

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS E MEIO AMBIENTE

**PROPOSTA DE METODOLOGIA DE BAIXO CUSTO PARA SELEÇÃO
DE ÁREAS PARA LOCALIZAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO COM
USO DE SIG E ANÁLISE MULTICRITÉRIO: ESTUDO DE CASO NA
REGIÃO DE ARARAS – SP**

Jandir Pereira Blasius

Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

Rio Claro - SP
2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

JANDIR PEREIRA BLASIUS

**PROPOSTA DE METODOLOGIA DE BAIXO CUSTO
PARA SELEÇÃO DE ÁREAS PARA LOCALIZAÇÃO
DE ATERRO SANITÁRIO COM USO DE SIG E
ANÁLISE MULTICRITÉRIO: ESTUDO DE CASO NA
REGIÃO DE ARARAS – SP**

Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Geociências e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Loureiro Garcia

Rio Claro - SP
2023

B644p

Blasius, Jandir Pereira

Proposta de metodologia de baixo custo para seleção de áreas para localização de aterro sanitário com uso de SIG e análise multicritério: Estudo de caso na região de Araras – SP / Jandir Pereira Blasius. -- Rio Claro, 2023
201 p. : il., tabs., mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro

Orientador: Marcelo Loureiro Garcia

1. Aterro Sanitário. 2. Gestão de resíduos. 3. Tomada de decisões. 4. Sistema de Informações Geográficas. 5. Análise multicritério. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

De acordo com a Portaria UNESP 117-2022 e Instrução AT-PROPG nº 02 (22/12/2022), é recomendado que a tese descreva o impacto esperado relacionado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030. Sendo assim, entre os 17 ODS assumidos pelo Brasil este trabalho contempla os seguintes:

- **ODS 3 - Saúde e bem-estar:** A escolha adequada da área para instalação do aterro sanitário deve evitar a contaminação do ambiente, prevenir a propagação de doenças relacionadas à exposição a rejeitos e agentes patogênicos e contribuir para a promoção da saúde e do bem-estar das comunidades locais.
- **ODS 6 - Água potável e saneamento:** A seleção adequada da área do aterro sanitário deve evitar a contaminação dos recursos hídricos, e dessa forma, contribuir para a disponibilidade de água potável.
- **ODS 7 – Energia limpa e acessível:** A implantação de aterro sanitário consorciado pode promover o aproveitamento energético de biogás.
- **ODS 11 - Cidades e comunidades sustentáveis:** O desenvolvimento desta tese visa promover o planejamento urbano sustentável e evitar a instalação de aterro sanitário em áreas densamente povoadas ou ecologicamente sensíveis.
- **ODS 12 - Consumo e produção responsáveis:** A formação de consórcios para o gerenciamento de resíduos pode abordar aspectos relacionados à redução, reutilização e reciclagem, e assim, minimizar a quantidade de resíduos gerados e contribuir para a sustentabilidade ambiental.
- **ODS 13 - Ação contra a mudança global do clima:** A implantação adequada de aterros sanitários pode reduzir a emissão de gases de efeito estufa decorrente da decomposição de resíduos orgânicos dispostos inadequadamente.
- **ODS 15 - Vida terrestre:** No processo de localização do aterro foi considerada a importância de preservar a biodiversidade local, a fim de proteger a vida terrestre, seus habitats e evitar impactos adversos em ecossistemas sensíveis.
- **ODS 17 - Parcerias e meios de implementação:** A tese enfatizou a importância da colaboração entre diferentes atores sociais. Por meio de parcerias efetivas, é possível implementar soluções sustentáveis e alcançar os objetivos propostos.

Em suma, o presente estudo contribui para uma abordagem mais sustentável e responsável no gerenciamento de resíduos e deve resultar em benefícios ambientais, sociais e econômicos em longo prazo.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

According to Ordinance UNESP 117-2022 and Instruction AT-PROPG nº 02 (12/22/2022), it is recommended that the thesis describe the expected impact related to the Sustainable Development Goals (SDG) of the 2030 Agenda. Among the 17 SDG assumed by Brazil, this work includes the following:

- **SDG 3 - Health and well-being:** The appropriate choice of the area for installing the landfill must avoid environmental contamination, prevent the spread of diseases related to exposure to waste and pathogenic agents and contribute to promoting the health and well-being of local communities.
- **SDG 6 - Drinking water and sanitation:** Proper selection of the landfill area can prevent contamination of water resources, and thus contribute to the availability of drinking water.
- **SDG 7 – Clean and affordable energy:** The implementation of a consortium sanitary landfill can promote the energy use of biogas.
- **SDG 11 - Sustainable cities and communities:** The development of this thesis aimed to promote sustainable urban planning and avoid the installation of landfills in densely populated or ecologically sensitive areas.
- **SDG 12 - Responsible consumption and production:** The formation of consortia for waste management can address aspects related to reduction, reuse and recycling, and thus minimize the amount of waste generated and contribute to environmental sustainability.
- **SDG 13 - Action against global climate change:** The adequate implementation of landfills can reduce the emission of greenhouse gases resulting from the decomposition of improperly disposed organic waste.
- **SDG 15 - Life on land:** In the process of locating the landfill, the importance of preserving local biodiversity was considered, in order to protect life on land, its habitats and avoid adverse impacts on sensitive ecosystems.
- **SDG 17 - Partnerships and means of implementation:** The thesis emphasized the importance of collaboration between different social actors. Through effective partnerships, it is possible to implement sustainable solutions and achieve the proposed objectives.

In summary, the present study contributes to a more sustainable and responsible approach to waste management and should result in long-term environmental, social and economic benefits.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

JANDIR PEREIRA BLASIUS

PROPOSTA DE METODOLOGIA DE BAIXO CUSTO PARA
SELEÇÃO DE ÁREAS PARA LOCALIZAÇÃO DE ATERRO
SANITÁRIO COM USO DE SIG E ANÁLISE MULTICRITÉRIO:
ESTUDO DE CASO NA REGIÃO DE ARARAS – SP

Tese de Doutorado apresentada ao
Instituto de Geociências e Ciências
Exatas do Câmpus de Rio Claro, da
Universidade Estadual Paulista “Júlio
de Mesquita Filho”, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Doutor em Geociências e Meio
Ambiente.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. MARCELO LOUREIRO GARCIA
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”/Rio Claro (SP)

Profa. Dra. MARLY APARECIDA DA SILVA
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais/Araxá (MG)

Prof. Dr. LUCAS TADEU FUESS
Universidade de São Paulo/São Carlos (SP)

Prof. Dr. PEDRO DANIEL DA CUNHA KEMERICH
Universidade Federal de Santa Maria/Santa Maria (RS)

Prof. Dr. RONAN CLEBER CONTRERA
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo/São Paulo (SP)

Conceito: Aprovado.

Rio Claro (SP), 19 de outubro de 2023.

DEDICATÓRIA

Esta tese é dedicada aos meus pais (José e Salete), que não tiveram a oportunidade de estudar e mesmo que eles não tenham fornecido apoio financeiro para a minha formação acadêmica, eles me proporcionaram o essencial para que eu pudesse trilhar esse caminho por conta própria.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos à instituição e aos indivíduos que diretamente e indiretamente contribuíram para o desenvolvimento desta tese.

Aos meus pais (José e Salete), irmãs (Luzia e Jadna) e sobrinhos (Otávio e Laura), pelo amor incondicional.

Aos verdadeiros amigos, que torceram pelo desenvolvimento e conclusão desta tese.

Ao Me. Geólogo Rodolfo Busolin Alves dos Santos, que muito contribuiu para as discussões geológicas.

Ao orientador, Prof. Dr. Marcelo Loureiro Garcia, pela inspiração, orientação, incentivo, parceria e paciência ao longo deste tempo.

Aos membros da banca de avaliação, por dedicarem seu tempo e *expertise* na análise deste trabalho, contribuindo com valiosas sugestões e críticas construtivas.

À Universidade Estadual Paulista, pela oportunidade de cursar o Doutorado e por disponibilizar recursos para a realização da pesquisa.



"A educação é a arma mais poderosa que você pode usar para mudar o mundo."

Nelson Mandela

RESUMO

Os municípios da região de Araras - SP apresentam dificuldades para a destinação adequada de rejeitos, pois não possuem recursos para implantação de soluções individuais e os aterros sanitários existentes na região apresentam tempo de vida útil relativamente curto. Neste viés, esta tese teve o objetivo de propor uma metodologia de baixo custo para seleção de áreas para localização de Aterro Sanitário Intermunicipal (ASI). Para tal, foi definido um arranjo de municípios aptos para implantação de solução compartilhada com o município de Araras. As projeções populacionais e de geração de resíduos serviram de base para dimensionamento da área mínima necessária para implantação do empreendimento. Para projeção do volume de resíduos foram elaborados cenários considerando a redução gradativa do aterramento de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em termos percentuais: 0%/20%/50%/70%. Para definição das melhores alternativas foram integradas ferramentas de Sistema de Informações Geográficas (SIG) e análise multicritério para avaliação em três níveis: ponderação de aspectos restritivos para determinação das áreas aptas; categorização das áreas aptas pela ponderação de aspectos ambientais, econômicos e sociais (com a elaboração de quatro cenários: 1: 100% ambiental; 2: 100% econômico; 3: 100% social; e 4: 33,3% ambiental + 33,3% econômico + 33,3 social); e avaliação de fatores adicionais, para refinamento das alternativas pré-selecionadas. De acordo com o conjunto de critérios pré-definidos, 10 municípios foram categorizados com alta prioridade para participação de consórcio com o município de Araras, são eles: Analândia, Charqueada, Cordeirópolis, Corumbataí, Ipeúna, Mogi Mirim, Pirassununga, Porto Ferreira, Santa Cruz da Conceição e Santa Gertrudes. A estimativa populacional do arranjo é de 465 mil habitantes, que gerarão cerca de 4,8 milhões de toneladas de RSU durante o horizonte de projeto de 30 anos. Sendo assim, a área mínima requerida para as instalações de saneamento será de 40 hectares. No primeiro nível de avaliação, 66,5% da área municipal foi classificada como inapta para localização de um aterro sanitário. No segundo nível, com base no Cenário 4, que apresentou uma análise mais abrangente dos três aspectos avaliados, 2,09% das áreas municipais foram categorizadas com nível de aptidão “Bom”, 10,24% como “Muito bom” e 21,17% como “Ótimo”. De acordo com este cenário, foram pré-selecionadas 10 áreas municipais com potencial para localização de um ASI. No terceiro nível, a consideração de critérios suplementares identificou três regiões municipais (áreas 2, 5 e 6) como as mais propícias para a instalação do empreendimento. Após uma análise minuciosa, a área 5 foi determinada como a opção mais promissora para esta finalidade, pois apresenta a maior área útil e possui melhores condições de acesso. Desta forma, a presente tese fornece subsídios aos gestores públicos para a formação de arranjo para gerenciamento consorciado de RSU, para dimensionamento de projeto e para seleção de áreas favoráveis para localização de um aterro sanitário. Esta abordagem contribui para garantir uma destinação adequada e sustentável dos rejeitos, com vista a assegurar o bem-estar das comunidades locais e a proteção ambiental.

Palavras-chave: Aterro Sanitário. Gestão de resíduos. Tomada de decisão. Sistema de Informações Geográficas. Análise multicritério.

ABSTRACT

The municipalities in the region of Araras - SP present difficulties in the adequate disposal of waste, as they do not have resources to implement individual solutions and the existing landfills in the region have a relatively short useful life. In this sense, this thesis aimed to propose a low-cost methodology for selecting areas for locating an Intermunicipal Sanitary Landfill (ISL). To this end, an arrangement of municipalities suitable for implementing a shared solution with the municipality of Araras was defined. Population and waste generation projections served as a basis for sizing the minimum area required to implement the project. To project the volume of waste, scenarios were developed considering the gradual reduction in landfilling of Municipal Solid Waste (MSW) in percentage terms: 0%/20%/50%/70%. To define the best alternatives, Geographic Information System (GIS) tools and multi-criteria analysis were integrated for evaluation at three levels: weighting of restrictive aspects to determine suitable areas; categorization of suitable areas by weighing environmental, economic and social aspects (with the elaboration of four scenarios: 1: 100% environmental; 2: 100% economic; 3: 100% social; and 4: 33.3% environmental + 33, 3% economic + 33.3 social); and evaluation of additional factors, to refine the pre-selected alternatives. According to the set of pre-defined criteria, 10 municipalities were categorized with high priority for participation in a consortium with the municipality of Araras, they are: Analândia, Charqueada, Cordeirópolis, Corumbataí, Ipeúna, Mogi Mirim, Pirassununga, Porto Ferreira, Santa Cruz da Conceição and Santa Gertrudes. The population estimate of the arrangement is 465 thousand inhabitants, who will generate approximately 4.8 million tons of MSW during the 30-year project horizon. Therefore, the minimum area required for sanitation facilities will be 40 hectares. In the first level of assessment, 66.5% of the municipal area was classified as unsuitable for locating a sanitary landfill. At the second level, based on Scenario 4, which presented a more comprehensive analysis of the three aspects evaluated, 2.09% of municipal areas were categorized with a "Good" aptitude level, 10.24% as "Very good" and 21, 17% as "Excellent". According to this scenario, 10 municipal areas with potential for locating an ASI were pre-selected. At the third level, the consideration of additional criteria identified three municipal regions (areas 2, 5 and 6) as the most suitable for installing the project. After a thorough analysis, Area 5 was determined to be the most promising option for this purpose, as it has the largest usable area and has better access conditions. In this way, this thesis provides subsidies to public managers for the formation of an arrangement for consortium management of MSW, for project sizing and for selecting favorable areas for locating a sanitary landfill. This approach contributes to ensuring an adequate and sustainable disposal of waste, with a view to ensuring the well-being of local communities and environmental protection.

Keywords: Sanitary Landfill. Waste Management. Decision-making. Geographic Information System. Multi-criteria analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Hierarquia da técnica AHP.	51
Figura 2 - Diagrama da estrutura de desenvolvimento desta tese.	56
Figura 3 - Mapa de localização do município de Araras - SP.	61
Figura 4 – Gráfico de temperaturas de Araras - SP no período de 1991 a 2021.	62
Figura 5 - Gráfico de médias mensais de precipitação e umidade de Araras - SP no período de 1991 a 2021.	63
Figura 6 – Mapa geológico de Araras - SP.....	65
Figura 7 - Mapa das unidades aquíferas de Araras - SP.....	68
Figura 8 - Histograma de frequência da profundidade dos poços de captação de água subterrânea do município de Araras - SP.....	70
Figura 9 - Classes de uso das águas subterrâneas no município de Araras - SP.	70
Figura 10 - Situação dos poços de captação de água subterrânea no município de Araras - SP.	71
Figura 11 - Mapeamento do nível estático das águas subterrâneas do município de Araras - SP.	72
Figura 12 - Mapa geomorfológico de Araras - SP.....	74
Figura 13 - Mapa de declividade de Araras - SP.....	77
Figura 14 - Mapa da hidrografia de Araras – SP.....	79
Figura 15 - Mapa pedológico de Araras - SP.	81
Figura 16 - Mapa dos biomas e fragmentos florestais de Araras - SP	83
Figura 17 - Mapa de uso e ocupação do solo de Araras – SP.....	86
Figura 18 - Mapa de macrozoneamento de Araras - SP.....	88
Figura 19 - Mapa da infraestrutura municipal de Araras - SP.....	90
Figura 20 - Mapa de áreas contaminadas de Araras - SP.....	93
Figura 21 – Classificação de prioridade dos municípios da região de Araras - SP para participação de consórcio.	120

Figura 22 - Regiões Administrativas do Estado de São Paulo em que estão inseridos os municípios integrantes do arranjo.....	122
Figura 23 - Localização dos municípios do arranjo nas UGRHI de Mogi-Guaçu e Pirassununga/Capivari/Jundiaí.	124
Figura 24 - Representatividade demográfica dos municípios do arranjo no ano de 2022.....	127
Figura 25 - Projeção populacional dos municípios de Analândia, Araras, Charqueada e Cordeirópolis.	140
Figura 26 - Projeção populacional dos municípios de Corumbataí, Ipeúna, Mogi-Mirim e Pirassununga.	141
Figura 27 - Projeção populacional dos municípios de Porto Ferreira, Santa Cruz da Conceição e Santa Gertrudes.	142
Figura 28 – Projeção populacional dos municípios do arranjo.	145
Figura 29 - Correlação entre o tempo e índice de geração per capita de RSU dos municípios de Analândia, Araras, Charqueada e Cordeirópolis.	146
Figura 30 - Correlação entre o tempo e índice de geração per capita de RSU dos municípios de Corumbataí, Ipeúna, Mogi-Mirim e Pirassununga.	147
Figura 31 - Correlação entre o tempo e índice de geração per capita de RSU dos municípios de Porto Ferreira, Santa Cruz da Conceição e Santa Gertrudes.	148
Figura 32 - Projeção da massa de RSU gerada pelo arranjo durante o horizonte de projeto conforme os cenários pré-definidos.....	150
Figura 33 - Mapeamento das áreas inaptas à localização de aterro sanitário de acordo com a análise de critérios restritivos.	152
Figura 34 - Mapa de classificação de aptidão das áreas municipais para localização de aterro sanitário.	154
Figura 35 - Categorização dos aspectos ambientais do município de Araras segundo atribuição de notas pela lógica de Fuzzy.	156
Figura 36 - Categorização dos aspectos econômicos do município de Araras segundo atribuição de notas pela lógica de Fuzzy.	159
Figura 37 - Categorização dos aspectos sociais do município de Araras segundo atribuição de notas pela lógica de Fuzzy.....	161
Figura 38 - Cenário 1: Avaliação dos aspectos ambientais para localização de aterro sanitário em Araras-SP.....	169

Figura 39 - Cenário 2: Avaliação dos aspectos econômicos para localização de aterro sanitário em Araras –SP.	170
Figura 40 - Cenário 3: Avaliação dos aspectos sociais para localização de aterro sanitário em Araras-SP.....	171
Figura 41 - Cenário 4 - Avaliação integrada dos aspectos ambientais, econômicos e sociais para localização de aterro sanitário em Araras-SP.	172
Figura 42 - Áreas pré-selecionadas para localização de aterro sanitário em Araras-SP.	177
Figura 43 – Detalhamento de área pré-selecionada para localização de aterro sanitário em Araras-SP: Área 2.....	180
Figura 44 - Detalhamento de área pré-selecionada para localização de aterro sanitário em Araras-SP: Área 5.....	181
Figura 45 - Detalhamento de área pré-selecionada para localização de aterro sanitário em Araras-SP: Área 6.....	182

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação dos resíduos sólidos e suas características.	32
Quadro 2 - Critérios técnicos estabelecidos pela ABNT NBR 13.896/1997 para localização de aterro sanitário de resíduos não perigosos.	43
Quadro 3 - Critérios ambientais, econômicos e sociais considerados para localização de aterros sanitários conforme diferentes autores.	45
Quadro 4 - Escala fundamental de Saaty utilizada para comparação entre dois critérios.	51
Quadro 5 - Índices Randômicos.	54
Quadro 6 - Fontes de dados utilizadas para produção de mapas base e mapas temáticos.	58
Quadro 7 - Lista de bens tombados como patrimônio histórico-cultural de Araras - SP.	91
Quadro 8 - Caracterização e classificação das fontes municipais de contaminação.	94
Quadro 9 - Dados populacionais utilizados para projeção demográfica de cada município do arranjo.	98
Quadro 10 - Fórmulas matemáticas dos métodos empregados para projeção demográfica do arranjo de municípios.	99
Quadro 11 - Atribuição de notas de acordo com o nível de aptidão, pela aplicação da lógica de Fuzzy.	106
Quadro 12 - Características gerais das UGRHI PCJ e Mogi-Guaçu.	123
Quadro 13 - Índices socioeconômicos dos municípios integrantes do arranjo.	128
Quadro 14 - Indicadores de qualidade ambiental dos municípios integrantes do arranjo no ano de 2020.	133
Quadro 15 – Determinação dos modelos considerados mais adequados para projeção populacional de cada município do arranjo.	143

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ponderação de critérios para formação de arranjo intermunicipal para gerenciamento de RSU.....	96
Tabela 2 - Ponderação de critérios restritivos para pré-seleção das áreas municipais quanto ao potencial de implantação do aterro sanitário.	105
Tabela 3 - Ponderação de atributos ambientais para localização de aterro sanitário intermunicipal.....	108
Tabela 4 - Ponderação de atributos econômicos para localização de aterro sanitário intermunicipal.....	111
Tabela 5 - Ponderação de atributos sociais para localização de aterro sanitário intermunicipal.	113
Tabela 6 – Avaliação de fatores adicionais para refinamento das áreas pré-selecionadas para localização de aterro sanitário intermunicipal.	115
Tabela 7 – Análise de prioridade dos municípios da região de Araras para participação de consórcio intermunicipal	119
Tabela 8 - Caracterização demográfica dos municípios integrantes do arranjo.....	126
Tabela 9 – Percentual de áreas municipais destacadas como inaptas, segundo a definição dos critérios restritivos, à instalação de aterro sanitário em Araras - SP.	153
Tabela 10 - Classificação percentual de áreas municipais quanto ao nível de aptidão dos aspectos ambientais.	157
Tabela 11 - Classificação percentual de áreas municipais quanto ao nível de aptidão dos aspectos econômicos.....	159
Tabela 12 - Classificação percentual de áreas municipais quanto ao nível de aptidão dos aspectos sociais.....	162
Tabela 13 - Matriz de comparação pareada de julgamento dos critérios ambientais.	164
Tabela 14 - Matriz de comparação pareada de julgamento dos critérios econômicos.	166
Tabela 15 - Matriz de comparação pareada de julgamento dos critérios sociais.	167
Tabela 16 - Classificação de aptidão das áreas municipais de acordo com os cenários elaborados.....	173

Tabela 17 - Classificação das áreas pré-selecionadas para localização de aterro sanitário de acordo com a avaliação de critérios adicionais.	178
---	-----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ACI	Área Contaminada sob Investigação
ACRE	Área Contaminada em processo de Remediação
ACRI	Área Contaminada com Risco Confirmado
AEU	Área de Expansão Urbana
AHP	Processo de Análise Hierárquica (da sigla do inglês, <i>Analytical Hierarchy Process</i>)
AIA	Auto de Infração Ambiental
AME	Área Monitorada para Encerramento
APM	Área de Proteção de Mananciais
APP	Área de Preservação Permanente
APS	Área de Parcelamento do Solo
ASA	Área de Segurança Aeroportuária
ASI	Aterro Sanitário Intermunicipal
ATR	Área de Transbordo de Resíduos
AVN	Autovetor Normalizado
AVT	Autovetor Total
BANANA	“Construa absolutamente nada em qualquer lugar perto de qualquer coisa/qualquer pessoa” (do inglês, <i>Build Absolutely Nothing Anywhere Near Anything/Anyone</i>)
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CGPC	Coeficiente de Geração Per Capita
CIGR	Consórcio Intermunicipal para o Gerenciamento de Resíduos

CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FAHP	Processo de Análise Hierárquica Fuzzy (da sigla do Inglês, <i>Fuzzy Analytical Hierarchy Process</i>)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IAA	Índice de Atendimento de Água
IC	Índice de Consistência
ICMS	Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação
ICTEM	Indicador de Coleta e Tratabilidade de Esgoto da População Urbana de Município
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDW	Inverso do Quadrado da Distância (da sigla do Inglês, <i>Inverse Distance Weighting</i>)
IGR	Índice de Gestão de Resíduos Sólidos
IPRS	Índice Paulista de Responsabilidade Social
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IQR	Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos
IR	Índice Randômico
MCDA	Análise de decisão multicritérios (da sigla do Inglês, <i>Multi-criteria Decision Analysis</i>)

MCP	Matriz de Comparação Pareada
MMA	Ministério de Meio Ambiente
NIABY	“Não no quintal de ninguém” (do inglês, <i>Not In Anyone’s Backyard</i>)
NIMBY	“Não no meu quintal” (do inglês, <i>Not In My Backyard</i>)
OCA	Órgão de Controle Ambiental
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PCJ	Piracicaba/Capivari/Jundiaí
PERH	Plano Estadual de Recursos Hídricos
PERS	Política Estadual de Resíduos Sólidos
PIB	Produto Interno Bruto
PMGIRS	Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
RA	Regiões Administrativas
RC	Razão de Consistência
RCC	Resíduos da Construção Civil
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
RM	Região Metropolitana
RSS	Resíduos de Serviços de Saúde
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SAEMA	Serviço de Água e Esgoto do Município de Araras
SGB	Serviço Geológico do Brasil
SIG	Sistema de Informações Geográficas

SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SIMA	Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo
SMA	Secretaria do Meio Ambiente
SISNAMA	Sistema Nacional de Meio Ambiente
SINIR	Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
TOPSIS	Técnicas de ordem preferencial por similaridade para solução ideal (da sigla do inglês, <i>techniques for order preference by similarity to ideal solution</i>)
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UNESP	Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
ZEU	Zona de Expansão Urbana

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	25
1 INTRODUÇÃO GERAL	26
1.1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	26
1.2 HIPÓTESE E PREMISSE	29
1.2.1 Hipótese.....	29
1.2.2 Premissa	29
1.3 OBJETIVOS.....	30
1.3.1 Objetivo Geral	30
1.3.2 Objetivos Específicos.....	30
2. REFERENCIAL TEÓRICO	31
2.1 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	31
2.2 PANORAMA DOS RSU NO BRASIL	33
2.2.1 Geração de RSU.....	34
2.2.2 Coleta convencional.....	34
2.2.3 Coleta seletiva	35
2.2.4 Unidades de processamento e massa de resíduos recuperada em 2020.....	36
2.2.5 Destinação final.....	36
2.2.6 Consórcios intermunicipais para serviços de manejo de RSU	37
2.3 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS REFERENTES AO GERENCIAMENTO DE RSU	37
2.3.1 Legislação federal relacionada ao saneamento básico	38
2.3.2 Legislação do Estado de São Paulo relacionada ao saneamento básico	39
2.3.3 Legislação federal específica para aterro sanitário.....	41

2.3.4 Legislação do Estado de São Paulo específica para aterro sanitário	42
2.4 CRITÉRIOS REFERENTES À LOCALIZAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS	42
2.4.1 Critérios técnicos	42
2.4.2 Critérios ambientais, econômicos e sociais.....	44
2.5 MÉTODOS DE TOMADA DE DECISÕES PARA LOCALIZAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO.....	47
2.5.1 Sistema de Informações Geográficas (SIG)	48
2.5.2 Análise de Decisão Multicritério (MCDA).....	48
<i>2.5.2.1 Processo de Análise Hierárquica (AHP)</i>	<i>50</i>
<i>2.5.2.2 Processo de Análise Hierárquica Fuzzy (FAHP).....</i>	<i>54</i>
3. MATERIAL E MÉTODOS	56
3.1 AQUISIÇÃO DE DADOS	57
3.1.1 Dados de referencial teórico	57
3.1.2 Dados de Geoprocessamento	58
3.2 TRATAMENTO DOS DADOS.....	59
3.3 ÁREA DE ESTUDO	60
3.3.1 Clima.....	62
3.3.1 Geologia.....	64
3.3.3 Hidrogeologia	67
<i>3.3.3.1 Estimativa no nível freático.....</i>	<i>69</i>
3.3.4 Geomorfologia.....	73
3.3.5 Declividade	76
3.3.6 Hidrografia.....	78
3.3.7 Pedologia	80
3.3.8 Biomas e vegetação	82

3.3.9 Uso e ocupação do solo	85
3.3.10 Macrozoneamento	87
3.3.11 Infraestrutura municipal	89
3.3.12 Áreas contaminadas	92
3.4 CRITÉRIOS PARA FORMAÇÃO DE ARRANJO PARA PARTICIPAÇÃO DE CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL COM O MUNICÍPIO DE ARARAS - SP.....	95
3.5 CARACTERIZAÇÕES TERRITORIAL, DEMOGRÁFICA, SOCIOECONÔMICA E AMBIENTAL DO ARRANJO	96
3.6 DIMENSIONAMENTO DA ÁREA MÍNIMA PARA AS INSTALAÇÕES DE SANEAMENTO.....	97
3.6.1 Projeção populacional do arranjo.....	98
3.6.2 Projeção da produção de resíduos do arranjo.....	100
3.6.2.1 <i>Definição de cenários da produção de resíduos</i>	100
3.6.2.2 <i>Cálculo da projeção da produção de resíduos.....</i>	101
3.6.3 Cálculo da área do aterro	102
3.7 ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA LOCALIZAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO INTERMUNICIPAL	103
3.7.1 Definição de classes de critérios para localização do aterro sanitário intermunicipal.....	103
3.7.2 Ponderação de critérios para localização do aterro sanitário intermunicipal.....	104
3.7.2.1 <i>Primeira aproximação: ponderação de critérios restritivos.....</i>	104
3.7.2.2 <i>Segunda aproximação: ponderação de critérios de classificação</i>	106
3.7.2.1.1 Ponderação de fatores ambientais.....	107
3.7.2.1.2 Ponderação de fatores econômicos.....	110
3.7.2.1.3 Ponderação de fatores sociais	112
3.7.2.1.4 Definição de cenários para localização de aterro sanitário intermunicipal	114
3.7.3 Terceira aproximação: refinamento das áreas pré-selecionadas pela avaliação de fatores adicionais	114

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	118
4.1 SELEÇÃO DOS MUNICÍPIOS PARA FORMAÇÃO DE ARRANJO.....	118
4.2 CARACTERIZAÇÕES TERRITORIAL, DEMOGRÁFICA, SOCIOECONÔMICA E AMBIENTAL DO ARRANJO	121
4.2.1 Caracterização territorial	121
4.2.1.1 Regiões Administrativas (RA) do Estado de São Paulo	121
4.2.1.2 Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI)	123
4.2.1.3 Estudo de Regionalização do Estado de São Paulo para Gestão de Resíduos Sólidos.....	125
4.2.2 Caracterização demográfica.....	126
4.2.3 Caracterização socioeconômica.....	128
4.2.3.1 Produto Interno Bruto	128
4.2.3.2 Índice de Desenvolvimento Humano	129
4.2.3.3 Índice Paulista de Responsabilidade Social.....	130
4.2.3.4 Grau de Urbanização	131
4.2.4 Análise da qualidade ambiental	132
4.2.4.1 Índice de Atendimento de Água	134
4.2.4.2 Indicador de Coleta e Tratabilidade de Esgoto da População Urbana de um Município.....	134
4.2.4.3 Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos	135
4.2.4.4 Índice de Qualidade de Transbordos	135
4.2.4.5 Índice de Gestão de Resíduos Sólidos	136
4.2.4.6 Índice de Vegetação Nativa.....	137
4.2.4.7 Autos de Infração Ambiental	137
4.2.4.8 ICMS Ecológico.....	138
4.3 ÁREA MÍNIMA PARA INSTALAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO INTERMUNICIPAL.	139

4.3.1	Projeção populacional dos municípios do arranjo	139
4.3.2	Projeção da produção de resíduos	145
4.3.2.1	<i>Cenários da geração de resíduos do arranjo.....</i>	149
4.3.4	Área mínima para implantação de aterro sanitário.....	151
4.4	PRIMEIRA APROXIMAÇÃO PARA SELEÇÃO PRELIMINAR DE ÁREAS FAVORÁVEIS À LOCALIZAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO EM ARARAS - SP.....	151
4.5	SEGUNDA APROXIMAÇÃO PARA SELEÇÃO PRELIMINAR DE ÁREAS FAVORÁVEIS À LOCALIZAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO EM ARARAS - SP.....	155
4.5.1	Aspectos ambientais	155
4.5.2	Aspectos econômicos.....	158
4.5.3	Aspectos sociais	160
4.5.4	Matriz de Comparação Pareada (MCP)	164
4.5.4.1	<i>Julgamento dos aspectos ambientais.....</i>	164
4.5.4.2	<i>Julgamento dos aspectos econômicos</i>	165
4.5.4.3	<i>Julgamento dos aspectos sociais</i>	166
4.5.5	Cenários da classificação de aptidão das áreas municipais.....	168
4.6	TERCEIRA APROXIMAÇÃO PARA SELEÇÃO PRELIMINAR DE ÁREAS FAVORÁVEIS À LOCALIZAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO EM ARARAS - SP.....	176
4.6.1	Comparação entre as três áreas consideradas como as mais favoráveis para localização de um aterro sanitário	179
5	CONCLUSÕES.....	186
	REFERÊNCIAS	188

APRESENTAÇÃO

Com o intuito de atender aos objetivos propostos, o desenvolvimento desta tese foi estruturado em capítulos. Após a introdução geral da pesquisa, com definição do problema, hipótese, premissas e objetivos (Capítulo 1), é apresentado um referencial teórico sobre a definição, classificação e o panorama da disposição final de RSU/rejeitos em aterro sanitário, legislação, critérios e metodologias empregados para localização de aterro sanitário (Capítulo 2).

