.

Já com relação aos riscos potenciais de contaminação do meio ambiente, a NBR 10.004 (ABNT, 2004a) classifica os resíduos sólidos de acordo com a Figura 1.

Figura 1 – Esquema de classificação dos resíduos sólidos de acordo com a NBR 10.004 – 2004.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os Resíduos Classe I são chamados de resíduos perigosos por apresentarem determinado grau de periculosidade. Ou seja, esse tipo de material pode apresentar risco à saúde pública, como por exemplo, o surgimento de doenças e o risco ao meio ambiente quando o gerenciamento desses resíduos não é realizado adequadamente. Estes resíduos apresentam uma ou mais das características a seguir: toxicidade, patogenicidade, reatividade, corrosividade, inflamabilidade. Por sua vez, os Resíduos Classe II são chamados de resíduos não perigosos e são

subdivididos em dois grupos: Classe II A e Classe II B. Os Resíduos Classe II A, são chamados de não inertes e são todos os resíduos que não se enquadram nas classificações de Resíduos Classe I (Perigosos) ou de Resíduos Classe II B (Inertes). Os Resíduos Classe II B, também chamados de resíduos inertes, são resíduos que quando amostrados de forma representativa segundo a NBR 10.007/04 (ABNT, 2004b), e que quando submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme a NBR 10.006/04 (ABNT, 2004c), não apresentam nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, exceto aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

No Brasil, em 2015, segundo a Abrelpe (2015), os números referentes à geração de RSU somavam um total anual de 79,9 milhões de toneladas no país, configurando uma taxa de crescimento com relação ao ano anterior de 1,7%, superior ao crescimento populacional que foi de 0,8%. No estado do Paraná também houve aumento da quantidade de resíduos sólidos gerados no ano de 2015 com relação ao ano anterior, como mostra o Quadro 1.

Quadro 1 – Geração de RSU no estado do Paraná.

População Total		RSU gerado (ton/dia)	
2014	2015	2014	2015
11.081.692	11.163.018	8.776	8.858

Fonte: Pesquisa ABRELPE (2015).

O volume de resíduos sólidos tem tido um grande crescimento ao longo dos anos no Brasil, e parte desse aumento deve-se à redução dos índices inflacionários nos últimos anos, que elevou o poder aquisitivo da população, aumentando consequentemente o consumo, provocando assim uma maior geração de resíduos (LUCENA, 2004).

3.2 Formas de disposição final dos resíduos

Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), a disposição final de resíduos sólidos é:

Distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

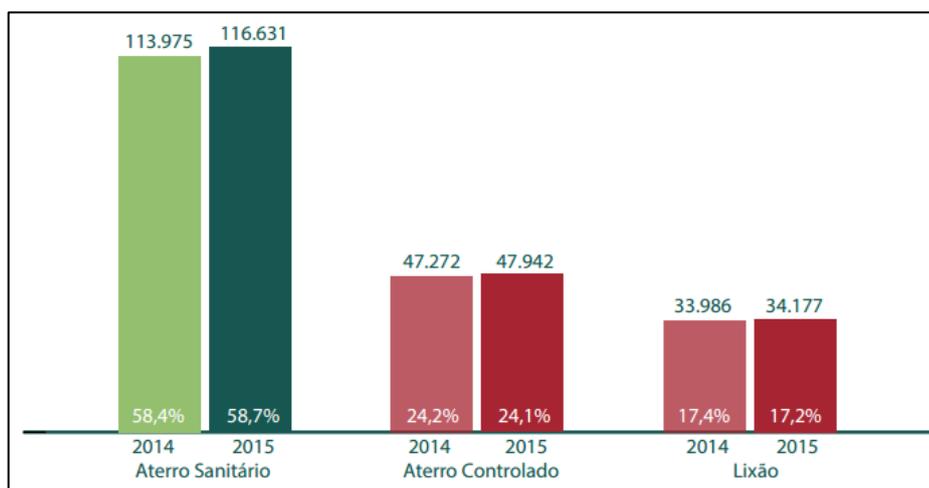
Já a destinação final dos resíduos sólidos, segundo a mesma legislação, pode ser definida como:

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 Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama), do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS) e do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (Suasa), entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

Dessa forma, as maneiras de disposição final de resíduos sólidos são os aterros sanitários, os aterros controlados e os lixões a céu aberto. É importante ressaltar que a partir de 2014, segundo a PNRS (BRASIL, 2010), ficou proibido a destinação final de resíduos sólidos em lixões ou em aterros controlados. Sendo assim, os RSU devem ser tratados, reutilizados ou reciclados e apenas os rejeitos devem seguir para os aterros sanitários.

Na Figura 2 é apresentado o panorama nacional da disposição final dos resíduos sólidos do ano de 2015 comparando-o com o ano de 2014. Na figura observa-se que em 2015 cerca de 41% de todo o resíduo gerado no país ainda eram encaminhados para aterros controlados ou lixões. Dois anos depois, a situação não está muito diferente, e embora não existam dados de fontes como a ABRELPE, inúmeras vezes verificam-se problemas ocasionados por essa disposição incorreta, como por exemplo lixões clandestinos, onde há queimada dos resíduos ou construções realizadas sobre uma área onde esses materiais eram destinados incorretamente no passado.

Figura 2 – Disposição final de RSU no Brasil por tipo de destinação (ton/dia) em 2014 e 2015.



Fonte: ABRELPE (2015).

O maior lixão a céu aberto da América Latina encontra-se no Brasil, no estado do Distrito Federal, bem próximo a Brasília. Inicialmente o “Lixão da Estrutural” seria um aterro controlado, entretanto os resíduos continuaram sendo dispostos no local após seu esgotamento, recebendo atualmente cerca de 2 toneladas de resíduos por dia (BURLAMAQUI, 2017).

Com os números alarmantes, em 2017 a Abrelpe decidiu implantar uma campanha no Brasil, para promover a extinção dos lixões e a sua substituição por aterros sanitários. A meta traçada pela associação é fechar os cinco maiores lixões do país, ainda em operação, nos próximos cinco anos, começando pelo processo de transição do Lixão da Estrutural para o aterro sanitário; seguindo para os lixões de Carpina (PE), Camaçan (BA), Divinópolis (MG) e Jaú (SP). Segundo Carlos Roberto Vieira da Silva Filho, presidente da Abrelpe, o fechamento definitivo de um lixão requer um sistema de gestão de resíduos alternativos, que conte com um plano de gestão integrada, recursos financeiros e suporte social (ALMEIDA, 2017).

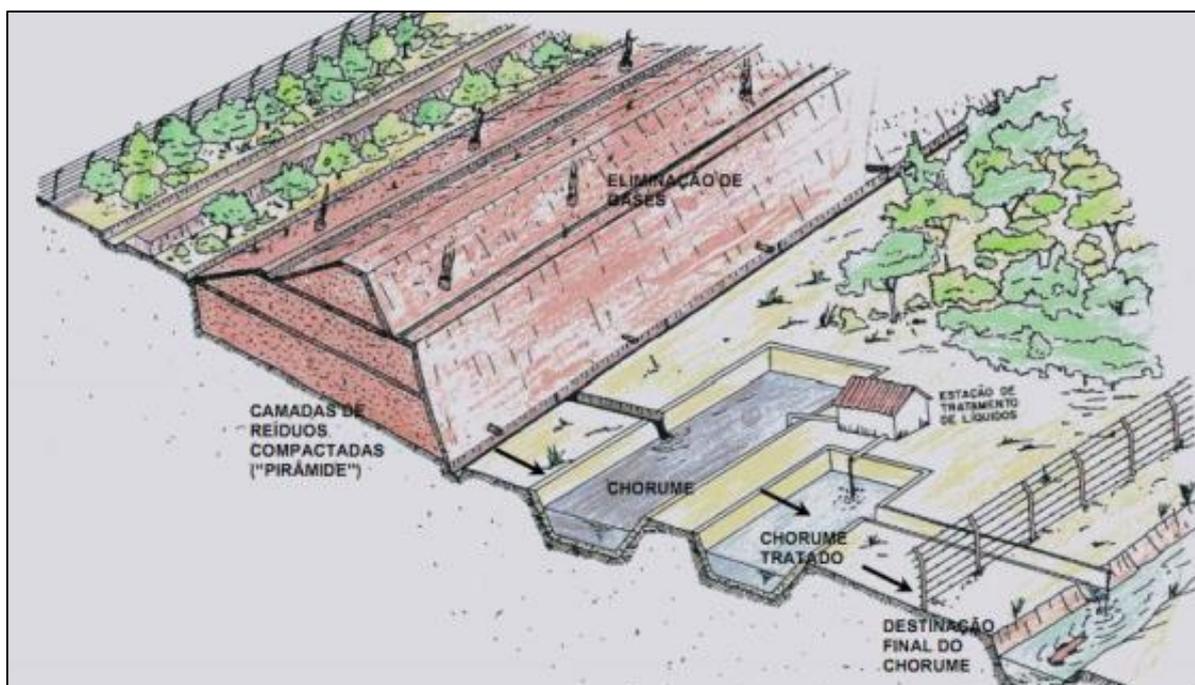
3.2.1 Aterro sanitário

De acordo com a NBR 8419/1992 (ABNT, 1992):

Essa é uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à segurança, reduzindo os impactos ambientais, e ainda é um método que utiliza princípios de engenharia para dispor os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume possível realizando sua cobertura com uma camada de solo na conclusão de cada jornada de trabalho.

Na Figura 3 ilustra-se um aterro sanitário desde suas camadas compactadas até o recolhimento dos gases e chorume gerado, seu tratamento e destinação final.

Figura 3 – Esquema básico de funcionamento de um aterro sanitário.



Fonte: GANDELINI, 2002.

O aterro sanitário, ao contrário do lixão e do aterro controlado, é uma forma indicada para destinação final dos resíduos, pois apresenta diversos sistemas de prevenção à poluição. Desta forma, tem o objetivo de evitar ao máximo a proliferação de vetores e a contaminação direta e indireta dos recursos naturais, além de permitir o controle da poluição do ar, da água, do solo e da poluição estética (LOPES, 2011).

Embora sua construção exija uma extensa área e na maioria dos casos tenha alto custo de implantação e manutenção, com relação a disposição final de resíduos sólidos, essa é a forma mais vantajosa. Segundo Russo (2003) as principais vantagens dos aterros sanitários são as seguintes:

- Grande flexibilidade para receber uma gama muito grande de resíduos;
- Fácil operacionalidade;
- Relativo baixo custo, comparativamente a outras soluções como a incineração;

- Grande disponibilidade de informações acerca do assunto, seja com relação a sua implantação, funcionamento ou seu desligamento; e,

- Não é uma técnica conflitante com formas avançadas de valorização dos resíduos, desde que apenas os rejeitos sejam encaminhados para o aterro sanitário.

No contexto desse sistema vantajoso de disposição final de resíduos sólidos, com relação ao aterro controlado e aos lixões a céu aberto, segundo Thurgood (1999), no mínimo quatro requisitos básicos são necessários para qualquer lugar que virá a servir para a construção de um aterro sanitário, são eles:

- Isolamento hidrogeológico total ou parcial. Caso a área não possa ser localizada em um local onde ocorra naturalmente esta impermeabilização, outros materiais devem ser utilizados para auxiliar o revestimento da base para que não ocorra percolação de chorume para o lençol freático, evitando assim a contaminação do solo e conseqüentemente das águas subterrâneas. Vale ainda salientar que o chorume deve ser recolhido e posteriormente tratado;

- Devem ser desenvolvidos projeto de investigações geológicas e hidrogeológicas, antes da construção do aterro. Além disso, um plano de gerenciamento de resíduos e um projeto de encerramento do aterro devem ser desenvolvidos;

- Deve ocorrer um controle permanente, exercido por pessoal capacitado durante a operação e, posteriormente, a finalização da deposição de resíduos; e,

- Os resíduos devem ser depositados em camadas e devidamente compactados, sendo recobertos diariamente por uma camada de solo para evitar que ocorram problemas relacionados a alguns parasitas.

Dessa forma, o Instituto Ambiental do Paraná (IAP) estabelece diretrizes e critérios orientadores para o licenciamento e outorga, projeto, implantação, operação e encerramento de aterros sanitários, por meio da Resolução CEMA nº 94 (PARANÁ, 2014), visando o controle da poluição, da contaminação e a minimização de seus impactos ambientais. Com relação a instalação de um empreendimento desse tipo, a resolução citada anteriormente afirma que:

O aterro sanitário 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.

Ressalta-se que foram consultados os dados disponibilizados pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), para verificar se existem aeródromos próximos a área de estudo, e constatou-se que o mais próximo localiza-se aproximadamente a 17,5 km.

Além dos critérios elencados pelo IAP, a seleção de uma área para destinação final de resíduos sólidos domiciliares, deve atender aos critérios técnicos impostos pela norma NBR 13.896 (1997), que dispõe sobre os critérios de projeto, implantação e operação de aterros não perigosos, como é o caso do empreendimento em questão. Dessa forma, com relação aos critérios de implantação, no Quadro 2 apresentam-se as principais características técnicas que um aterro sanitário deve ter, baseando-se nas legislações citadas anteriormente.

É importante ainda ressaltar que a distância da rede viária é uma característica muito importante que deve ser contabilizada, e não é regulamentada por nenhuma legislação brasileira. De acordo com Samizava (2006) a área de implantação de um aterro sanitário deve estar localizada entre 200 e 500 m da rede viária, entretanto tais valores foram utilizados com base empírica. Outro autor que aborda o tema é Gomes (2003), e o mesmo explica que a distância da rede viária deve ser de no mínimo 1000 m impedindo que o aterro sanitário cause impactos negativos na malha viária. Ainda segundo o autor, sua justificativa para adoção de tal valor seriam os odores, ruídos, modificação da paisagem e presença de vetores, impactos muitas vezes inevitáveis causados pela implantação de um aterro sanitário. Dessa forma, o valor que Gomes (2003) propôs para a distância da malha viária foi adotado no presente trabalho.

Quadro 2 – Principais critérios técnicos para implantação de um aterro sanitário.

Crítérios	Observações
Proximidade dos corpos d'água	As áreas não podem se situar a menos de 200 m de corpos de água.
Proximidade a núcleos residenciais urbanos	As áreas não devem se situar a menos de 1500 m de núcleos residenciais urbanos que abriguem 200 ou mais habitantes.
Declividade	A declividade da área deve ser superior a 1% e inferior a 30%.
Profundidade do lençol freático	A distância do lençol freático a manta de impermeabilização não pode ser inferior a 1,5 m.
Vida útil mínima	As áreas de aterro devem ter no mínimo 15 anos de vida útil.
Facilidade de acesso	O acesso ao aterro deve ter pavimentação de boa qualidade de forma a minimizar o desgaste do veículo coletor e permitir seu livre acesso ao local.

Fonte: NBR 13.896 (ABNT, 1997) e Resolução do IAP nº 94 (PARANÁ, 2014).

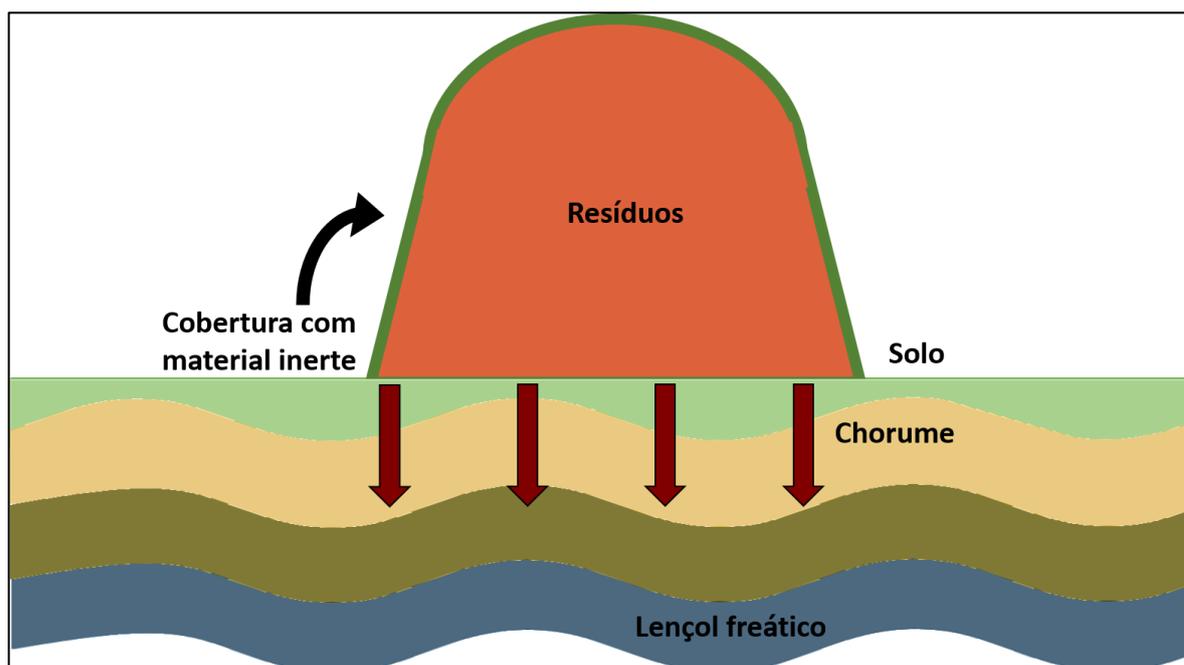
3.2.2 Aterro controlado

O aterro controlado é uma evolução dos lixões, que por intervenção da legislação e dos órgãos de proteção do meio ambiente promovem a cobertura dos resíduos com solo (material inerte) ao final de cada dia de jornada de trabalho. Entretanto, o tratamento não é eficiente uma vez que um aterro controlado não possui nenhum tipo de tratamento do chorume ou impermeabilização do solo, causando assim sua poluição ou ainda a poluição das águas subterrâneas (NASCIMENTO, 2012).

Por não possuir sistema de coleta de chorume, no aterro controlado esse líquido fica retido no interior do aterro, o que proporciona a desestabilização do maciço, resultando em desabamentos e grande risco de acidentes em sua operação.

Além disso, não possui nenhum sistema de impermeabilização, ocasionando a poluição do solo e das águas subterrâneas. O fator mais relevante e que o diferencia do lixão é a cobertura com material inerte ao final de cada jornada de trabalho, evitando animais e catadores. Na Figura 4 é ilustrado o esquema de um aterro controlado.

Figura 4 – Esquema geral de um aterro controlado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.3 Lixões

De acordo com Zanetti (2003) os lixões são formas inadequadas de disposição final de resíduos sólidos e se caracterizam pela simples descarga dos mesmos sobre o solo sem que haja nenhuma aplicação de critérios técnicos e sem qualquer tratamento prévio. Em termos ambientais, inúmeros são os impactos negativos dos lixões, uma vez que eles agravam a poluição do ar, do solo e das águas, além de provocar poluição visual.

Os resíduos lançados dessa forma podem acarretar problemas à saúde pública, como proliferação de vetores de doenças, geração de odores desagradáveis e principalmente a contaminação do solo e das águas subterrâneas pela percolação do chorume. O chorume apresenta elevado potencial poluidor e surge pela infiltração e percolação da água e decomposição da matéria orgânica contida nos resíduos.