No Capítulo 3 são apresentados o material e métodos empregados no desenvolvimento da tese, com identificação das fontes e técnicas de tratamento de dados, caracterização da área de estudo, metodologia para definição do arranjo de municípios para participação de consórcio, para dimensionamento de área mínima para instalação do aterro sanitário intermunicipal, definição e ponderação de critérios para classificação de áreas aptas para localização de aterro sanitário.

Por fim, nos Capítulos 4, 5 e 6 são apresentados, respectivamente, os resultados e discussão, as conclusões e as referências consultadas para desenvolvimento da pesquisa.

1 INTRODUÇÃO GERAL

Nas seções subsequentes, é apresentada uma visão abrangente sobre a problemática associada à destinação inadequada de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no contexto brasileiro. Além disso, são levantadas as vantagens e os desafios inerentes à formação de soluções compartilhadas, bem como as metodologias empregadas para a identificação de locais apropriados para a instalação de aterro sanitário. Por fim, são apresentados os objetivos, a hipótese e a premissa que orientaram a pesquisa. De forma geral, este estudo representa uma iniciativa em promover práticas sustentáveis e colaborativas na gestão dos RSU, com um enfoque específico na realidade local.

1.1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

No Brasil, em 2022, foram geradas aproximadamente 82 milhões de toneladas de RSU. Deste montante, 76,1 milhões de toneladas (93% do total) foram coletadas e deste índice, somente 46,4 milhões de toneladas (61%) foram encaminhadas para destinação ambientalmente adequada. Sendo assim, um percentual elevado de RSU gerados no país (39%) ainda é disposto incorretamente (ABRELPE, 2022).

Nesse viés, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelecida pela Lei n.º 12.305/2010 e regulamentada pelo Decreto n.º 10.936/2022, considera o aterro sanitário como a única forma de destinação final ambientalmente adequada (Brasil, 2010, 2022), visto que a construção e operação deste empreendimento devem observar normas de engenharia a fim de confinar os rejeitos no menor espaço possível, minimizar impactos ambientais adversos e riscos à saúde e à segurança pública (Melo Jr *et al.*, 2022).

O aterro sanitário é considerado como solução imediata somente para a destinação final de rejeitos (que é um tipo específico de resíduo que não pode ser reaproveitado, reciclado ou tratado de forma economicamente viável), no entanto, pela falta de tratamento adequado, os RSU também são encaminhados para este empreendimento ou para locais inadequados, como os lixões e aterros controlados. Esta prática é recorrente, pois o descarte de resíduos em aterros sanitários se tornou característica integrante da gestão de resíduos (Alavi *et al.*, 2013; Rezaeisabzevar *et al.*, 2022). Entretanto, é fundamental enfatizar que a disposição de RSU em

aterro sanitário é uma prática irregular e que o manejo dos RSU deve seguir estritamente à hierarquia de prioridades definida pela PNRS, que inclui a não geração, redução na fonte, reutilização, reciclagem e tratamento adequado, antes de considerar a disposição final em aterro sanitário.

O tempo de vida útil de um aterro sanitário é reduzido pela disposição de RSU, que deveriam ser encaminhados a uma cadeia de gerenciamento adequado. Sendo assim, os municípios necessitam encontrar novos locais para destinação de rejeitos ou dispor em empreendimentos particulares, que exigem o pagamento para disposição, além do custo de transporte.

A disposição inadequada é ainda mais agravada nos municípios de pequeno porte, pois a construção e operação de um aterro sanitário demandam de investimento elevado e nestes municípios os recursos financeiros são mais limitados (Benedeti, 2022; Boin *et al.*, 2022; Pina; Florencio; Costa, 2022). Cabe destacar que 87,8% dos municípios brasileiros são de pequeno porte (possuem população de até 50 mil habitantes) e que os custos para aterramento de rejeitos são menores para populações a partir de 100 mil habitantes (MDR, 2021).

Diante deste cenário, a PNRS incentiva a implantação de soluções compartilhadas para a gestão adequada dos RSU. Os consórcios intermunicipais contribuem para o ganho da escala de aproveitamento das infraestruturas de saneamento, reduzem custos de manejo, por diminuir a distância entre a fonte geradora e o local de disposição final adequada (SNIS, 2021). Além disso, as soluções compartilhadas apresentam prioridade na obtenção de recursos federais e estaduais, se constituídos nos termos da Lei n.º 11.107/2005 (regulamentada pelo Decreto n.º 6.017/2007), que dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos (Brasil, 2005, 2007).

Apesar dos consórcios intermunicipais constituírem uma alternativa viável para o gerenciamento adequado dos RSU, o processo de concepção apresenta vários desafios, tais como: fator político-partidário, distância da sede operacional (Silva Filho; Corrêa, 2020), condições das rodovias, falta de participação pública (Silva, 2015) ou oposição social (fenômenos conhecidos como “não no meu quintal” (do inglês – *Not In My Backyard* – NIMBY), “não no quintal de ninguém” (do inglês, “*Not In Anyone’s Backyard*” - NIABY) (Demesouka *et al.*, 2019; Kamdar *et al.*, 2019), e “construa absolutamente nada em qualquer lugar perto de qualquer coisa/qualquer pessoa” (do inglês, “*Build Absolutely Nothing Anywhere*

Near Anything/Anyone” – BANANA) (Gbanie *et al.*, 2013), falta de suporte e de técnicos especializados, dificuldade de localização e escassez de áreas adequadas para implantação de aterro sanitário etc. (Naval, 2020).

A destinação final é a última etapa da cadeia de gerenciamento de resíduos, no entanto, o primeiro passo para a destinação final adequada é a escolha do local para instalação de um aterro sanitário (Pinheiro *et al.*, 2019). Este processo é complexo porque demanda tempo, grande quantidade de informações, o envolvimento de múltiplos atores com diferentes pontos de vista, exige decisões políticas baseadas em aspectos multidimensionais (ambientais, sociais, técnicos, econômicos e fatores legais) que são conflitantes, interativos e apresentam multiníveis na escala de análise (Caprioli; Bottero, 2021). Tal complexidade requer o desenvolvimento de procedimentos sistemáticos e transparentes para reduzir as incertezas e apoiar os gestores públicos no processo de tomada de decisões.

Diante disso, ferramentas e metodologias podem ser combinadas para auxiliar no processo de localização de aterros sanitários, tais como: Sistema de Informação Geográfica (SIG) e análise multicritério (Ajibade *et al.*, 2019; Costa *et al.*, 2020; Caprioli; Bottero, 2021; Dolui; Sakar, 2021), modelos matemáticos e algoritmos (Unal *et al.*, 2020; Azevedo; Barbosa, 2021; Oliveira *et al.*, 2021), combinação linear ponderada e análise espacial de agrupamento (Moeinaddini *et al.*, 2010, Dolui; Sakar, 2021), técnicas de sobreposição de mapas digitais (Vatalis; Manoliadis, 2002) etc.

A aplicação de ferramentas SIG permite a rápida identificação e avaliação complexa de grandes áreas, com base em critérios previamente estabelecidos. Embora, os critérios para a localização de aterro sanitário possam ser aplicados de forma universal, é necessário analisar as características de cada caso de estudo particular. Por isso, as ferramentas desenvolvidas para apoiar o processo de tomada de decisões devem ser flexíveis e capazes de representar diferentes cenários.

Tendo em vista que os municípios de pequeno porte apresentam maior dificuldade financeira e custos elevados para realizar o gerenciamento dos RSU, é evidente a necessidade de encontrar soluções compartilhadas para a gestão adequada e estratégica. Neste sentido, o desenvolvimento de estudo para a identificação de arranjo municipal e pré-seleção de áreas favoráveis para localização de aterro sanitário na região de Araras - SP, tem a premissa de torná-

lo instrumento orientador ao planejamento e gestão do meio físico e auxiliar os gestores públicos no processo de tomada de decisões para o gerenciamento adequado dos resíduos.

Sendo assim, esta pesquisa fornece uma análise abrangente e de baixo custo para pré-seleção de locais favoráveis à implantação de um aterro sanitário, com atenção aos aspectos ambientais, sociais e econômicos mais relevantes para o presente caso de estudo. Este enfoque se difere de trabalhos anteriores por ser aprofundado em três níveis de análise: identificação das áreas adequadas; categorização dessas áreas; e refinamento das áreas pré-selecionadas. Além disso, a metodologia não é apoiada somente em critérios estabelecidos na literatura, mas introduz novos critérios para a seleção da alternativa mais adequada, tais como: características da infraestrutura local (água, energia, acesso, possibilidade da construção em fases, propriedade do terreno, necessidade de obras de nivelamento, interferência da localização do aterro em Áreas de Preservação Permanente (APP), visibilidade do local etc.). Além disso, trata-se da resolução de problema de análise de decisão de estudo de caso real, com elaboração de cenários para garantir a atenuação dos efeitos adversos à saúde pública e ao meio ambiente.

1.2 HIPÓTESE E PREMISSE

1.2.1 Hipótese

É possível identificar, de forma preliminar e com baixo custo, áreas potencialmente adequadas para a implantação de um Aterro Sanitário Intermunicipal (ASI) apenas com uso de informações públicas e processamento de dados geográficos.

1.2.2 Premissa

Um conjunto de critérios pode ser estruturado para formulação de diferentes cenários para apoiar o processo de tomada de decisões e facilitar a seleção de áreas favoráveis para localização de um ASI.

1.3 OBJETIVOS

Nas subseções seguintes são descritos o objetivo geral e os objetivos específicos desta tese.

1.3.1 Objetivo Geral

Propor uma metodologia de baixo custo para seleção de áreas adequadas para localização de um ASI na região de Araras - SP pela aplicação de ferramentas de SIG e análise multicritério.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos consistiram em:

- Definir um arranjo de municípios para integrar um sistema de gerenciamento adequado de resíduos e disposição de rejeitos em aterro sanitário compartilhado;
- Projetar e definir parâmetros para dimensionamento da área mínima necessária para implantação de um aterro sanitário, que atenda às demandas do arranjo municipal;
- Definir classes e ponderar critérios para categorizar a aptidão das áreas municipais para implantação de ASI;
- Projetar cenários para auxiliar na identificação e seleção das alternativas mais favoráveis para localização do ASI.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é apresentado um referencial teórico sobre a definição e classificação dos RSU; o panorama dos RSU no Brasil, com descrição quantitativa da geração, coleta e destinação final; leis e normas técnicas aplicadas ao gerenciamento de RSU, levantamento de critérios a serem considerados para seleção de áreas aptas à implantação de aterro sanitário e metodologia de auxílio à tomada de decisão.

2.1 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

A PNRS define resíduo sólido como todo material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade (Brasil, 2010). Enquanto, a ABNT NBR 10.004/2004 define como o resíduo nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades antrópicas, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004).

Os resíduos são classificados segundo sua origem e características de periculosidade, conforme apresentado no Quadro 1 (Brasil, 2010).

Quanto à origem, a Política Estadual de Resíduos Sólidos (PERS) de São Paulo define as seguintes categorias de resíduos: a) urbanos (resíduos domésticos, comerciais e de prestadores de serviços, de limpeza urbana, de drenagem urbana e de delegação a particular, nos termos de lei municipal); b) industriais (resultantes de atividades de pesquisa e de transformação de matérias-primas, resíduos de mineração, de Estações de Tratamento de Água (ETA) e Estações de Tratamento de Esgoto (ETE)); c) Resíduos de Serviços da Saúde (RSS); d) de atividades rurais; e) de transporte; e f) Resíduos da Construção Civil (RCC) (São Paulo, 2006).

Quadro 1 – Classificação dos resíduos sólidos e suas características.

CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS	CARACTERÍSTICAS
QUANTO À ORIGEM	
Domiciliares	Originários de atividades domésticas em residências urbanas.
Limpeza urbana	Originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana.
Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)	Engloba os resíduos domésticos e de limpeza urbana.
Comerciais e de prestadores de serviços	Gerados nas atividades comerciais, com exceção dos resíduos de limpeza urbana, de serviços de saneamento básico, de transporte, de saúde e da construção civil. Os resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, se caracterizados como não perigosos, podem, em razão de sua natureza, composição ou volume, ser equiparados aos resíduos domiciliares pelo poder público municipal.
Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico	Gerados nas atividades de saneamento básico, com exceção dos RSU.
Resíduos industriais	Gerados nos processos produtivos e em instalações industriais.
Resíduos de Serviços de Saúde	Gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS).
Resíduos da Construção Civil	Gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras da construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis.
Resíduos agrossilvopastoris	Gerados nas atividades agropecuárias e silviculturas, incluídos os resíduos relacionados a insumos utilizados nessas atividades.
Resíduos de serviços de transportes	Originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira.
Resíduos de mineração	Gerados nas atividades de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.
QUANTO À PERICULOSIDADE	
Resíduos perigosos	São aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica.
Resíduos não perigosos	São aqueles que não são enquadrados na classe de resíduos perigosos.

Fonte: Brasil (2010).

Em relação à periculosidade, a ABNT NBR 10.004/2004 classifica os resíduos sólidos em duas classes (ABNT, 2004):

- **Classe I – Resíduos perigosos:** apresentam periculosidade ou uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade;
- **Classe II – Resíduos não perigosos:** correspondem aos resíduos que não se enquadram na Classe I. São divididos em duas subclasses:

- Classe II A – Resíduos não inertes: que não sejam classificados como Classe I e II B, ainda podem apresentar propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade e/ou solubilidade em água; e
- Classe II B – Resíduos inertes: Resíduos que submetidos ao contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada não tiverem nenhum dos constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, com exceção para aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

2.2 PANORAMA DOS RSU NO BRASIL

De acordo com SNIS (2021), 4.598 municípios brasileiros participaram do diagnóstico sobre o manejo de RSU no ano de 2020 e 981 municípios não forneceram informações. Os municípios participantes contemplam cerca de 92,3% da população total e deste montante, cerca de 94,3% correspondem à população urbana.

Os municípios das regiões Sudeste, Sul e Centro-oeste apresentaram índices elevados de participação com representatividade em população total de 97,3, 96,4 e 95,2%, respectivamente. Mesmo com menor índice de participação, as regiões Norte (86,0%) e Nordeste (83,7%) apresentaram importante representatividade populacional na pesquisa (SNIS, 2021).

Nos municípios participantes, a natureza jurídico-administrativa dos órgãos gestores responsáveis pela limpeza urbana e pelo manejo de resíduos é realizada preferencialmente pela Administração Pública Direta - prefeituras (94,5%), seguido por Empresa Pública ou entidade com capital público (3,0%), Autarquia com autonomia administrativa e patrimônio próprio e sob controle municipal ou estadual (1,9%) e Sociedade de Economia Mista com a Administração Pública com capital e gestão públicos privados (0,6%) (SNIS, 2021).

O manejo adequado dos RSU envolve diferentes processos, tecnologias e fluxos. O início da rota é o local de geração. Os resíduos são coletados pelos prestadores de serviços, por sistema de coleta seletiva (com, no mínimo, a separação dos resíduos recicláveis dos resíduos orgânicos) ou por coleta convencional (em locais que não apresentam coleta seletiva ou que coletam somente rejeitos) (SNIS, 2021).

É comum os RSU serem encaminhados para unidade de transbordo, que funciona como uma instalação intermediária de processamento e proporciona ganho de escala pela transferência de RSU coletados para veículos de transporte de maior porte e destes, para as unidades de tratamento e/ou de disposição final. Nas unidades de tratamento, os resíduos são separados por tipo e encaminhados para a reutilização ou para processos de reciclagem, compostagem e recuperação de componentes de interesse. Os rejeitos destes processos são encaminhados para a disposição final em solo. Neste sentido, os aterros sanitários são considerados a solução ambientalmente mais adequada para disposição final de rejeitos (SNIS, 2021).

2.2.1 Geração de RSU

A geração de RSU possui relação direta com o local onde se desenvolvem as atividades humanas, pois o descarte de resíduos é resultado da aquisição e consumo dos bens e produtos de diferentes características (ABRELPE, 2022).

No Brasil, em 2022, foram geradas mais de 81,8 milhões de toneladas de RSU. A média de geração per capita foi de 1,043 kg/hab./dia. As regiões Sudeste e Centro-oeste apresentaram a maior geração per capita com índices de 1,223 e 0,993 kg/hab./dia, respectivamente. Enquanto isso, a região Sul apresentou o menor índice (0,776 kg/hab./dia), seguida pelas regiões Norte (0,884 kg/hab./dia) e Nordeste (0,955 kg/hab./dia) (ABRELPE, 2022).

A região Sudeste foi responsável pela geração de 49,7% do total de resíduos produzidos no Brasil, seguidas pelas regiões Nordeste (24,7%), Sul (10,6%), Norte (7,5%) e Centro-oeste (7,5%) (ABRELPE, 2022). Além dos hábitos de consumo, este percentual é fortemente influenciado pela concentração populacional das regiões analisadas.

2.2.2 Coleta convencional

Em 2022, a cobertura dos serviços de coleta de resíduos domiciliares atendeu 93,0% da população brasileira e foram coletados mais de 76 milhões de t/ano de RSU. A região Sudeste foi responsável pela coleta da maior massa de resíduos (mais de 40 milhões de t/ano), seguida

pelas regiões Nordeste, Sul, Centro-oeste e Norte, com aproximadamente 16,7, 8,4, 5,8 e 5,1 milhões de t/ano, respectivamente (ABRELPE, 2022).

Cabe ressaltar que as regiões Sudeste (98,6%), Sul (97,0%) e Centro-Oeste (95,0%) apresentaram índice de cobertura de coleta superior à média nacional (93,0%), enquanto as regiões Norte (82,8%) e Nordeste (82,7%) apresentaram os menores índices (ABRELPE, 2021). Isto implica que nestas regiões, cerca de 18% dos RSU gerados não são coletados e provavelmente não são encaminhados para uma cadeia de gerenciamento adequado.

O diagnóstico do SNIS (2021) estimou massa média nacional per capita coletada de 0,971 kg/hab./dia de resíduos, ao passo que a região Sudeste apresentou índice superior a 1,2 kg/hab./dia e as demais regiões apresentaram índice inferior a 1,0 kg/hab./dia.

2.2.3 Coleta seletiva

A coleta seletiva consiste no recolhimento diferenciado de materiais segregados na fonte geradora, com separação mínima de resíduos secos (papel, plástico, metal, vidro etc.) e úmidos (orgânicos).

Em 2022, aproximadamente 75,1% (4.183) dos municípios brasileiros apresentaram alguma iniciativa de coleta seletiva. Cabe lembrar que este índice pode corresponder a iniciativas pontuais, que não abrangem a totalidade da população (ABRELPE, 2022).

Elevados índices de coleta seletiva foram identificados nas regiões Sul (91,4%) e Sudeste (91,2%), com sequência das regiões Norte (66,2%), Nordeste (57,7%) e Centro-oeste (51,4%) (ABRELPE, 2022).

O SNIS (2021) identificou que somente 36,3% dos municípios que participaram da pesquisa apresentam coleta seletiva, com recolhimento de 1,9 milhão de t/ano. A coleta do tipo porta a porta é realizada em 85,9% dos municípios participantes e abrange cerca de 66,2 milhões de pessoas residentes na zona urbana. Em 2020, as empresas contratadas recolheram cerca de 47,5% e as associações/cooperativas de catadores, 35,2% dos resíduos recicláveis.

Com referência a qualquer modalidade de coleta seletiva (porta a porta, entrega voluntária e outras), as regiões Sul e Sudeste apresentaram maior abrangência da coleta seletiva, com percentuais de 60,9 e 47,1%, respectivamente. As regiões Centro-oeste (30,1%), Norte (12%) e Nordeste (11,2%) apresentaram índices menos expressivos (SNIS, 2021).

2.2.4 Unidades de processamento e massa de resíduos recuperada em 2020

As unidades de processamento correspondem às instalações em que os resíduos são submetidos a processos físicos, químicos e/ou biológicos para redução de volume, controle de poluição e recuperação de componentes de interesse. Os principais processos são a compostagem e a reciclagem. Em 2020, o SNIS (2021) apurou a existência de 5.018 unidades de processamento de RSU em operação nos municípios que participaram da pesquisa. Neste ano, as unidades de processamento receberam cerca de 92,7 milhões de toneladas de RSU.

A recuperação de resíduos foi realizada em 43,6% dos municípios que participaram da pesquisa do SNIS (2021). A massa de recicláveis secos recuperada foi estimada em 1,07 milhão de toneladas, enquanto a de resíduos recicláveis orgânicos foi de 0,27 milhão de toneladas por processo de compostagem.

Somente 29,9% dos municípios participantes identificaram a composição da massa de resíduos recicláveis recuperados, que foi estimada em 789,9 mil t/ano. Nestes municípios, a composição gravimétrica de reciclagem foi constituída por: papel e papelão (37,7%), plásticos (25,9%), vidros (12,6%), metais (12,3%) e outros (11,3%) (SNIS, 2021).

A região Sudeste apresentou o maior percentual de unidade de processamento em operação (38,7%), seguida pelas regiões: Nordeste (26,6%), Sul (18,0%), Centro-oeste (9,7%) e Norte (7,1%) (SNIS, 2021).

2.2.5 Destinação final

Um percentual elevado dos resíduos sólidos pode ser recuperado, desde que coletado e manejado de forma a favorecer sua reutilização e reciclagem nos ciclos produtivos. Outro percentual, que não apresenta possibilidade de reaproveitamento (rejeito), deve ser disposto em locais ambientalmente adequados (aterro sanitário) (SNIS, 2021).

Do total de RSU gerados em 2022 (81,8 milhões de toneladas), 46,4 milhões de toneladas (61,0%) foram encaminhadas para disposição ambiental adequada (ABRELPE, 2022).

Considerando que os aterros controlados e lixões são formas inadequadas de disposição final dos RSU/rejeitos, por não atenderem às especificações técnicas para confinamento dos

resíduos com minimização dos impactos ambientais negativos, de danos e riscos à saúde pública, 39% dos RSU gerados no Brasil ainda são dispostos de forma inadequada.

Segundo a estimativa da ABRELPE (2022), as regiões Norte (63,4%), Nordeste (62,8%) e Centro-oeste (56,5%) apresentam índices mais elevados de disposição inadequada de RSU. Porém, as regiões Sul (28,4%) e Sudeste (25,7%) também apresentam índices elevados.

A partir dos dados apresentados, verifica-se que apesar da vigência da PNRS, que desde 2010 estabelecia a urgência do encerramento dos aterros controlados e lixões (considerados como formas de disposição inadequada), que estabeleceu a hierarquia no gerenciamento dos resíduos e a diferenciação de resíduos e rejeitos, pouca efetividade foi desenvolvida ao longo destes 13 anos em âmbito nacional. Esta constatação denota a falta de prioridade para o tema e a carência de recursos para financiar soluções para atendimento legislativo e para manutenção da qualidade ambiental e da saúde pública (ABRELPE, 2022).

2.2.6 Consórcios intermunicipais para serviços de manejo de RSU

O SNIS (2021) destacou a existência de 235 consórcios intermunicipais para serviços de manejo de RSU. Este montante engloba uma amostra de 1.404 municípios consorciados, que representa 25,2% dos 5.570 municípios brasileiros e atende 14% da população urbana do país.

As regiões Sudeste (81%) e Nordeste (74%) apresentaram o maior percentual de unidades de consórcios públicos, seguidas pelas regiões Sul (46%), Centro-oeste (25%) e Norte (9%). É importante destacar que a formação de consórcios públicos tem se mostrado uma alternativa promissora para a gestão adequada e sustentável dos resíduos no país.

2.3 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS REFERENTES AO GERENCIAMENTO DE RSU

Em âmbitos federal e estadual diversas leis e normas técnicas regem o gerenciamento adequado dos RSU. Nos subitens, a seguir, são apresentadas as principais leis, resoluções e normas técnicas gerais e específicas para serviços de saneamento e para aterros sanitários.

2.3.1 Legislação federal relacionada ao saneamento básico

A legislação federal desempenha um papel fundamental na regulação e gestão dos aspectos relacionados ao saneamento básico no Brasil. Neste contexto, é destacado o aparato legal em nível federal relacionado a esta temática:

- **Lei n.º 11.445, de 5 de janeiro de 2007:** estabelece as diretrizes nacionais para o setor de saneamento básico no Brasil.
- **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020:** instituiu o novo marco legal do saneamento básico no Brasil.
- **Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010:** institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).
- **Decreto n.º 10.936, de 12 de janeiro de 2022:** regulamenta a Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010, que instituiu a PNRS.
- **Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA):**
 - Resolução CONAMA n.º 001, de 23 de janeiro de 1986: dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA).
 - Resolução CONAMA n.º 237, de 19 de dezembro de 1997: regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA).
 - Resolução CONAMA n.º 275, de 25 de abril de 2001: estabelece o código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva.
 - Resolução CONAMA n.º 05, de 5 de agosto de 1993: dispõe sobre o gerenciamento de resíduos sólidos gerados nos portos, aeroportos, terminais ferroviários e rodoviários.
- **NBR da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT):**
 - NBR 10.004:2004: dispõe sobre a classificação dos resíduos sólidos.

- NBR 10.005:2004: dispõe sobre procedimentos para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos.
- NBR 10.006:2004: dispõe sobre procedimentos para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos.
- NBR 10.007:2004: dispõe sobre a amostragem de resíduos sólidos.
- NBR 8.843:1996: dispõe sobre o gerenciamento de resíduos sólidos de aeroportos.
- NBR 13.463:1995: dispõe sobre a coleta de resíduos sólidos.
- NBR 15.112/2004: dispõe sobre diretrizes para projeto, implantação e operação de áreas de transbordo e triagem de RCC e resíduos volumosos.

2.3.2 Legislação do Estado de São Paulo relacionada ao saneamento básico

A legislação estadual também desempenha um papel de destaque na regulação e gestão dos aspectos relacionados ao saneamento básico. Nesse contexto, é importante destacar o aparato legal que fundamenta as ações e diretrizes para a proteção ambiental no Estado de São Paulo, que incluem:

- **Lei n.º 997, de 31 de maio de 1976**: dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente.
- **Lei n.º 12.300, de 16 de março de 2006**: institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos (PERS) e define princípios e diretrizes, objetivos, instrumentos para a gestão integrada e compartilhada de resíduos sólidos, com vistas à prevenção e ao controle da poluição, à proteção e à recuperação da qualidade do meio ambiente, e à promoção da saúde pública, assegurando o uso adequado dos recursos ambientais no Estado de São Paulo (revoga a Lei n.º 11.387, de 27 de maio de 2003).
- **Decreto n.º 8.468, de 8 de setembro de 1976**: regulamenta a Lei n.º 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente.

- **Decreto n.º 47.397, de dezembro de 2002:** dá nova redação ao título V e ao Anexo 5 e acrescenta os Anexos 9 e 10, ao Regulamento da Lei n.º 997, de 31 de maio de 1976, aprovado pelo Decreto n.º 8.468, de 8 de setembro de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente.
- **Decretos Estaduais n.º 47.400, de 4 de dezembro de 2002 e n.º 48.919, de 2 de setembro de 2004:** regulamentam o licenciamento ambiental - estabelecem prazos de validade para cada modalidade de licenciamento ambiental e condições para sua renovação, estabelece prazo de análise dos requerimentos e licenciamento ambiental, institui procedimento obrigatório de notificação de suspensão ou encerramento de atividade, e o recolhimento de valor referente ao preço de análise.
- **Decreto n.º 54.645, de 5 de agosto de 2009:** regulamenta dispositivos da Lei n.º 12.300 de 16 de março de 2006, que institui a PERS, e altera o inciso I do artigo 74 do Regulamento da Lei n.º 997, de 31 de maio de 1976, aprovado pelo Decreto n.º 8.468, de 8 de setembro de 1976.
- **Decreto n.º 57.817, de 28 de fevereiro de 2012:** institui, sob coordenação da Secretaria do Meio Ambiente, o Programa Estadual de Implementação de Projetos de Resíduos Sólidos e dá providências correlatas.
- **Resoluções da Secretaria do Meio Ambiente (SMA):**
 - Resolução SMA n.º 42, de 29 de dezembro de 1994: define os procedimentos para análise de Estudos de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA).
 - Resolução SMA n.º 54, de 30 de novembro de 2004: dispõe sobre procedimentos para o licenciamento ambiental no âmbito da SMA.
 - Resolução SMA n.º 22, de 16 de maio de 2007: altera procedimentos para o licenciamento das atividades específicas, incluindo sistemas de armazenamento e transferência de RCC, desde que associadas ao beneficiamento; sistemas de transbordo, tratamento e disposição final de RSS e transbordo de resíduos sólidos domiciliares.
 - Resolução SMA n.º 38, de 2 de agosto de 2011: estabelece a relação de produtos geradores de resíduos de significativo impacto ambiental, para fins

do disposto no artigo 19, do Decreto Estadual n.º 54.645, de 05 de agosto de 2009, que regulamenta a Lei Estadual n.º 12.300, de 16 de março de 2006, e dá providências correlatas.

- Resolução SMA n.º 38, de 5 de junho de 2012: dispõe sobre ações a serem desenvolvidas no Projeto de Apoio à Gestão Municipal de Resíduos Sólidos, previsto no Decreto n.º 57.817, de 28 de fevereiro de 2012, que instituiu o Programa Estadual de Implementação de Projetos de Resíduos Sólidos.

2.3.3 Legislação federal específica para aterro sanitário

A legislação federal específica para aterro sanitário tem como objetivo estabelecer diretrizes e critérios técnicos para a operação segura e adequada dos aterros, com intuito de minimizar os impactos ambientais e garantir a disposição final adequada dos resíduos. Neste sentido, são destacadas as seguintes normas e regulamentos específicos:

- **Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA):**
 - Resolução CONAMA n.º 316, de 29 de outubro de 2002: dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos.
 - Resolução CONAMA n.º 404, de 11 de novembro de 2008: estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de RSU (revoga a Resolução CONAMA n.º 308/2002).
- **Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT):**
 - NBR 8.419:1992: apresentação de projetos de aterro sanitário de RSU.
 - NBR 13.896:1997: dispõe sobre critérios para projeto, implantação e operação de aterros de resíduos não perigosos.
 - NBR 15.849/2010: dispõe sobre as diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento de aterro sanitário de pequeno porte.

2.3.4 Legislação do Estado de São Paulo específica para aterro sanitário

A legislação estadual específica para aterro sanitário é de extrema importância para a gestão adequada dos resíduos sólidos no âmbito local. Nesse contexto, destaca-se a seguinte resolução:

- **Resolução SMA n.º 75, de 31 de outubro de 2008:** dispõe sobre o licenciamento das unidades de armazenamento, transferência, triagem, reciclagem, tratamento e disposição final de resíduos sólidos de Classes II A e II B.

2.4 CRITÉRIOS REFERENTES À LOCALIZAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS

A seleção de critérios apropriados é parte fundamental para auxiliar no processo de tomada de decisão. Para facilitar a escolha de um local adequado para a implantação de aterro sanitário é necessário limitar os critérios, pois a existência de critérios conflitantes é uma condição usual. Por isso, a seleção de critérios deve considerar as características do local, padrões nacionais e regionais, avaliação de especialistas e a disponibilidade de informações (Rahimi *et al.*, 2020).

Nos subitens, a seguir, são apresentadas as principais classes de critérios empregadas para definição de áreas favoráveis à implantação de um aterro sanitário.

2.4.1 Critérios técnicos

Os critérios técnicos são aqueles destacados nas normas da ABNT, que tem o objetivo de proteger o meio ambiente, a saúde e a segurança pública. Neste viés, a NBR 13.896/1997 dispõe sobre critérios para projeto, implantação e operação de aterros de resíduos não perigosos, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 - Critérios técnicos estabelecidos pela ABNT NBR 13.896/1997 para localização de aterro sanitário de resíduos não perigosos.

CRITÉRIOS	CONSIDERAÇÕES TÉCNICAS
Topografia	Fator determinante na escolha do método construtivo e nas obras de terraplanagem. É recomendado que o local selecionado apresente declividade entre 1 e 30%, porém área com declividade superior a 30% pode ser aprovada mediante autorização do Órgão de Controle Ambiental (OCA).
Geologia e pedologia	Determinam a capacidade de depuração do solo e a velocidade de infiltração de substâncias contaminantes. É desejável que no local ou próximo, ocorra área de empréstimo de materiais com coeficiente de permeabilidade inferior a 10^{-6} cm/s e uma zona não saturada com espessura superior a 3,0 m. O aterro deve ser executado em áreas onde haja predominância no subsolo de material com coeficiente de permeabilidade inferior a 5×10^{-5} cm/s; Nota: Um subsolo com coeficiente de permeabilidade superior a 5×10^{-5} cm/s pode vir a ser aceito pelo OCA, a seu critério, dependendo do tipo de resíduo a ser disposto e das demais condições hidrogeológicas do local do aterro, desde que este valor não exceda a 10^{-4} cm/s.
Recursos hídricos	O aterro sanitário deve ser localizado a uma distância mínima de 200 m de qualquer coleção hídrica ou curso de água. No entanto, a critério do OCA essa distância pode ser alterada. Entre a superfície inferior do aterro e o mais alto nível do lençol freático deve haver uma camada natural de espessura mínima de 1,5 m de solo insaturado. O nível do lençol freático deve ser medido durante a época de maior precipitação pluviométrica da região.
Vegetação	A vegetação contribui para o controle de erosão, da poeira e do transporte de odores.
Acessos	É um fator considerável, pois o local precisa ser acessível durante toda a fase de operação do aterro sanitário.
Tamanho e vida útil	São critérios inter-relacionados e é recomendado que o empreendimento tenha vida útil mínima de 10 anos.
Custos	Depende do tamanho do aterro sanitário a ser planejado e do método construtivo a ser adotado.
Distância de núcleos populacionais	É recomendado que a distância do limite da área útil do aterro a núcleos populacionais seja superior a 500 m. A critério do OCA essa distância pode ser alterada.
Áreas sujeitas a inundações	O aterro não deve ser executado em áreas sujeitas a inundações em períodos de recorrência de 100 anos.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 13.896/1997.

A NBR 8.419/1992 estabelece critérios básicos para apresentação de projetos e seleção de áreas para implantação de aterro sanitário de RSU, entre os quais devem ser considerados: o zoneamento ambiental e urbano, caracterização topográfica, geológica, geotécnica, climatológica, de uso e ocupação do solo, uso da água, condições de acesso, vizinhança, economia operacional e de transporte, propriedade da área, infraestrutura urbana e bacia e sub-bacia hidrográfica.

As normas supramencionadas tratam o aterro sanitário de forma abrangente, independente do porte, enquanto a NBR 15.849/2010 (que dispõe sobre as diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento de aterro sanitário de pequeno porte) é voltada para a implantação de solução simplificada em vista da quantidade reduzida e

das características dos resíduos gerados por municípios de pequeno porte, sem prejuízo do controle da qualidade ambiental. Ainda, a NBR n.º 10.157/1987 estabelece critérios específicos para projeto, construção e operação de aterros de resíduos perigosos.

Em linhas gerais, as NBR estabelecem critérios para localização de aterro sanitário com intuito de minimizar os potenciais impactos ambientais adversos, maximizar a aceitação pública, evitar conflitos com o planejamento territorial regional e viabilizar a utilização sustentável do local ao longo do tempo.

2.4.2 Critérios ambientais, econômicos e sociais

Os principais critérios considerados por diferentes estudos (com abordagem dos critérios técnicos elencados pelas normas da ABNT) foram complementados e divididos em três categorias de aspectos: ambientais, econômicos e sociais, conforme apresentado no Quadro 3.

Com relação ao aspecto ambiental, um aterro sanitário é avaliado em função de seu potencial de gerar impactos significativos na qualidade da água, do ar e do solo e na saúde das comunidades locais. Do ponto de vista econômico, é realizada a análise de viabilidade financeira do empreendimento, enquanto no meio social é avaliada a influência direta e indireta do aterro sanitário com relação ao conforto e à saúde pública. Por tais preceitos, na literatura são elencados uma série de critérios que devem ser observados para avaliação de áreas para localização deste empreendimento.

Quadro 3 - Critérios ambientais, econômicos e sociais considerados para localização de aterros sanitários conforme diferentes autores.

(continua)

REFERÊNCIAS	CLASSES DE CRITÉRIOS																									
	AMBIENTAIS													ECONÔMICOS						SOCIAIS						
	CCAS	PNF	G	DRH	PS	US	L	C	V	D	DF	DC	DAU	AC	DCPR	DAA	DI	AL	TA	PT	DNP	DAI	DV	DLH	DAP	DA
Paul e Ghosh (2022)		X		X	X		X			X			X	X			X	X		X	X	X		X	X	X
Loureiro (2022)				X		X				X	X			X		X		X			X			X	X	X
Souza <i>et al.</i> (2022)				X	X	X			X	X											X					
Rezaeisabzevar <i>et al.</i> (2020)		X	X	X	X	X	X																			
Kamdar <i>et al.</i> (2019)	X	X	X	X	X		X			X	X		X	X	X	X		X			X			X		
Neves (2019)			X	X		X				X		X		X		X					X				X	
Effat e Hegazy (2012)		X		X	X					X	X		X	X			X				X		X	X	X	X
Lourenço <i>et al.</i> (2015)				X	X	X	X			X				X							X					
Majid e Mir (2019)				X						X				X		X		X			X	X				X
Demesouka <i>et al.</i> (2019)				X					X	X		X		X							X				X	
Josimović <i>et al.</i> (2011)			X	X		X		X		X				X							X					
Eghtesadifard <i>et al.</i> (2020)			X	X		X		X	X	X				X						X	X					

Quadro 3 - Critérios ambientais, econômicos e sociais considerados para localização de aterros sanitários conforme diferentes autores.

(conclusão)

REFERÊNCIAS	CLASSES DE CRITÉRIOS																									
	AMBIENTAIS													ECONÔMICOS						SOCIAIS						
	CCAS	PNF	G	DRH	PS	US	L	C	V	D	DF	DC	DAU	AC	DCPR	DAA	DI	AL	TA	PT	DNP	DAI	DV	DLH	DAP	DA
Kamdar <i>et al.</i> (2019)			X	X		X			X				X								X			X		
Costa e Molin (2019)				X		X		X	X	X											X					
Gomes <i>et al.</i> (2018)				X				X	X	X				X					X		X					
Carvalho <i>et al.</i> (2019)			X	X		X			X	X					X				X		X					
Kebede <i>et al.</i> (2021)		X		X		X			X					X				X		X	X	X				X
Khan <i>et al.</i> (2018)				X					X				X	X			X				X	X			X	X
Feyzi <i>et al.</i> (2019)		X	X	X	X	X			X	X				X			X	X			X			X	X	
Hereher <i>et al.</i> (2020)		X		X		X			X	X				X				X			X	X				
Rahimi <i>et al.</i> (2020)		X	X	X		X		X		X	X			X		X		X			X	X		X	X	
Iglesias (2021)			X	X	X	X			X	X				X	X					X	X				X	
Dolui e Sarkar (2021)		X		X						X						X					X	X		X		

*CCAS: Características de Confinamento das Águas Subterrâneas; PNF: Profundidade do Nível Freático; G: Geologia; PS: Permeabilidade do Solo; US: Uso do Solo; L: Litologia; C: Clima; V: Vegetação; D: Declividade; DF: Distância de Falhas; DC: Distância da linha de Costa; DAU: Distância de Áreas Úmidas; AC: Acesso; DCPR: Distância do Centro de Produção de Resíduos; DAA: Distância de Áreas Agrícolas; DI: Distância de Infraestrutura (linha de distribuição de energia elétrica e de água); AL: Altitude; TA: Tamanho da Área; PT: Preço do Terreno; DNP: Distância de Núcleos Populacionais; DAI: Distância de Áreas Industriais; DV: Direção dos Ventos; DLH: Distância de Locais Históricos; DAP: Distância de Áreas Protegidas; DA: Distância de Aeroportos.

Conforme apresentado no Quadro 3, os critérios ambientais mais abordados na literatura são: distância de recursos hídricos, declividade, uso e permeabilidade do solo e substrato geológico. Por sua vez, os critérios econômicos abrangem características de acesso (rodovias e estradas) e altitude. Já os critérios sociais contemplam a distância de núcleos populacionais, de locais histórico-culturais e de áreas protegidas.

Kahraman *et al.* (2018) realizaram um estudo de revisão bibliográfica sobre os principais critérios abordados para localização de aterro sanitário e os resultados corroboraram os dados levantados nesta pesquisa, com preferência pela adoção dos mesmos critérios destacados anteriormente.

Além dos critérios destacados no Quadro 3, outros podem ser considerados em função das características locais de cada caso de estudo, tais como: atividade sísmica (Josimović *et al.*, 2011), área de servidão (dutos/gasodutos) (Kham *et al.*, 2018; Carvalho *et al.*, 2020), custo inicial (Djokanović *et al.*, 2016; Donevska *et al.*, 2012), tipo de propriedade (pública ou privada), aceitação pública, limites administrativos (Cobos-Mora *et al.*, 2023) e entre outros.

2.5 MÉTODOS DE TOMADA DE DECISÕES PARA LOCALIZAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO

Diversos métodos podem ser empregados para auxiliar no processo de tomada de decisões para seleção de locais para implantação de aterro sanitário. No entanto, os métodos mais aplicados correspondem à combinação de análise de multicritérios e SIG (Kahraman *et al.*, 2018). A integração destes métodos cria uma abordagem prática que pode gerenciar tempo e custos, reduzindo erros e aumentando a eficiência do processo de tomada de decisão (Gorsevski *et al.*, 2012). Além disso, é possível realizar compensações complexas de critérios conflitantes para atingir o objetivo principal, baseado no conhecimento especializado do tomador de decisão (Majid; Mir, 2021).

Nos subtópicos seguintes são apresentados os métodos e técnicas empregados no desenvolvimento da presente tese para localização de aterro sanitário.

2.5.1 Sistema de Informações Geográficas (SIG)

As ferramentas SIG foram desenvolvidas para armazenamento, análise e elaboração de produtos com base em dados geográficos (geralmente, mapas). Permitem a consulta, renderização (transformação de dados geoespaciais em elementos gráficos, como pontos, linhas, polígonos e cores, que são exibidos em um mapa digital), gerenciamento, análise e edição de forma interativa, que facilita a leitura e interpretação das informações (Ali *et al.*, 2018; Giamalaki; Tsoutsos, 2019).

No processo de análise de adequação de locais, as ferramentas SIG são capazes de: integrar diferentes bancos de dados; permitir a seleção e visualização somente dos dados de interesse; produzir mapas espaciais com banco de dados estatísticos; executar rapidamente análises espaciais complexas; e gerar dados (Cox; Gifford, 1997).

A avaliação em sistema SIG pode ser realizada em duas etapas: pré-análise e análise principal. Na etapa de pré-análise as camadas de entrada e os dados coletados se diferem em formato, tamanho, escala e as informações são integradas em mapas temáticos. Enquanto, a etapa de análise compreende a produção de mapas de distância euclidiana, análise de reclassificação e calculadora *raster* (Hariz *et al.*, 2017).

Embora o SIG tenha procedimentos integrados para facilitar a avaliação de adequação espacial, a combinação desta ferramenta com a análise de decisão de multicritério – MCDA (da sigla do inglês, *Multi-criteria Decision Analysis*) no desenvolvimento de sistemas de suporte à tomada de decisão aumenta a precisão e a eficácia da avaliação da adequação do local (Demesouka *et al.*, 2016).

A análise de tomada de decisão pela integração de MCDA e SIG requer uma variedade de dados referenciados e um conjunto de alternativas com uma série de critérios de avaliação. Enquanto a ferramenta SIG pode processar grande quantidade de dados espaciais, a MCDA combina a opinião de especialistas com avaliação de informações factuais (Geneletti, 2010).

2.5.2 Análise de Decisão Multicritério (MCDA)

A MCDA é uma metodologia utilizada para avaliar dados quali-quantitativos complexos de forma sistemática, sob perspectivas subjetivas e relativas (Hanan *et al.*, 2013). A MCDA

produz uma variedade de métodos estruturais e algoritmos que auxiliam no processo de tomada de decisões, *design*, avaliação e hierarquização de alternativas (Qureshi *et al.*, 2021).

Os principais métodos MCDA são: Processo de Análise Hierárquica – AHP (da sigla do inglês, *Analytical Hierarchy Process*), Processo de Análise Hierárquica Fuzzy - FAHP (da sigla do Inglês, *Fuzzy Analytical Hierarchy Process*), Técnicas de Ordem Preferencial por Similaridade para Solução Ideal – TOPSIS (da sigla do inglês, *Techniques for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*), Método de Organização de *Ranking* de Preferências para Enriquecimento de Avaliações - PROMETHEE (da sigla do Inglês, *Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations*) (Goswami; Behera, 2021), Eliminação e Escolha para Tradução da Realidade - ELECTRE (da sigla do Inglês, *Elimination and Choice Translating Reality*) (Oglu, 2021), modelos matemáticos e algoritmos (Vahidnia *et al.*, 2009; Melare *et al.*, 2017; Caprioli; Bottero, 2021).

Estas técnicas podem ser combinadas com ferramentas SIG para auxiliar no processo de tomada de decisões relacionadas a diferentes contextos, tais como: seleção de áreas para localização de aterro sanitário (Schmidt, 2016; Melare *et al.*, 2017; Neves, 2019; Demesouka *et al.*, 2019; Ajibade *et al.*, 2019; Rahimi *et al.*, 2020; Oliveira *et al.*, 2021), de componentes de infraestrutura: hospitais (Halder *et al.*, 2020; Caprioli; Bottero, 2021); de usinas eólicas (Veronesi *et al.*, 2017; Shorabeh *et al.*, 2022); para ajuste da rota de coleta de resíduos (Abdelli *et al.*, 2016; Vu *et al.*, 2018), mitigação de riscos naturais (Abdelli *et al.*, 2016; Paliaga *et al.*, 2019), gestão de resíduos de construção e demolição (RCD) – (Alzaghrini *et al.*, 2019; Madi; Srour, 2019; Santos *et al.*, 2020) etc.

O princípio da metodologia MCDA consiste em dividir os problemas de decisão em partes menores e analisar cada parte separadamente e integrar os resultados de cada avaliação de forma coerente (Chang *et al.*, 2008). Esta metodologia pode ser realizada em cinco etapas: delineamento do problema a ser estudado; identificação dos atributos e critérios; ponderação dos critérios; determinação das alternativas; e avaliação das alternativas (Hanine *et al.*, 2016).

Os atributos são definidos como um conjunto de critérios. Estes, são fatores efetivos relacionados aos parâmetros de cada caso de estudo particular, que podem ser ponderados pela atribuição de pontos. Quanto maior a pontuação, maior é a adequação do critério. Por outro lado, a restrição equivale a impossibilidade de escolha de uma alternativa específica (Rezaeisabzevar *et al.*, 2020).

A matriz MCDA pode ser processada de modo compensatório e não compensatório. No modo compensatório os atributos são quantificados de forma pareada, enquanto no modo não compensatório os atributos são avaliados individualmente (Rezaeisabzevar *et al.*, 2020).

Nos subitens deste tópico são apresentados os métodos MCDA empregados no desenvolvimento desta tese.

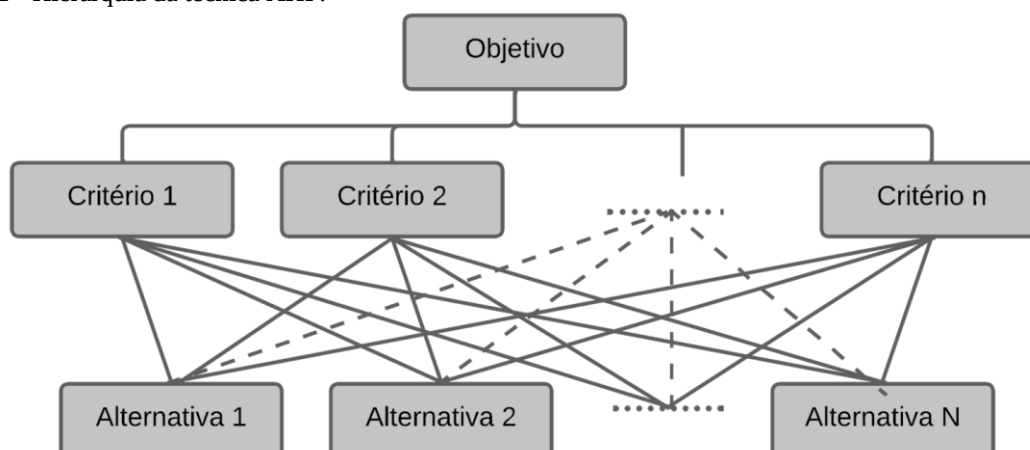
2.5.2.1 Processo de Análise Hierárquica (AHP)

A técnica AHP foi desenvolvida por Thomas Saaty, em 1980, com base em um modelo matemático, no qual o avaliador define as prioridades para seleção da melhor alternativa (Saaty, 1990). Esta técnica divide um problema de tomada de decisão em níveis hierárquicos para que cada nível represente um conjunto de critérios, que são ponderados de acordo com seu grau de importância para o problema estudado.

A técnica AHP é a mais empregada na abordagem MCDA, especialmente no caso de problemas territoriais e ambientais, que necessitam de planejamento, seleção de alternativas, realocação de recursos e resolução de conflitos. Geralmente, é utilizada quando todos os critérios analisados possuem forte relevância para análise espacial (Caprioli; Bottero, 2021). Em estudos para alocação de aterro sanitário, a ponderação dos critérios evita a subjetividade dos tomadores de decisão ao estabelecer relações entre requisitos decisivos (técnicos, ambientais e socioeconômicos) (Tavares *et al.*, 2011).

O processo AHP pode ser desenvolvido em cinco etapas (Figura 1): desenvolvimento da hierarquia que descreve o problema com definição do objetivo e identificação dos critérios relevantes; definição das escalas de comparação de importância entre os critérios; ponderação de cada critério; avaliação da consistência dos julgamentos; e estabelecimento do *ranking* de alternativas ou de modelo síntese (Ozer; Lane, 2010).

Figura 1 - Hierarquia da técnica AHP.



Fonte: Adaptado de Ozer e Lane (2010).

Para aplicação da técnica AHP é desenvolvida a Matriz de Comparação Pareada (MCP), que consiste na comparação dos critérios entre si, dois a dois, por meio de julgamentos do tomador de decisões, com base na escala fundamental de Saaty (1980) (Quadro 4).

Quadro 4 - Escala fundamental de Saaty utilizada para comparação entre dois critérios.

VALOR	GRAU DE IMPORTÂNCIA
1	Os dois critérios possuem o mesmo grau de importância
3	Um critério é um pouco mais importante que o outro
5	Um critério é claramente mais importante que o outro
7	Um dos critérios é predominantemente mais importante que o outro
9	Um dos critérios é extremamente mais importante que o outro
2, 4, 6 e 8	Valores intermediários

Fonte: Adaptado de Saaty (1980).

A partir da matriz de comparação, são calculados os pesos relativos de cada critério, que indicam sua importância em relação aos demais. Sendo assim, quanto maior é o peso do critério, maior é sua importância. Desta forma, a técnica AHP possibilita a classificação das alternativas conforme seu grau de adequação aos critérios selecionados.

A matriz de comparação (A) é definida de acordo com a Eq. 1 (Saaty, 1990):

$$A = (a_{ij}) \quad (1)$$

Na qual: a corresponde ao valor da escala de comparação, quando comparados os critérios C_i e C_j , sendo que i e j representam números $(1, 2, 3 \dots n)$.

Para avaliação pareada dos critérios, é necessário aderir às seguintes diretrizes:

- Se $C_i \neq C_j$, então $a_{ij} = a$ e $a_{ji} = \frac{1}{a}$, $a \neq 0$;
- Se $C_i = C_j$, então $a_{ij} = a_{ji} = 1$;
- Se $i = j$, então $a_{ij} = 1$.

Logo, a MCP é representada na forma da Eq. 2 (Paixão *et al.*, 2021):

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_n \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (2)$$

Então, pela comparação pareada são determinadas as prioridades entre os critérios, sendo que os pesos atribuídos definem a importância relativa de cada critério. O cálculo de pesos relativos é realizado em três etapas (Phonphoton; Pharino, 2019): soma dos valores de cada coluna; normalização da matriz (divisão de cada elemento da matriz pelo total de sua coluna); e cálculo da média dos elementos de cada linha da matriz normalizada (divisão da soma das pontuações normalizadas de cada linha da matriz pelo número de fatores).

Na sequência, é definido o autovetor de cada linha, pela multiplicação de todos os elementos da linha, elevados ao expoente do inverso da quantidade de colunas (Eq. 3) (Paixão *et al.*, 2021).

$$Autovetor = W = (a_{11} * a_{12} * \dots * a_{1n})^{\frac{1}{n}} \quad (3)$$

Após calcular os autovetores, é determinado o Autovetor Total (AVT) pelo somatório dos valores dos autovetores de todas as linhas. Então, é determinado o Autovetor Normalizado (AVN) (Eq. 4), que representa o grau de importância de cada critério em porcentagem ou o peso de cada critério.

$$AVN = \frac{Autovetor}{\sum Autovetor} = \frac{Autovetor}{AVT} \quad (4)$$

A consistência da MCP pode ser avaliada com base no autovalor principal, que é obtido por meio da propriedade matricial demonstrada na Eq. 5.

$$A \cdot w = \lambda \cdot w \quad (5)$$

Os autovalores (λ) e autovalor máximo (λ_{max} = média aritmética dos autovalores da matriz) são calculados de acordo com as Eq. 6 e 7, respectivamente (Gomes *et al.*, 2004).

$$\lambda_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot w_j}{w_i} \quad (6)$$

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{n} \quad (7)$$

Deste modo, pequenas variações em a_{ij} resultam em alterações de λ_{max} , em que o desvio do autovetor em relação a n (número de critérios avaliados) é considerado como Índice de Consistência - IC (Saaty, 1990), que é determinado pela Eq. 8:

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (8)$$

O IC sinaliza a coerência geral das informações avaliadas, no entanto quanto mais critérios forem avaliados, mais complexo é o processo e é mais difícil manter alto valor de IC (Paixão *et al.*, 2021).

Em seguida, é calculada a Razão de Consistência (RC) pela divisão do IC pelo Índice Randômico (IR), que depende da quantidade de elementos que estão sendo comparados, conforme apresentado no Quadro 5. O IR representa o quão bem os resultados obtidos no estudo teórico se aproximam da realidade (Saaty, 1990).

Quadro 5 - Índices Randômicos.

N.º de critérios	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
IR	0,00	0,00	0,00	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48

Fonte: Saaty (1990).