Além disso, as áreas onde são localizados os lixões podem apresentar riscos de incêndio, com explosão e deslizamentos. Um outro fator a ser analisado é o socioeconômico, visto que estas áreas são atrativas para a população desfavorecida que usa a catação como forma para conseguir seu sustento e, muitas vezes, passam também a habitá-lo (NASCIMENTO, 2012).

Em termos sociais, os lixões a céu aberto, influem ainda, na estrutura local. A área passa a exercer atração nas populações de baixa renda do entorno, que buscam na separação e comercialização de materiais recicláveis, uma alternativa de trabalho, apesar das condições insalubres e sub-humanas da atividade (FEAM, 1995).

3.3 PNRs e consórcios intermunicipais

No Brasil, a sistematização do serviço de limpeza urbana teve início em 25 de novembro de 1880, na cidade de São Sebastião do Rio de Janeiro, capital do então Império (MONTEIRO, 2001).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), foi aprovada com o objetivo de obrigar desde o fabricante até o consumidor a dar a correta destinação e disposição 'final' aos resíduos sólidos. No art. 1º parágrafo 1º dessa lei, tem-se:

Estão sujeitas à observância desta lei as pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, responsáveis, direta ou indiretamente, pela geração de resíduos sólidos e as que desenvolvam ações relacionadas à gestão integrada ou ao gerenciamento de resíduos sólidos (PNRS, 2012, p. 9).

A Lei 12.305/2010 também possui instrumentos importantes que permitem o avanço do país para mitigar os principais problemas ambientais, sociais e econômicos provenientes do manejo inadequados dos RSU. Essa lei, ainda prevê a redução na geração de RSU, tendo como proposta a prática de hábitos de consumo sustentável que possibilitam o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos e também a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos.

A PNRs fortalece os princípios da gestão integrada e sustentável de resíduos e propõe medidas de incentivo à formação de consórcios públicos para a gestão regionalizada, com intuito de ampliar a capacidade de gestão das administrações municipais, por meio de redução de custos no caso de compartilhamento de sistemas de coleta, tratamento e destinação de resíduos sólidos.

Tal política foi inovadora ao propor a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e a sua logística reversa, a prevenção, precaução, redução, reutilização e reciclagem, metas de redução de disposição final de resíduos em aterros sanitários e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (JACOB; BESEN, 2011).

Consórcios intermunicipais são parcerias entre municípios para a realização de ações conjuntas, incrementando a qualidade dos serviços públicos prestados à população. Os consórcios surgem da iniciativa autônoma dos municípios, que resolvem atuar de forma cooperada em torno de uma questão em comum. Sua criação pode ser uma decisão do próprio município, de um município vizinho ou ainda do governo estadual ou federal (CALDAS, 2007).

Um dos pontos mais importantes quando se trata dos consórcios e da PNRS é a possibilidade de que a disposição final dos resíduos se realize em conjunto com vários municípios que, sozinhos, não possuem estrutura financeira para uma obra desse porte. Nesse contexto, de acordo com o Instituto das Águas do Paraná (PARANÁ, 2010), os benefícios que devem ser levados em conta para a implantação de consórcios intermunicipais de aterros sanitário são:

- Melhoria da qualidade da operação dos aterros, evitando que se tornem lixões e gerem desperdício do dinheiro público investido na sua implantação;
- Diminuição das áreas utilizadas como aterros sanitários (possíveis focos de contaminação quando mau operados);
- Ganhos de escala de operação e rateio dos custos administrativos e operacionais;
- Otimização do uso de máquinas e equipamentos no aterro;
- Maior disponibilidade de recursos para proteção ambiental; e,
- Maior representatividade na solução de problemas locais.

A Lei Federal dos Consórcios Públicos 11.107/05 (BRASIL,2005), foi criada em 2005 e estabelece as normas gerais de consórcios públicos, a fim de priorizar os recursos da União aos municípios que a realizam. A PNRS em conjunto com a Lei 11.107 fornece todo o embasamento necessário para que os responsáveis políticos dos municípios adotem o sistema de consórcios como forma de solução da problemática de destinação final dos resíduos sólidos.

De acordo com a prefeitura da cidade de Anastácio, no estado do Mato Grosso do Sul, as cidades de Anastácio, Miranda, Bodoquena e Aquidauana já realizam a disposição final de resíduos sólidos por meio de um consórcio intermunicipal. O ministério público do estado de Goiás também adotou essa ideia e o consórcio intermunicipal dos municípios de Jussara, Fazenda Nova, Novo Brasil, Santa Fé de Goiás, Matrinchã e Itapirapuã já está em vigor. São diversas as cidades que tem realizado a disposição final de seus resíduos de forma consorciada, e tem aumentado o número de estudos de viabilidade dessa alternativa (ALMEIDA, 2017).

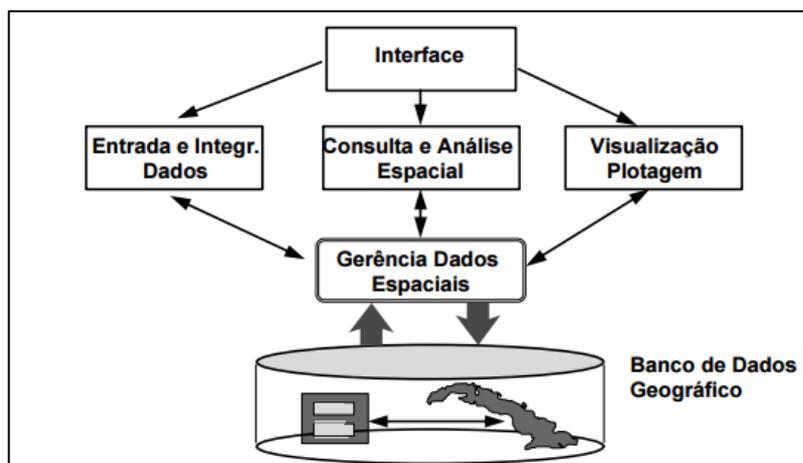
3.4 Geoprocessamento

O termo Geoprocessamento pode ser separado em Geo (terra) e Processamento (de informações) (PIROLI, 2010). Geoprocessamento pode ser caracterizado como um conjunto de técnicas, metodologias de armazenamento e ferramentas tecnológicas que agrupadas tem por objetivo coletar, gerenciar e tratar informações espaciais georreferenciadas para um objetivo específico (LOPES, 2011).

As ferramentas computacionais para Geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), permitem realizar análises complexas, integrar dados de diversas fontes e criar bancos de dados georreferenciados. Tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

Na Figura 5 é apresentada a estrutura geral de um SIG. A interface representa o conjunto de telas do sistema, que possibilitam o acesso e alteração dos dados; o módulo de entrada e integração dos dados está relacionado à importação dos mesmos para o sistema; a parte de consulta e análise espacial possui a implementação das técnicas para o processamento dos dados; a visualização e plotagem permitem a análise visual e elaboração dos mapas e outros resultados visuais gerados por meio de geoprocessamento; e a gerência de dados está relacionada ao armazenamento no banco de dados geográfico.

Figura 5 – Estrutura geral de SIG.



Fonte: Câmara e Davis (2001).

Com relação a representação de dados em geoprocessamento, podem ser consideradas duas grandes classes de representações geométricas: matricial e vetorial. A representação matricial consiste no uso de uma malha quadriculada regular sobre a qual se constrói, célula a célula, o elemento que está sendo representado e a cada célula, atribui-se um valor referente ao atributo estudado. Exemplos de dados matriciais são as imagens de sensoriamento remoto e as grades altimétricas. Já na representação vetorial, um elemento é reproduzido geometricamente a partir de três formas básicas: pontos, linhas, áreas ou polígonos. Os dados cadastrais, como os lotes de uma cidade, são exemplos de representações desse tipo (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

3.4.1 Inferência geográfica

A inferência está relacionada à ideia de dedução e a partir das técnicas de inferência espacial, por meio da qual pode-se realizar a integração de dados espaciais de múltiplos formatos e fontes com o objetivo de modelar um determinado fenômeno. Essas técnicas podem ser utilizadas para analisar e descrever fenômenos naturais, a partir da construção de cenários por meio de modelos gerados em SIG (Camargo et al., 2007). Segundo Pendock e Nedeljkovic (1996) grande parte dos projetos desenvolvidos em SIG tem como principal proposta a combinação de dados espaciais, com o objetivo de descrever e analisar interações, fazer previsões por meio de modelos matemáticos, e fornecer apoio nas decisões. A combinação de dados

provenientes de fontes diferentes permite uma redução significativa na incerteza dos resultados, em relação à análise individual de cada um dos dados.

Os métodos matemáticos mais utilizados em análises multicritério são as abordagens de média ponderada, booleana e fuzzy.

A modelagem por meio de lógica **booleana** envolve a definição de um conjunto de regras condicionais (se – então). Cada mapa utilizado pode ser entendido como um plano de informação. Os vários planos de informação são combinados segundo uma sequência lógica para dar suporte a uma hipótese ou proposição definidas. Diferentes operações são testadas, para determinar se as evidências satisfazem ou não às regras definidas pela hipótese (CÂMARA et al, 2001). Em resumo, o resultado é expresso na forma binária, 0 ou 1, em que o 0 representa a hipótese não satisfeita e o 1 a hipótese satisfeita. É importante ainda ressaltar que a condição talvez não existe nesse método.

O apelo dessa modelagem é sua simplicidade. Na prática, entretanto, normalmente não é indicada a atribuição de importâncias iguais para cada critério a ser combinado. Segundo Bonham-Carter (1994), evidências precisam ser ponderadas dependendo da sua importância relativa.

Na modelagem por meio de **média ponderada** cada mapa de entrada recebe um peso diferente, que depende do grau de importância da hipótese analisada. O resultado da modelagem é um mapa que expressa o grau de importância relativa por meio dos valores numéricos de saída (CÂMARA, 2001). O grande problema desse método é que o resultado varia conforme o julgamento de quem está analisando, uma vez que os critérios de importância adotados, na forma de pesos, variam dependendo de quem está realizando a análise.

A lógica **fuzzy** baseia-se na teoria dos conjuntos fuzzy e difere-se dos sistemas lógicos tradicionais em suas características. Nesta lógica, o raciocínio exato é interpretado como um processo de composição de relações nebulosas (GOMIDE, 1994). De acordo com Lee (1990) a modelagem e o controle fuzzy são técnicas para se manusear informações qualitativas de uma maneira rigorosa. Tais técnicas consideram o modo como a falta de exatidão e a incerteza são descritas, tornando-se suficientemente poderosas para manipular de maneira conveniente o conhecimento. Essa lógica foi utilizada no presente trabalho e será descrita na sessão 3.4.1.1.

3.4.1.1 Abordagem *fuzzy*

A Lógica *fuzzy* representa os modos de raciocínio aproximados, ao invés de exatos. Conhecida como lógica nebulosa, está sempre relacionada a algo incerto. Tomando como exemplo a frase a seguir: *Um corpo d'água apresenta alta contaminação no ponto "A", entretanto a contaminação no ponto "C" é nula. O ponto "B" apresenta um grau intermediário.* Este grau intermediário, ou zona de transição é o que a lógica *fuzzy* permite representar. Dessa forma, o principal objetivo desta abordagem é a modelagem computacional do raciocínio humano, impreciso, ambíguo e vago (MARRO, 2010).

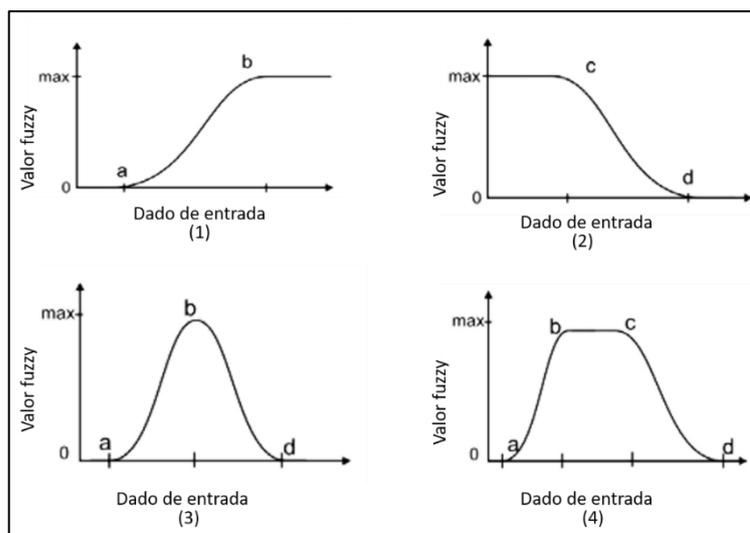
O método *fuzzy* busca expressar transições graduais desde a pertinência até a não pertinência, sendo capaz de capturar os graus de verdade (MORAES, 2008).

Essa modelagem utiliza os conjuntos *fuzzy* como base e seu intervalo de pertinência é $[0,1]$, em que 0 significa que um elemento não pertence a um determinado conjunto, 1 significa completa pertinência ao conjunto, e valores entre 0 e 1 representam graus parciais de pertinências (MARRO, 2010).

As funções matemáticas que definem os conjuntos nebulosos podem ser lineares, não lineares, normais, gaussianas, ascendentes, descendentes, sigmóides, entre outras (BURROUGH; MCDONNELL 1998). Tais funções necessitam de pontos de controle para que sua modelagem seja próxima ao que se pretende representar.

A função utilizada no presente trabalho foi a sigmoidal, também conhecida como forma de "s", que é uma das mais empregadas assim como as funções lineares. De acordo com a Figura 6, estão representadas as funções: sigmoidal crescente (1), sigmoidal decrescente (2), e duas funções simétricas (3) e (4). Na função sigmoidal crescente (1) são necessários apenas dois pontos de controle, "a" e "b", analogamente, a curva decrescente (2) necessita de dois pontos, "c" e "d". Na função sigmoidal simétrica (3) os pontos "a" e "d" atribuem o valor de pertinência "0" da função e o ponto "b" recebe o valor de máximo "1". Este mesmo raciocínio vale para a curva (4) onde "a" e "d" são pontos de controle de valor "0" e, "b" e "c" atribuem o valor numérico máximo da função (SAMIZAVA, 2008).

Figura 6 – Funções sigmoidais.

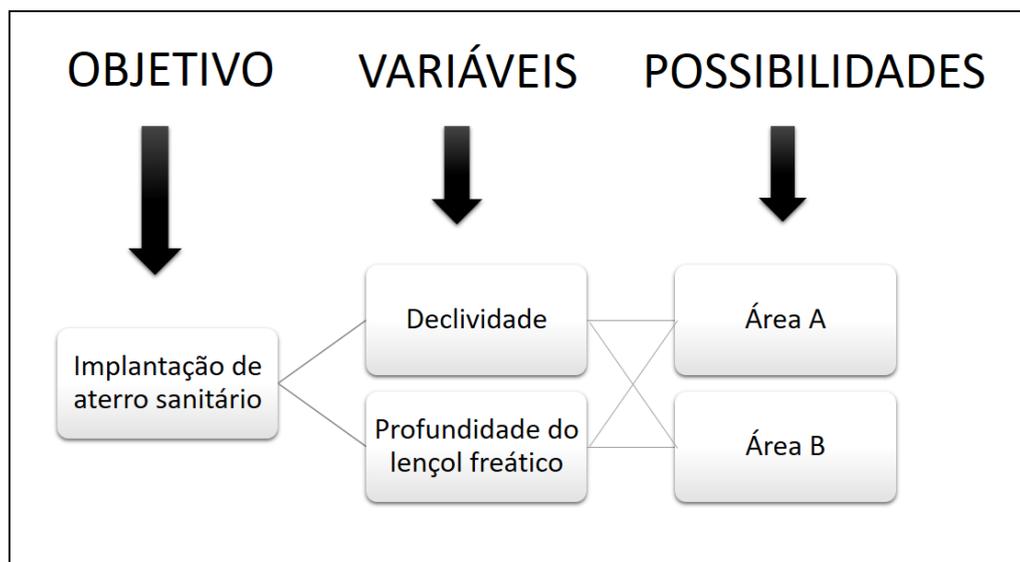


Fonte: Eastman (1999).

3.4.1.2 Processo Analítico Hierárquico

O método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) foi desenvolvido por Tomas L. Saaty no início da década de 70 e é o método de multicritério mais utilizado e conhecido no apoio à tomada de decisão, ou em problemas com múltiplos critérios (MARINS; SOUZA; BARROS, 2009). Nesse método os julgamentos são dados por meio de comparações de pares de variáveis. O analista avalia pares de comparação respondendo à questão: “Quanto um critério é mais importante do que o outro em relação ao problema considerado?” (SAMIZAVA, 2006). Por exemplo, para os critérios declividade e profundidade do lençol freático qual o peso relativo de cada um na seleção da área para implantação de um aterro sanitário? Sendo A e B, as alternativas hipotéticas, quanto A é mais apta a implantação comparado a B, com relação a declividade? E com relação a profundidade do lençol freático? Na figura 7 ilustra-se essa situação, exemplificando a comparação pareada.

Figura 7 – Estrutura referente à comparação pareada de variáveis.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A definição de prioridades, ou do grau de importância de uma variável sobre a outra, para comparação pareada deve ser dada conforme os pesos do Quadro 3.

Quadro 3 – Escala de importância do método AHP.

Intensidade de importância ou peso	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 de maior ordem possível
2,4,6,8	Valores intermediários entre julgamentos – possibilidades de compromisso adicionais

Fonte: Saaty (1990).

Os pesos atribuídos a todos os pares vão compor uma matriz de avaliação $n \times n$, em que n é o número de critérios envolvidos na análise, e para preencher a matriz, o tomador de decisão faz a comparação por linhas. A diagonal principal da matriz é preenchida com o valor 1, uma vez que trata da comparação de um elemento com ele mesmo. Após isso, define-se a importância de cada elemento de cada linha em relação a cada elemento de todas as colunas. Generalizando, a pergunta a ser feita é: "quanto mais importante é a contribuição do elemento da linha em relação ao elemento de cada uma das colunas? (WOLFF, 2008). Na Figura 8 é apresentada uma matriz de comparação pareada hipotética entre três variáveis.

Figura 8 – Matriz de comparação hipotética.

	Declividade	Prof. do lençol freático	Dist. de corpos hídricos
Declividade	1	Quanto a declividade é mais importante que a profundidade do lençol freático?	Quanto a declividade é mais importante que a distância de corpos hídricos?
Prof. do lençol freático		1	Quanto a profundidade do lençol freático é mais importante que a distância de corpos hídricos?
Dist. de corpos hídricos			1

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir dos autovalores da matriz de avaliação, os pesos finais de cada critério, ou mapa, são obtidos e para o resultado final do trabalho, cada um dos pesos deve ser multiplicado por seu respectivo *mapa fuzzy*.

Para determinar numericamente se os pesos foram atribuídos às variáveis de forma coerente, existe a métrica de razão de consistência, cujos detalhes e cálculos estão no apêndice A.

As aplicações do método descrito são inúmeras e dessa forma, cada vez mais seu uso está sendo divulgado e utilizado, em várias áreas de aplicação. Em Trevizano e Freitas (2005), os autores avaliaram o uso do método AHP na escolha de

processadores para microcomputadores com o intuito de tratar a subjetividade existente em problemas desse tipo.