Se $RC < 0,10$ (ou $< 10\%$), sinaliza que o nível de consistência na comparação pareada é razoável. Porém, $RC > 0,10$ (ou $> 10\%$), indica julgamentos inconsistentes (Saaty; Vargas, 2013).

A técnica AHP apresenta inúmeras vantagens, tais como: lida com múltiplos critérios, permite a avaliação de mais de um decisor, possui abordagem intuitiva, sem muita complexidade, permite a avaliação e mensuração do IC e combina uma série de dados qualitativos e quantitativos. No entanto, não captura a incerteza das classificações de preferência durante a ponderação dos critérios (Ozer; Lane, 2010).

2.5.2.2 Processo de Análise Hierárquica Fuzzy (FAHP)

A teoria Fuzzy, desenvolvida por Zadeh (1965), tem como objetivo resolver problemas complexos por meio de um método de raciocínio que imita a cognição humana, permitindo o uso de valores intermediários para avaliação. A combinação da técnica AHP com a lógica Fuzzy buscou a superação das limitações da técnica AHP e resultou na técnica FAHP (Ozer; Lane, 2010).

A técnica FAHP permite atribuir graus de aptidão (índices escalonados) no processo de avaliação de cada alternativa, ao invés de utilizar valores booleanos (0 ou 1), utilizados na abordagem clássica do processo de tomada de decisões (Yildirim *et al.*, 2018).

A incorporação da lógica Fuzzy teve o intuito de reduzir as incertezas e ambiguidades do pensamento humano, uma vez que os intervalos de ponderação dos critérios de análise espacial são realizados a partir de valores nítidos e desta forma, reduzem a subjetividade da avaliação (Ali; Ahmad, 2020).

Desta forma, após a atribuição de pontuação escalonada, é realizada a reclassificação das áreas avaliadas em ambiente SIG, com a transformação dos arquivos do formato vetorial (*shapefiles*) para o formato matricial (*raster*). Neste processo, o analista atribui índices a cada camada de acordo com a faixa de valores previamente estabelecida na ponderação dos critérios.

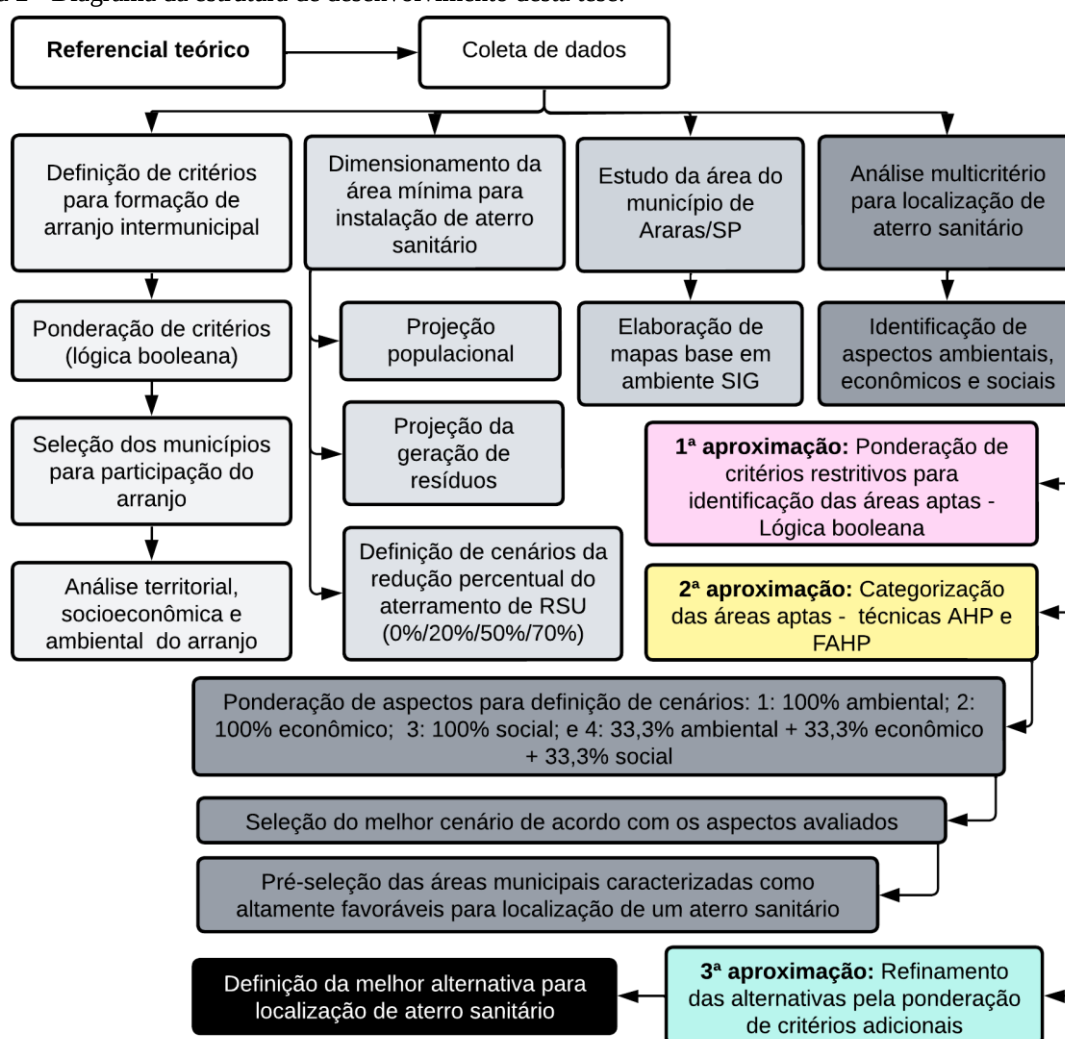
O processo de reclassificação dos fatores de preferência se encaixa na clássica teoria de conjuntos de Fuzzy, em que cada elemento pertence ou não a um determinado conjunto com graus de pertinência entre 0 e 1 e o mesmo elemento pode pertencer a vários conjuntos ao mesmo tempo (Yalcinkaya; Kirtiloglu, 2021).

Nesse capítulo foram apresentadas definições, classificações e uma visão geral sobre o gerenciamento de RSU no Brasil. Esse enfoque foi adotado para introduzir conceitos essenciais e fornecer dados atuais, contextualizando a problemática em questão. Além disso, foram apresentados os principais aspectos legais relacionados ao gerenciamento de RSU e as ferramentas e técnicas amplamente abordadas na literatura para a seleção de locais adequados para implantação de aterros sanitários.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentadas as fontes consultadas para aquisição dos dados utilizados nesta tese, os procedimentos para tratamento dos dados coletados, a caracterização fisiográfica do município de Araras/SP, os critérios elencados para seleção dos municípios com potencial para participação de consórcio intermunicipal, a caracterização macrorregional do arranjo, o dimensionamento da área mínima necessária para implantação do aterro sanitário, o processo de análise e a ponderação de multicritérios, a classificação de aptidão das áreas municipais e a formulação de cenários para localização do aterro sanitário, conforme diagrama apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Diagrama da estrutura de desenvolvimento desta tese.



Fonte: Autor (2023).

3.1 AQUISIÇÃO DE DADOS

O processo de aquisição de dados foi dividido em duas vertentes: dados de referencial teórico (dados secundários) e dados de geoprocessamento (dados utilizados como base para elaboração de mapas temáticos).

3.1.1 Dados de referencial teórico

Os dados de referencial teórico foram obtidos por meio de consulta em relatórios temáticos disponibilizados por órgãos federais, estaduais e municipais, trabalhos técnicos e acadêmicos, tais como: resumos e artigos publicados em revistas e anais de congressos, dissertações e teses relacionadas ao tema de pesquisa etc.

Em nível federal foram consultados os seguintes órgãos: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR) e Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA).

Em nível estadual, foram consultados os seguintes órgãos: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SIMA), *sites* das Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) etc.

Em nível municipal, foram consultados os sites das prefeituras dos municípios estudados e concessionárias de serviços de saneamento. Especificamente, no município de Araras foram coletados dados diretamente com as Secretarias de Planejamento, Gestão e Mobilidade e de Meio Ambiente e Agricultura.

3.1.2 Dados de Geoprocessamento

Os dados de geoprocessamento consistiram em arquivos vetoriais (*shapefiles*), matriciais (*raster*) e tabulares disponibilizados por órgãos federais, estaduais e municipais utilizados como base para elaboração de mapas temáticos. No Quadro 6 são apresentados os mapas base elaborados, as fontes e os *links* de acesso. Os dados de macrozoneamento e infraestrutura foram disponibilizados pela Prefeitura Municipal de Araras/Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Agricultura (PMA/SMMAA) em arquivo digital (não publicado).

Quadro 6 - Fontes de dados utilizadas para produção de mapas base e mapas temáticos.

MAPAS BASE	FONTES	LINKS DE ACESSO
Análise Municipal		
Geologia	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM (2020)	https://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html
Hidrogeologia	CPRM (2020)	http://www.cprm.gov.br/geosgb/
Nível freático	SIAGAS (2022)	http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/
Geomorfologia e declividade	IBGE/BDia (2021)	https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home
Hidrografia e APP	Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável - FBDS (2021)	https://geo.fbds.org.br/SP/ARARAS/
Pedologia	DATAGEO (2017)	https://acesse.one/Kcn52
Biomassas e fragmentos florestais	IBGE (2022)	https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/estudos-ambientais/15842-biomassas.html?=&t=acesso-ao-produto
Uso e ocupação do solo	Instituto Geológico (IG) / Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo – SIMA (2021)	http://s.ambiente.sp.gov.br/cpla/UHCT_112015_v2.zip
Macrozoneamento e infraestrutura	SMMAA (2022)	-
Áreas contaminadas	CETESB (2022)	https://mapas.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/sigamgeo/SIGAMGEO-PUBLICO/
Análise Regional		
Regiões administrativas do Estado de São Paulo	IGC (2020)	http://www.igc.sp.gov.br/produtos/mapas_ra2688.html?ra=4
Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI)	Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE (2019)	https://datageo.ambiente.sp.gov.br/geoserver/datageo/ows?SERVICE=WMS

A apresentação das fontes de dados utilizados como base para elaboração dos produtos cartográficos teve o objetivo de promover a divulgação de informações e a reprodutibilidade dos dados empregados nesta tese.

3.2 TRATAMENTO DOS DADOS

Os dados teóricos foram tratados pela aplicação de técnicas de estatística descritiva. Por sua vez, aos dados de SIG foram empregadas técnicas e ferramentas de produção de mapas, com o uso do *software* de geoprocessamento *ArcGIS Pro*, versão 3.2.1 (que foi desenvolvido e é atualizado periodicamente pelo Instituto de Pesquisa de Sistema Ambiental, do inglês, *Environmental Systems Research Institute* – ESRI). O registro do *software* foi disponibilizado pelo Departamento de Gestão e Planejamento Ambiental do curso de Geografia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), campus Rio Claro/SP.

Inicialmente, a análise em ambiente SIG consistiu no levantamento das peculiaridades municipais e na classificação das áreas de acordo com a ponderação de critérios/aspectos ambientais, econômicos e sociais pré-definidos. Posteriormente, foram empregadas técnicas de reclassificação e álgebra de mapas de acordo com a ponderação dos critérios e a predefinição de cenários com bases nos referidos aspectos. Desta forma, foram identificadas as áreas com maior potencial para localização de aterro sanitário.

As principais ferramentas e os procedimentos empregados para elaboração dos mapas base e mapas temáticos foram:

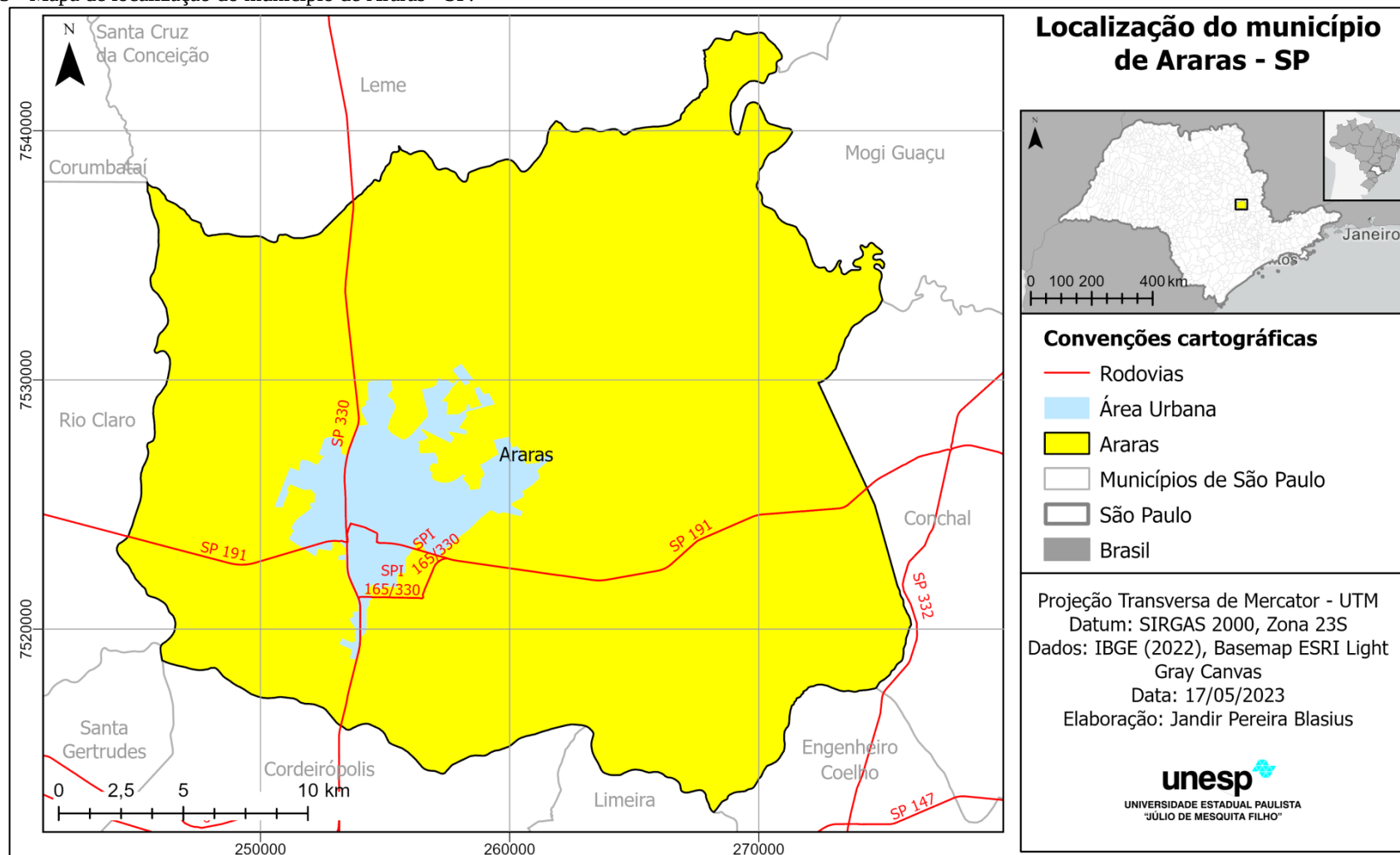
- **Organização dos dados:** foram coletados e reunidos dados da área de estudo de diferentes fontes oficiais e por imagens de satélite.
- **Importação dos dados:** os dados foram importados para o *software* ArcGIS Pro e foi certificado de que estavam no formato correto e que continham informações georreferenciadas.
- **Transformação de coordenadas espaciais:** para padronização do sistema de referência, quando necessário, foi realizada a transformação das coordenadas para o sistema de referência espacial SIRGAS 2000.
- **Criação de zonas de influência ou buffers:** corresponde pela área ao redor da entidade original que pode representar, por exemplo, uma zona de risco. Este recurso foi utilizado para analisar e visualizar a proximidade ou interação entre diferentes elementos geográficos.

- **Tabela de atributos:** foi utilizada para armazenar, gerenciar, consultar e analisar informações associadas a dados geoespaciais.
- **Reclassificação dos polígonos para o formato *raster*:** este processo foi necessário para usar as funcionalidades do *raster*, que permite realizar análises espaciais, modelagem, visualização de dados e outras operações.
- **Álgebra de mapas (calculadora *raster*):** esta ferramenta permitiu a realização de operações matemáticas em camadas *raster* e foi útil para ajustar valores, aplicar correções, normalizar dados, criar índices e gerar novas camadas.
- **Configuração do *layout*:** este recurso facilitou a definição da aparência final dos mapas, com a adição de elementos fundamentais para representação cartográfica, tais como: título, legenda, escala, norte geográfico, fontes etc.
- **Estilização dos dados:** foram empregadas cores contrastantes, símbolos de diferentes tamanhos para representar e destacar as feições dos mapas.
- **Exportação dos mapas:** os mapas foram exportados no formato de imagem TIFF (*Tagged Image File Format*) com resolução de 400 DPI (pontos por polegada, da sigla do inglês “*Dots Per Inch*”), a fim de garantir alta qualidade das imagens e preservar as informações cartográficas.

3.3 ÁREA DE ESTUDO

O município de Araras – SP (Figura 3) foi definido como ponto de partida deste estudo, pois até 2011 direcionava os RSU para um lixão local e, ainda em 2023, não dispõe de sistema próprio de gerenciamento adequado. O município encaminha seus resíduos para um aterro particular na cidade de Rio das Pedras - SP localizado à distância aproximada de 75 km. Portanto, apresenta custo elevado para disposição e transporte da massa de RSU/rejeitos gerados em seu território. Este cenário também é recorrente na maioria dos municípios da região (considerando a distância de até 70 km de Araras).

Figura 3 - Mapa de localização do município de Araras - SP.



O município de Araras está localizado a 174 km da capital do Estado de São Paulo. Possui área territorial de 644,8 km² e está geograficamente delimitado pelas coordenadas: latitude 22°21'25" Sul e longitude 47°23'03" Oeste. É situado no entroncamento das Rodovias: Anhanguera (SP-330), Bandeirantes (SP-348) e Washington Luiz (SP-310). Os municípios limítrofes são: ao Norte, Leme; ao Sul, Limeira, Cordeirópolis, Engenheiro Coelho; ao Leste, Mogi-Guaçu, Conchal; ao Oeste, Santa Gertrudes, Rio Claro e Corumbataí. O detalhamento das características fisiográficas de Araras é apresentado nos subtópicos deste item.

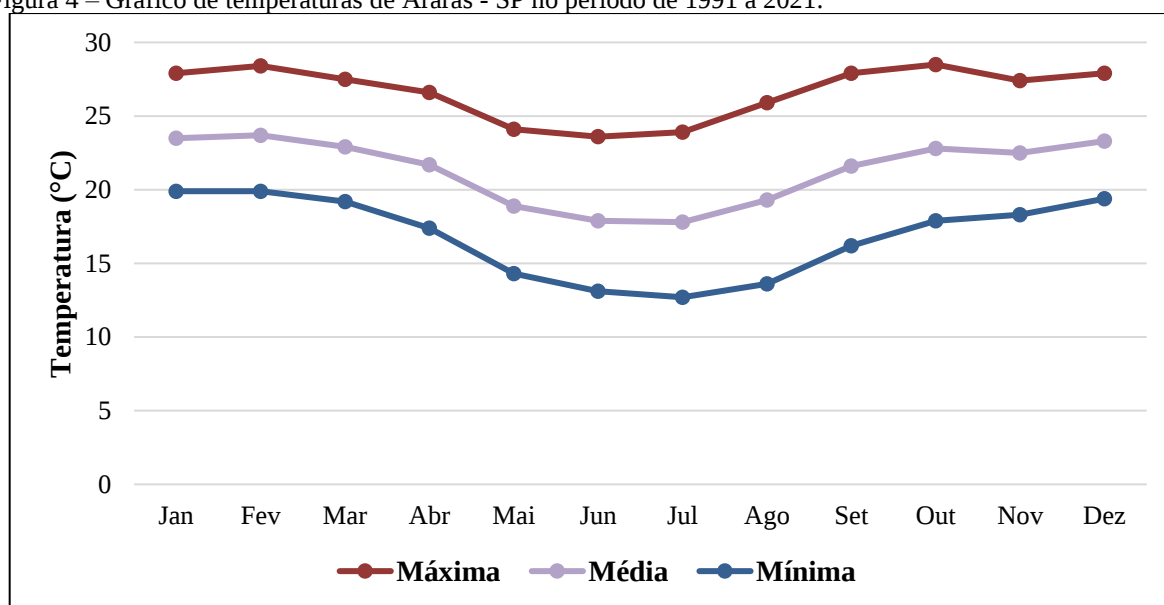
3.3.1 Clima

O estudo do clima fornece informações sobre o regime de chuvas, temperatura e umidade, que são parâmetros relacionados ao balanço hídrico e possuem relação direta com o volume de lixiviado e efluentes gerados em um aterro sanitário (Melo, 2001).

Segundo a classificação Köppen (1948), o clima de Araras é do tipo Cwa, caracterizado como clima mesotérmico de inverno seco.

Na Figura 4 é apresentado o gráfico de temperaturas máxima, média e mínima do município, com os valores médios mensais observados no período de 1991 a 2021.

Figura 4 – Gráfico de temperaturas de Araras - SP no período de 1991 a 2021.

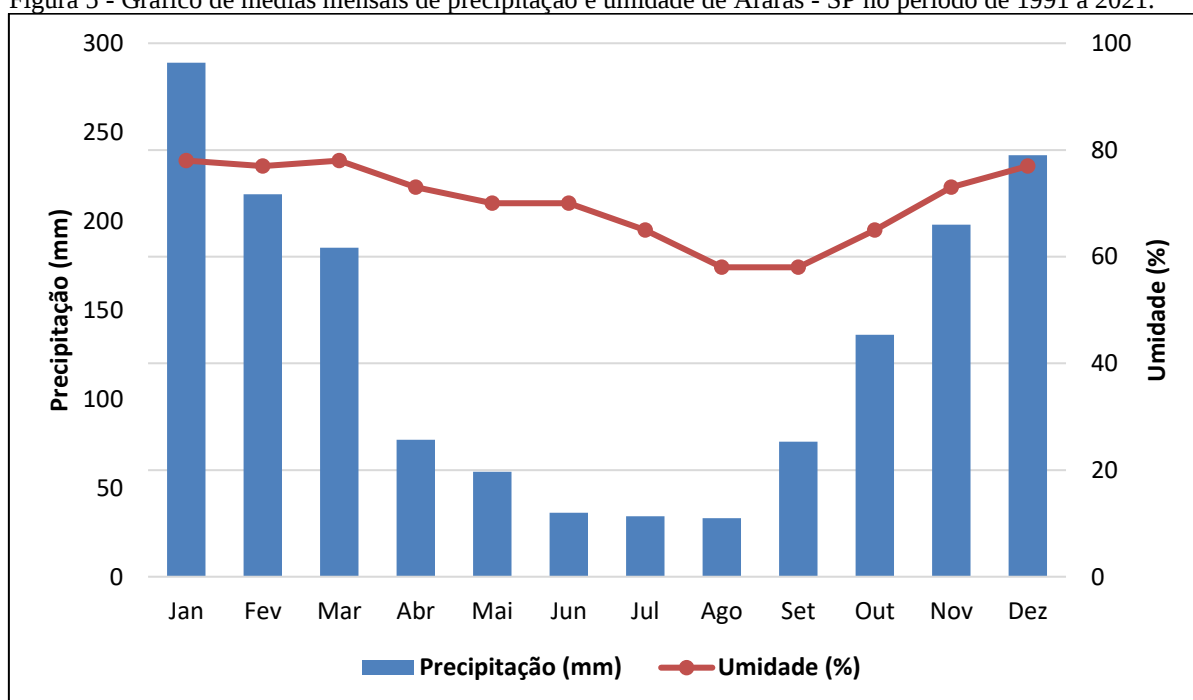


Fonte: Adaptado de Climate Data (2022).

A temperatura média anual é de 21,3 °C. O mês de fevereiro apresenta a maior temperatura média anual (23,7 °C), enquanto o mês de julho, a temperatura média anual mais baixa (17,8 °C). A diferença de temperaturas médias anuais entre o mês mais quente e o mais frio é de 5,9 ° C (Climate Data, 2022).

A precipitação média anual no Município é de 1.575 mm (Climate Data, 2022). De acordo com a série de dados históricos (1991 – 2021) de pluviosidade (Figura 5), o município apresenta períodos de precipitação baixa e alta bem definidos. No período de abril a setembro há menor ocorrência de chuvas (índice de precipitação média mensal inferior a 100 mm) e de outubro a março, maior índice de precipitação (índice de precipitação média mensal superior a 100 mm).

Figura 5 - Gráfico de médias mensais de precipitação e umidade de Araras - SP no período de 1991 a 2021.



Fonte: Adaptado de Climate Data (2022).

O mês de agosto é o mês mais seco (33 mm) e o mês de janeiro (289 mm) é o mais chuvoso. A diferença de precipitação entre estes meses é de 256 mm.

A umidade média anual é de 70,1%. Concomitante aos períodos de estiagem, os menores índices de umidade são observados nos meses de agosto e setembro, enquanto os maiores índices são destacados nos meses de janeiro e março.

3.3.1 Geologia

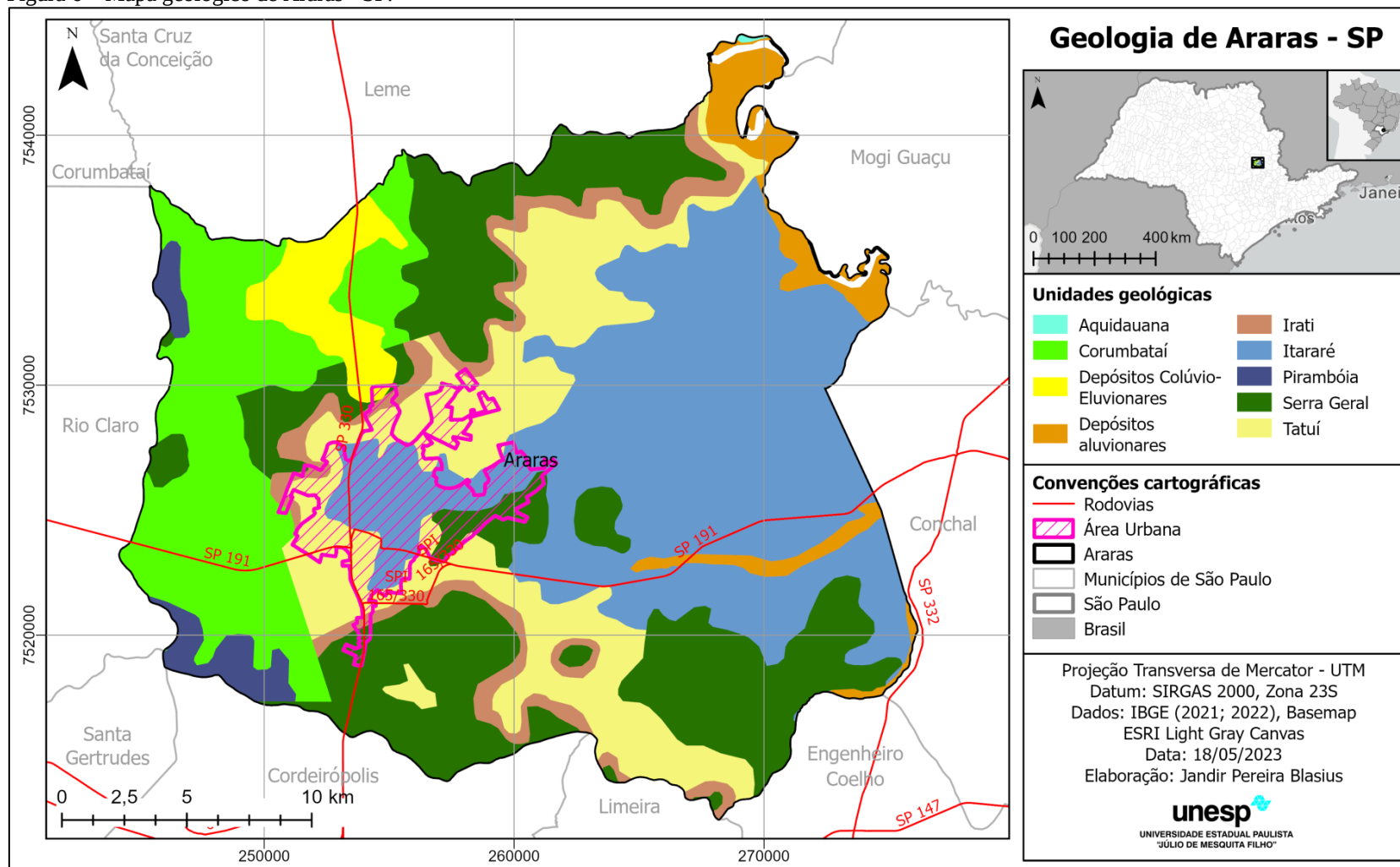
A caracterização da geologia local fornece informações sobre o substrato, a distribuição e a ocorrência de feições estruturais (fraturas e falhas), que são diretamente relacionadas com a vulnerabilidade de contaminação do meio hidrogeológico. Desta forma, a identificação das formações geológicas permite destacar as áreas mais favoráveis para localização de um aterro sanitário.

De acordo com a CPRM (2006), a geologia do município de Araras é produto da Formação Serra Geral, de idade Juro-Cretácea com predominância de afloramentos basálticos e diabásicos. A litologia é composta pelas seguintes unidades geológicas: Aquidauana (0,03%), Corumbataí (14,33%), Depósitos Colúvio-Eluvionares e Aluvionares (6,71%), Irati (5,17%), Itararé (30,78%), Pirambóia (1,87%), Serra Geral (23,76%) e Tatuí (17,36%) (Figura 6).

A Formação Aquidauana, de idade carbonífera-eotriássica, é encontrada em porções marginais ao Grupo Itararé. Esta unidade apresenta sedimentação predominantemente continental, em sistemas de leques aluviais e sob influência glacial (CPRM, 2006). Schneider *et al.* (1974) propõem a divisão da Formação Aquidauana em três intervalos: inferior, que é constituído por arenitos vermelhos a róseos, de granulação média a grossa, com estratificação cruzada acanalada e interposição de diamictitos, arenitos esbranquiçados e conglomerado basal; médio, que é representado por siltitos, folhelhos e arenitos finos, vermelhos a róseos, laminados, com intercalações de diamictitos e folhelhos de cor cinza-esverdeado; e superior, que é constituído preferencialmente por arenitos vermelhos com estratificação cruzada.

A Formação Corumbataí pode ser dividida em três seções: inferior, com a presença de argilitos, folhelhos e siltitos cinza-escuros e pretos, com fraturas conchoidais e concreções calcíferas, e conjunto de argilitos e folhelhos cinza-escuros, de aspecto rítmico, com ocasionais leitos de calcário silicificados, oolíticos em parte, além de níveis coquinóides; superior, com continuidades de argilitos e arenitos finos, argilosos, regular a bem classificados, esverdeados, arroxeados e avermelhados; e topo, composta por depósitos de planície de maré, representados por siltitos, arenitos e calcários (Mezzalira; Azevedo, 1981).

Figura 6 – Mapa geológico de Araras - SP.



Os Depósitos Colúvio-Eluvionares compreendem extensas e delgadas coberturas areno-argilosas que sobrepõem o substrato predominantemente arenoso, sem a presença de estruturas sedimentares (Melo, 1990). A ocorrência desta unidade em topos e encostas sugerem que sua formação resulte da combinação de processos autóctones e alóctones (CPRM, 2006).

Os Depósitos Aluvionares, de idade cenozoica, são resultantes dos processos de erosão, transporte e deposição de diferentes fontes de areias, cascalhos, siltes, argilas e turfas, que se depositam nas margens, fundos de canal e planícies de inundação de rios (CPRM, 2006). Geralmente, os sedimentos desta unidade apresentam granulometria variável, com restrição de finas (silte e argila) e predominância de areias compostas, comumente representadas por quartzo, muscovita e minerais pesados, como magnetita e ilmenita (Dias, 2015).

A Formação Irati (Permiano) compreende a parte basal do Grupo Passa Dois e é composta por sedimentos finos com origem em ambiente de baixa energia (lagunar ou marinho) e é representada por argilitos, siltitos e folhelhos silticos de colaração acimentada, folhelhos pirobetuminosos e pode apresentar alternância rítmica com rochas carbonáticas (CPRM, 2006).

O Grupo Itararé (Neo-Carbonífero) é composto por diferentes tipos de rochas sedimentares, com gênese em clima glacial, sob avanços e recuos das geleiras. Os sedimentos das geleiras foram depositados em ambientes fluviais, litorâneos e marinhos (profundos e deltaicos) e resultaram nas seguintes rochas: ritmitos (varvitos e turbiditos), arenitos de granulometrias variadas, dispostos em lentes e camadas, conglomerados, siltitos, argilitos, diamictitos e tilitos (Perinotto; Lino, 2006).

A Formação Pirambóia (Permo-Triássico) é formada principalmente por arenitos finos a médios com cores esbranquiçadas, avermelhadas e alaranjadas, com geometria lenticular bem desenvolvida, com níveis conglomeráticos (especialmente na base) com estratificações cruzadas de porte variado e representam um ambiente continental eólico (dunas) (Perinotto; Lino, 2006; CPRM, 2006).

A Formação Serra Geral (Eo-cretáceo) agrupa rochas magmáticas fissurais basálticas extrusivas em relevo de cuevas, onde os derrames basálticos intrudem nas rochas sedimentares e formam diques de diabásios e soleiras (CPRM, 2006). Em algumas localidades há ocorrência de microdioritos pórfiros, lamprófiros, andesitos, monzonitos pórfiros e traquiandesitos (Marques; Ernesto, 2004).

A Formação Tatuí (Permiano) é associada ao ambiente marinho raso, às vezes restritos, de plataforma, com atuação de marés e ondas. Esta unidade é constituída, predominantemente,

por rochas de granulação fina (siltitos e argilitos), além de arenitos grossos, calcários e silexitos. Especificamente, na região de Araras, esta Formação apresenta rochas de granulação mais grossa, representada por arenitos conglomeráticos e conglomerados silexíticos (Perinotto; Lino, 2006).

3.3.3 Hidrogeologia

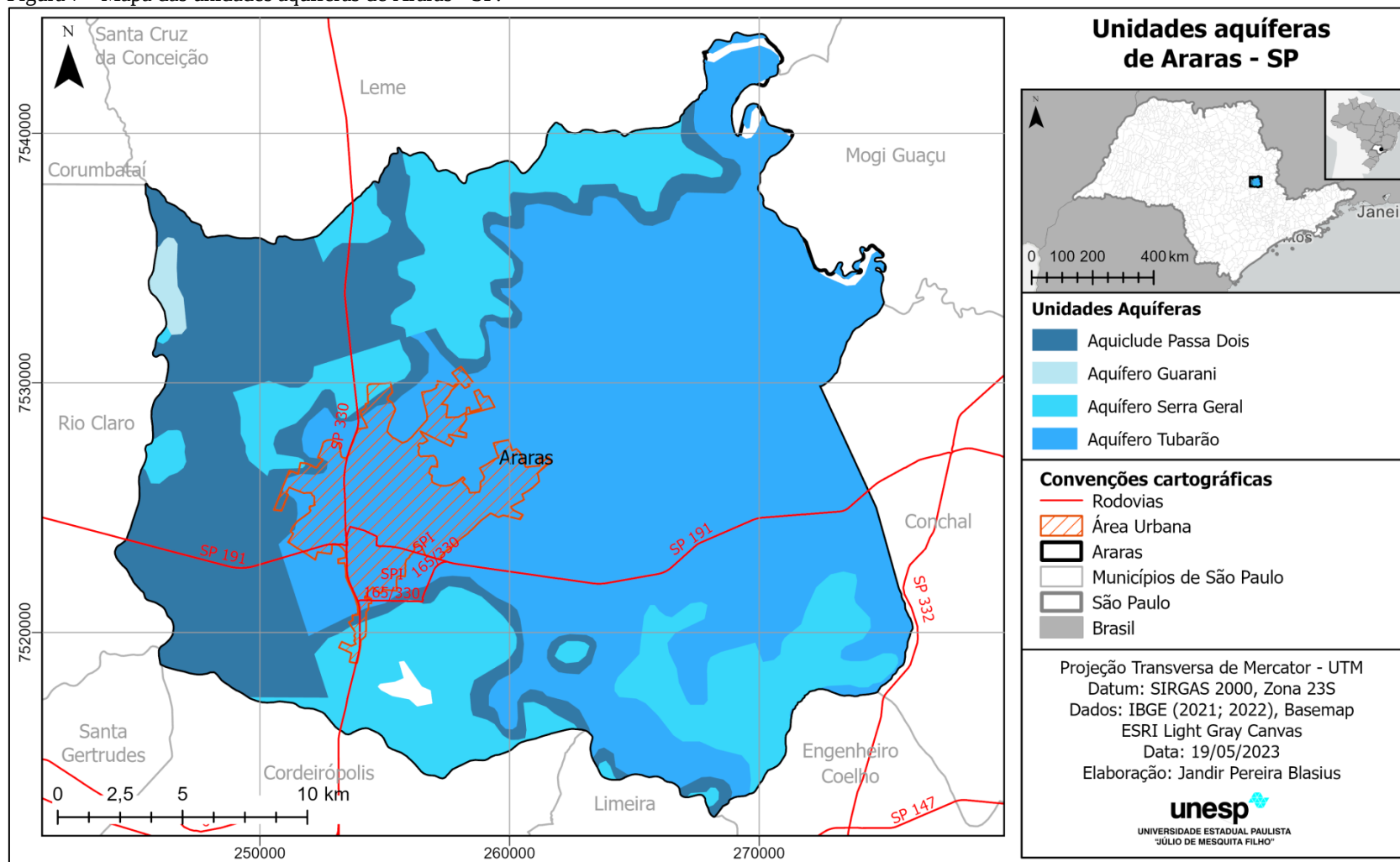
O estudo das características hidrogeológicas fornece informações sobre a dinâmica das águas superficiais e subsuperficiais, a identificação da qualidade das águas, a profundidade do nível freático e de zonas de recarga etc. O conhecimento destes aspectos facilita a compreensão do comportamento de contaminantes no subsolo bem como a identificação de áreas mais favoráveis para localização de um aterro sanitário.

As unidades aquíferas presentes no município de Araras são: Aquiclude Passa Dois e Aquíferos Guarani, Tubarão e Serra Geral (Figura 7).

O Aquiclude Passa Dois é uma unidade hidrogeológica sedimentar formada em ambiente marinho. Em Araras, esta unidade está presente em 23,19% da área municipal. A litologia desta unidade é, predominantemente, representada por sedimentos finos: argilitos, calcários, dolomitos, folhelhos, siltitos, que possuem baixa capacidade de transmitir água (SMA, 2014).

O Aquífero Tubarão é um aquífero sedimentar que está presente em 54,12% da área do município de Araras. Esta unidade foi constituída em ambiente sedimentar de origens glacial, marinho e continental. Apresenta litologia variada, com presença de argilitos, arenitos muito finos a conglomeráticos, diamectitos, folhelhos e ritmitos. Em determinadas regiões, é confinado pelo Aquiclude Passa Dois e por outras unidades hidrogeológicas sobrejacentes e apresenta produtividade de água relativamente baixa (SMA, 2014).

Figura 7 - Mapa das unidades aquíferas de Araras - SP.



O Aquífero Guarani é um aquífero sedimentar, de extensão reduzida no município de Araras (ocupa 0,52 % da área territorial) e está localizado na porção noroeste do município. Esta unidade apresenta origens em ambientes desértico, lacustre e fluvial. A litologia é constituída, principalmente, por sedimentos arenosos, que apresentam elevada quantidade de poros interconectados e consequentemente, elevada capacidade de armazenar e transmitir água. Pela relevante produtividade hídrica é considerado um dos maiores reservatórios de água subterrânea do mundo (SMA, 2014).

O Aquífero Serra Geral é um aquífero fraturado, que em sua maior parte, é subjacente ao Aquífero Bauru. Em Araras, abrange cerca de 22,17% do território e é constituído por derrames intercalados de lava vulcânica basáltica. A presença de fraturas e feições geológicas específicas (camadas arenosas restritas e níveis de amígdalas e vesículas) favorece o armazenamento e o fluxo de água subterrânea. De forma geral, esta unidade hidrogeológica fornece relevante quantidade e qualidade de água para fins de abastecimento (SMA, 2014).

3.3.3.1 Estimativa no nível freático

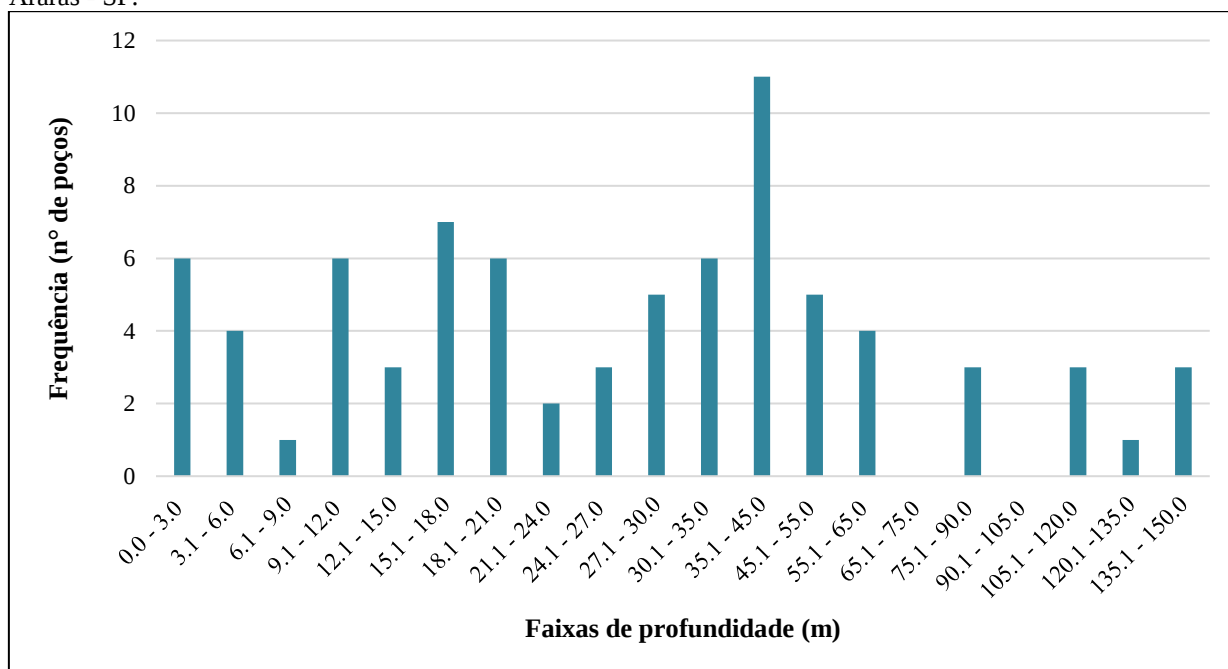
O lixiviado do aterro sanitário, se não confinado adequadamente, pode alcançar o nível freático e contaminar as águas subterrâneas. Portanto, deve ser adotada uma distância mínima entre a superfície de disposição de rejeitos e o nível freático (Chabuk *et al.*, 2016).

Para estimativa do nível do lençol freático do município de Araras, foram coletados, tratados e interpolados dados dos poços de captação de água subterrânea cadastrados no portal do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS).

É importante ressaltar que os dados apresentados estimam a profundidade do nível freático, mas não substituem a necessidade da avaliação de campo para confirmação das informações (Melo Jr, 2022).

No período de 1928 a 2010, no SIAGAS, foram registrados 115 poços tubulares para captação de água subterrânea no município de Araras. No entanto, somente 79 poços possuem informação sobre o nível estático dos aquíferos e destes, 6 poços apresentam profundidade de até 3 metros (Figura 8), sendo esta condição um impedimento para localização de um aterro sanitário, devido ao risco de contaminação das águas subterrâneas.

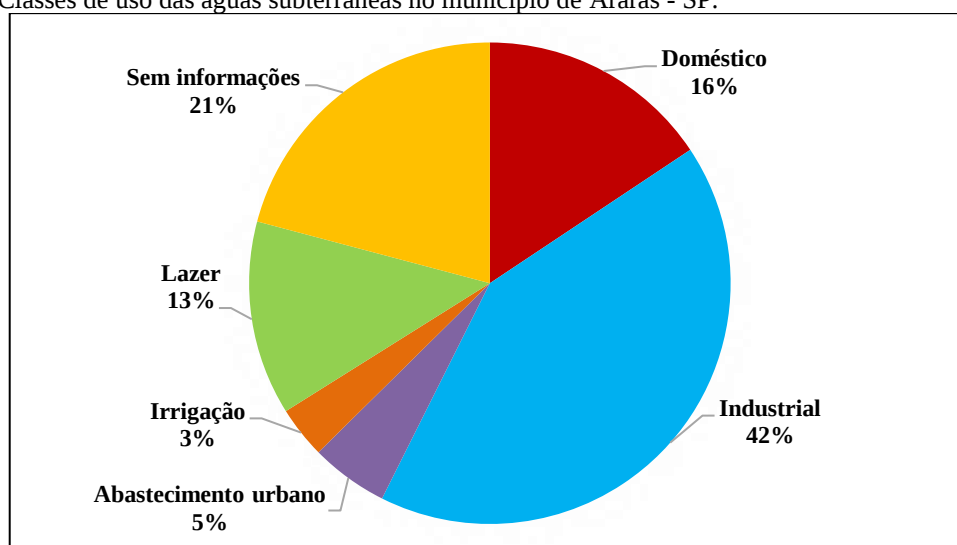
Figura 8 - Histograma de frequência da profundidade dos poços de captação de água subterrânea do município de Araras - SP.



Fonte: Adaptado de CPRM/SBG/SIAGAS (2022).

A vazão específica dos poços de captação é relativamente baixa, com índices de 0,01 a 7,5 m³/h/m (CPRM/SBG/SIAGAS, 2022). Os maiores índices de vazão específica de água subterrânea são destinados ao abastecimento das atividades industriais (42%), seguido pelas categorias: sem informações (21%), doméstico (16%), lazer (13%), abastecimento urbano (5%) e irrigação (3%) (Figura 9).

Figura 9 - Classes de uso das águas subterrâneas no município de Araras - SP.

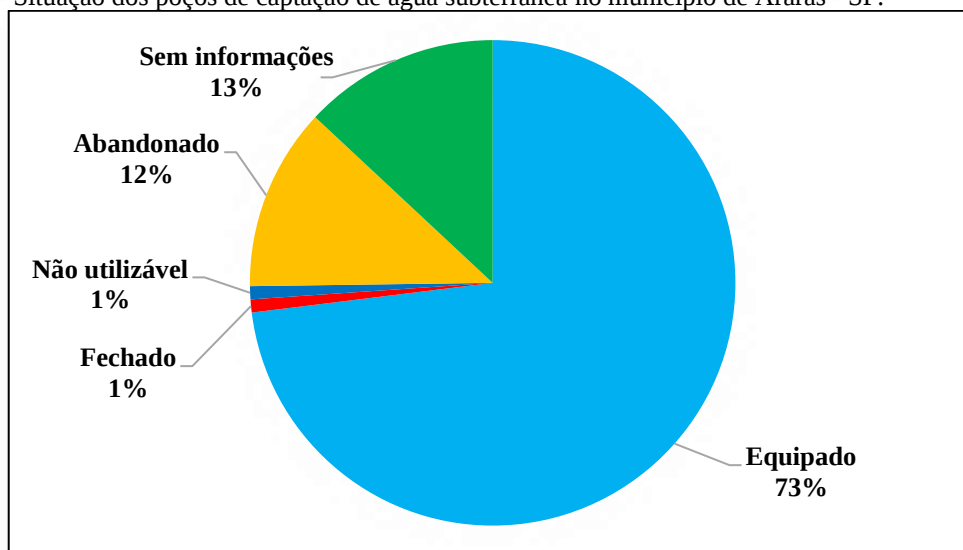


Fonte: Adaptado de CPRM/SBG/SIAGAS (2022).

Esses dados demonstram a diversidade de demandas e a importância para o setor industrial na utilização de recursos hídricos provenientes de poços e ressalta a necessidade do registro de dados para melhor compreensão e gestão dos recursos hídricos.

A situação dos poços de captação de água subterrânea no município de Araras é apresentada na Figura 10.

Figura 10 - Situação dos poços de captação de água subterrânea no município de Araras - SP.

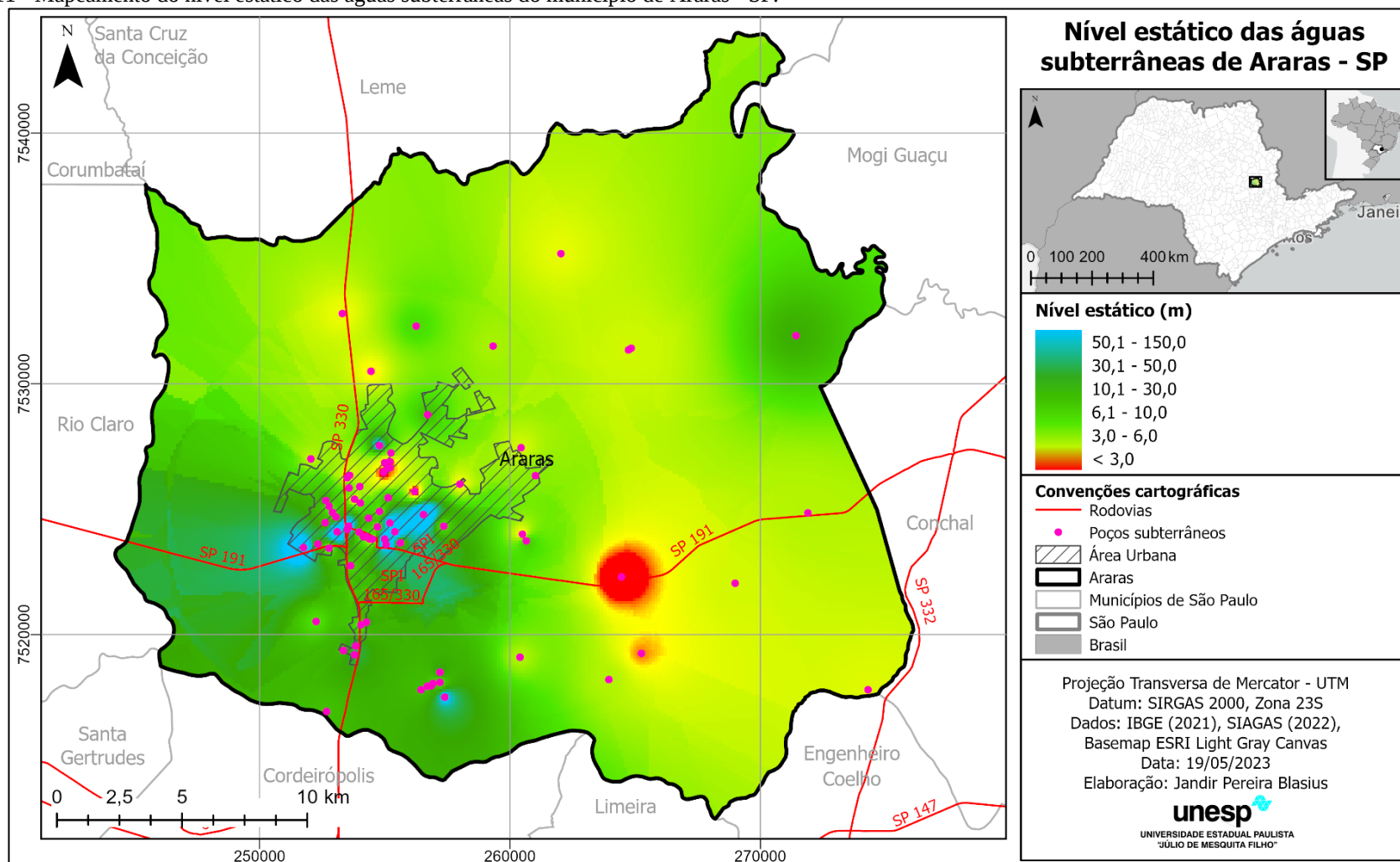


Fonte: Adaptado de CPRM/SBG/SIAGAS (2022).

A maioria dos poços (73% do total) foi classificada como equipados, que são caracterizados por possuírem revestimento, filtros, isolamento sanitária e estarem em uso. Já a categoria "sem informações", que corresponde a 13% dos poços, indica falta de dados sobre o *status* e condições de uso desses poços. Os poços abandonados representam 12% e correspondem àqueles que foram inicialmente abertos para utilização, mas foram desativados sem terem sido adequadamente vedados. Essa situação os torna suscetíveis à contaminação por substâncias indesejáveis. Ainda, há uma pequena proporção de poços classificados como não utilizáveis (1%) e fechados (1%). Esses dados destacam a importância de monitorar e tomar medidas adequadas para evitar a contaminação e o uso indevido dos poços, especialmente os abandonados, visando à proteção da qualidade dos recursos hídricos.

Na Figura 11 é apresentado o mapa de distribuição dos poços de captação e do nível estático das águas subterrâneas municipais. O nível estático corresponde à profundidade da água em repouso, isto é, sem interferência do processo de bombeamento.

Figura 11 - Mapeamento do nível estático das águas subterrâneas do município de Araras - SP.



Para elaboração do referido mapa foi realizada a interpolação dos dados de nível estático dos 79 poços que possuíam registro de informações. No processo de interpolação foi utilizada a ferramenta de análise estatística Inverso do Quadrado da Distância – IDW (da sigla do Inglês, *Inverse Distance Weighting*), que realiza a modelagem implícita com o uso de funções matemáticas, por meio da ponderação da influência das informações de cada ponto e a construção do modelo que representa a extrapolação destas informações (Khamdar *et al.*, 2019; Ongarbayev; Madani, 2022).

De acordo com a Figura 11, os poços subterrâneos estão concentrados principalmente na área urbana e no seu entorno, que apresentam tanto poços mais profundos (de 30 a 150 metros), quanto poços mais rasos (< 3 metros). As regiões Sudeste, Norte e parte Nordeste do município apresentam faixas de profundidade média do nível estático dos poços com valores de 6 a 30 metros. De forma geral, com exceção da área do entorno de seis pontos que apresentaram profundidade de nível estático de até 3 metros, o restante da área municipal apresenta condições adequadas para localização de um aterro sanitário, se considerado somente este critério.

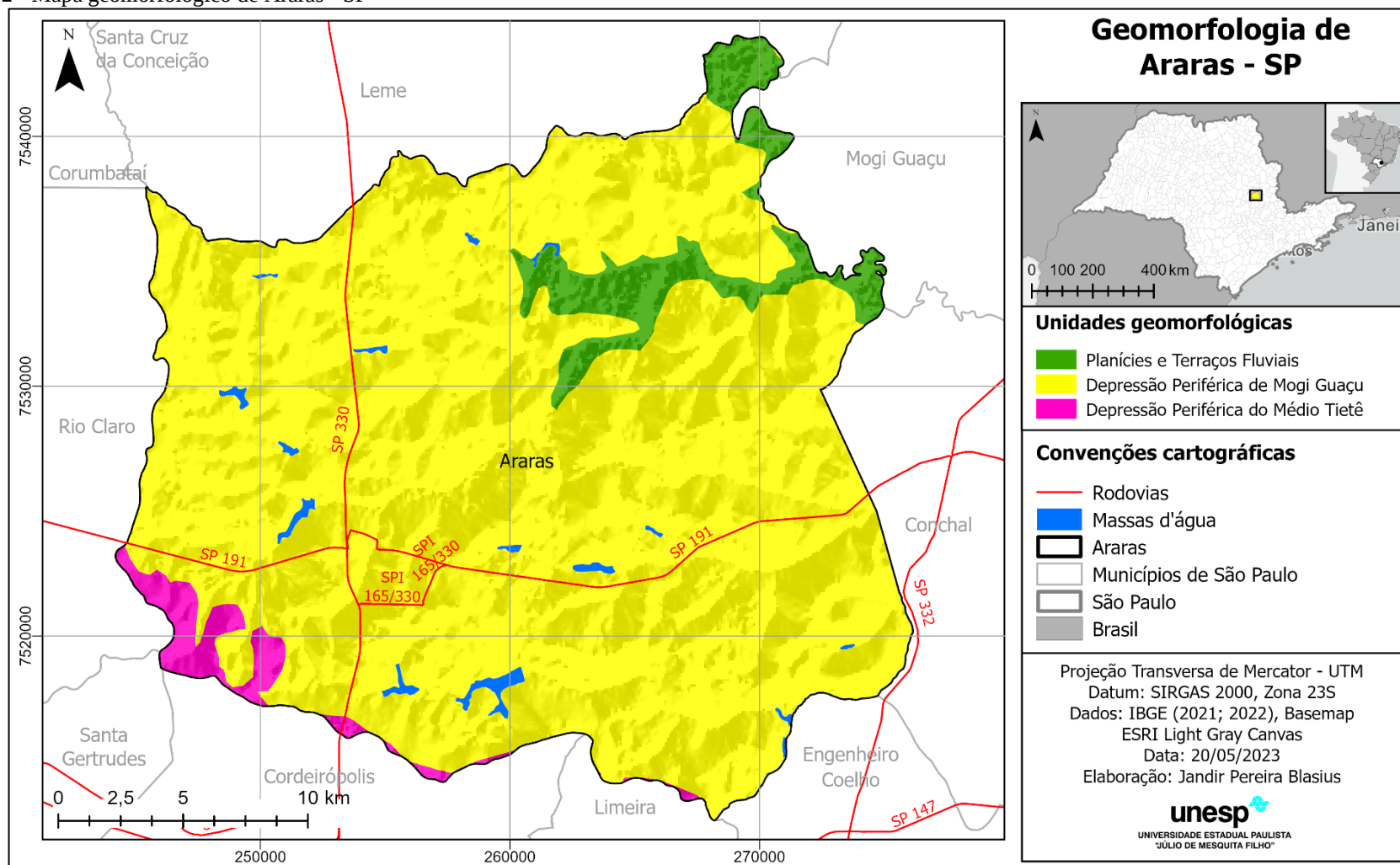
3.3.4 Geomorfologia

O estudo da geomorfologia municipal fornece informações sobre a estabilidade do terreno e permite identificar áreas com relevos instáveis, como encostas íngremes, solos suscetíveis a deslizamentos ou áreas propensas a erosão. Evitar áreas instáveis minimiza o risco de movimentação do terreno e garante a estabilidade do aterro sanitário.