Outro trabalho realizado na mesma área de atuação é de Granemann e Gartner (1998) em que aplicam esse método de análise multicritério na solução de um problema que exerce grande influência na estrutura de capitais da empresa e envolve a análise de inúmeras variáveis quantitativas e qualitativas.

Na área ambiental, Marchezetti, Kaviski e Braga (2011), realizaram uma pesquisa dos tratamentos tecnológicos dos resíduos domiciliares e aplicaram o método AHP para escolha da melhor técnica. Samizava (2006) utilizou o método para avaliar a adequabilidade de um local visando a implantação de um aterro sanitário. O autor considerou os mesmos critérios que foram avaliados nesse trabalho, em estudo que baseia-se no manual da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), aplicado ao município de Presidente Prudente.

Lopes (2011) também avaliou a implantação de um aterro sanitário a partir de análise multicritério por meio do método AHP em conjunto com a modelagem *fuzzy*. A mesma abordagem de Samizava (2006) foi seguida, e a autora avaliou a implantação de um aterro sanitário no Distrito de Floresta do Sul, em Presidente Prudente, com objetivo de indicar a aptidão da área para receber um empreendimento desse tipo.

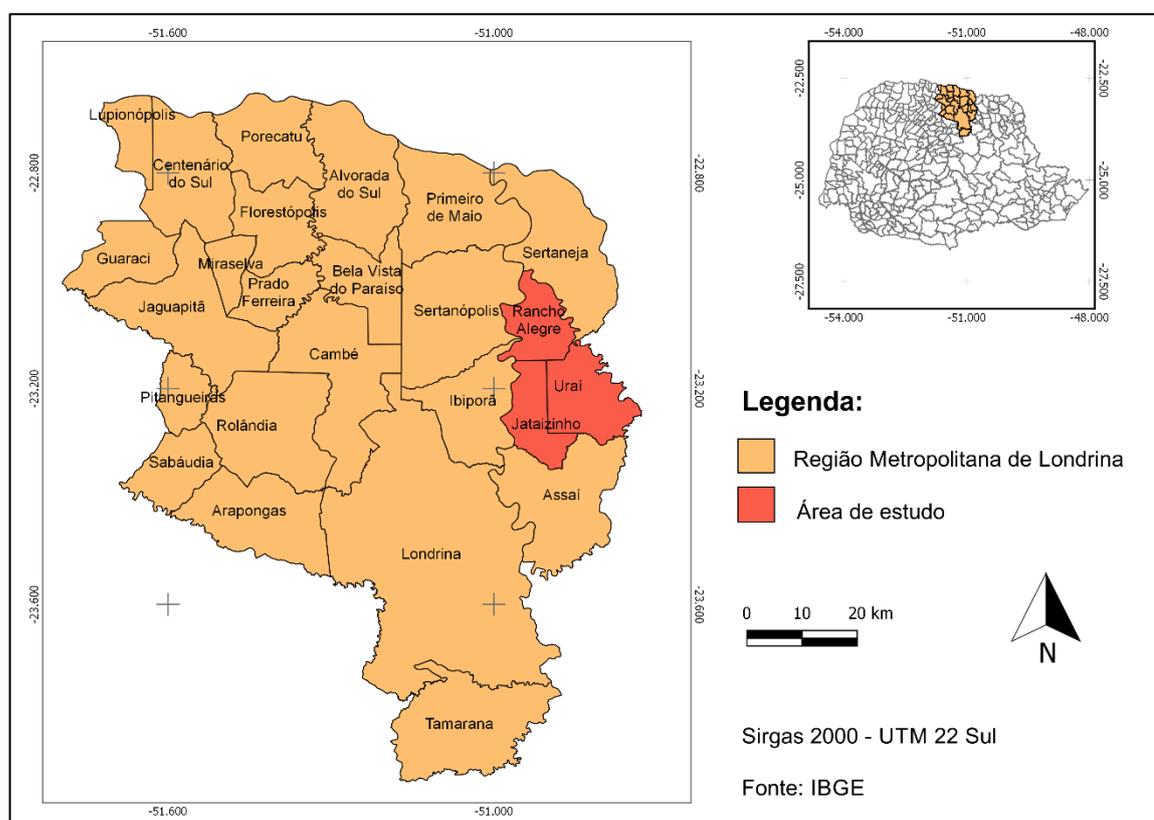
Dessa forma, é possível afirmar que o método descrito é amplamente aplicável em muitas áreas de estudo, apresentando resultados positivos nos trabalhos abordados.

4 METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

O objeto de pesquisa do presente trabalho é a região formada pelos municípios de Jataizinho, Rancho Alegre e Uraí, pertencentes à RML, a qual desde o ano de 2014, de acordo com a Administração Pública Municipal, engloba 25 municípios, representados na Figura 9.

Figura 9 – Região Metropolitana de Londrina.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Dos municípios escolhidos como área de estudo desse projeto, Uraí e Rancho Alegre não contam com nenhuma estrutura de disposição final de resíduos sólidos, e o município de Jataizinho possui uma estrutura com a vida útil esgotada, sendo necessária a construção de um novo empreendimento.

No Quadro 4 apresenta-se a extensão territorial, população total e também a localização espacial dos municípios que fazem parte da área de estudo do presente trabalho.

Quadro 4 – Características dos municípios pertencentes a área de estudo.

Município	Área Total (km ²)	População Total (hab.)	Coordenadas	
			Latitude	Longitude
Jataizinho	159,178	11.875	23°15'15" S	50°58'48" W
Rancho Alegre	167,646	3.955	23°04'12" S	50°54'47" W
Uraí	237,810	11.472	23°11'51" S	50°47'47" W

Fontes: IBGE (2010); PERFIL DA REGIÃO METROPOLITANA DE LONDRINA (2014).

4.2 Materiais

Os mapas e dados georreferenciados utilizados foram:

- Cartas altimétricas, na escala de 1:250.000, obtidas por meio do projeto TOPODATA. Esse é um projeto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais que foi lançado em 2008, e oferece o modelo digital de elevação e dados derivados em cobertura nacional, obtidos por meio da missão SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission). Que, por sua vez, consiste em um sistema a bordo de um ônibus espacial que realizou levantamento global durante 11 dias, em Fevereiro de 2000. Em resumo, o projeto TOPODATA fornece os dados altimétricos da superfície nacional utilizando dados SRTM.
- Mapa rodoviário disponível na plataforma digital do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, ou, DNIT.
- Mapa hidrográfico acessível no portal digital Hidroweb que oferece um banco de dados com as informações coletadas pela rede hidrometeorológica da Agência Nacional das Águas (ANA).
- Mapas políticos municipal e estadual oriundos da plataforma digital do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- Dados referentes à localização e profundidades de poços na área de estudo, proveniente da plataforma digital do Sistema de Informação de Águas Subterrâneas (SIAGAS), desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil. O SIAGAS é composto por uma base de dados de poços atualizada, e de módulos capazes de realizar consulta e pesquisa, e foi desenvolvido a partir do mapeamento e pesquisa

hidrogeológica em todo o país. Tais dados foram utilizados para estimar a profundidade do lençol freático, por meio do nível estático da água.

- Dados populacionais referentes aos anos de 2010 e 2016, obtidos por meio da plataforma digital do Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES). O IPARDES é uma instituição de pesquisa vinculada à Secretaria de Estado do Planejamento e Coordenação Geral - SEPL, cuja função é estudar a realidade econômica e social do Paraná para dar subsídio a formulação e execução de políticas públicas.

- Dados referentes ao percentual da população atendida com serviços de coleta de lixo domiciliar no ano de 2013, provenientes da plataforma digital do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). O SNIS é o mais importante sistema de informações do setor saneamento no Brasil, administrado pelo Governo Federal por meio da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA).

Todo o processamento de dados do presente trabalho foi realizado por meio do software livre QGIS versão 2.8 e versão 2.16.

4.3 Métodos

4.3.1 Pré-processamento dos dados georreferenciados

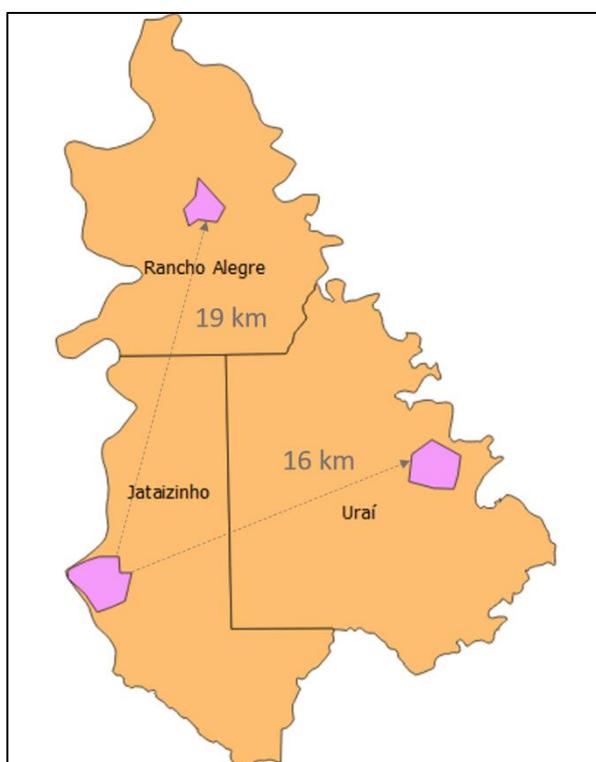
Cada conjunto de dados georreferenciado foi submetido a um conjunto de operações, a fim de prepará-los para a análise propriamente dita, conforme os passos seguintes:

- Dados de declividade: a importação dos dados foi realizada, posteriormente o datum foi ajustado ao sistema de referências utilizado no projeto, oficialmente utilizada no Brasil (SIRGAS 2000). Os dados hipsométricos foram convertidos em dados de declividade por meio de uma operação aplicável a modelos digitais de elevação (MDE), que possibilitou a geração da declividade em unidade de percentual;

- Dados referentes a localização da malha viária, área urbana e corpos hídricos: foi realizada a importação dos dados e realizado um recorte sobre a área de estudo. Para possibilitar o processamento dos dados, foi utilizada uma operação chamada análise de proximidade, também chamada de distância raster. Essa

operação fornece a informação da distância que um determinado objeto se encontra de cada ponto. Ou seja, a localização do objeto é a distância 0 e a partir dele são apresentadas as distâncias em cada ponto do mapa. Dessa forma, quando a lógica *fuzzy*, foi aplicada, utilizou-se as distâncias como entrada para as funções *fuzzy*. Por exemplo, com relação a distância das áreas urbanizadas, a resolução CEMA n°94 do IAP (PARANÁ, 2014) indica que o aterro deve estar a distância mínima de 1.500 m, e dessa forma a ferramenta de proximidade fornece essa distância. Na Figura 10, ilustra-se a distância entre as áreas urbanas;

Figura 10 – Modelo geral da ferramenta proximidade.



Fonte: Elaborado pelo autor.

- Dados acerca da profundidade do lençol freático: para obter esta informação foi aplicada a técnica de interpolação. No repositório do SIAGAS obteve-se a localização dos poços de monitoramento e o respectivo nível de água do lençol freático. A partir desses dados foi gerada uma superfície da profundidade das águas subterrâneas para toda a área de estudo, por meio da interpolação realizada pelo método IDW (Inverse Distance Weighted). Nesse método de interpolação, o valor do ponto que se deseja interpolar é calculado pela média ponderada entre os valores dos pontos vizinhos, em que os pontos mais próximos do

ponto interpolado recebem um peso maior do que os pontos mais distantes (MEDEIROS, 2009);

- Dados referentes a projeção populacional e geração de resíduos: Para realizar a projeção populacional foram utilizados dados do Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES). Com relação ao cálculo da geração de resíduos ao longo dos anos, foram utilizados dados provenientes do Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS) para analisar a taxa de coleta dos municípios e dados de geração per capita apresentados por Monteiro (2001);

4.3.2 Análise multicritério

Os critérios avaliados para identificar as áreas mais adequadas para a instalação do aterro foram: declividade, profundidade do lençol freático e distâncias da rede viária, das áreas urbanizadas e dos corpos hídricos. A análise multicritério pode ser realizada de diferentes maneiras, e a metodologia aplicada neste estudo foi a utilização de inferência *fuzzy* e posterior aplicação do método AHP para obtenção do resultado final, já utilizada em trabalho semelhantes tais como: SAMIZAVA (2006) e LOPES (2011).

4.3.2.1 Modelagem *fuzzy*

A modelagem utilizando lógica *fuzzy* foi realizada em todas as variáveis avaliadas, e para cada uma delas uma função matemática foi aplicada. As equações (1) e (2) foram utilizadas para modelagem e propostas por Eastman (1999), sendo a equação (1) uma equação sigmoidal crescente e a equação (2) uma sigmoidal decrescente.

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

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

Onde,

a, b, c e d são os pontos de controle atribuídos para cada variável analisada e apresentados no Quadro 5; e,

x é o valor de entrada da função.

Além das equações sigmoidais crescente e decrescente, uma equação sigmoidal simétrica também foi aplicada. A função simétrica é uma junção das duas equações citadas acima, ou seja, do ponto de controle a até o ponto de controle b, ela é modelada por meio da Equação 1 (sigmoidal crescente), do ponto de controle b até o ponto de controle c a função é constante e tem valor máximo, do ponto de controle c até o ponto d a função é modelada por meio da equação 2 (sigmoidal decrescente).

No Quadro 5 são elencados todos os critérios utilizados no presente trabalho e suas respectivas funções, assim como os pontos de controle adotados para cada função.

Quadro 5 – Funções utilizadas na modelagem fuzzy.

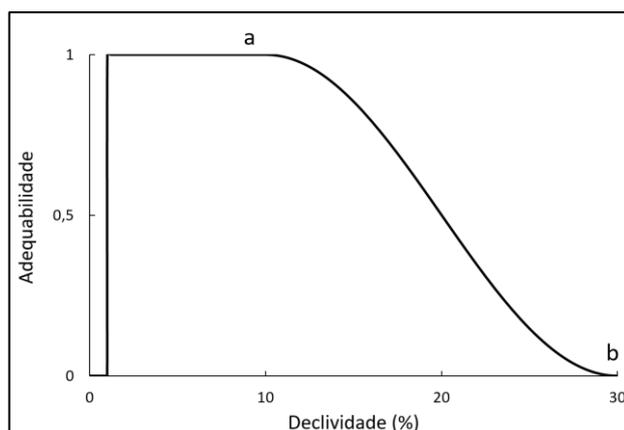
Critérios	Função	Pontos de controle			
		a	b	c	d
Declividade	Sigmoidal decrescente			10	30
Distância da rede viária	Sigmoidal simétrica	0	1000	2000	3000
Distância de áreas urbanizadas	Sigmoidal crescente	1500	15000	-	-
Distância dos cursos d'água	Sigmoidal crescente	200	500	-	-
Profundidade do lençol freático	Sigmoidal crescente	5	15	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

O critério declividade foi modelado por meio de uma função sigmoidal decrescente devido ao fato da adequabilidade da área diminuir com o aumento da declividade. Os pontos de controle foram 10 e 30%, sendo de 1 a 10% o mais adequado possível, decrescendo até 30%, em que a adequabilidade é nula. O valor de adequabilidade máxima foi proposto por Samizava (2006) devido ao manual da CETESB (1997) indicar essa declividade como a mais adequada para implantação de um aterro, e para o presente trabalho esse ponto de controle também foi adotado devido ao fato de nenhuma legislação estadual ou federal indicar um valor de máxima adequabilidade para esse critério. Ressalta-se ainda que a NBR 13.896 (ABNT, 1997) indica que entre 0 e 1% a adequabilidade deve ser nula, já que a área para implantação de um aterro sanitário deve possuir declividade entre 1 e 30%. Na Figura 11 apresenta-se a função utilizada e seus pontos de controle também são indicados.

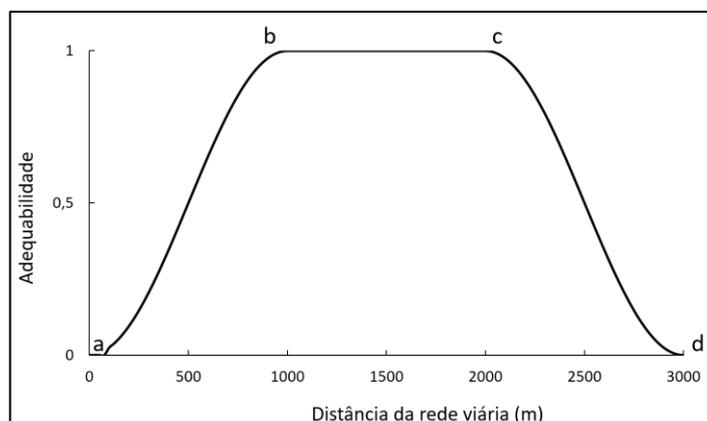
A variável distância da rede viária, foi modelada utilizando uma função sigmoideal simétrica. Os pontos de controle para esse critério foram propostos por Gomes (2003), uma vez que nenhuma legislação aponta esses valores, sendo que a NBR 13.896 (ABNT, 1997) diz apenas que deve haver facilidade no acesso ao aterro sanitário, e que as vias devem ser asfaltadas. Para a distância de 0 m foi atribuído um valor nulo, por ser a própria rodovia. Para locais acima de 1000 m de uma rede viária atribui-se o máximo valor de adequabilidade uma vez que a essa distância um aterro possui custos de implantação baixos não afeta os usuários da estrada. Esse valor máximo será constante até a distância de 2000 m. Por fim, distâncias acima de 2000 m diminuem sua adequabilidade em função dos altos custos com transporte, e dessa forma o último ponto de controle adotado foi o de 3000 m, que torna a adequabilidade nula. Na Figura 12 ilustra-se a função que modelou esse critério, assim como seus pontos de controle.

Figura 11 – Função sigmoideal decrescente do critério declividade.



Fonte: Elaborado pelo autor.

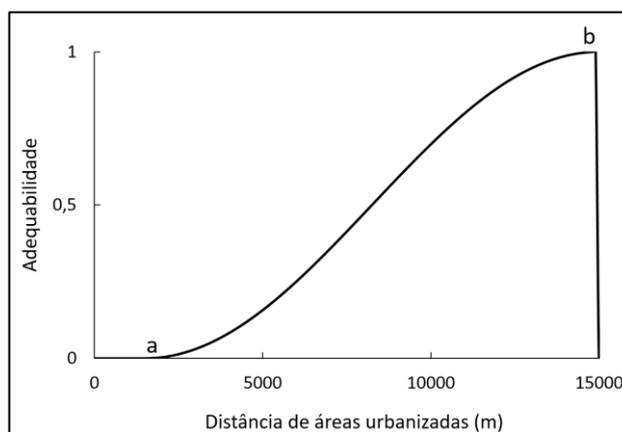
Figura 12 – Função sigmoideal simétrica do critério distância da rede viária.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na modelagem da distância das áreas urbanizadas foi utilizada uma equação sigmoidal crescente com pontos de controle de 1500 e 15000 m, respectivamente. Segundo a NBR 13.896 (ABNT, 1997) e a Resolução n° 94 do IAP (PARANÁ, 2014), o aterro sanitário deve estar localizado a uma distância mínima de 1500 m de núcleos populacionais, justificando dessa forma o primeiro ponto de controle. Nenhuma das duas legislações apontam um valor máximo para esse critério, no entanto, Gomes (2003) afirma que o aterro deve localizar-se no máximo a 15 km dos centros urbanos. Dois fatores (opostos) devem ser considerados na análise desse critério: quanto mais longe da área urbana mais inviável será o transporte, devido ao alto custo do mesmo, e em contrapartida a população não se mostra interessada em possuir um empreendimento desse tipo próximo as suas residências. Dessa forma, tem-se adotado a distância máxima de 15 km para resolver essa questão. Outro motivo que contribuiu para a adoção do último ponto de controle (15 km) foi o fato de possibilitar a expansão urbana dos municípios analisados sem afetar a vida útil do aterro sanitário, que deve ser de no mínimo 15 anos. Na Figura 13 ilustra-se a função que modelou essa variável e também seus pontos de controle.

Figura 13 – Função sigmoidal crescente do critério distância das áreas urbanizadas.

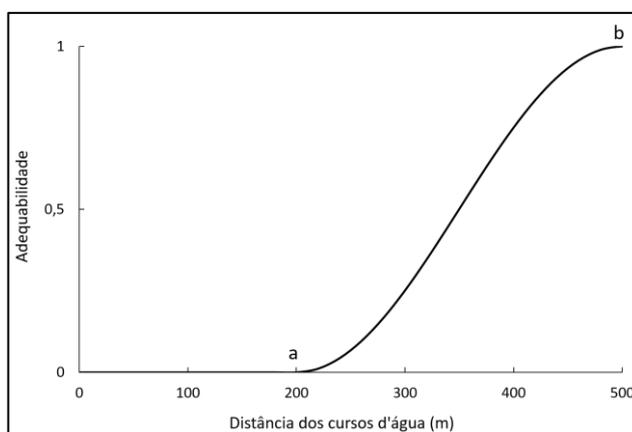


Fonte: Elaborado pelo autor.

A distância dos cursos d'água foi modelada por meio de uma função sigmoidal crescente, já que a adequabilidade aumenta proporcionalmente à distância do corpo hídrico. De acordo com a NBR 13.896 (1997) a distância mínima deve ser de 200 m, e dessa forma os pontos de controle foram definidos como 200 e 500 m. O ponto de controle referente a 500 m foi definido por Samizava (2006) como a

adequabilidade máxima de determinada região com relação à distância de um corpo hídrico, sendo por isso adotado para o presente estudo. Segundo o autor, o ponto de 500 m é o primeiro ponto onde a adequabilidade será máxima, e a partir desse valor quanto mais distante do corpo hídrico melhor. Na Figura 14 ilustra-se a função sigmoidal crescente correspondente a esse critério, assim como seus pontos de controle.

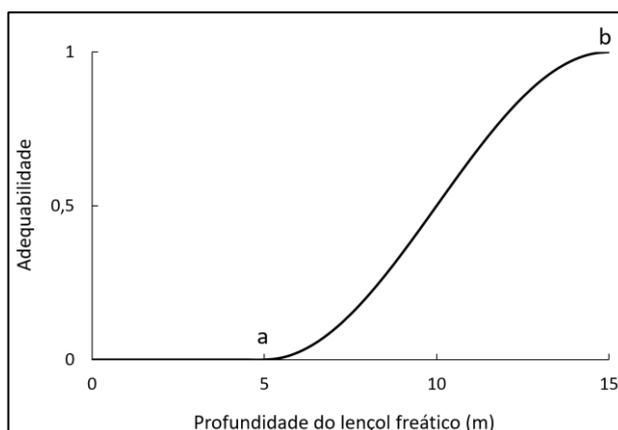
Figura 14 – Função sigmoidal crescente do critério distância dos cursos d'água.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com relação a profundidade do lençol freático, a equação utilizada também foi uma sigmoidal crescente e seus pontos de controle foram 5 e 15 m, respectivamente. De acordo com as duas legislações analisadas, entre a superfície inferior do aterro e o mais alto nível do lençol freático deve haver uma distância de 1,5 m, e para que houvesse uma margem de erro ou ainda para possibilitar uma escavação, caso seja necessário, adotou-se o primeiro ponto de controle como 5 m, e áreas onde a distância do lençol freático seja inferior a esse valor se tornam inviáveis. Segundo Samizava (2006), o valor de 15 m de profundidade do lençol freático é o primeiro ponto onde há potencial máximo para construção de um aterro sanitário, por não influenciar nas águas subterrâneas. Na figura 15 é ilustrada a função utilizada e seus pontos de controle.

Figura 15 – Função sigmoidal crescente do critério nível estático da água.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.2.2 Método *Analytic Hierachy Process* (AHP)

Após a modelagem dos dados por meio de funções *fuzzy*, os critérios foram avaliados pelo método conhecido como AHP, proposto por Saaty (1990). Como dito anteriormente esse método consiste na comparação pareada das variáveis, em que o parecer é realizado considerando o grau de importância entre os fatores.

Como resultado da comparação pareada foi gerada uma matriz 5x5, e a partir dessa matriz, os autovalores de cada uma das variáveis foram calculados. Os autovalores são os pesos finais que foram multiplicados por cada um dos mapas *fuzzy*, respectivamente, gerando o mapa final de adequabilidade da área para a implantação de um aterro sanitário.

4.3.3 Projeção populacional e geração de resíduos

A projeção populacional realizada foi parte do processo para obter a quantidade de resíduos gerada atualmente e a previsão de geração para os 15 anos. Foi necessário verificar se os municípios geravam apenas 20 ton/dia (valor permitido para aterro consorciado), e também qual seria a geração ao final da vida útil do aterro, possibilitando seu dimensionamento e a definição pela melhor área de implantação. Utilizou-se, para tanto, um método de projeção populacional simplificado.

Considerou-se os dados obtidos no IPARDES referentes à população dos anos de 2010 e 2016 e, assim calculou-se a taxa de crescimento populacional ao

longo dos 6 anos. Em seguida, fez-se a extrapolação até o ano de 2031. Tal método foi utilizado haja visto que a taxa de crescimento e a população são pequenas, não se alterando muito ao longo dos anos.

A taxa utilizada no que se refere à população atendida pelo sistema de coleta foi proveniente do SNIS (2015). Os dados são referentes aos anos de 2010 a 2013, sendo possível calcular a taxa de coleta ao longo desses anos e realizar sua extrapolação para os anos seguintes. Como os municípios são pequenos, a taxa de coleta é bem alta, variando entre 90 e 100%. A extrapolação da taxa até o ano de 2031 resulta numa situação em que não há nenhuma melhora na coleta de resíduos dos municípios ao longo dos anos, possibilitando a indicação de uma área que comporte um aterro sanitário na condição de atendimento de 100% da população urbana.

A geração per capita adotada para os cálculos foi sugerida por Monteiro (2001). Segundo o autor, para uma população de até 30 mil habitantes adota-se o valor de 0,5 kg/hab/dia para a geração per capita de resíduos sólidos urbanos.

Para calcular a quantidade diária gerada de resíduos (ton/dia) a equação (3) foi utilizada.

$$Geração \left(\frac{ton}{dia} \right) = \frac{pop * per\ capita * \% \text{ de coleta}}{1000} \quad (3)$$

Onde,

pop é a população;

per capita é a geração per capita adotada; e

% de coleta é o percentual de resíduos coletados.

Para determinar a quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados por ano, utilizou-se a equação (4).

$$Geração \left(\frac{ton}{ano} \right) = Geração \left(\frac{ton}{dia} \right) * dias \text{ do ano} \quad (4)$$

A geração de resíduos, em m³/dia e em m³/ano, foi determinada por meio das Equações 5 e 6, respectivamente. Para tanto, foi adotado o valor de 230 kg/m³ para o peso específico do resíduo, sendo este valor sugerido por Monteiro (2001).

$$Geração (m^3/dia) = \frac{geração(ton/dia)}{Peso\ específico(Kg/m^3)} * 1000 \quad (5)$$

$$Geração (m^3/ano) = Geração (m^3/dia) * dias\ do\ ano \quad (6)$$

Ressalta-se que o dimensionamento do aterro foi realizado supondo-se que a disposição final dos resíduos será realizada em trincheiras, também denominadas valas. O dimensionamento das valas foi realizado, auxiliando na escolha das áreas mais adequadas para implantação do aterro sanitário. Para cálculo do dimensionamento das valas do aterro algumas variáveis precisam ser adotadas, sendo elas: fator de compactação, fator de cobertura, altura, limite superior e limite inferior, das trincheiras.

O fator de compressão, ou a compressividade, é o grau de compactação ou a redução do volume que uma massa de resíduos pode sofrer quando compactada (MONTEIRO, 2001). Sabendo disso, o grau de compactação adotado foi 3:1. Segundo Monteiro (2001) esse é o valor mínimo de compactação dos resíduos, e significa que 3 m³ de resíduos ficarão reduzidos a 1 m³ após a compactação.

Ressalta-se que fator de cobertura é a quantidade de material inerte que será disposta sobre os resíduos ao final da jornada de trabalho. Nesse caso o valor utilizado foi 15%.

Com relação as dimensões determinadas para as valas, recomenda-se que a inclinação do talude siga a proporção 1:3, ou seja, a cada 1 m de altura a trincheira deve ter 3 metros de base. Dessa forma, foi determinado que as trincheiras propostas teriam altura igual a 3 m (h=3), limite superior igual a 48 m (Ls=48) e limite inferior igual a 30 m (Li=30). A Figura 16 ilustra um modelo geral de trincheira e suas dimensões.

O volume das trincheiras foi calculado por meio da equação (7).

$$V = \frac{geração}{F.comp} * F.cob \quad (7)$$

Onde,

V é o volume das trincheiras;

F. comp é o fator de compressividade; e

F. cob é o fator de cobertura.

Para o cálculo do comprimento das trincheiras, a equação (8) foi deduzida para a equação (9), tornando possível o cálculo dessa variável.

$$Vt = C * \frac{h*(Li+Ls)}{2} \quad (8)$$

$$C = \frac{V}{\frac{h*(Li+Ls)}{2}} \quad (9)$$

Onde,

Vt é o volume total;

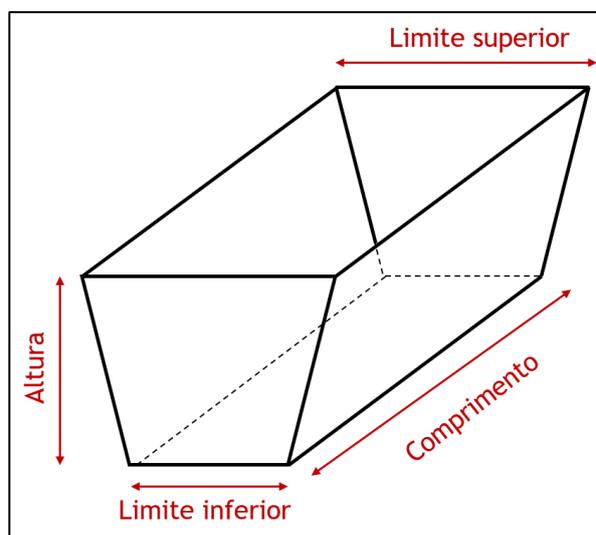
C é o comprimento;

h é a altura;

Li é o limite inferior; e

Ls é o limite superior.

Figura 16 – Modelo geral de uma trincheira (vala) de aterro sanitário.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As trincheiras foram projetadas para 15 anos totalizando 15 trincheiras, ou seja, 1 trincheira a cada ano.

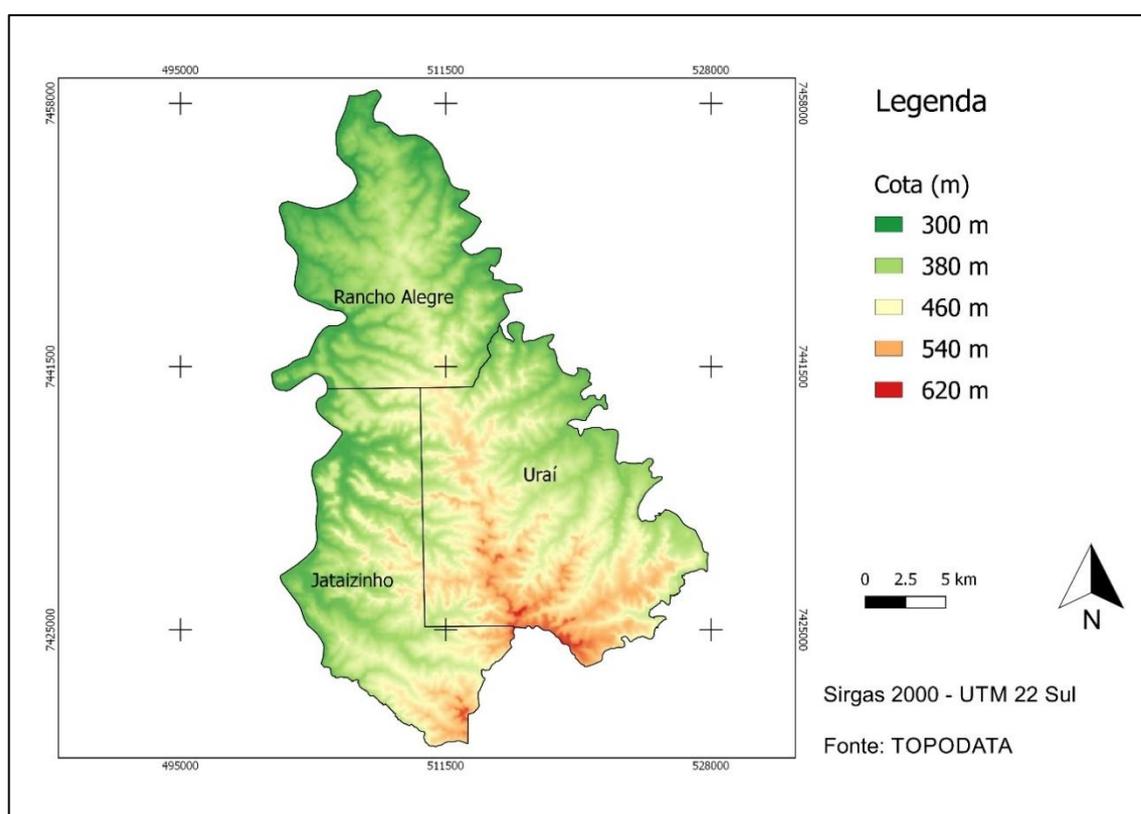
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização da área de estudo

O ponto inicial da análise consistiu na importação dos dados para o software, e posteriormente a geração dos mapas utilizados.

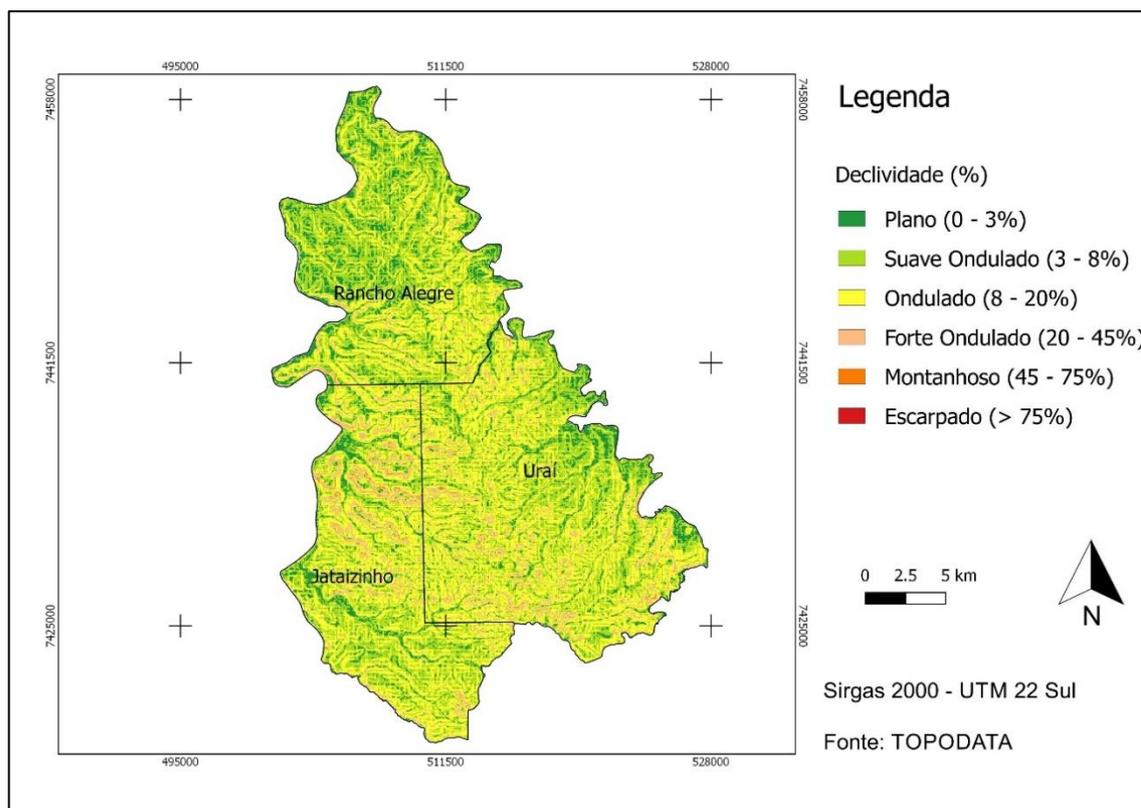
Os dados altimétricos da área foram analisados por meio do modelo digital de elevação (MDE), e a partir deste a declividade em percentual foi gerada. Na Figura 17 apresenta-se o mapa hipsométrico. Observa-se que as cotas variam de 300 a 620 m, estando as cotas mais altas concentradas em Uraí. Na Figura 18 ilustra-se o mapa de declividade, em unidade percentual, sendo possível notar que a declividade, em grande parte da área de estudo não excede 20%, com o relevo oscilando de plano a ondulado. Entretanto, em algumas regiões pequenas dos municípios de Jataizinho e Uraí observa-se o relevo alternando-se entre forte ondulado e montanhoso.

Figura 17 – Mapa hipsométrico.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 18 – Mapa da declividade em percentual e interpretação do relevo.