A geomorfologia também influencia no padrão de drenagem e no fluxo de água superficial. É importante evitar áreas com índices de escoamento muito elevado e/ou muito baixo, como vales profundos ou áreas sujeitas a inundações. A escolha de uma área com boa drenagem e controle adequado do escoamento de água minimiza os riscos de impactos negativos no aterro sanitário, como a saturação do solo e o aumento da produção de lixiviado.

O município de Araras pertence à unidade morfoestrutural da Bacia Sedimentar do Paraná e unidade morfoescultural denominada de Depressão Periférica Paulista, subdividida nas seguintes unidades morfológicas: Depressão Periférica de Mogi Guaçu (92,23%), Depressão Periférica do Médio Tietê (2,24%) e Planícies e Terraços Fluviais (5,53%) (Figura 12).

Figura 12 - Mapa geomorfológico de Araras - SP



A Depressão Periférica de Mogi Guaçu é composta por relevos denudacionais, que são constituídos, basicamente, por colinas de topos tabulares amplos (Feres, 2002). Já a Depressão Periférica do Médio Tietê corresponde a área da depressão drenada pelo Rio Tietê, e tem os Rios Piracicaba e Sorocaba como seus principais afluentes (Almeida, 2018).

As Planícies e Terraços Fluviais correspondem a áreas planas, formadas pela deposição de sedimentos fluviais, com predominância de processos agradacionais (Ross; Moroz, 1996). No Mapa Geomorfológico de Araras (Figura 12) esta unidade corresponde à área sob influência do Rio Mogi-Guaçu e adjacências.

O relevo municipal pode ser dividido em três unidades: morrotes alongados e espigões; colinas médias; e colinas amplas (que predominam na maior parte do território) (PMGIRS, 2015). A descrição de cada sistema de relevo é apresentada a seguir, conforme IPT (1981):

- **Morrotes alongados e espigões:** são predominantes os interflúvios sem uma orientação preferencial, com predominância de picos com formas definidas, encostas esculpidas por ravinas e contornos lineares. Geralmente, apresentam inclinações que variam de moderadas a acentuadas (superior a 15%). A drenagem apresenta densidade média a alta, seguindo um padrão dendrítico, com vales fechados.
- **Colinas médias:** são caracterizadas por interflúvios com áreas variando de 1 a 4 km² (com baixa declividade - até 15%), apresentando topos aplainados e vertentes com perfis que podem variar de convexos a retilíneos. A drenagem nessa região é de média a baixa densidade, seguindo um padrão sub-retangular, com vales que podem ser abertos ou fechados. Também é comum encontrar planícies aluviais de extensão limitada, bem como a presença ocasional de lagoas perenes ou intermitentes.
- **Colinas amplas:** são marcadas pela predominância de interflúvios com áreas superiores a 4 km² (com baixa declividade - até 15%), compostas por topos extensos e aplainados, além de vertentes com perfis que variam de retilíneos a convexos. A drenagem nesse tipo de relevo é de baixa densidade, seguindo um padrão sub-dendrítico, com vales abertos e ocorrência de planícies aluviais interiores restritas. Também é possível encontrar, ocasionalmente, lagoas perenes ou intermitentes.

A presença destas feições simboliza a existência de áreas mais estáveis e adequadas para a implantação de infraestruturas de um aterro sanitário. Sendo assim, pode-se inferir que as características geomorfológicas municipais não apresentam restrições significativas que comprometeriam a localização do empreendimento.

3.3.5 Declividade

A análise de declividade tem o objetivo de levantar características específicas do relevo para localização de um aterro sanitário, uma vez que locais com elevada declividade são considerados inadequados devido a questões relacionadas aos métodos construtivos, de controle ambiental e custos logísticos envolvidos.

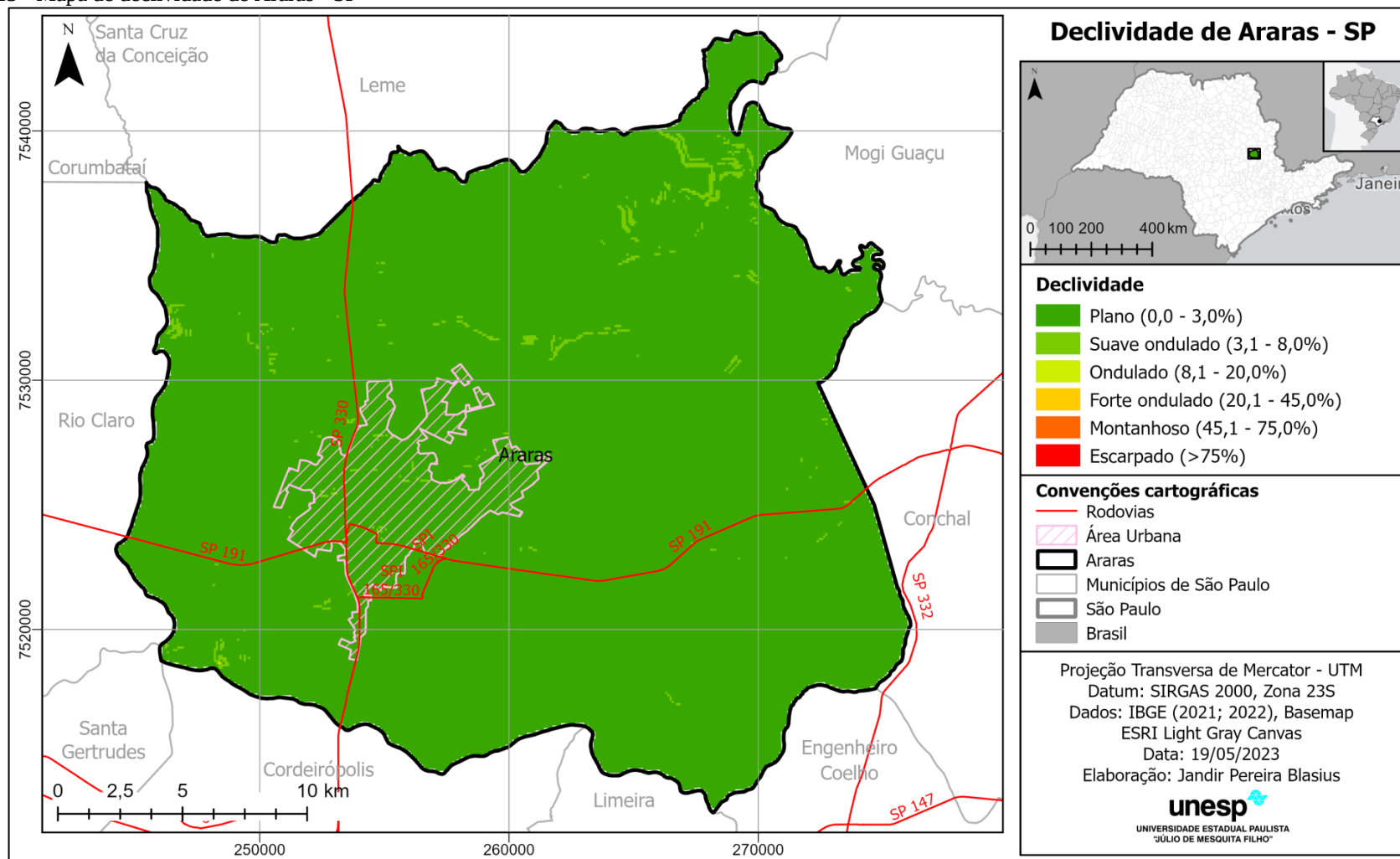
A alta declividade do terreno pode dificultar a construção e a operação de um aterro sanitário, uma vez que pode afetar a estabilidade das estruturas. Além disso, a drenagem de água em áreas de declive acentuado constitui um processo complexo e pode resultar no aumento do risco de erosão e escoamento de lixiviado.

Para caracterização da declividade do município de Araras (Figura 13) foi utilizada a metodologia estabelecida pela EMBRAPA (2006), que classifica as áreas de acordo com o grau de declividade, em porcentagem.

O município de Araras apresenta declividades mínima e máxima de 0 e 30%, respectivamente. A declividade média do município é de 4,67%, com desvio padrão de 3,01%. Apenas 1,03 km² (0,16%) da área municipal é classificada com relevo ondulado (8,1 - 20,0% de declividade). A área com declividade suave ondulada (3,1 - 8,0% de declividade) é relativamente pequena e abrange apenas 47,78 km² (7,41%). A predominância no município é de áreas planas (0 - 3,0 % de declividade) com cerca de 92,43% da área total (596,02 km²).

Com base nos dados de declividade, pode-se inferir que o território municipal possui condições favoráveis para a implantação de um aterro sanitário. A predominância de áreas planas, que abrange uma grande porcentagem da área total do município, indica que existem extensas áreas adequadas para a instalação de infraestruturas relacionadas à disposição de rejeitos.

Figura 13 - Mapa de declividade de Araras - SP



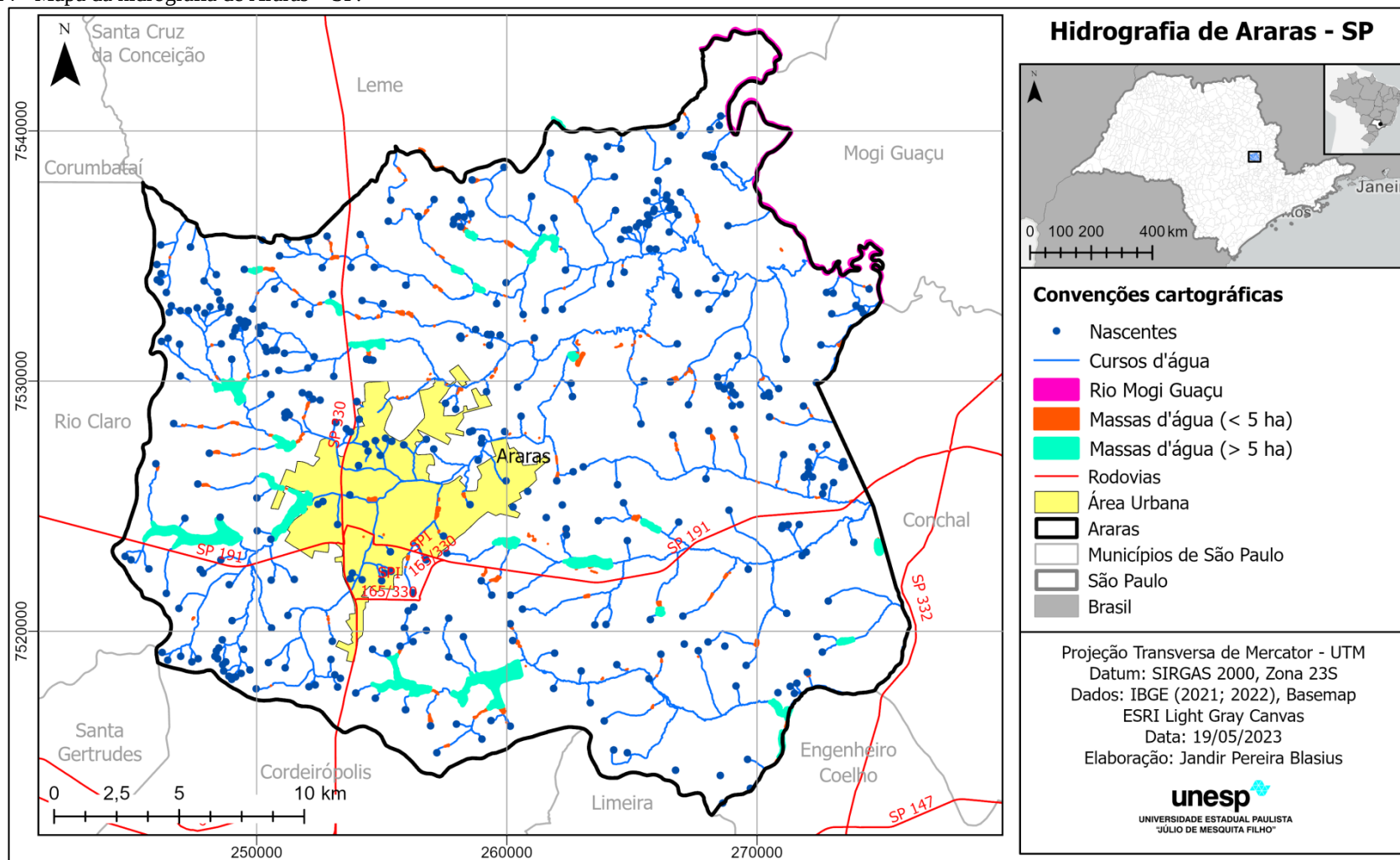
3.3.6 Hidrografia

O estudo da hidrografia local permite a identificação dos principais cursos d'água, a localização de nascentes e corpos hídricos e destaca informações da existência de áreas de proteção de mananciais, que são destinadas para o abastecimento público ou para manutenção da biodiversidade. A localização de um aterro sanitário deve evitar estes recursos naturais para não comprometer sua qualidade e disponibilidade.

O município de Araras está localizado na Bacia Hidrográfica do Mogi Guaçu e Sub-bacia do Alto Mogi. A drenagem apresenta padrão dendrítico, com conformações estruturais. A existência desse padrão de drenagem sugere que os rios e cursos d'água se configuram como um sistema semelhante a uma árvore, com vários afluentes convergindo para um rio principal. Esse padrão é comumente observado em áreas com geologia e topografia favoráveis, onde os rios seguem o caminho de menor resistência ao longo das linhas de estrutura e do relevo (PMGIRS, 2015).

Foram identificadas 396 nascentes no município de Araras (Figura 14), que contribuem significativamente para a formação e manutenção dos cursos d'água, para o abastecimento de água e para a preservação da biodiversidade local.

Figura 14 - Mapa da hidrografia de Araras – SP.



3.3.7 Pedologia

A caracterização pedológica fornece informações sobre a distribuição dos tipos de solos que ocorrem em determinado local. Desta forma, permite avaliar a susceptibilidade dos solos à erosão, a existência ou não de material de empréstimo para cobertura dos rejeitos aterrados e a capacidade de infiltração e depuração de substâncias contaminantes (ABNT, 1997).

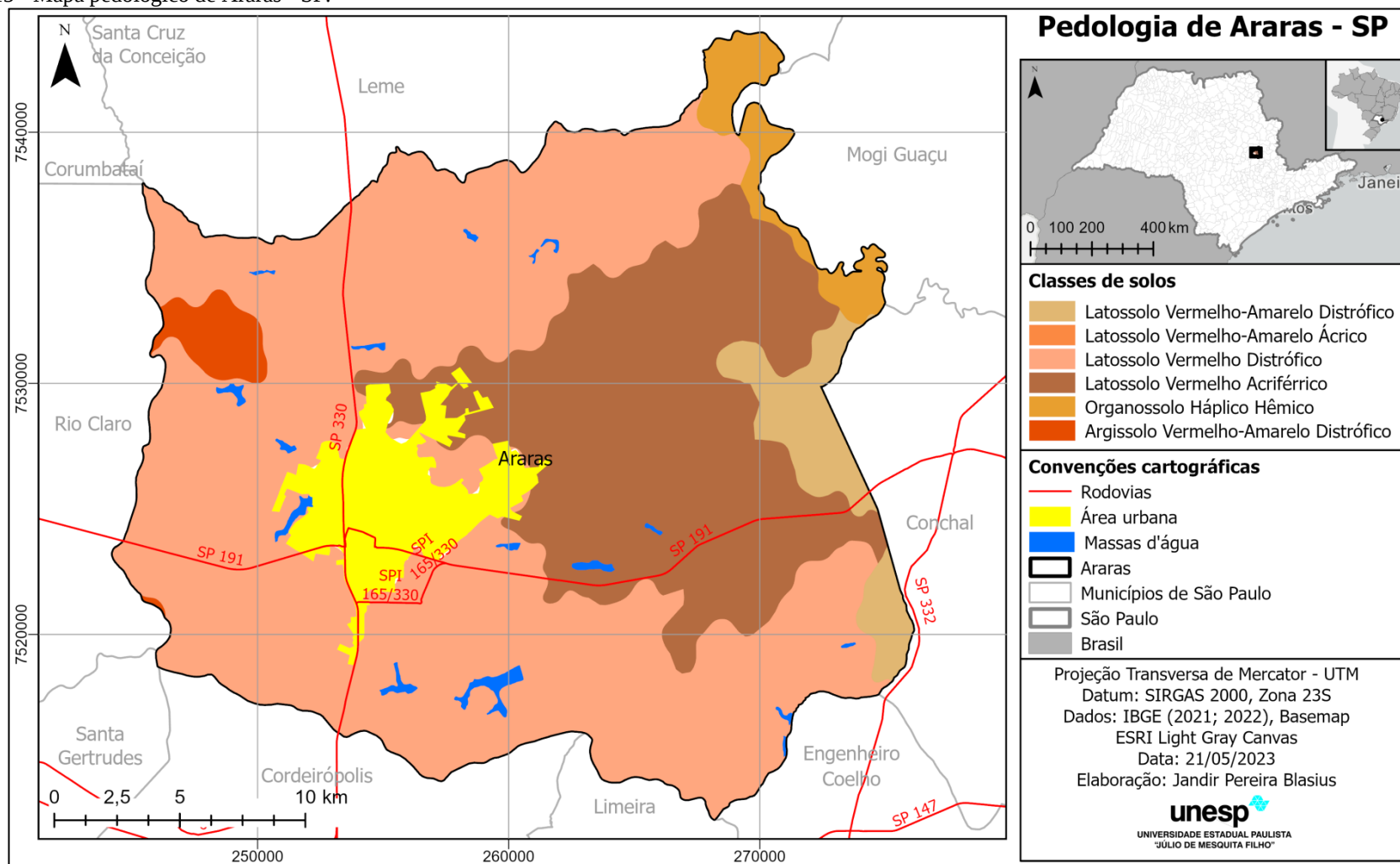
A pedologia do município de Araras é composta predominantemente por solos das seguintes classes: Latossolos Vermelho-Amarelo distrófico (4,37%), Latossolo Vermelho-Amarelo ácrico (0,01%), Latossolo Vermelhos distrófico (62,47%), Latossolo Vermelhos acriférico (28,49%), Organossolo Háplicos hêmicos (2,92%) e Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (1,75%) (Figura 15).

Os Latossolos Vermelho-Amarelos são associados a ambientes com relevo que varia de plano a ondulado, bem drenados, profundos, com uniformidade de cor e textura em profundidade. Devido às características do relevo com baixa inclinação, é utilizado para fins agrícolas, pois facilita a mecanização. No entanto, as características de terceiro nível categórico (distrófico e ácrico) sinalizam solos de baixa fertilidade, que requerem correção de acidez e adubação (EMBRAPA, 2006).

Os Latossolos Vermelhos são solos típicos de relevo plano e suave ondulado, propícios para mecanização agrícola, de alta porosidade, profundos, com drenagem deficiente e susceptíveis à compactação (pela presença de textura argilosa ou muito argilosa). No terceiro nível desta classe (distrófico e acriférico) são destacados solos de baixa fertilidade e quando acriférico, com elevados teores de ferro (EMBRAPA, 2006).

Os Organossolos Háplicos hêmicos compreendem solos compostos predominantemente por material orgânico, com alta fertilidade, fortemente ácidos, com alta capacidade de troca catiônica e podem apresentar elevados teores de alumínio e caracteres salino, solódico, sálico, sódico e carbonático. Ocorrem em climas diversificados e podem ser associados a ambientes com pouca drenagem, áreas de várzeas e depressões ou ambiente úmidos de altitudes elevadas (EMBRAPA, 2006).

Figura 15 - Mapa pedológico de Araras - SP.



Os Argissolos Vermelho-Amarelos são solos profundos e muito profundos, bem drenados, desenvolvidos sob influência de rochas cristalinas, de cores vermelho-amareladas proveniente da mistura de óxidos de ferro (hematita e goethita), de textura que varia de média/argilosa a muito argilosa, com baixa a média fertilidade e forte acidez. É comumente utilizado para citricultura, pastagem e canicultura (EMBRAPA, 2006).

A presença de solos predominantemente argilosos pode ser uma vantagem na seleção de um local para a instalação de um aterro sanitário em Araras - SP, devido à alta capacidade natural desses solos de reter água e à sua baixa taxa de permeabilidade. Essas características são favoráveis para a construção de um aterro sanitário, já que a impermeabilidade dos solos argilosos auxilia na contenção dos lixiviados no aterro e reduz significativamente o risco de poluição das águas subterrâneas.

Ao contrário do solo arenoso que tende a se dispersar nos vazios entre os rejeitos, o solo argiloso forma uma barreira mais eficaz, que ajuda a conter os materiais depositados no aterro. Além disso, o solo argiloso desempenha um papel importante na prevenção da formação de trincas na cobertura, garante a integridade estrutural do aterro e evita potenciais vazamentos de gases e lixiviado. Portanto, a escolha do solo argiloso como material de cobertura é essencial para garantir a eficácia e a sustentabilidade das operações de um aterro sanitário.

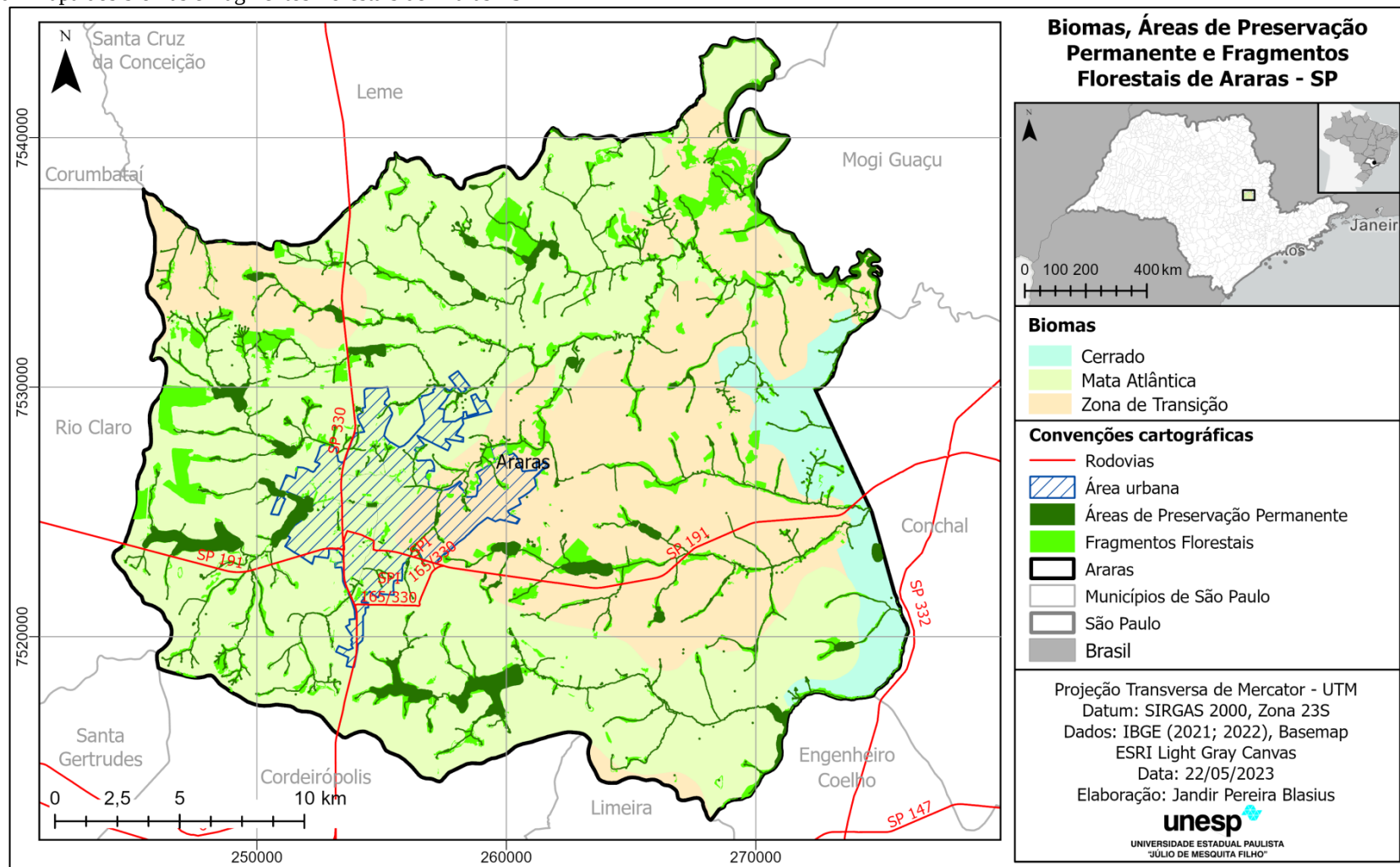
3.3.8 Biomas e vegetação

O conhecimento dos biomas e das características da vegetação local é um fator crucial para minimizar os potenciais impactos ambientais adversos, preservar a biodiversidade e assegurar a qualidade de vida das comunidades vizinhas ao local de operação de um aterro sanitário. A avaliação adequada desses fatores é fundamental para auxiliar na escolha do local apropriado para um aterro sanitário.

O município de Araras apresenta três unidades de biomas: Mata Atlântica (60,29%), Cerrado (5,23%) e Zonas de Transição entre estes biomas (34,48%) (Figura 16).

A Mata Atlântica é uma floresta tropical que abrange a costa leste, sudeste e sul do Brasil e ocupa cerca de 15% do território nacional. É uma das florestas mais biodiversas e ameaçadas do mundo e abriga aproximadamente 72% da população brasileira e engloba sete das nove maiores bacias hidrográficas do país. (SOS Mata Atlântica; INPE, 2019).

Figura 16 - Mapa dos biomas e fragmentos florestais de Araras - SP



O Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil e ocupa cerca de 24% do território nacional. Este bioma é considerado a savana tropical mais rica em biodiversidade, pois concentra cerca de 5% de todas as espécies do planeta e abriga cerca de 30% das espécies identificadas no país (EMBRAPA, 2021).

Ambos os biomas foram intensamente devastados pelo modelo de exploração predatória adotado desde o período da colonização do Brasil. Atualmente, é estimado que restam apenas 15,2% da floresta de Mata Atlântica que existia originalmente (SOS Mata Atlântica; INPE, 2022) e que 50% da área original ocupada pelo Cerrado foi desmatada (EMBRAPA, 2021).

A vegetação atua como aliada à implantação e operação de um aterro sanitário, pois além de reduzir a susceptibilidade do solo à erosão, funciona como barreira de controle de transporte de poeira e de odores e desta forma, minimiza o impacto da paisagem.

Na Figura 16 também são destacados os fragmentos florestais remanescentes e as Áreas de Preservação Permanente (APP) do município de Araras.

A vegetação se apresenta como um mosaico de diferentes formações, incluindo florestas altas e densas, intercaladas com áreas dominadas por árvores de porte menor ou até mesmo estratos de arbustos e plantas herbáceas. Em diversas regiões, é marcante a presença de árvores de pequeno porte e arbustos dispersos, que delineiam a característica paisagem do Cerrado. Adicionalmente, são frequentemente encontradas áreas em que o solo é coberto exclusivamente por vegetação herbácea.

A vegetação natural na região de Araras sofreu extensa degradação devido às atividades humanas ao longo do tempo, e atualmente abrange aproximadamente 11,37% (72,78 km²) do território. Os trechos de vegetação primária remanescentes no município incluem tipos como Floresta Estacional Semidecidual (parte da Mata Atlântica), Cerrado e Vegetações Ripárias (Almeida *et al.*, 2006).