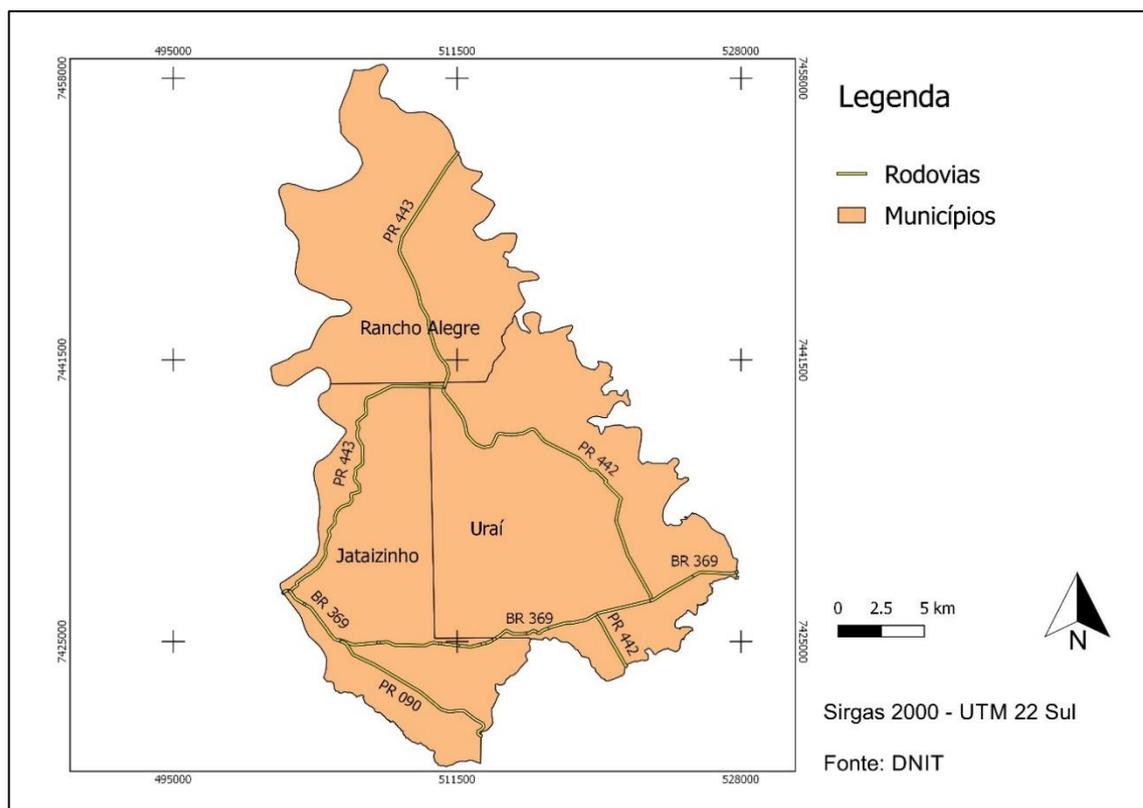


Fonte: Elaborado pelo autor.

Para representar as rodovias, foi utilizado um dado vetorial composto por um conjunto de linhas apresentadas na Figura 19. É possível notar que existem poucas rodovias na região dos municípios analisados, sendo dessa forma um fator importante a ser considerado com relação a logística do aterro consorciado, uma vez que a viabilidade da implantação deve considerar os custos relacionados ao transporte dos resíduos.

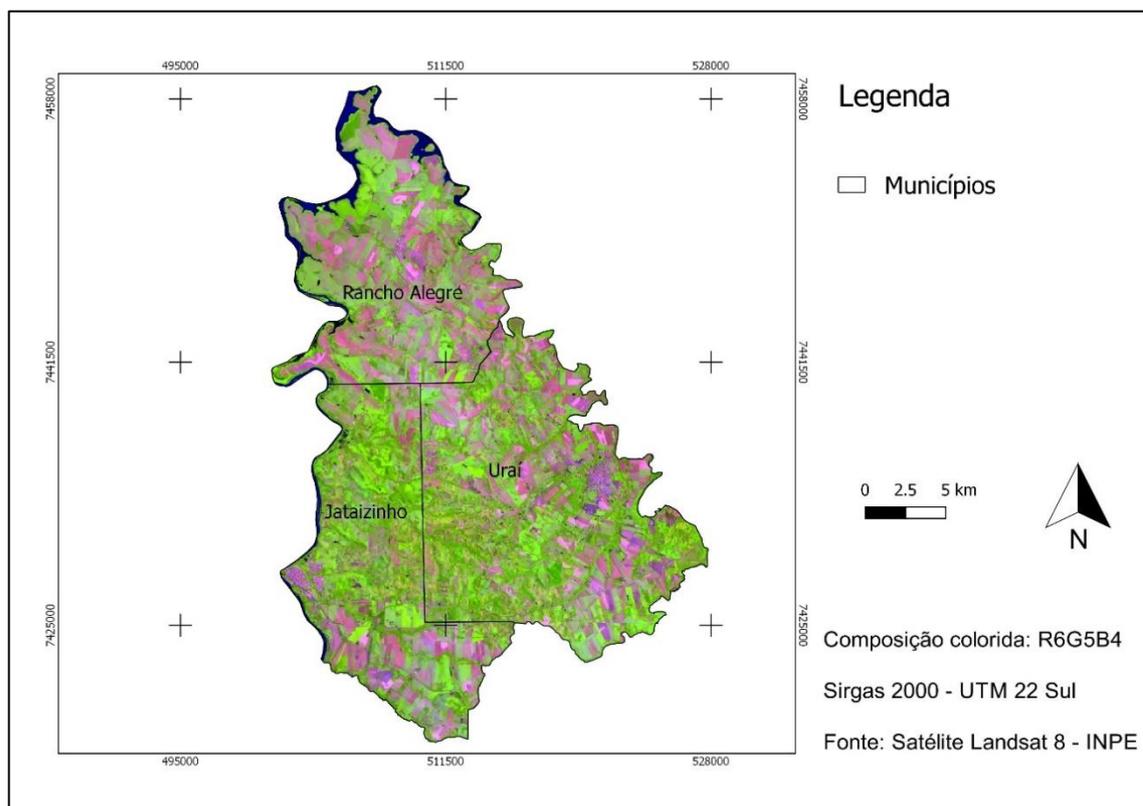
Com relação a análise da localização da área urbana, foi utilizada uma imagem do satélite Landsat 8, apresentada na Figura 20. A imagem de sensoriamento remoto foi apresentada de forma colorida a fim de melhorar a visualização e interpretação da mesma. Dessa forma, a cor verde na carta imagem representa cobertura vegetal da região (matas e áreas agrícolas plantadas); os tons de rosa, lilás e roxo representam as áreas com solo exposto e áreas urbanizadas, cujas respostas espectrais na imagem são muito semelhantes. Ressalta-se ainda que as áreas com solo exposto normalmente possuem formato de polígonos (quando são de uso agrícola) e que a área urbana é pouco aparente na escala utilizada, uma vez que os municípios possuem uma pequena área urbanizada.

Figura 19 – Mapa da rede viária.



Fonte: Elaborado pelo autor.

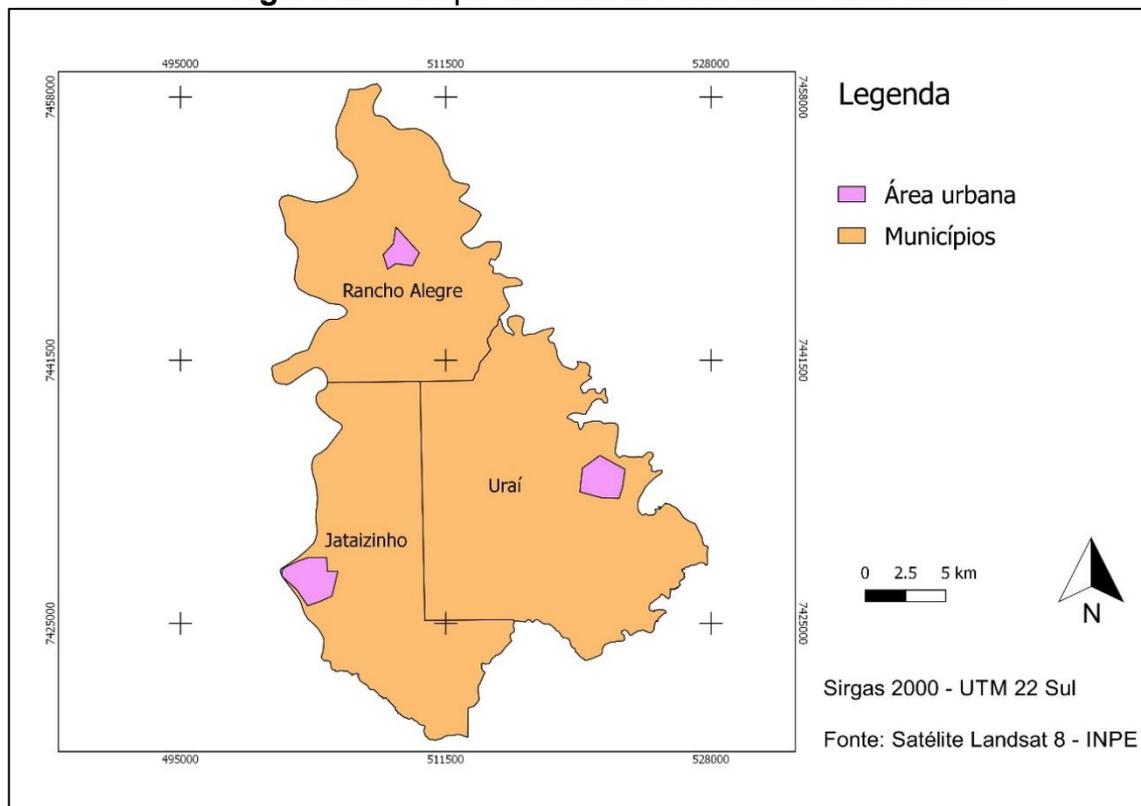
Figura 20 – Carta imagem da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a visualização e quantificação das áreas urbanas, foram criados polígonos com o contorno das mesmas, para possibilitar o processamento dos dados, ilustrados na Figura 21.

Figura 21 – Mapa do contorno das áreas urbanizadas.

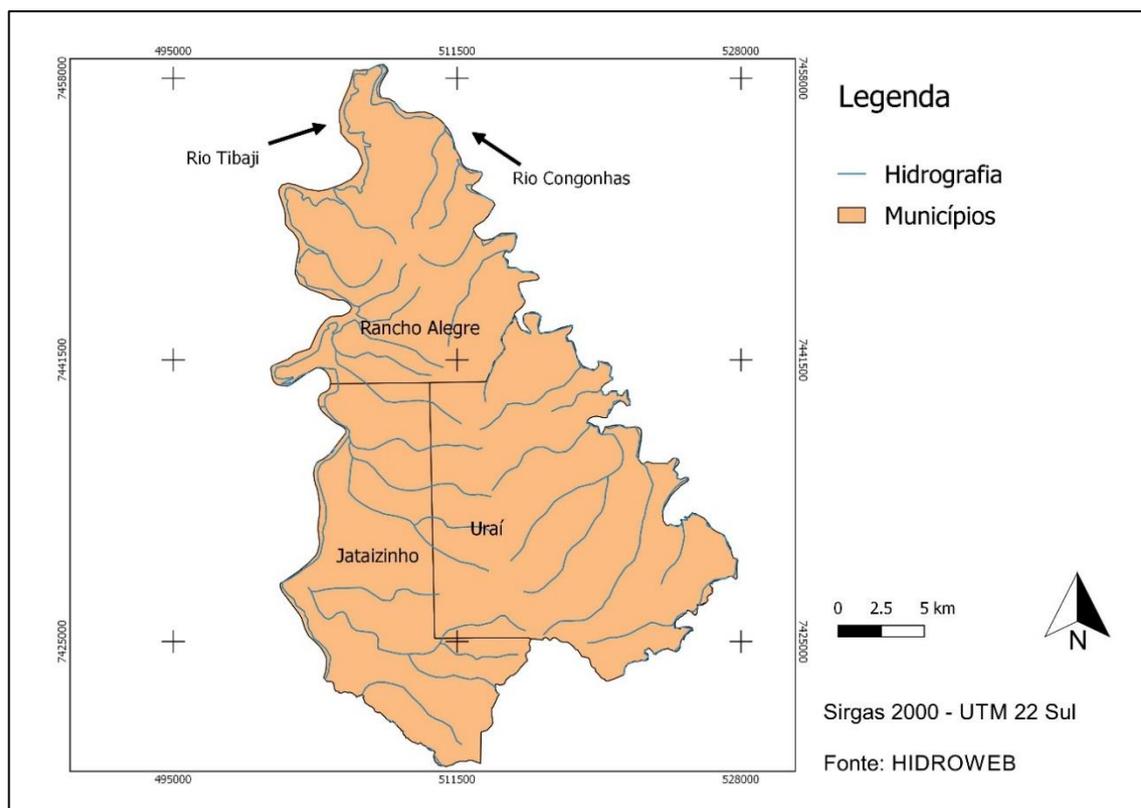


Fonte: Elaborado pelo autor.

Com relação a localização dos corpos hídricos presentes na região e no seu entorno, dados vetoriais do tipo linha foi importado possibilitando a geração do mapa apresentado na Figura 22. A área de estudo conta com um grande número de corpos hídricos e afluentes, sendo uma variável de grande relevância uma vez que a implantação de um aterro sanitário pode impactar de forma negativa a rede de drenagem. Ressalta-se o rio Tibagi e o rio Congonhas que estão próximos aos limites da área de estudo e podem ser afetados com a implantação equivocada do aterro sanitário.

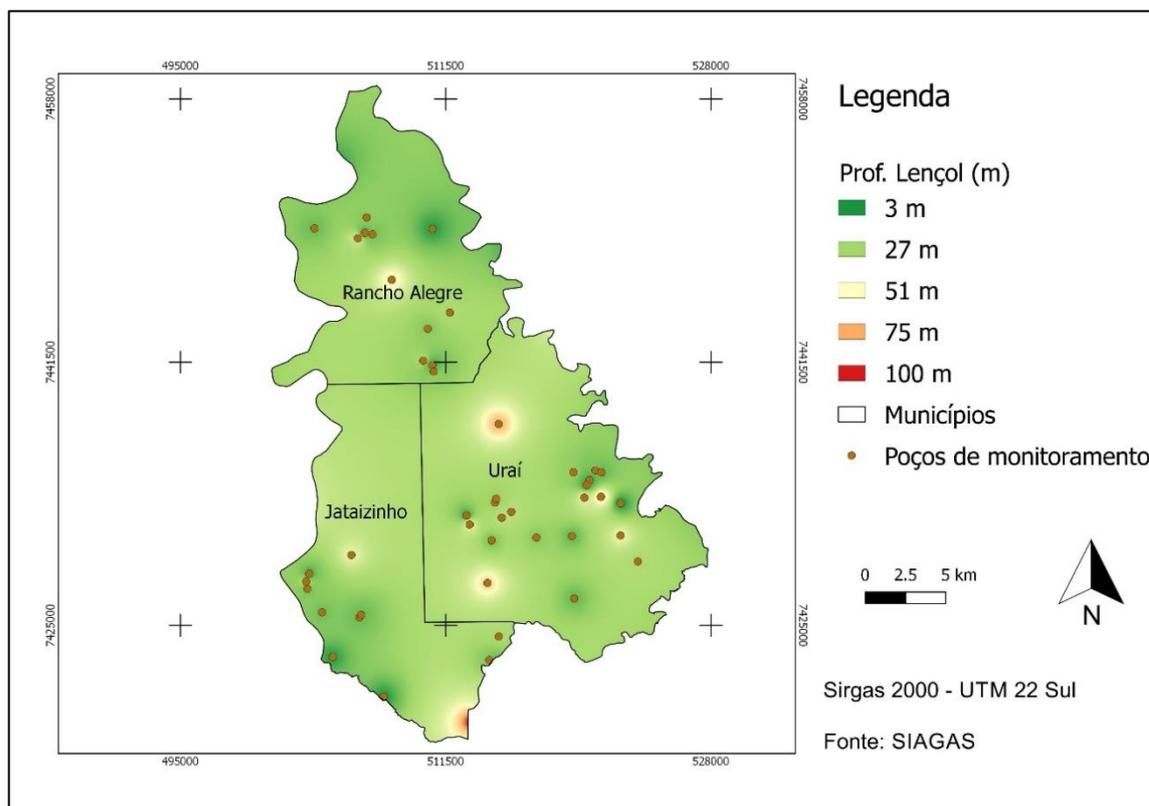
Para análise da profundidade do lençol freático os dados de localização e nível da água dos poços foram importados e adicionados na forma de pontos e valores numéricos, respectivamente. Dessa forma, posteriormente a importação dos dados, foi realizada a interpolação da profundidade por meio do método do peso pelo inverso da distância (IDW), e o resultado da interpolação é apresentado na Figura 23.

Figura 22 – Mapa da hidrografia.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 23 – Mapa do nível estático da água.



Fonte: Elaborado pelo autor.

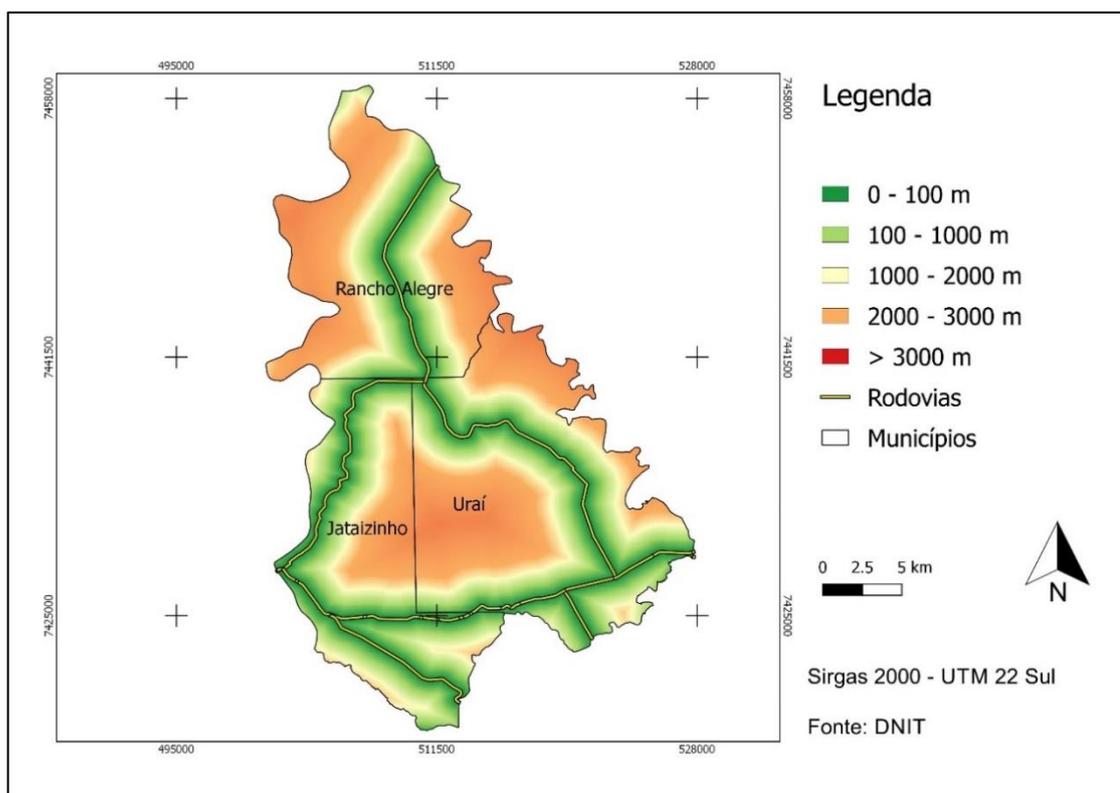
Como pode ser analisado na Figura 23, com relação a profundidade do lençol freático, ou ainda, o nível estático da água, os municípios analisados não apresentam problemas para implantação do aterro sanitário, já que em grande parte da área a profundidade é próxima a 20 m, exceto a região sudoeste do município Jataizinho e norte do município Rancho Alegre em que as profundidades são próximas a 3 m, inviabilizando o uso da área.

5.2 Análise de proximidade

Os dados representados por linhas e polígonos foram convertidos para o formato matricial, possibilitando que houvesse a análise de proximidade dessas variáveis.

Na Figura 24 ilustra-se o mapa de proximidade da rede viária. Observa-se que grande parte dos municípios estão na faixa de 2000 a 3000 m de proximidade da rodovia, faixa em que a adequabilidade da área diminui. Nota-se também a estreita área de adequabilidade máxima (1000 – 2000 m) ao longo de toda malha viária na área de estudo.

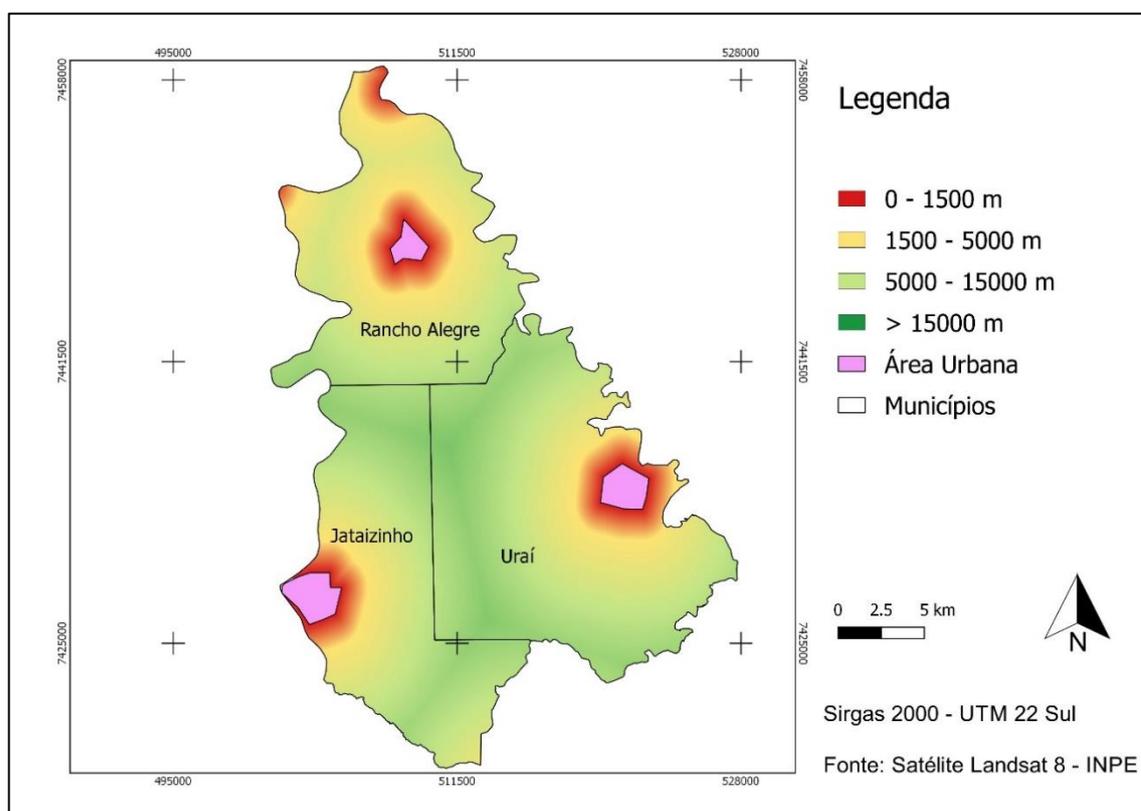
Figura 24 – Mapa de proximidade da rede viária.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 25 apresenta-se o mapa de proximidade das áreas urbanas. É possível afirmar, com base nessa figura, que grande parte da área de estudo encontra-se na faixa em que a adequabilidade foi modelada como crescente, ou seja, na faixa entre 1500 e 15000 m. A adequabilidade máxima pode ser observada na região central da área de estudo, na região norte de Rancho Alegre e sul de Jataizinho, por meio da mudança de cor no mapa. Nessas regiões a adequabilidade máxima se deve ao fato das áreas urbanas não estarem próximas o suficiente para que a construção e operação do aterro as afete.

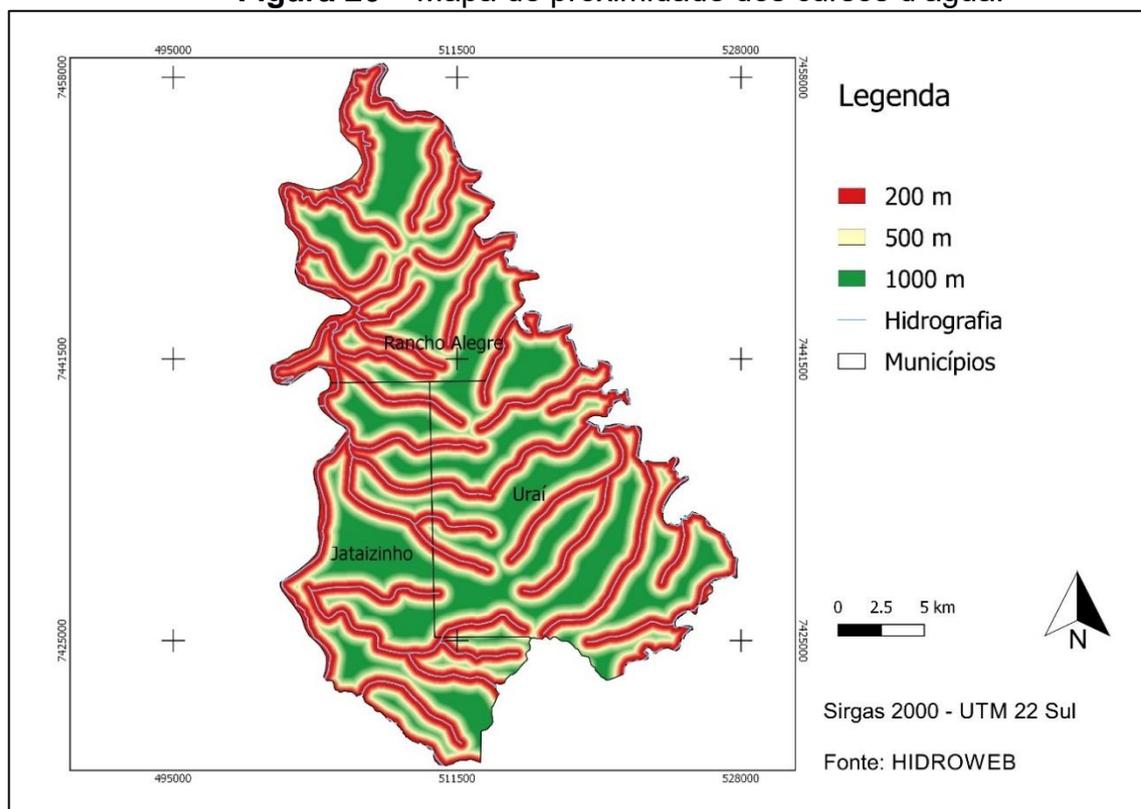
Figura 25 – Mapa de proximidade das áreas urbanizadas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 26 é possível analisar como a grande quantidade de rios afetam a escolha da área para implantação do aterro sanitário, sendo dessa forma um fator limitante. Entretanto, grande parte da área apresenta-se viável a instalação e operação do aterro, uma vez que essas regiões localizam-se a mais de 500 m de distância dos corpos d'água. A adequabilidade nula, ou fragilidade ambiental desse critério, acompanha o traçado dos corpos hídricos, sendo observada nos 3 municípios analisados (cor vermelho na legenda).

Figura 26 – Mapa de proximidade dos cursos d’água.



Fonte: Elaborado pelo autor.

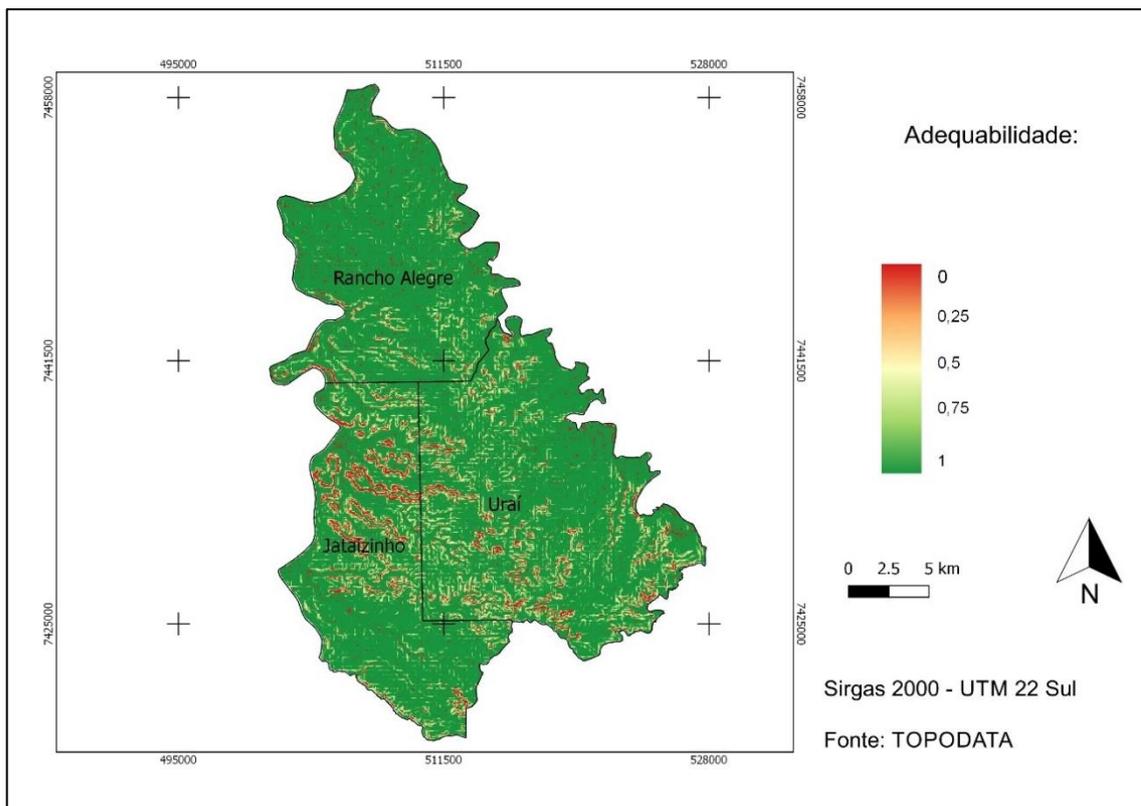
5.3 Aplicação da modelagem *fuzzy*

As funções matemáticas sigmoidais propostas por Eastman (1999), e descritas anteriormente na seção 4.3.2.1, foram aplicadas utilizando os dados referentes aos critérios analisados. Sendo assim, cada critério avaliado gerou seu respectivo mapa *fuzzy*, apresentado nesta seção.

Na Figura 27 ilustra-se o mapa *fuzzy* do critério declividade. Nota-se que a maior parte da área de estudo possui adequabilidade máxima, ou seja, igual a 1, para implantação do aterro sanitário com relação a esse critério. Todavia, a adequabilidade é nula em alguns pontos, e isso ocorre pelo fato da declividade percentual ser mais alta nessa região (entre 20% e 45%), como é ilustrado no mapa de declividade apresentado na seção 5.1 (Figura 17).

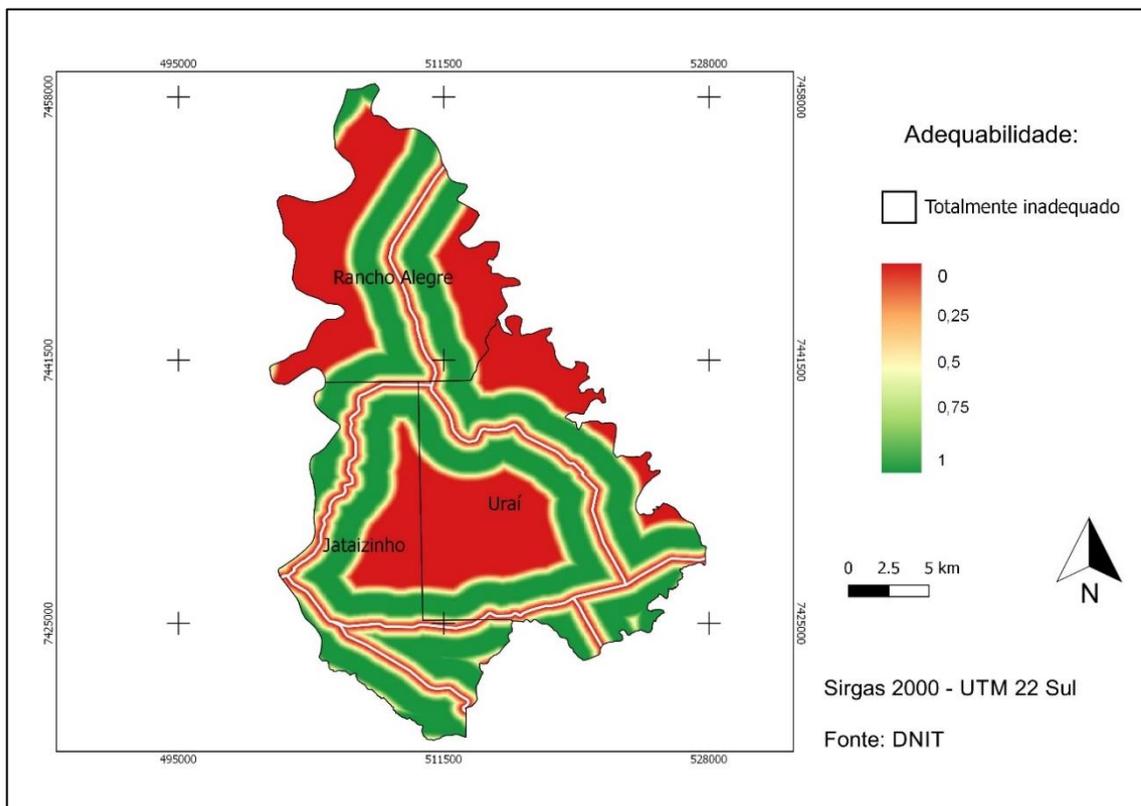
Na Figura 28 o mapa *fuzzy* da distância da rede viária é apresentado. É possível verificar que as áreas mais aptas com relação a esse critério estão concentradas na região sul dos municípios Jataizinho e Uraí, uma vez que nessa região estão localizadas a maior parte das rodovias e ligações rodoviárias com outros municípios. Ressalta-se a malha viária restrita na área de estudo.

Figura 27 – Mapa *fuzzy* da declividade.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 28 – Mapa *fuzzy* da distância da rede viária.



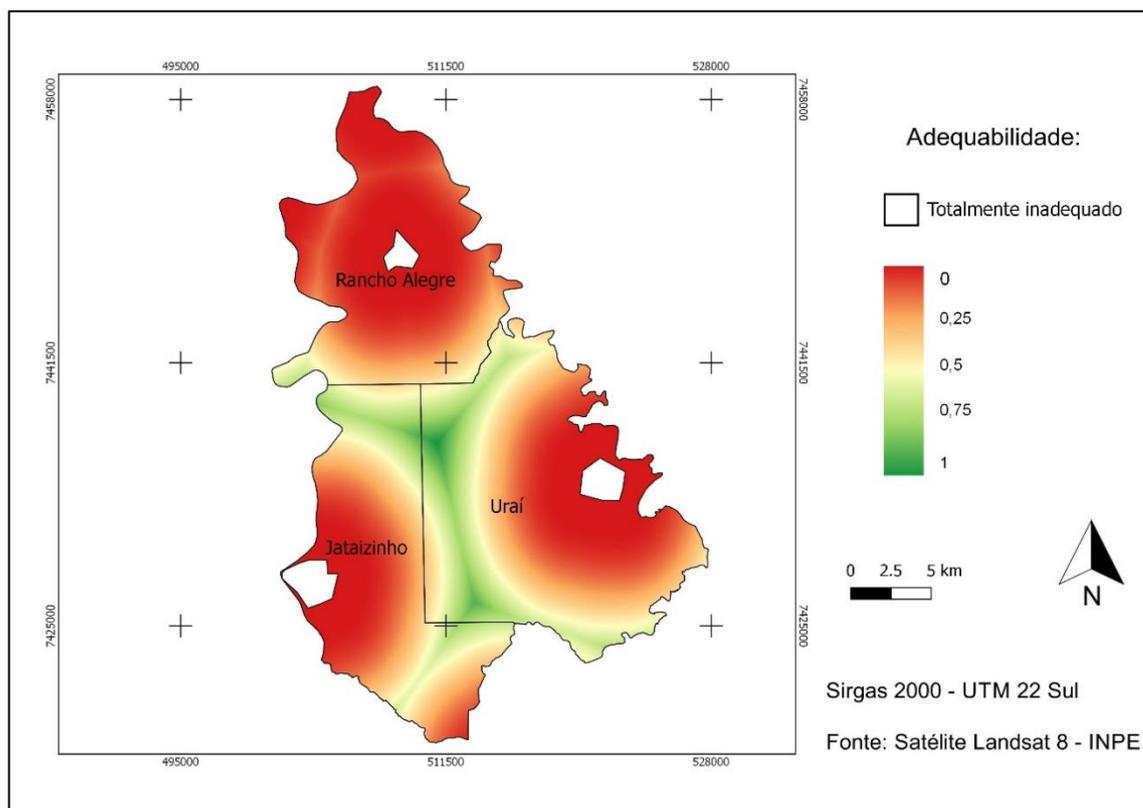
Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 29 ilustra-se o mapa *fuzzy* das áreas urbanizadas. Com relação a esse critério a adequabilidade máxima para implantação do aterro sanitário localiza-se na região central da área de estudo, entre os municípios de Jataizinho, Rancho Alegre e Uraí. Em alguns pontos dessa região a distância entre as 3 áreas urbanas atendidas pelo aterro é uniforme, priorizando-as igualmente. É de grande importância para a implantação do empreendimento que a distância não seja discrepante entre as áreas urbanas dos municípios analisados, uma vez que todos os dias os resíduos serão encaminhados ao aterro, inviabilizando-o com relação aos custos caso a distância da área urbana seja muito alta. Uma região pode ser muito apta para receber o aterro, mas caso esteja próxima apenas da área urbana de um município a aptidão da área é reduzida, por questões de logística.

Na Figura 30 o mapa *fuzzy* da distância dos corpos hídricos é apresentado. Por ser uma região com grande quantidade de corpos d'água, como dito na seção 5.1, esse critério é fundamental na escolha de uma área para implantação do aterro sanitário, visto que entre todos os critérios avaliados, a distância dos corpos hídricos, nesse caso, é o critério mais limitante para o local de construção e operação do empreendimento. As regiões com maior adequabilidade, ou seja, próximo ou igual a 1, se estendem por toda área de estudo acompanhando os corpos hídricos. Entretanto, os municípios Rancho Alegre e Jataizinho, contam com um número menor de áreas aptas a receber o aterro sanitário, quando comparados com o município Uraí, que além de maior extensão territorial, possui uma quantidade maior de áreas com adequabilidade máxima, com relação a esse critério, para o construção e operação do empreendimento.