A Lei Federal n.º 12.651, de 25 de maio de 2012, também conhecida como Código Florestal Brasileiro, define as APP como zonas de proteção, independentemente da presença ou ausência de vegetação nativa, com a finalidade de preservar recursos hídricos, solo, biodiversidade e o bem-estar das comunidades. A delimitação das APP abrange faixas adjacentes a corpos d'água naturais permanentes e intermitentes, áreas próximas a nascentes e fontes de água perenes, além de englobar lagos, lagoas naturais e reservatórios de água artificiais resultantes de represamento de cursos d'água naturais (Brasil, 2012)

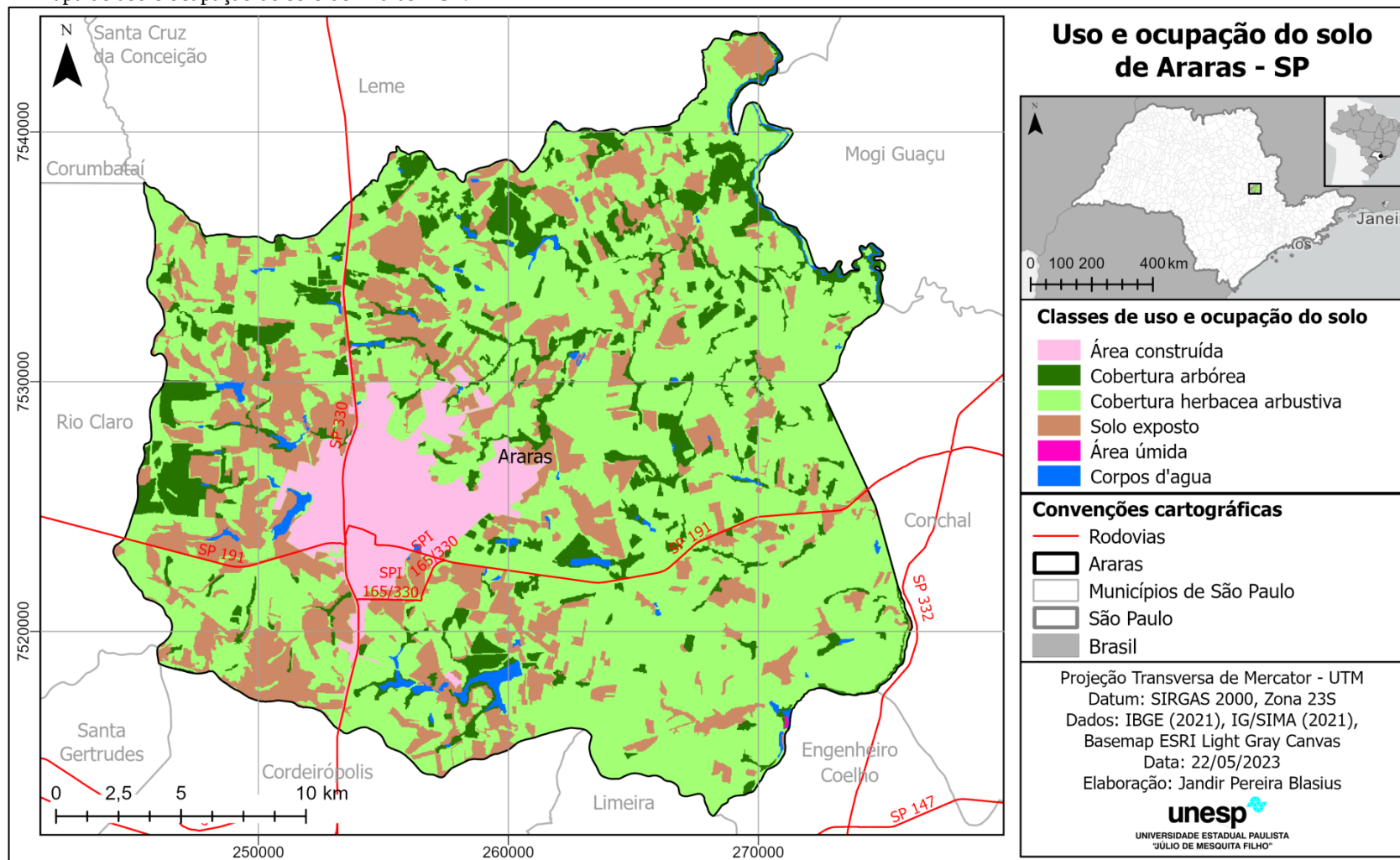
Sendo assim, as APP do município de Araras - SP foram delimitadas a partir de *buffers* (distância mínima estabelecida) com as larguras das faixas marginais conforme especificações preconizadas no Art. 4º do Código Florestal Brasileiro. Cerca de 9,42% do território municipal foi classificado como área de APP. Esta informação ressalta a necessidade da observância de restrição destas áreas no processo de localização de um aterro sanitário, com vista a garantir a proteção dos recursos naturais e a manutenção da biodiversidade local.

3.3.9 Uso e ocupação do solo

Algumas formas de uso e ocupação do solo apresentam características conflitantes para a implantação de um aterro sanitário, por apresentarem vulnerabilidades naturais (áreas úmidas, de interesse ecológico, de proteção de mananciais etc.) ou por agravar os riscos à saúde e segurança pública, pela proximidade com a infraestrutura urbana e núcleos populacionais.

A análise do uso e ocupação do solo do município de Araras revelou a distribuição de diferentes classes de cobertura (Figura 17), sendo elas: área construída, que inclui infraestruturas urbanas, edifícios residenciais, comerciais e industriais, vias públicas e entre outros elementos relacionados ao desenvolvimento urbano (4,77%); áreas úmidas, que são compostas por áreas com presença de água de forma permanente ou temporária (0,01%); cobertura arbórea, que abrange florestas, fragmentos florestais, bosques ou áreas com árvores isoladas (11,91%); cobertura herbácea arbustiva, que inclui áreas cobertas por gramíneas, arbustos, vegetação rasteira e outras formas de vegetação de menor porte (60,48%); corpos d'água, que são representados por rios, lagos, lagoas, represas ou qualquer outra forma de corpo hídrico presente na região (1,45%); e solo exposto, que é caracterizado por áreas onde a cobertura vegetal foi removida ou não existe (22,10%).

Figura 17 - Mapa de uso e ocupação do solo de Araras – SP.



A análise do uso e ocupação do solo de Araras forneceu informações cruciais para a localização de um aterro sanitário, pois permitiu evitar ecossistemas sensíveis e áreas urbanizadas, e dessa forma, é possível maximizar a aceitação pública e minimizar os potenciais efeitos adversos da implantação deste empreendimento.

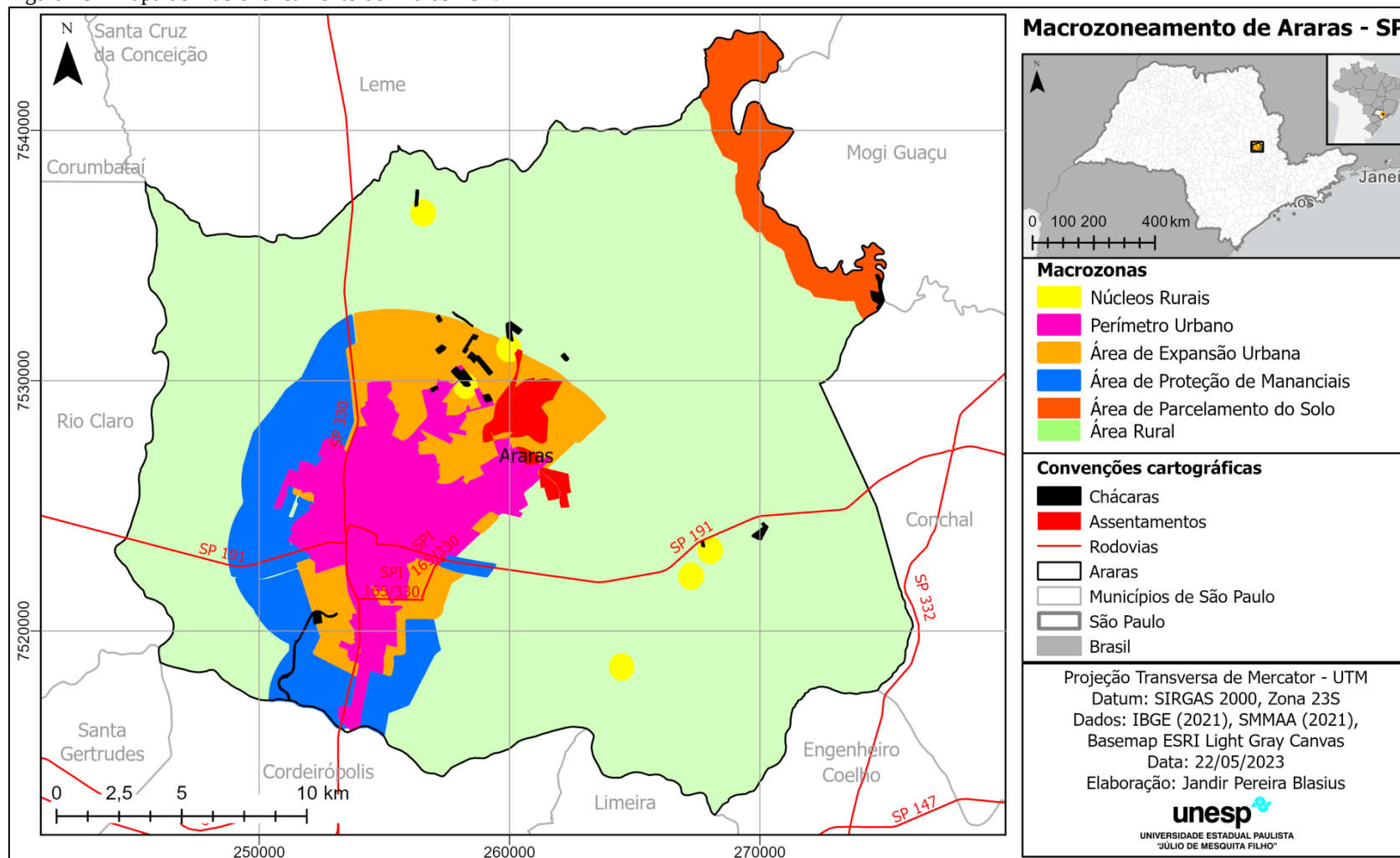
3.3.10 Macrozoneamento

O macrozoneamento refere-se ao planejamento do uso e ocupação do solo a partir da adoção de estratégias de política urbana. As diretrizes espaciais são estabelecidas pelo Plano Diretor Municipal e periodicamente devem ser revistas para atender a expectativa e a necessidade do desenvolvimento da cidade.

O macrozoneamento de Araras é categorizado em seis classes (Figura 18): Área de Expansão Urbana (AEU): abrange 8,57% do território e representa as áreas destinadas ao crescimento e expansão da cidade, para fins urbanos e de infraestrutura; Área de Proteção de Mananciais (APM): compreende 7,12% da área total e tem como objetivo preservar os mananciais, corpos d'água e suas respectivas áreas de influência, garantindo a qualidade e disponibilidade dos recursos hídricos; Área de Parcelamento do Solo (APS): ocupa 3,40% do município, essa classe refere-se a áreas destinadas ao loteamento e parcelamento para fins residenciais, comerciais ou industriais; Núcleos Rurais: abrange 0,70% do território, são áreas onde se concentram aglomerações de caráter rural, incluindo pequenos povoados e comunidades agrícolas; Perímetro Urbano: ocupa 6,01% da área total e refere-se às áreas que compõem o limite atual da área urbanizada da cidade; e Zona Rural: essa é a categoria de maior extensão, ocupando 74,19% do município e é constituída por áreas destinadas principalmente para o desenvolvimento de atividades agrícolas, pecuária, conservação ambiental e outras atividades não urbanas.

Cada classe do macrozoneamento possui diretrizes específicas para uso e ocupação do solo, visando promover o desenvolvimento sustentável e adequado para as diferentes áreas do município de Araras. Das classes destacadas no macrozoneamento municipal, somente a classe de zona rural apresenta potencial para localização de um aterro sanitário.

Figura 18 - Mapa de macrozoneamento de Araras - SP.



3.3.11 Infraestrutura municipal

Ao considerar os componentes da infraestrutura municipal é possível selecionar a área mais adequada para localização de um aterro sanitário, que minimize os impactos ambientais, proteja os recursos naturais, seja logisticamente viável e esteja em conformidade com as regulamentações e restrições locais.

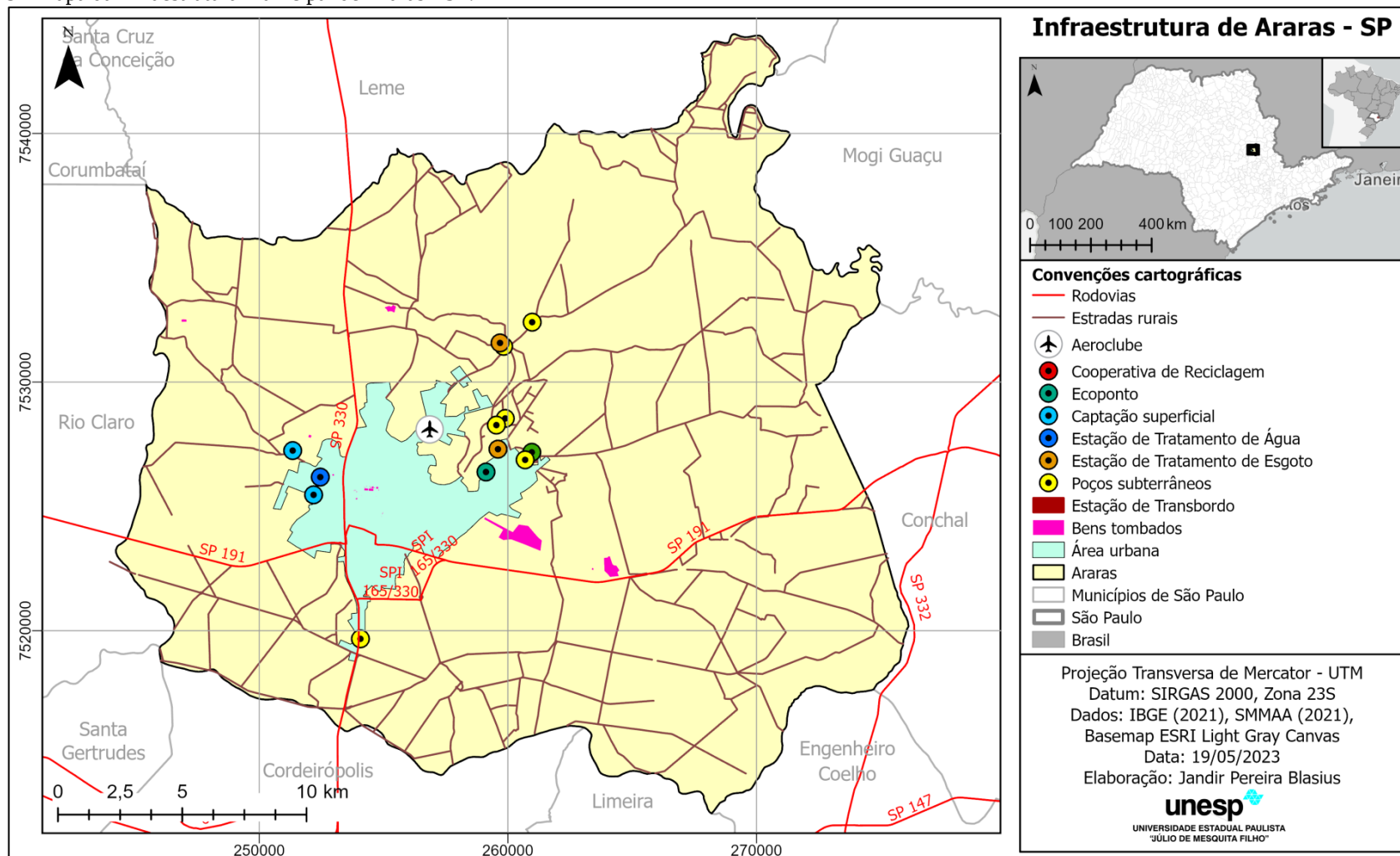
A apresentação da infraestrutura municipal abordou variáveis a serem consideradas para localização do ASI no município de Araras. Na Figura 19 foram destacados os seguintes componentes: rodovias, estradas rurais, localização da Estação de Tratamento de Água (ETA) e das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), aeródromo, pontos de captação de água superficial e subterrânea para abastecimento, cooperativa de reciclagem, área de transbordo de resíduos, patrimônio histórico (bens tombados) e área urbana.

As principais vias de acesso à cidade de Araras são pelas rodovias Anhanguera (SP 330) e Wilson Finardi (SP 191), que cortam a área urbana do município. O deslocamento na área rural é realizado por estradas rurais, que em sua maioria não possuem denominação.

A água destinada para abastecimento municipal é captada, principalmente, por mananciais superficiais, sendo os contribuintes: os ribeirões das Araras e Furnas e o Rio Mogi-Guaçu, que apresentam vazões de 172 L/s, 150 L/s e 2.978 L/s, respectivamente. Os pontos de captação dos referidos mananciais são enquadrados como Classe 2 (PMGIRS, 2015). Ainda, referente ao abastecimento de água, foram levantados seis pontos de captação de água subterrânea localizados nas áreas urbana, de expansão urbana e rural.

A responsabilidade pela prestação dos serviços de abastecimento de água e tratamento de esgoto é atribuída à autarquia municipal denominada por Serviço de Água e Esgoto do Município de Araras (SAEMA). A autarquia dispõe de uma ETA, localizada na área urbana do município e duas ETE. Uma unidade de ETE, considerada como a principal por atender praticamente 99,99% da demanda municipal, está localizada em área classificada como perímetro urbano. Outra unidade corresponde a um sistema simplificado de tratamento de esgoto que atende a conjuntos populacionais localizados na área classificada como ZEU.

Figura 19 - Mapa da infraestrutura municipal de Araras - SP.



O município dispõe de um aeródromo de pequeno porte/aeroclube denominado Aeroporto Armando Américo Fachini, que é administrado pela Secretaria Municipal de Desenvolvimento Econômico. No local são desenvolvidas atividades e eventos esportivos, com rara utilização do local para o pouso de aeronaves de transporte particular e/ou comercial.

O município possui bens tombados como patrimônio histórico localizados nas áreas urbana e rural. De forma geral, de acordo com o Quadro 7, os bens tombados compreendem, preferencialmente monumentos e edificações antigas.

Quadro 7 - Lista de bens tombados como patrimônio histórico-cultural de Araras - SP.

ZONA DE LOCALIZAÇÃO	DESCRIÇÃO
Rural	Casa Sede da Fazenda Campo Alto
	Casa Sede da Fazenda Montevidéo
	Casa Sede da Fazenda Morro Alto
	Casa Sede da Fazenda São Joaquim
	Estação Ferroviária Bairro Elihu Root
	Fazenda Miraluna e Fazenda Candelaria
	Fazenda Santo Antônio
	Igreja do Sagrado Coração de Jesus
Urbana	Basílica Nossa Senhora do Patrocínio
	Biblioteca e Praça "Dr. Narciso Gomes"
	Casa da Cultura "Emílio Silvestre Wolf"
	Casarão de Araras
	Casarão "Nhonho dos Santos"
	Centro Espírita "Caibar Schutel"
	Cine Teatro "Santa Helena"
	Conjunto de Jazigos à Margem da Rodovia Anhanguera
	Edifício "Antônio Lotto"
	Escola Estadual de Primeiro e Segundo Grau "Coronel Justiniano Witaker de Oliveira"
	Escola Estadual de Primeiro Grau "Ignácio Zurita Júnior"
	Estação Araras
	Igreja Santa Cruz
	Igreja Nossa Senhora Aparecida
	Igreja Presbiteriana de Araras
	Instituto Nossa Senhora Auxiliadora
	Praça Barão de Araras
	Praça Monsenhor Quércia
	Solar Benedita Nogueira
	Teatro Estadual "Maestro Francisco Paulo Russo"

Fonte: PMA/SMMAA (2021).

De acordo com o levantamento do patrimônio histórico-cultural de Araras, 20 dos bens tombados estão localizados em área urbana e o restante (8), em área rural.

Em relação à infraestrutura municipal de gerenciamento de RSU, o município dispõe de Estação de Transbordo de Resíduos (ETR), cooperativa de reciclagem e ecoponto de entrega voluntária de RCC e de resíduos de podas e remoções de árvores.

A ETR está localizada no mesmo terreno que a cooperativa de reciclagem desenvolve suas atividades. Os resíduos coletados nas vias públicas são transportados até a ETR, onde são depositados em caçambas, que são transportadas para um aterro particular em Rio das Pedras/SP.

O município não possui sistema de coleta seletiva. No entanto, possui convênio com a Cooperativa Araras Limpa, que coleta cerca de 30% dos materiais reciclados, por meio de sistema de coleta porta a porta.

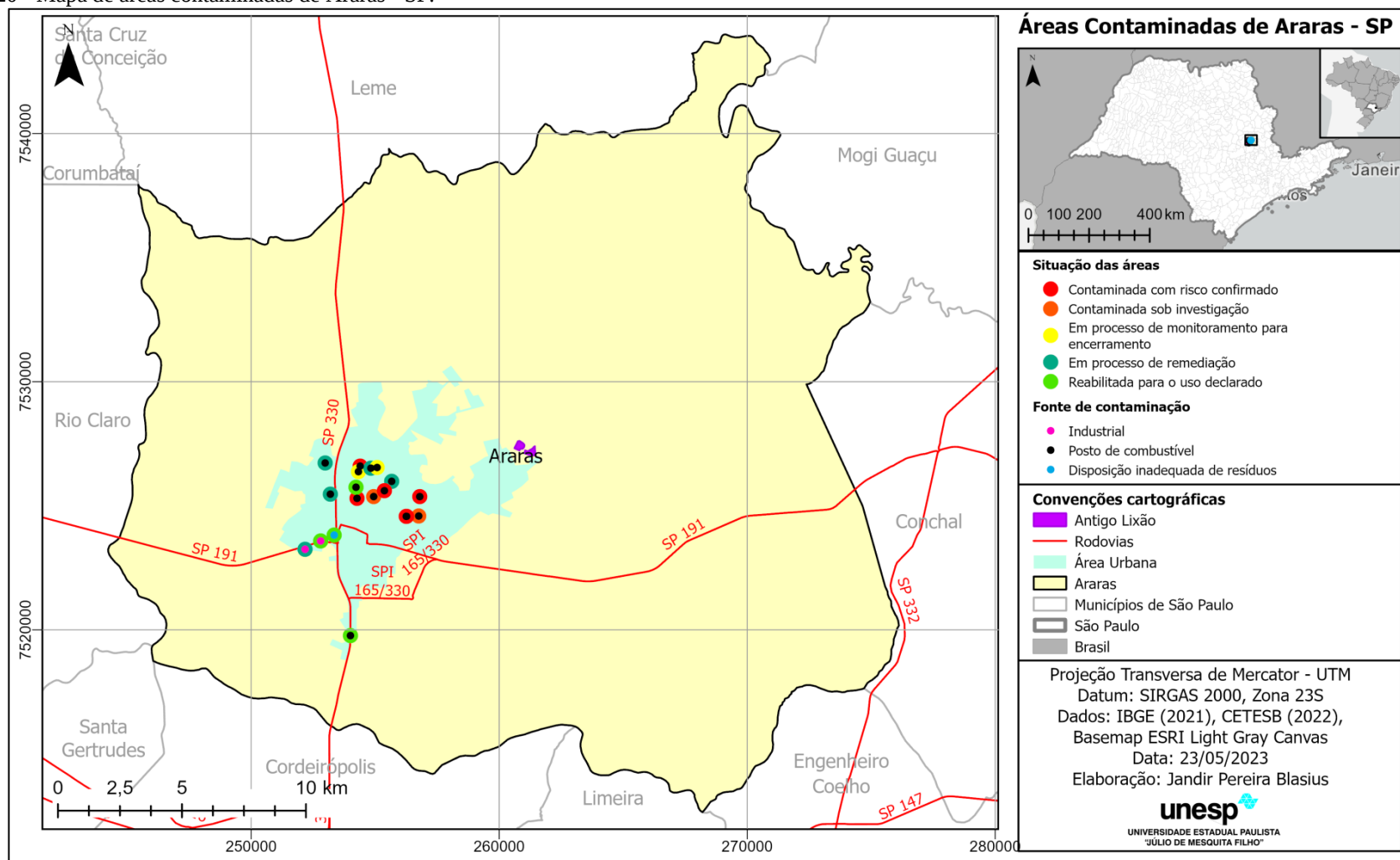
Trimestralmente, a Secretaria Municipal de Serviços Públicos recolhe os Resíduos de Construção e Demolição (RCD) e resíduos de podas e remoções de árvores descartados pelos munícipes (com limite de volume de até um metro cúbico por residência). No entanto, este serviço não atende integralmente a demanda dos munícipes e para saná-la e evitar práticas de descarte irregular, foi instalado na Zona Leste da cidade um ecoponto. Neste local, os resíduos são temporariamente depositados, cerca de 20% são reutilizados para manutenção de estradas rurais e o volume restante é encaminhado para um aterro de inertes (licenciado pela CETESB) na cidade de Leme/SP.

3.3.12 Áreas contaminadas

O levantamento das áreas municipais contaminadas tem o intuito de identificar áreas degradadas, que possam ser reabilitadas para instalação do aterro sanitário no local. Desta forma, a recuperação da área ocorreria concomitantemente com a disposição de resíduos e evitaria que nova área estivesse sujeita ao potencial de contaminação de um aterro sanitário.

A CETESB divulga periodicamente uma lista com as fontes de contaminação de cada município paulista, bem como a situação de cada área. Em 2022, no município de Araras, foi registrado a ocorrência de 19 pontos de contaminação, conforme apresentado na Figura 20.

Figura 20 - Mapa de áreas contaminadas de Araras - SP.



As áreas contaminadas estão concentradas no perímetro urbano e na ZEU. A caracterização das fontes de contaminação é apresentada no Quadro 8.

Quadro 8 - Caracterização e classificação das fontes municipais de contaminação.

Nome do empreendimento	Atividade	Fonte de contaminação	Classe de contaminação
Antigo Lixão Municipal de Araras	Lixão	Disposição inadequada de resíduos	ACRI
Auto Posto JP de Araras Ltda.	Posto de combustível	Armazenagem	ACRI
Auto Posto Loreto Ltda.	Posto de combustível	Armazenagem	ACRI
Auto Posto Templo da Ciência Ltda	Posto de combustível	Armazenagem	ACRI
Comércio de Combustíveis Parazzi	Posto de combustível	Armazenagem	ACRI
WMS Supermercados do Brasil Ltda (Big Posto Araras)	Posto de combustível	Armazenagem	ACRI
Auto Posto Petroterra Ltda.	Posto de combustível	Armazenagem	ACI
Posto do Lago Ltda.	Posto de combustível	Armazenagem	ACI
H. V. Posto Santo Antônio Ltda.	Posto de combustível	Armazenagem	AME
Posto Tiger Araras Ltda.	Posto de combustível	Armazenagem	AME
Sulfabras S/A Indústria Química	Indústria	Armazenagem e descarte irregular de resíduos	AME
Auto Posto Sobradinho de Araras Ltda.	Posto de combustível	Armazenagem	AME
Auto Posto Trevo Ararense Ltda.	Posto de combustível	Armazenagem	AME
Posto Shopping Araras Ltda.	Posto de combustível	Armazenagem	AME
Sucesso Araras Auto Posto Ltda.	Posto de combustível	Armazenagem	AME
Archem Química Ltda.	Indústria	Acidentes	AR
Posto 7 Araras Ltda.	Posto de combustível	Armazenagem	AR
Posto R 10 Ltda. EPP	Posto de combustível	Armazenagem	AR
Concessionária de Rodovias do Interior Paulista S/A	Resíduo	Descarte irregular de resíduos	AR

*ACRI: Área Contaminada com Risco Confirmado; ACI: Área Contaminada sob Investigação; AME: Área Monitorada para Encerramento; ACRE: Área Contaminada em processo de Remediação; e AR: Área Reabilitada para o uso declarado.

Fonte: Adaptado de CETESB (2022).

A maioria dos pontos de contaminação (15) é decorrente de postos de combustíveis, devido a problemas de vazamento nos tanques de armazenagem. No entanto, também foram registrados 2 pontos de contaminação de origem industrial, decorrentes de acidente, armazenagem e descarte irregular de produtos químicos e 2 pontos decorrentes da disposição inadequada de resíduos.

Com relação à situação, os pontos de contaminação foram classificados em: Área Contaminada com Risco Confirmado - ACRI (5 postos de combustíveis + um local de disposição irregular de resíduos); Área Contaminada sob Investigação – ACI (2 postos de

combustíveis); Área Monitorada para Encerramento - AME (2 postos de combustíveis); Área Contaminada em processo de Remediação - ACRE (4 postos de combustíveis + uma atividade industrial); e Área Reabilitada para o uso declarado – AR (2 postos de combustíveis + uma atividade industrial + um ponto de descarte irregular de resíduos).

Cabe destacar que a área de disposição irregular de resíduos classificada como ACRI refere-se ao Antigo Lixão Municipal, que foi interditado em 2011 e até hoje o município não cumpriu com as condicionantes de encerramento da atividade. O local passou por processo de investigação detalhada para confirmação de contaminação e medidas foram estabelecidas para remediação das áreas contaminadas, no entanto, nada foi efetivamente realizado.

Dentre as áreas que apresentam algum grau de contaminação, somente o Antigo Lixão poderia ser considerado como local potencialmente adequado para instalação de um ASI, tendo em vista ser o único ponto não localizado na área urbana municipal, no entanto está localizado muito próximo do perímetro urbano, o que inviabiliza o reaproveitamento desta área para tal finalidade.

3.4 CRITÉRIOS PARA FORMAÇÃO DE ARRANJO PARA PARTICIPAÇÃO DE CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL COM O MUNICÍPIO DE ARARAS - SP

A identificação do arranjo de municípios para participação de Consórcio Intermunicipal para o Gerenciamento de Resíduos (CIGR) teve o objetivo de atingir ganho de escala e redução de custos. Para tal, foi realizada a leitura das peculiaridades municipais pela ponderação dos seguintes critérios restritivos: distância de Araras, relação entre a distância do local de disposição atual e o município de Araras, participação em outro CIGR, características do local de disposição e o volume de resíduos produzidos, conforme apresentado na Tabela 1.

Na ponderação dos critérios foi considerado que os municípios localizados com distância superior a 70 km, ou que já dispõem seus resíduos em locais mais próximos do que a distância do município de Araras, ou que já participam de um CIGR, ou que possuem aterro próprio com estimativa de vida útil superior a 10 anos, apresentariam custos mais elevados para o transporte de resíduos e não seria vantajoso economicamente participar de um consórcio para disposição de rejeitos no município de Araras.