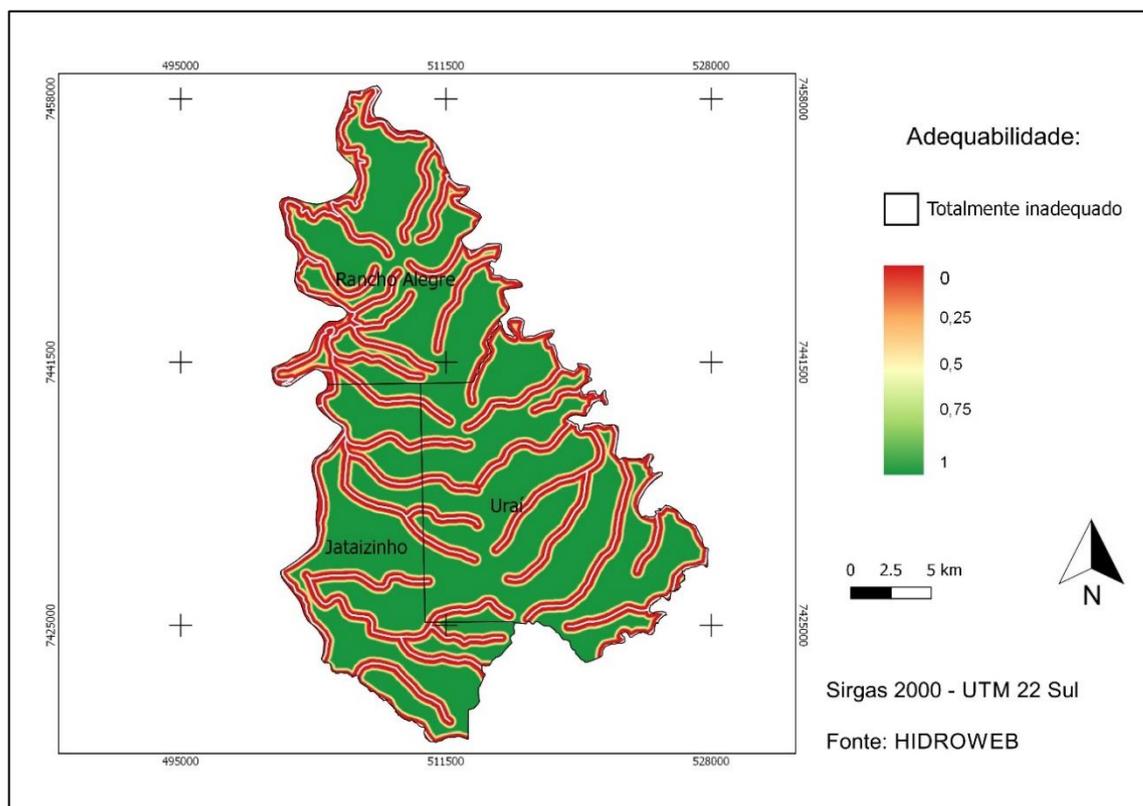
Na Figura 31 o mapa *fuzzy* do nível estático da água é apresentado. Nota-se que quase toda área de estudo possui adequabilidade máxima com relação a esse critério. Isso ocorre, porque a profundidade do lençol freático é próxima a 20 m nessas regiões. Entretanto, alguns pontos específicos têm adequabilidade nula, ou próxima a zero, devido ao nível estático da água estar abaixo de 5 m. Sendo assim, na área de estudo analisada esse critério não é limitante na escolha da área destinada ao aterro sanitário.

Figura 29 – Mapa *fuzzy* da distância das áreas urbanizadas.



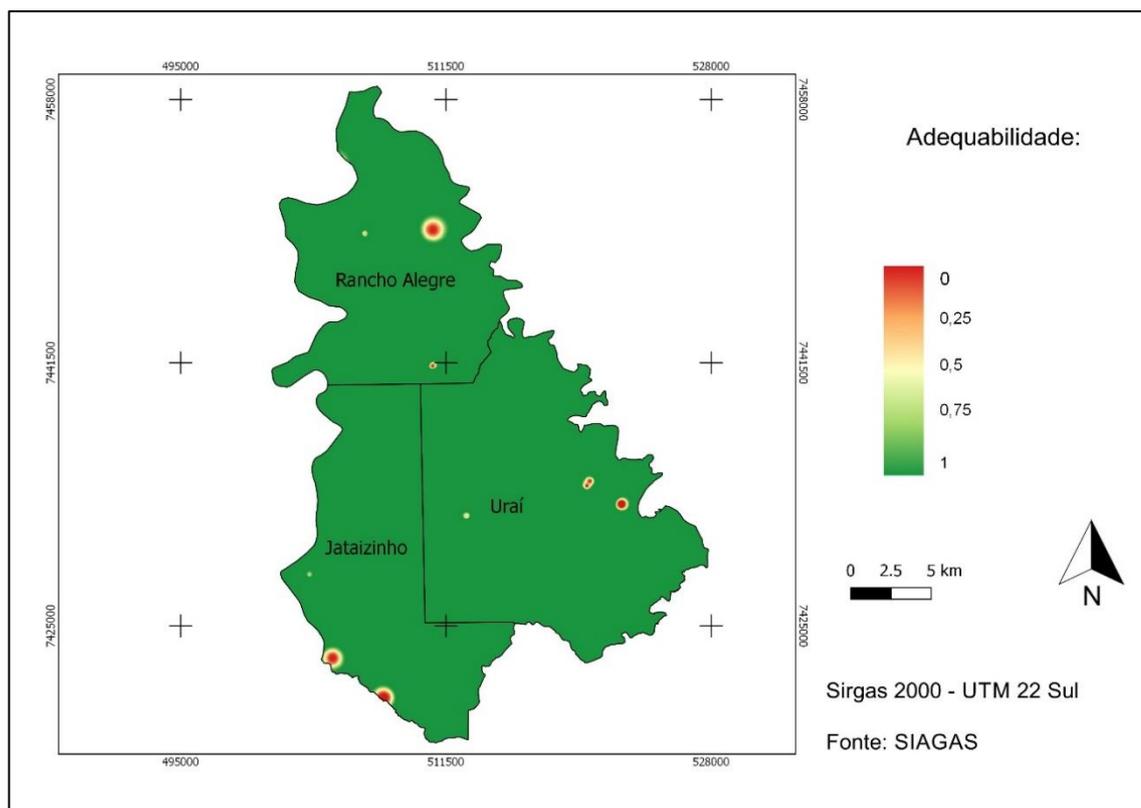
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 30 – Mapa *fuzzy* da distância dos corpos hídricos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 31 – Mapa *fuzzy* do nível estático do lençol freático.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.4 Aplicação do método AHP

O método *Analytic Hierachy Process* (AHP) foi aplicado após a modelagem *fuzzy*. Inicialmente foram selecionados os parâmetros avaliados, ou seja, todas os dados *fuzzy* apresentados anteriormente. O próximo passo consistiu na atribuição de pesos a cada uma das variáveis, baseados naqueles utilizados por Samizava (2006). Os pesos devem ser atribuídos de acordo com seu grau de importância, como foi descrito no tópico 4.4.3, e caso tais pesos gerem uma razão de consistência acima de 1, os mesmos devem ser reavaliados por serem inconsistentes. Os pesos utilizados são apresentados na matriz de comparação ilustrada no Quadro 6.

A razão de consistência da matriz foi $RC = 0,062$, apontando grande consistência na determinação dos pesos utilizados. Todos os cálculos acerca da razão de consistência da matriz bem como seus parâmetros, são apresentados no Apêndice A.

Quadro 6 – Matriz de comparação pareada das variáveis.

	Dist. Área Urbana	Dist. Rede Viária	Prof. Lençol Freático	Dist. Cursos d'água	Declividade
Dist. Área Urbana	1	3	2	1/2	1/2
Dist. Rede Viária		1	1/4	1/4	1/4
Prof. Lençol Freático			1	1	1
Dist. Cursos d'água				1	2
Declividade					1

Fonte: Samizava (2006).

O último passo da aplicação desse método foi o cálculo dos autovalores da matriz, que ao final do processo serão os pesos finais de cada uma das variáveis. Os pesos obtidos para os critérios avaliados são apresentados no Quadro 7.

Quadro 7 – Pesos finais obtidos pelo método AHP.

Critério avaliado	Peso
Dist. Cursos d'água	0,302
Declividade	0,230
Prof. Lençol Freático	0,209
Dist. Área urbana	0,200
Dist. Rede Viária	0,060

Fonte: Elaborado pelo autor.

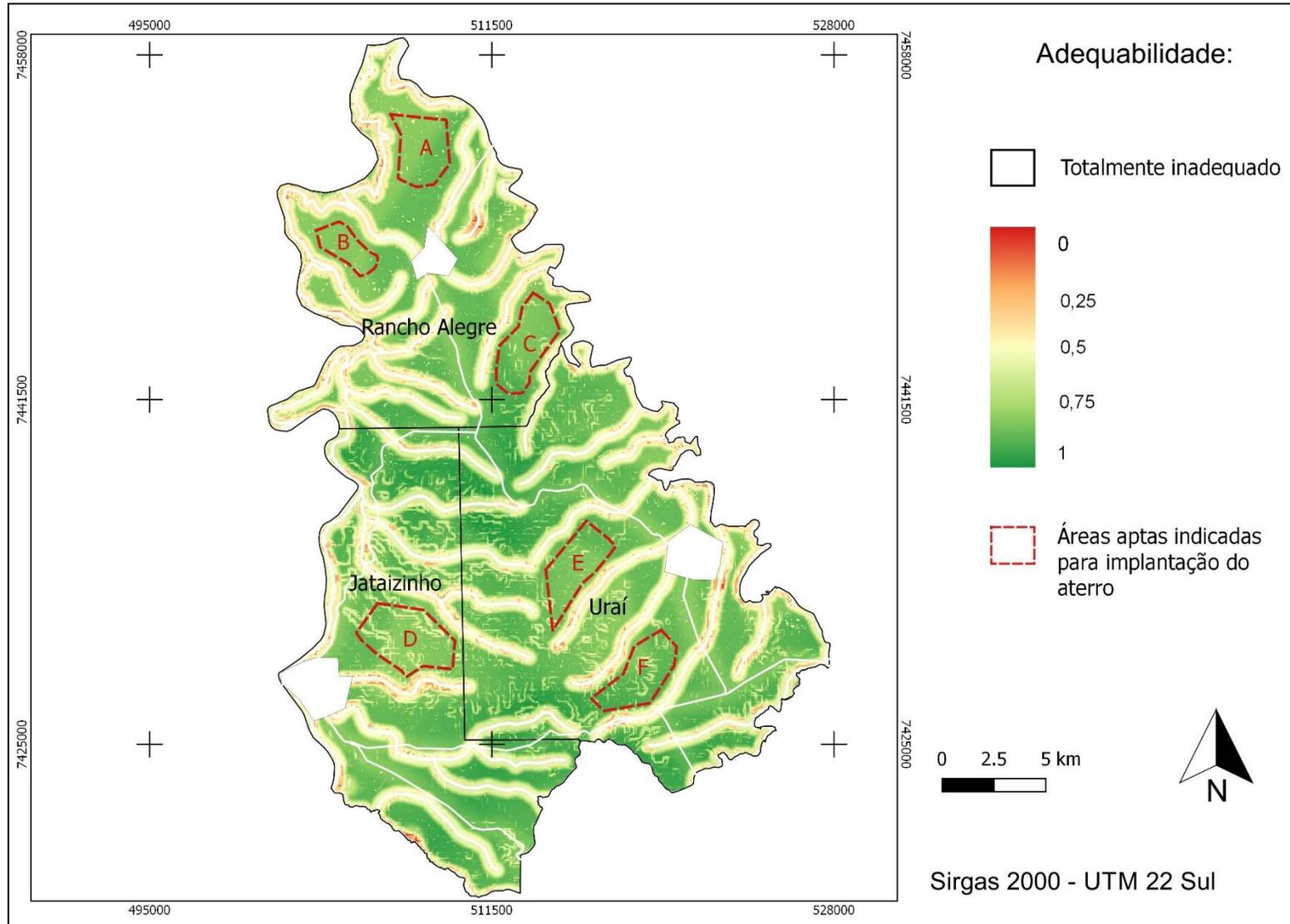
Observa-se no Quadro 7 que a distância dos cursos d'água obteve maior peso, ou significância, com relação aos outros critérios, enquanto a distância da rede

viária obteve o menor grau de importância entre todos os parâmetros avaliados. Ressalta-se dessa forma, que os critérios ambientais obtiveram pesos maiores com relação aos critérios de logística, resultando em uma análise cujos parâmetros ambientais são mais relevantes.

Os pesos obtidos para cada um dos critérios avaliados foram multiplicados por seu respectivo mapa *fuzzy*, e somados, gerando assim o mapa final, representado na Figura 32, que indica o nível de adequabilidade da área de estudo para receber um aterro sanitário.

Por meio desse mapa, foi possível realizar uma análise e seleção das áreas mais aptas para implantação do empreendimento em questão. As regiões que apresentam maior adequabilidade, e possuem maior disponibilidade de espaço para construção de um aterro sanitário, foram apontadas e ilustradas na figura. Tais áreas foram definidas por meio de um limiar numérico, em que os valores de adequabilidade foram analisados, assim como o tamanho das áreas foi calculado.

Figura 32 – Mapa da adequabilidade da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As áreas apontadas possuem aptidão, na maior parte do seu perímetro, acima de 0.75. Foi realizado o cálculo de área para cada região apontada na Figura 32 para verificar qual estava mais próxima da área necessária para construção de um aterro sanitário considerando a geração de resíduos dos municípios atendidos, e os resultados são ilustrados no Quadro 8.

Quadro 8 – Áreas das regiões apontadas como possibilidade para implantação de um aterro sanitário.

Denominação	Área (m²)	Área (Km²)
A	7.340.000,0	7,34
B	3.890.000,0	3,89
C	8.110.000,0	8,11
D	10.690.000,0	10,69
E	7.570.000,0	7,57
F	7.930.000,0	7,93

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ressalta-se que as regiões A, B e E, apesar de possuírem dimensões que permitem a operação do aterro sanitário se tornam inviáveis pela distância dos centros urbanos, ocasionando problemas com relação a logística, uma vez que as 3 áreas urbanas devem ser consideradas na análise. Dessa forma, as regiões C, D e F mostram-se mais viáveis para implantação do aterro sanitário, uma vez que possuem adequabilidade acima ou próxima a 0,75, assim como as demais regiões, possuem dimensões favoráveis ao empreendimento e ainda ficam localizadas a uma distância intermediária entre as 3 áreas urbanas atendidas.

5.5 Estimativa da geração de resíduos

Por meio dos cálculos discutidos na seção 4.3.3 foram obtidos os resultados com relação a população, geração de resíduos, volume e comprimento da trincheira referentes aos 21 anos analisados. Como os cálculos foram realizados separadamente para cada município, mas ao final devem ser somados uns aos outros, uma vez que o aterro consorciado atenderá Jataizinho, Rancho Alegre e Uraí

igualmente, os resultados apresentados no Quadro 9 são referentes aos 3 municípios atendidos pelo aterro sanitário.

Tabela 1 – Resultados da projeção populacional, geração dos resíduos e dimensionamento das valas do aterro.

Ano	População (hab)	Geração de resíduos (ton/dia)	Volume (m³/ano)	Comprimento (m)
2010	27302	12,85	7819,17	66,83
2011	27461	12,95	7877,87	67,33
2012	27620	12,61	7671,47	65,57
2013	27779	12,52	7618,62	65,12
2014	27938	12,59	7661,81	65,49
2015	28097	12,67	7704,10	65,85
2016	28256	12,74	7748,18	66,23
2017	28415	12,81	7791,37	66,59
2018	28574	12,88	7834,56	66,96
2019	28733	12,95	7877,75	67,33
2020	28892	13,02	7920,93	67,70
2021	29051	13,09	7964,12	68,07
2022	29210	13,16	8007,37	68,44
2023	29369	13,23	8050,49	69,81
2024	29528	13,30	8093,68	69,18
2025	29687	13,38	8136,87	69,55
2026	29846	13,45	8180,06	69,92
2027	30005	13,52	8223,24	70,28
2028	30164	13,59	8266,43	70,65
2029	30323	13,66	8309,62	71,02
2030	30482	13,73	8352,80	71,39
2031	30641	13,80	8395,99	71,76

Fonte: Elaborado pelo autor.

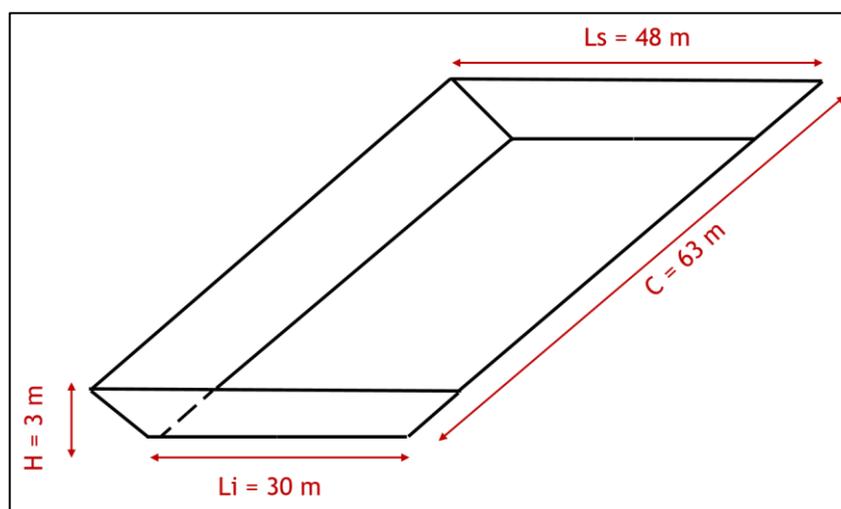
Inicialmente é possível afirmar que de acordo com a Lei Federal dos Consórcios Públicos 11.107/05 (BRASIL,2005), é permitida a implantação do aterro sanitário consorciado entre os municípios Jataizinho, Rancho Alegre e Uraí, uma vez que a geração de resíduos desses municípios não ultrapassa 20 ton/dia.

A população atendida ao final da vida útil do aterro será de aproximadamente 31000 habitantes, gerando cerca de 14 ton/dia de resíduos.

Problemas com relação a construção ou operação das trincheiras podem ser resolvidos de forma mais rápida caso seja construída uma trincheira a cada ano e não uma única trincheira para toda a vida útil do aterro. Sendo assim, no presente

trabalho, considerou-se a construção de 15 trincheiras, apresentadas por meio de um esboço, com valores médios, na Figura 33.

Figura 33 – Esboço do dimensionamento da trincheira.



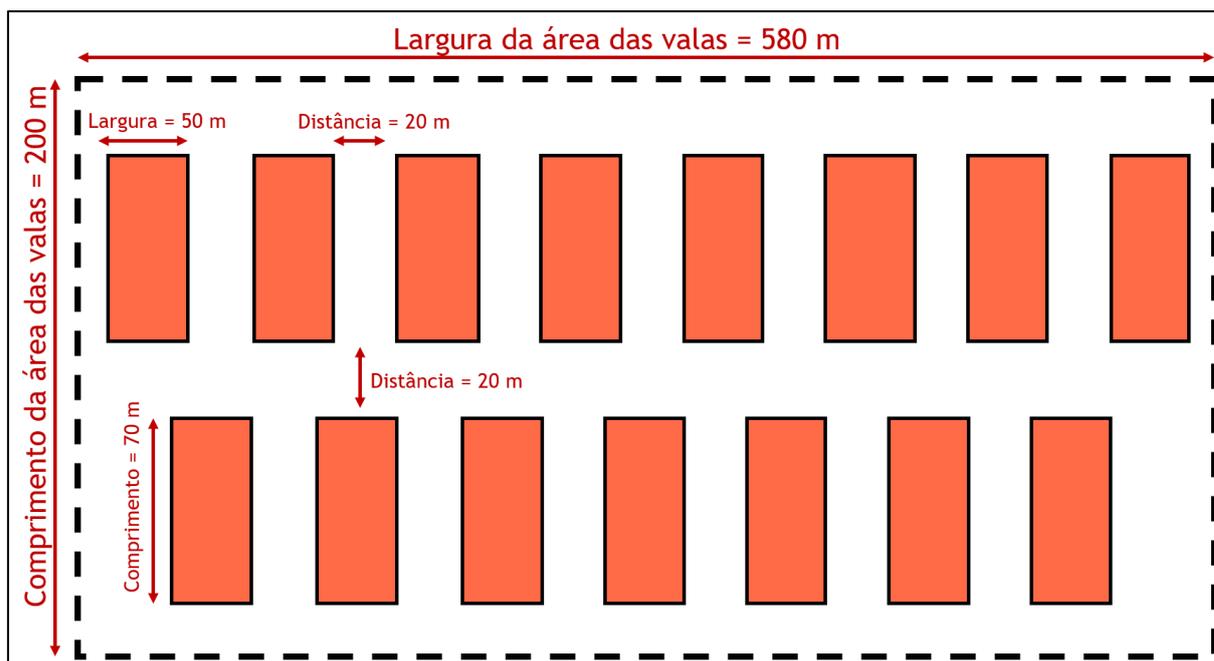
Fonte: Elaborado pelo autor.

Por meio do Quadro 9, é possível analisar que o volume das trincheiras varia de aproximadamente 6900 a 7900 m^3 , enquanto o comprimento oscila entre aproximadamente 60 e 66 m , ao longo da vida útil do aterro sanitário. Sendo assim, é possível afirmar que as dimensões das trincheiras construídas serão semelhantes.

Por meio dos cálculos nota-se ainda que não é necessária uma área muito extensa para construção do aterro, considerando as especificações das trincheiras e também o espaço necessário para construção de toda estrutura que envolve um aterro sanitário, por exemplo, balança, guarita, cerca viva e outros. Dessa forma, o tamanho da área não é um fator limitante na escolha do local com maior aptidão para implantação.

Para melhor quantificação da área total ocupada pelas trincheiras extensão ocupada por elas foi calculada considerando valores acima dos obtidos pelos cálculos. Adotou-se 70 metros de comprimento e 50 metros de largura para cada trincheira, e além disso, foi considerado 20 metros entre as trincheiras para que haja espaço de manobras para os caminhões. Desta maneira, a extensão territorial (área) ocupada apenas pelas trincheiras será de aproximadamente $116.000,0\text{ m}^2$ ($0,12\text{ km}^2$), um valor bem baixo com relação a extensão territorial das áreas identificadas como aptas para implantação e operação de um aterro sanitário. Na Figura 34 ilustra-se o esboço da área destinada as trincheiras do aterro.

Figura 34 – Esboço da área destinada as valas do aterro sanitário.



Fonte: Elaborado pelo autor.

6 CONCLUSÃO

Por meio da modelagem *fuzzy* e posterior aplicação do método AHP foi possível determinar as áreas mais adequadas para implantação e operação do aterro sanitário consorciado entre os municípios de Jataizinho, Rancho Alegre e Uraí, considerando critérios ambientais e baseando-se nas legislações vigentes. Dessa forma, a eficiência dos dois métodos quando combinados mostrou-se alta, uma vez que o resultado foi muito satisfatório pois considerando fatores ambientais muito relevantes as áreas mais aptas para implantação do aterro foram apontadas e analisadas. Confirmou-se ainda que as ferramentas de geoprocessamento, mais especificamente a análise multicritério, podem ser utilizadas nas tomadas de decisões com fins de planejamento ambiental, agregando objetividade ao resultado.

Os fatores ambientais foram considerados de maior importância para o presente trabalho, confirmando-se pelos valores dos pesos atribuídos no final da modelagem a cada um dos critérios analisados. A população também foi considerada, principalmente pelo critério distância das áreas urbanizadas que levou em conta os impactos negativos que um aterro sanitário pode causar aos habitantes. É importante ainda destacar que os fatores considerados foram apontados pela NBR 13.896 (ABNT, 1997) e Resolução CEMA nº94 (PARANÁ, 2014), e quando necessário a literatura também foi consultada, uma vez que as legislações citadas possuem algumas lacunas com relação a alguns critérios, como por exemplo a distância das redes viárias.

Com relação a projeção populacional e geração de resíduos, embora a mesma tenha sido realizada de forma simplificada, seus resultados confirmam a legalidade da implantação do aterro sanitário consorciado entre os municípios analisados, e ainda fornece a informação de que a área selecionada para implantação do empreendimento não necessita de grande extensão territorial.

Por fim, conclui-se que o presente trabalho pode ser utilizado como uma ferramenta de gestão dos municípios, uma vez que as áreas mais aptas para implantação de um aterro sanitário foram apontadas considerando alguns fatores ambientais muito importantes. Ressalta-se ainda que este trabalho deve ser complementado com estudos geológicos e hidrogeológicos, assim como estudos de impactos ambientais para auxiliar na tomada de decisões.

REFERÊNCIAS

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2015**. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2015.pdf>>. Acesso em: 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004: Resíduos sólidos**. Rio de Janeiro – RJ: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro – RJ: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.007: Amostragem de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro – RJ: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.896: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro – RJ: ABNT, 1997.

ALMEIDA, Luciana. ABRELPE e ISWA anunciam campanha para fechar os lixões no Brasil. **Organics News Brasil**, São Paulo, jan. 2017. Disponível em: <<https://www.organicsnewsbrasil.com.br/meio-ambiente/especial-lixoes/abrelpe-e-iswa-anunciam-campanha-para-fechar-os-lixoes-no-brasil/>>. Acesso em: 2017.

BRASIL. **Lei nº 11.107, de 06 de abril de 2005**. Dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos e dá outras providências. Diário oficial da república Federativa do Brasil. Brasília, DF, 06 abr. 2005. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/l11107.htm>. Acesso em: 2017.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário oficial da república Federativa do Brasil. Brasília, DF, 02 ago. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 2017.

BONHAM-CARTER, Graeme F. **Geographic information systems for geoscientists-modeling with GIS**. Computer methods in the geoscientists, v. 13, p. 398, 1994.

BURLAMAQUI, Mauro. **Lixão da estrutural: um olhar sobre nós mesmos**. Revista do TRT 10, v. 21, n. 1, p. 149-154, 2017. Disponível em: <<http://revista.trt10.jus.br/index.php/revista10/article/view/144/134>>. Acesso em 2017.

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

CALDAS, Eduardo de Lima. **Formação de agendas governamentais locais: o caso dos consórcios intermunicipais**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CAMARA, Gilberto; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução a ciência da geoinformação**. 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap2-conceitos.pdf>>. Acesso em 2017.

CÂMARA, Gilberto et al. **Técnicas de inferência geográfica**. Câmara, G.; Davis, C.; Monteiro, AMV; Paiva, JA, 2001. Disponível em: <<http://www.ecologia.ib.usp.br/lepac/bie5759/cap9-inferencia.pdf>>. Acesso em: 2017.

CAMARGO, F.F.; ALMEIDA, C.M.; FLORENZANO, T.G.; CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S. **Avaliação dos Métodos Booleano, Fuzzy Gama e Bayesiano na Identificação de Áreas Suscetíveis a Movimentos de Massa no Município de São Sebastião/SP**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 12, 2007, Natal. Anais... Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2007, v. 12.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Aterro sanitário. São Paulo: **CETESB, 1997**. (Apostilas Ambientais).

CONDE, Thassiane Telles; STACHIW, Rosalvo; FERREIA, Elvino. **Aterro sanitário como alternativa para a preservação ambiental**. Revista Brasileira de Ciências da Amazônia, v. 3, n. 1, p. 69-80, 2015.

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

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (FEAM). **Como destinar os resíduos sólidos urbanos**. Belo Horizonte: FEAM, 1995. 47 p.

GANDELINI, L. **Localização de aterros sanitários e lixões no estado de São Paulo, considerando padrões ambientais distintos: uma aplicação de modelos matemáticos de otimização**. 2002. 123 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Ciências Econômicas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002. Disponível em: <<http://www.web-resol.org/textos/arquivo1110.pdf>>. Acesso em: 2017.

GOMIDE, Fernando Antonio Campos; GUDWIN, Ricardo Ribeiro. **Modelagem, controle, sistemas e lógica fuzzy**. SBA Controle & Automação, v. 4, n. 3, p. 97-115, 1994. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/c4ea/4484bdd2449053d7b7384b05c0e2def86449.pdf>>. Acesso em: 2017.

GRANEMANN, Sergio Ronaldo; GARTNER, Ivan Ricardo. **Seleção de financiamento para aquisição de aeronaves: Uma aplicação do método de análise hierárquica (AHP)**. TRANSPORTES, v. 6, n. 1, 1998.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Perfil Avançado dos municípios**. Disponível em: <

http://www.ipardes.gov.br/index.php?pg_conteudo=1&cod_conteudo=29>. Acesso em: 2017.

LEE, Chuen-Chien. **Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller. I.** IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics, v. 20, n. 2, p. 404-418, 1990.

LOPES, Mariana Dantas. **Identificação de áreas potenciais para implantação de aterro sanitário no distrito de floresta do sul em Presidente Prudente/SP.** 2011.

LUCENA, Luciana de Figueirêdo Lopes. **Análise do custo-benefício da reciclagem dos resíduos sólidos urbanos no Recife e Jaboatão dos Guararapes.** 2004.

EIRAS, Marília Moreira de. **Risco de contaminação de mananciais superficiais e do sistema aquífero serra geral por aterros na região metropolitana de Londrina-PR.** 2015.

MARCHEZETTI, Ana Lúcia; KAVISKI, Eloy; BRAGA, Maria Cristina Borga. **Aplicação do método AHP para a hierarquização das alternativas de tratamento de resíduos sólidos domiciliares.** Ambiente Construído, v. 11, n. 2, p. 173-187, 2011.

MARINS, Cristiano Souza; SOUZA, Daniela de Oliveira; BARROS, Magno da Silva. **O uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais—um estudo de caso.** XLI SBPO, v. 1, 2009.

MARRO, Alessandro Assi et al. **Lógica fuzzy: conceitos e aplicações.** Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), 2010.

MEDEIROS, Levindo Cardoso; FERREIRA, Nilson Clementino; FERREIRA, Laerte Guimarães. **Avaliação de modelos digitais de elevação para delimitação automática de bacias hidrográficas.** Revista Brasileira de Cartografia, n. 61/2, 2009.

MONTEIRO, J. H. P. **Manual do Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos.** 15. ed. Rio de Janeiro: IBAM, 2001, 200 p. Disponível em: <<http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf> >. Acesso em: 2017.

MORAES, Odair Barbosa de. **Método de análise de dados para avaliação de áreas urbanas recuperadas—uma abordagem utilizando a lógica fuzzy.** 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

NASCIMENTO, Victor Fernandez. **Proposta para indicação de áreas para a implantação de aterro sanitário no município de Bauru-SP, utilizando análise multicritério de decisão e técnicas de geoprocessamento.** 2012.

PARANÁ, ÁGUAS. Instituto das Águas do Paraná. **Atlas de Recursos Hídricos do,** 2010.

PARANÁ. Resolução CEMA nº 094, de 04 de novembro de 2014. **Casa Civil do Governo do Estado do Paraná,** Curitiba, PR. Disponível em: <<http://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/listarAtosAno.do?action=exibir&codAto=132724&codItemAto=808254#808254>>. Acesso em: 2017.

PENDOCK, N.; NEDELJKOVIC, V. **Integrating geophysical data sets using probabilistic methods.** In: **Thematic Conference and Workshop on Applied Geologic Remote Sensing, 11.**, Las Vegas, 1996. Proceedings. Nevada: 1996, v.2, p.621-628.

PIROLI, E.L. **Introdução ao Geoprocessamento.** Ourinhos: Unesp/Campus Experimental de Ourinhos, 2010. p. 46.

RUSSO, M.A.T. 2003. **Tratamento de Resíduos Sólidos.** 196 f. Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Portugal.

SAATY, Thomas L. **Decision making for leaders: the analytic hierarchy process for decisions in a complex world.** RWS publications, 1990.

Saaty, T.L. **Decision making for leaders. Pitts burg, USA: WS.** Publications, 2000.

SAMIZAVA, Tiago et al. SIG aplicado à escolha de áreas potenciais para instalação de aterros sanitários no município de Presidente Prudente – SP. **Revista Brasileira de Cartografia.** Presidente Prudente, n. 60/01, p. 43-55, abr. 2008.

SAMIZAVA, T. M. **Utilização de técnicas de geoprocessamento para seleção de áreas potenciais para instalação de aterro sanitário no município de Presidente Prudente–SP.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2006.

SECRETARIA MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E TECNOLOGIA. **Perfil da região metropolitana de Londrina, 2014.** Disponível em: <http://www1.londrina.pr.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=556&Itemid=563>. Acesso em: 2017.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Aplicação web: Série Histórica.** 2015. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/aplicacao-web-serie-historica>>. Acesso em: 2017.

THURGOOD, M. **Solid Waste Landfills: Decision-Makers' Guide Summary** Joint publication of the World Bank, Swiss Agency for Development and Cooperation (SDC), World Health Organization Regional Office for Europe, and the Swiss Centre for Development Cooperation in Technology and Management (SKAT). Washington, D.C. and Copenhagen, Denmark. P. 31

TREVIZANO, Waldir Andrade; FREITAS, André Luíz Policani. **Emprego do Método da Análise Hierárquica (A.H.P.) na seleção de Processadores.** In: XXV Encontro Nac. de Engenharia de Produção – Porto Alegre, RS, Brasil, 29 out a 01 de nov. de 2005.

ZANETTI, I. C. B. B. **Educação ambiental, resíduos sólidos urbanos e sustentabilidade. Um estudo de caso sobre o sistema de gestão de Porto Alegre.** 2003. 176 p. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) - Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília.

Disponível em: <
http://www.repositorio.unb.br/bitstream/10482/21053/1/2003_IzabelCristinaBrunoBaccellarZaneti.pdf>. Acesso em: 2016.

WOLFF, C. S. **O método AHP – revisão conceitual e proposta de simplificação.** 2008. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia Industrial, Pontífica Universidade Católica, Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/12401/12401_1.PDF>. Acesso em: 2017.

APÊNDICE A – Razão de consistência

O ser humano tem a habilidade de estabelecer relações entre objetos ou ideias de forma que elas sejam coerentes, tal que estas se relacionem bem entre si e suas relações apresentem consistência (SAATY, 2000). Dessa forma no método AHP avalia-se uma medida denominada Razão de Consistência dos julgamentos, denotada por $RC = IC/IR$, onde IC é o índice de consistência e IR é o índice de consistência randômico (TREVIZANO; FREITAS, 2005). O índice de consistência é obtido por meio da Equação 1.

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

Onde,

λ_{max} é o maior autovalor da matriz de julgamentos;

n é a ordem da matriz.

Posteriormente a fase de comparação pareada de cada um dos fatores da matriz, calcula-se a matriz normalizada. Esse cálculo compreende o somatório dos elementos de cada coluna e a divisão de cada elemento da coluna pelo respectivo somatório, a matriz normalizada dos critérios analisados é apresentada no Quadro 1.

Quadro 1 – Matriz normalizada.

	Área urbana	Rodovia	Lençol freático	Hidrografia	Declividade
Área urbana	0,171	0,188	0,381	0,154	0,105
Rodovia	0,057	0,063	0,048	0,077	0,053
Lençol freático	0,086	0,250	0,190	0,308	0,211
Hidrografia	0,343	0,250	0,190	0,308	0,421
Declividade	0,343	0,250	0,190	0,105	0,211

Fonte: Elaborado pelo autor.

O próximo passo é o cálculo das prioridades médias, também chamado de vetor prioridade, que ocorre realizando a média de cada uma das linhas da matriz normalizada. O vetor prioridade é ilustrado no Quadro 2.

Quadro 2 – Vetor prioridade.

Vetor prioridade
0,200
0,059
0,209
0,302
0,220

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para obter o maior autovalor da matriz (λ_{max}) multiplica-se a matriz original pelo vetor prioridade, descrito acima. A matriz resultante dessa multiplicação é ilustrada no Quadro 3.

Quadro 3 – Matriz resultante da multiplicação da matriz original pelo vetor prioridade.

	Área urbana	Rodovia	Lençol freático	Hidrografia	Declividade
Área urbana	0,200	0,178	0,418	0,151	0,110
Rodovia	0,066	0,060	0,052	0,076	0,055
Lençol freático	0,100	0,237	0,209	0,302	0,220
Hidrografia	0,400	0,237	0,209	0,302	0,440
Declividade	0,400	0,237	0,209	0,151	0,220

Fonte: Elaborado pelo autor.

Devem ser somadas as linhas da matriz resultante, obtendo um novo vetor e então cada elemento desse vetor desse ser dividido pelo vetor prioridade e posteriormente dividido pela ordem da matriz original, gerando um novo vetor que é ilustrado no Quadro 4.

Quadro 4 – Vetor obtido por meio da soma das linhas da matriz resultante e divisão pelo vetor prioridade e pela ordem da matriz.

Vetor final
1,057
1,040
1,023
1,050
1,107

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para obter o máximo autovalor da matriz é somado cada elemento do vetor final. Para os critérios avaliados, após todo o cálculo descrito, $\lambda_{\max} = 5,276$.

Por meio do valor do λ_{\max} e do número de elementos avaliados na matriz, foi possível calcular o índice de consistência da mesma utilizando a Equação 1. O valor desse índice para a matriz avaliada foi $IC = 0,069$.

Já o índice de consistência randômico (IR) é obtido para uma matriz randômica recíproca, com elementos não-negativos, para vários tamanhos de matriz e foram aproximados por Saaty (baseado num grande número de simulações) como demonstra o Quadro 5.

Quadro 5 – Índices de consistências randômicos.

Ordem da matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Valores de IR	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45

Fonte: Saaty (2000).

Como a matriz analisada é de ordem 5, o IR é igual a 1,12. Dessa forma foi possível calcular o valor da razão da consistência, sendo o mesmo $RC = 0,062$.

A Razão de consistência permite avaliar a consistência dos julgamentos realizados no método, e segundo Saaty (2000) para que a matriz seja considerada consistente o valor da razão deve ser menor ou igual a 0,10, caso contrário o decisor deve rever sua avaliação. Como $RC < 0,1$, o julgamento da comparação pareada pode ser considerado consistente.