Tabela 1 - Ponderação de critérios para formação de arranjo intermunicipal para gerenciamento de RSU.

CRITÉRIOS	CATEGORIAS	FATOR DE PONDERAÇÃO
Distância de Araras (km)	≤ 70 km	1
	> 70 km	0
Relação entre a distância do local de disposição atual e o município de Araras – SP	Mais próximo de Araras ou possui aterro próprio com vida útil inferior a 10 anos	1
	Mais próximo do local de disposição atual	0
Participação de outro consórcio com a mesma finalidade	Não	1
	Sim	0
Local de disposição	Aterro próprio com vida útil inferior a 10 anos ou disposição em aterro particular	1
	Aterro próprio com vida útil superior a 10 anos	0
Volume de resíduos (t/dia)	$\leq 120,0$	1
	$> 120,0$	0

Fonte: Autor (2023).

O critério “volume de resíduos” foi ponderado em duas categorias: $\leq 120,0$ t/dia e $> 120,0$ t/dia, que receberam pontuação de 1 e 0, respectivamente. Este valor foi definido com referência ao volume diário de RSU gerados no município de Araras – SP. Foi considerado que quanto menor fosse o volume de resíduos/rejeitos destinados ao ASI, maior seria o tempo de vida útil do empreendimento e que para os municípios que geram volume de resíduos superior ao volume de resíduos produzidos em Araras, não seria vantajosa a logística de transporte.

Cabe destacar que, inicialmente, foi considerada a manifestação de interesse dos representantes dos municípios estudados como um critério de classificação. No entanto, este critério foi desconsiderado devido à dificuldade de comunicação efetiva e a rotatividade de pessoal dos quadros públicos municipais, que dificultava a continuidade das tratativas.

Sendo assim, após o cálculo do produto dos fatores de ponderação de cada critério, os municípios da região de Araras (com distância de até 70 km) foram categorizados em classes de prioridade: baixa (pontuação = zero: não atende a pelo menos um dos critérios restritivos) e alta (pontuação = 1: atende a todos os critérios restritivos).

3.5 CARACTERIZAÇÕES TERRITORIAL, DEMOGRÁFICA, SOCIOECONÔMICA E AMBIENTAL DO ARRANJO

A partir do conhecimento das características macrorregionais é possível determinar condições específicas de projeto, como estimativas da projeção populacional e da produção de

resíduos/rejeitos para dimensionamento da área mínima necessária para implantação do aterro sanitário e demais instalações de saneamento. Para caracterização demográfica do arranjo intermunicipal foi considerado o número de habitantes para o ano de 2022 de acordo com os dados do censo do IBGE (2022) e a área territorial de cada município. A densidade demográfica foi calculada pelo quociente entre estes parâmetros, na ordem em que foram citados.

Para análise territorial foram considerados três recortes regionais: Regiões Administrativas (RA) e Regiões Metropolitanas (RM) do Estado de São Paulo e Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI). Esta abordagem teve o intuito de levantar peculiaridades dos municípios para avaliar a adequabilidade da composição do arranjo.

O levantamento de parâmetros socioeconômicos abordou os seguintes indicadores: Produto Interno Bruto (PIB), Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), índices de riqueza, longevidade, educação, Índice Paulista de Responsabilidade Social (IPRS) e grau de urbanização.

Para análise da qualidade ambiental dos municípios do arranjo foram abordados os seguintes indicadores: Índice de Atendimento de Água (IAA), Indicador de Coleta e Tratabilidade de Esgoto da População Urbana de Município (ICTEM), Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR), Índice de Qualidade de Transbordo (IQT), Índice de Gestão de Resíduos Sólidos (IGR), percentual de vegetação nativa, quantidade de Autos de Infração Ambiental (AIA), tamanho da área objeto de AIA e Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação (ICMS).

3.6 DIMENSIONAMENTO DA ÁREA MÍNIMA PARA AS INSTALAÇÕES DE SANEAMENTO

Para dimensionamento da área mínima para a instalação do aterro sanitário foram consideradas as projeções de crescimento populacional e da geração de RSU de cada município do arranjo, a definição de cenários de reaproveitamento e tratamento dos RSU e a área destinada às demais infraestruturas do empreendimento durante o horizonte de projeto (30 anos), conforme apresentado nos subitens a seguir.

3.6.1 Projeção populacional do arranjo

O crescimento demográfico implica diretamente na produção de resíduos. A projeção da população de cada município do arranjo foi estimada a partir de dados dos censos do IBGE referente aos anos de 2000, 2010 e 2022 (Quadro 9).

Quadro 9 - Dados populacionais utilizados para projeção demográfica de cada município do arranjo.

Município	População (hab.) dos últimos censos do IBGE		
	2000	2010	2022
Analândia	3.579	4.293	4.589
Araras	104.205	118.843	130.866
Charqueada	13.001	15.085	15.535
Cordeirópolis	17.586	21.080	24.515
Corumbataí	3.796	3.874	4.195
Ipeúna	4.318	6.016	6.831
Mogi Mirim	81.372	86.505	92.559
Pirassununga	64.853	70.081	73.545
Porto Ferreira	47.278	51.400	52.649
Santa Cruz da Conceição	3.524	4.002	4.277
Santa Gertrudes	15.898	21.634	23.611

Fonte: IBGE (2000 - https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/308/cd_2000_v7.pdf; 2010-<https://censo2010.ibge.gov.br/>; e 2022 - <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/araras/panorama>).

Para projeção dos dados populacionais foram empregados os seguintes modelos matemáticos: aritmético, geométrico, taxa decrescente de crescimento e crescimento logístico. As fórmulas de cada método são apresentadas no Quadro 10.

A aplicação de diferentes métodos no cálculo da projeção populacional de cada município do arranjo permite comparar as projeções obtidas e analisar a consistência dos resultados. Quando várias abordagens convergem para estimativas semelhantes, a confiança nas projeções é aumentada. Desta forma, é possível identificar padrões populacionais distintos e destacar os métodos mais adequados para estimar características específicas da população de cada município, tais como: taxas de crescimento histórico, influência de fatores socioeconômicos e entre outros.

A seleção do modelo mais adequado para a realização da projeção populacional dos municípios foi baseada nas informações disponíveis e nas tendências de crescimento demográfico identificadas em cada município. Em seguida, os dados projetados para cada município foram somados e resultaram na estimativa da população total do arranjo.

Quadro 10 - Fórmulas matemáticas dos métodos empregados para projeção demográfica do arranjo de municípios.

MÉTODO	DESCRIÇÃO	TAXA DE CRESCIMENTO	FÓRMULA DA PROJEÇÃO	COEFICIENTES
Projeção aritmética	Considera que o crescimento populacional ocorre de forma constante ao longo do tempo.	$\frac{dP}{dt} = K_a$	$P_t = P_0 + K_a \cdot (t - t_0)$	$K_a = \frac{P_2 - P_0}{t_2 - t_0}$
Projeção geométrica	Considera o crescimento populacional com base na população existente a cada instante. É aplicado para projeções de curto prazo.	$\frac{dP}{dt} = K_g \cdot P$	$P_t = P_0 \cdot e^{K_g \cdot (t - t_0)}$ ou $P_t = P_0 \cdot (1 + i)^{(t - t_0)}$	$K_g = \frac{\ln P_2 - \ln P_0}{t_2 - t_0}$ ou $i = e^{K_g} - 1$
Taxa de crescimento decrescente	Considera que a taxa de crescimento populacional diminui ao longo do tempo, até atingir um valor de saturação. Condições necessárias: $P_0 < P_1 < P_2$ e $P_0 \cdot P_2 < P_1^2$.	$\frac{dP}{dt} = K_d \cdot (P_s - P)$	$P_t = P_0 + (P_s - P_0) \cdot [1 - e^{-K_d \cdot (t - t_0)}]$	$P_s = \frac{2 \cdot P_0 \cdot P_1 \cdot P_2 - P_1^2 \cdot (P_0 + P_2)}{P_0 \cdot P_2 - P_1^2}$ $K_d = \frac{-\ln [(P_s - P_2) / (P_s - P_0)]}{t_2 - t_0}$
Crescimento logístico	Considera que o crescimento populacional atinge um valor de saturação ao longo do tempo. Condições necessárias: $P_0 < P_1 < P_2$ e $P_0 \cdot P_2 < P_1^2$.	$\frac{dP}{dt} = K_l \cdot P \cdot \left(\frac{P_s - P}{P_s}\right)$	$P_t = \frac{P_s}{1 + c \cdot e^{K_l \cdot (t - t_0)}}$	$P_s = \frac{2 \cdot P_0 \cdot P_1 \cdot P_2 - P_1^2 \cdot (P_0 + P_2)}{P_0 \cdot P_2 - P_1^2}$ $c = \frac{P_s - P_0}{P_0}$ $K_l = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \ln \left[\frac{P_0 \cdot (P_s - P_1)}{P_1 \cdot (P_s - P_0)} \right]$

* $\frac{dP}{dt}$: taxa de crescimento da população em função do tempo; P_0, P_1, P_2 : populações nos anos t_0, t_1, t_2 (hab); P_t : população estimada no ano t (hab.); P_s : população de saturação (hab.); K_a, K_g, K_d, K_l, i, c : coeficientes de cada método.

Fonte: Adaptado de Qasim (2017).

Cabe destacar que o desenvolvimento deste item teve o intuito de fornecer parâmetros básicos para o dimensionamento da área mínima para localização do aterro sanitário e não esgotar o estudo sobre os métodos de projeção populacional e suas particularidades.

3.6.2 Projeção da produção de resíduos do arranjo

A projeção da produção de resíduos no contexto do arranjo envolveu uma análise minuciosa das tendências históricas de geração de RSU em cada município participante. Foram utilizados dados de órgãos governamentais e variáveis, tais como: o crescimento populacional, mudanças nos padrões de consumo e políticas de gestão de resíduos. Desta forma, foram elaborados cenários para estimar a quantidade de resíduos que seriam gerados ao longo do período analisado e que de fato seriam encaminhados para o aterro sanitário.

3.6.2.1 Definição de cenários da produção de resíduos

A PNRS estabelece ordens de prioridade para o gerenciamento adequado dos RSU e a destinação final em aterro sanitário é direcionada somente aos rejeitos. No entanto, a maioria dos municípios brasileiros ainda não atingiu um nível de satisfação adequada e um percentual elevado de RSU é aterrado. Entretanto, há grande probabilidade de que com a instalação de um aterro sanitário e alocação de outras estruturas de saneamento seja aumentada a parcela de resíduos a serem encaminhados para o tratamento adequado.

Também é esperado que no âmbito do arranjo sejam desenvolvidos programas e ações de sensibilização acerca desta temática, para que a quantidade de resíduos gerada possa ser reduzida, que os sistemas de coleta seletiva tenham maior efetividade e que alternativas de tratamento biológico, físico e mecânico possam ser empregadas.

Ademais, a PNRS prevê a proposição de cenários de referência, com indicação das tendências de crescimento demográfico, da economia e da geração de resíduos. Sendo assim, com base neste último aspecto foram elaborados quatro cenários para dimensionamento da área mínima necessária para implantação do aterro sanitário, considerando a redução gradativa do aterramento de RSU, sendo eles: Cenário Base (0% - sem redução do volume de RSU a ser encaminhado ao aterro sanitário), Cenário Pessimista (redução de apenas 20%), Cenário

Provável (redução de 50%); Cenário Otimista (redução de 70%). Então, a projeção da geração de resíduos foi calculada para cada cenário com desconto das respectivas porcentagens de resíduos recuperados a cada ano.

3.6.2.2 Cálculo da projeção da produção de resíduos

Para estimar a produção de RSU ao longo do horizonte de projeto (de 2025 a 2055), foi conduzida uma análise de correlação linear entre o tempo (em ano) e o índice de geração per capita de cada município do arranjo. Esse índice foi calculado pelo quociente entre dados da projeção populacional e da produção de RSU de cada município, considerando o período de 2012 a 2020, conforme dados dos relatórios da CETESB. A partir da análise de regressão linear, foi determinada a equação que representa a relação entre os conjuntos de dados. Após a avaliação do coeficiente de determinação (R^2), essa equação, específica para cada município, foi aplicada para prever o aumento do índice de geração per capita de RSU ao longo do tempo.

Posteriormente, foi realizado o cálculo do índice médio de geração per capita de RSU para o arranjo ao longo do horizonte de projeto, conforme Eq. 9:

$$IGPC_M = \frac{P_1 \times IGPC_1 + P_2 \times IGPC_2 + P_n \times IGPC_n}{P_1 + P_2 + P_n} \quad (9)$$

Na qual: $IGPC_M$ – índice médio de geração per capita de RSU; P - população do município de acordo com sua ordem: 1, 2 ... n; e $IGPC$ - índice de geração per capita de cada município, de acordo com a sua ordem: 1, 2 ... n.

Na sequência, foi calculada a média dos índices ponderados de cada ano para obtenção do índice médio de geração per capita de RSU do arranjo ao longo do período analisado.

A massa total de RSU/rejeitos gerada pelo arranjo de municípios durante o período de vida útil do ASI foi estimada a partir da Eq. 10.

$$M_{RSU} = \frac{Pi \times CGPC \times 365}{1000} \quad (10)$$

Na qual: M_{RSU} - massa bruta de RSU/rejeitos de determinado município a ser destinada ao aterro sanitário (t/ano); P_i - população de determinado município estimada no ano i (hab.); $CGPC$ - Coeficiente de Geração Per Capita de RSU de determinado município, com base em dados da CETESB (2022) (kg/hab./ano); 365 – número de dias de um ano; 1000 – fator de conversão de 1000 quilogramas para uma tonelada.

A partir da estimativa da massa de resíduos, foi calculado o volume de rejeitos a ser destinado ao aterro sanitário, com base no peso específico da massa de resíduos após a compactação e com acréscimo do volume de recobrimento da célula do aterro sanitário. O cálculo do volume de resíduos destinados ao aterro sanitário foi realizado a partir da Eq. 11.

$$V_{RSU} = \frac{M_{RSU}}{D_{RSU}} * (1 + V_{RC}) \quad (11)$$

Na qual: V_{RSU} – volume de RSU/rejeitos destinado ao aterro sanitário (m³); M_{RSU} - massa bruta de RSU/rejeitos a ser destinada ao aterro sanitário (t/ano); D_{RSU} – peso específico da massa de RSU/rejeitos após a compactação, segundo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT; CEMPRE, 2018) (0,75 t/m³); V_{RC} - volume de recobrimento da célula, segundo IPT e CEMPRE (2018) (20% do volume de rejeitos confinados).

3.6.3 Cálculo da área do aterro

Para determinar a área mínima necessária para a instalação do ASI foi considerado que o empreendimento terá vida útil de 30 anos e o empilhamento de resíduos terá projeção de taludes com altura máxima de 30 metros. Ainda, foi considerado o acréscimo de 50% da área para acomodação das demais estruturas de gerenciamento de resíduos, segundo estimativa de Ni-bin *et al.* (2008).

O cálculo da área mínima foi realizado a partir da Eq. 12.

$$A_T = \left(\frac{V_{RSU}}{h} \right) * (1 + A_I) \quad (12)$$

Na qual: A_T - área total do aterro (m^2); V_{RSU} - volume de RSU/rejeitos a ser destinado ao aterro sanitário (m^3); h = altura do aterro sanitário (m); A_I - área de infraestrutura (50%).

3.7 ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA LOCALIZAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO INTERMUNICIPAL

O processo de seleção de áreas potencialmente favoráveis para localização de um ASI é complexo em vista da quantidade de critérios a serem considerados. Nesta tese, a escolha prévia do município de Araras como local que, tecnicamente, implantará este empreendimento, simplificou os estudos, pois não foi necessário realizar o detalhamento dos aspectos territoriais e socioambientais de todos os municípios do arranjo. No entanto, cabe ressaltar que, mesmo que a análise de multicritérios tenha focado em nível local, esta tese não teve o objetivo de validar as informações em campo.

Os critérios considerados para seleção de áreas para localização do ASI em Araras, bem como a ponderação destes e o detalhamento das áreas consideradas favoráveis à implantação do ASI são apresentados nos subitens, a seguir.

3.7.1 Definição de classes de critérios para localização do aterro sanitário intermunicipal

Para seleção de áreas favoráveis à localização do ASI foram considerados critérios restritivos, de classificação e fatores adicionais. A definição dos critérios foi preconizada com intuito de minimizar os impactos adversos ao meio ambiente e à saúde pública, associados ao empreendimento.

Os critérios restritivos referem-se aos indicadores que possuem restrição técnico-legal para implantação de ASI, enquanto os demais foram definidos como subclasses de critérios restritivos e/ou critérios adicionais, com o objetivo de estabelecer uma hierarquia de potencialidade das áreas municipais.

Os critérios foram definidos e agrupados sob as óticas: ambiental (topografia, hidrogeologia, recursos hídricos, geologia, pedologia e vegetação); econômica (condições de acesso e disponibilidade de material de cobertura); e social (uso e ocupação do solo, locais de

captação de água para abastecimento, zona urbana, núcleos populacionais rurais, patrimônio histórico-cultural e distância de aeródromo).

3.7.2 Ponderação de critérios para localização do aterro sanitário intermunicipal

A avaliação de áreas para localização de aterro sanitário foi realizada em três níveis de aproximações: ponderação de critérios restritivos; categorização de aptidão com base em aspectos ambientais, econômicos e sociais (definição de cenários); e ponderação de fatores adicionais. O procedimento metodológico é apresentado nos subitens a seguir.

3.7.2.1 Primeira aproximação: ponderação de critérios restritivos

A ponderação de critérios restritivos corresponde à primeira aproximação para seleção de áreas aptas para implantação do aterro sanitário consorciado. Para ponderação, foram atribuídos valores de 1 ou 0, que correspondem a áreas aptas ou inaptas, respectivamente (Tabela 2). Esta ponderação corresponde à lógica booleana (lógica binária), que permite a execução da análise espacial com agilidade e minimiza a subjetividade na escolha de áreas para localização de aterro sanitário, com descarte dos locais que apresentam alguma vulnerabilidade ambiental (Miranda *et al.*, 2019).

Os atributos foram distribuídos em classes, de acordo com as especificações da ABNT NBR 13.896/1997 ou com base em consultas na literatura técnica e no julgamento do autor.

O município de Araras possui um aeródromo/aeroclube de pequeno porte, que raramente recebe voos. Para este subcritério, a Resolução CONAMA nº 4, de 9 de outubro de 1995, que estabelece as Áreas de Segurança Aeroportuária (ASA), determina a distância mínima de 13 km de raio para segurança de aeródromos, tendo em vista que o local de disposição de rejeitos é foco de atração de aves (CONAMA, 1995). Já a Lei n.º 12.725, de 16 de outubro de 2012, que dispõe sobre o controle da fauna nas imediações de aeródromos, determina um raio de 20 km. Se consideradas estas restrições, mais de 90% da área municipal seria considerada inviável para a implantação de um ASI.

Neste sentido, Motlagh e Sayadi (2015) recomendam a adoção de raio de 3 km, enquanto Effat e Hegazy (2012), PIGIRS (2020) e Majid e Mir (2021) sugerem a adoção de distância

mínima de raio de 5 km. Sendo assim, com o intuito de minimizar os riscos de acidentes foi delimitado uma zona de influência de 8 km de raio a partir do centro do aeródromo, que segue a recomendação de Pasalari *et al.* (2019).

Tabela 2 - Ponderação de critérios restritivos para pré-seleção das áreas municipais quanto ao potencial de implantação do aterro sanitário.

CRITÉRIOS RESTRITIVOS	ATRIBUTOS	ÍNDICE	REFERÊNCIAS
AMBIENTAIS			
Hidrogeologia	Profundidade do nível freático: > 3,0 m	1	ABNT NBR 13.896 (1997)
	Profundidade do nível freático: ≤ 3,0 m	0	
Recursos hídricos	Distância ≥ 200 m	1	
	Distância < 200 m	0	
Geologia	Depósitos Colúvio-Eluvionares e Aluvionares	0	Perroni (2021)
	Demais unidades geológicas	1	
Pedologia	Solos argilosos (Latossolos e Argissolos)	1	Autor (2023)
	Solos orgânicos (Organossolos)	0	
Vegetação	Não há APP e/ou fragmento florestal no local	1	
	Há APP e/ou fragmento florestal no local	0	
ECONÔMICOS			
Acesso	Distância > 200 m de rodovias	1	ABNT NBR 13.896 (1997)
	Distância ≤ 200 m de rodovias	0	
Área de empréstimo de material de cobertura	Disponível no local (Latossolos e Argissolos)	1	Autor (2023)
	Não disponível no local (Organossolos)	0	
SOCIAIS			
Núcleos populacionais (urbanos e rurais: assentamentos, chácaras e lotes de parcelamento do solo)	Distância ≥ 500 m	1	Adaptado da ABNT NBR 13.896 (1997)
	Distância < 500 m	0	
Patrimônio histórico-cultural	Distância ≥ 1.000 m	1	Kahraman <i>et al.</i> (2018) e Kamdar <i>et al.</i> (2019)
	Distância < 1.000 m	0	
Macrozoneamento	Distância de até 500 m da Zona de Expansão Urbana	0	Autor (2023)
	Demais áreas	1	
Aeroporto/Aeródromo	Distância ≥ 8.000 m	1	Pasalari et al., (2019)
	Distância < 8.000 m	0	

Em observação à Norma ABNT NBR 13.896/1997, a declividade não foi considerada como critério restritivo, porque o município de Araras não possui áreas com declividade superior a 30%.

A observação da direção dos ventos predominantes é crucial para mitigar os efeitos adversos nas comunidades circundantes. Este fator influencia diretamente na dispersão de odores e poluentes do aterro, que pode afetar a qualidade de vida, saúde e aceitação pública do empreendimento. Este critério também não foi contemplado neste estudo, devido à significativa variação na direção média horária predominante do vento no município de Araras ao longo do ano, com as seguintes direções predominantes identificadas: Norte, Leste e Sul (Weather Spark, 2023). Dessa maneira, torna-se desafiador avaliar este critério para determinar a localização adequada de um aterro sanitário.

As áreas que atenderam aos critérios restritivos foram localizadas pela utilização de técnicas de inferência geográfica em ambiente SIG, pela delimitação de *buffers* de restrição e sobreposição de mapas.

3.7.2.2 Segunda aproximação: ponderação de critérios de classificação

A ponderação de critérios de classificação consistiu na segunda aproximação para pré-seleção de áreas para implantação de um aterro sanitário, quando foram definidos os níveis de aptidão das áreas classificadas como aptas.

Os critérios de classificação também foram agrupados segundo os aspectos: ambientais, econômicos e sociais. Os atributos foram ponderados pela aplicação da lógica de Fuzzy, com pontuação escalonada de 0 a 1 (Quadro 11), conforme o grau de adequação de cada critério (Perroni, 2021).

Quadro 11 - Atribuição de notas de acordo com o nível de aptidão, pela aplicação da lógica de Fuzzy.

COR	NOTAS	NÍVEL DE APTIDÃO
	0,0	Péssimo
	0,2	Ruim
	0,4	Regular
	0,6	Bom
	0,8	Muito Bom
	1,0	Ótimo

Fonte: Adaptado de Perroni (2021).

Embora muitos critérios afetem o processo de seleção de áreas para localização de um aterro sanitário, a seleção e avaliação dos fatores foram realizadas com base na literatura técnica, disponibilidade de dados e relevância atribuída pelo autor.

Nesta fase, os atributos foram ponderados pela aplicação da técnica FAHP e os pesos dos critérios foram determinados pela técnica AHP. Os mapas foram elaborados por meio da delimitação de *buffers*, reclassificação e álgebra de mapas (calculadora *raster*) de acordo com os pesos pré-definidos pela aplicação de Matriz de Comparação Pareada (MCP).

3.7.2.1.1 Ponderação de fatores ambientais

Os fatores ambientais (geologia, pedologia, nível freático, declividade, distância de recursos hídricos, de APP e de fragmentos florestais) foram considerados com o intuito de garantir a proteção e manutenção dos recursos naturais locais (Tabela 3).

As unidades geológicas locais foram ponderadas com base nas características de permeabilidade do material gênese e na resistência mecânica das rochas, conforme Kamdar (2019). Desta forma, as unidades que apresentam baixa permeabilidade e/ou baixa resistência mecânica receberam maior pontuação (formações Serra Geral e Corumbataí). Por outro lado, as formações que apresentam maior permeabilidade (Depósitos Colúvio-Eluvionares e Aluvionares) receberam valor igual a zero. As demais unidades receberam valor de ponderação escalonada de 0,2 a 0,8 de acordo com as características litológicas.

A identificação da litologia e da estratificação do substrato são essenciais para prever o movimento do lixiviado, em caso de vazamento. Portanto, locais com litologia homogênea são mais fáceis de prever o comportamento dos contaminantes no subsolo, sendo que, rochas argilosas e consolidadas possuem maior adequabilidade para instalação de um aterro sanitário, enquanto material não consolidado (cascalho e arenito ou calcário) ou rochas fraturadas ou fissuradas são menos adequadas (Djokanović *et al.*, 2016).

A pedologia foi categorizada em função da textura estrutural dos solos. É desejável que o solo apresente alta capacidade de impermeabilização, a fim de limitar o movimento de poluentes e garantir a proteção das águas subterrâneas (Oliveira *et al.*, 2021). Em geral, aos solos com baixa permeabilidade (argilosos e siltosos) são atribuídos índices mais elevados e solos com alta permeabilidade (arenosos) recebem valores mais baixos (Bahrani *et al.*, 2016).

Tabela 3 - Ponderação de atributos ambientais para localização de aterro sanitário intermunicipal.

CRITÉRIOS	SUBCRITÉRIOS	NOTAS					
		0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Geologia	Unidades geológicas	Depósitos Colúvio-Eluvionares e Aluvionares	Piramboia	Formações Itararé e Aquidauana	Formação Tatuí	Formação Irati	Formações Corumbataí e Serra Geral
Pedologia	Classes de fragilidade do solo (textura)	Organossolos + massas d'água + zona urbana	-	-		-	Argissolos e Latossolos
Hidrogeologia	Profundidade do nível freático (m)	$\leq 3,0$	3,1 – 6,0	6,1 – 10,0	10,1 – 30,0	30,1 – 50,0	> 50,1
Topografia	Declividade (%)	> 30 (montanhoso a escarpado)	-	20,1 – 30,0 (forte ondulado)	8,1 – 20,0 (ondulado)	0,0 – 3,0 (plano)	3,1 – 8,0 (suave ondulado)
Hidrografia	Distância de corpos d'água (m)	≤ 200	201 – 300	301 – 400	401 – 500	501 – 600	> 600
Vegetação	Distância de APP e fragmentos florestais (m)	≤ 50	51 – 100	101 – 200	201 – 300	301 – 400	> 400

Fonte: Autor (2023).

De acordo com Souza e Lobato (2021), os Latossolos apresentam teor de argila de até 80%. Sendo assim, aos solos com textura predominantemente argilosa (Argissolos e Latossolos) foi atribuído índice de 1,0, que corresponde a solos com fragilidade muito baixa, enquanto para solos constituídos preferencialmente por material orgânico (Organossolos) foi atribuído valor de 0,0 (vulnerabilidade muito alta).

A hidrogeologia municipal foi ponderada em função da profundidade e não do tipo de aquíferos, uma vez que as unidades aquíferas da região (Aquicludo Passa Dois, Aquíferos Tubarão e Guarani), que apresentam maior vulnerabilidade à contaminação, encontram-se localizados a grandes profundidades e dificultam a entrada e o transporte de contaminantes até os reservatórios subterrâneos. Assim, pontos onde o nível freático atinge até 3 metros de profundidade receberam nota igual a zero e as pontuações foram aumentadas com base na distância a partir desses locais. Portanto, o mapa do nível estático das águas subterrâneas do município de Araras - SP (Figura 11) não foi empregado; em vez disso, foram utilizadas as zonas de influência dos poços, com um limite de até 500 m.

A topografia (declividade) determina as características do escoamento superficial, tais como a velocidade e direção de fluxo, taxa de infiltração e percolação, umidade do solo e potencial de erosão. Este critério foi ponderado de acordo com as classes de relevo presentes no município. Para tal, foi considerado que terrenos planos (0,0 – 3,0%) facilitam a movimentação de material de cobertura, rejeitos e de máquinas e equipamentos, mas favorecem o acúmulo de água (que promove o aumento da taxa de infiltração de água e produção de lixiviado) e eleva os custos de operação do empreendimento (Nas *et al.*, 2016; Kahraman *et al.*, 2018). Por outro lado, terrenos com declividade superior a 20% (forte ondulados) são mais susceptíveis à erosão (Moreira *et al.*, 2008), facilitam o transporte de substâncias contaminantes e aumentam o risco de contaminação (Ebistu; Minale, 2013) e de deslizamentos (Chabuk *et al.*, 2016), além de apresentar maior custo de escavação (Nas *et al.*, 2016). Sendo assim, as maiores notas foram atribuídas aos locais com classe de relevo suave ondulado (3,1 – 8,0% de declividade).

A gradação da distância de cursos d'água considerou a influência do empreendimento na qualidade dos recursos naturais, a fim de minimizar o potencial de contaminação (Dolui; Sarkar, 2021). Sendo assim, os locais mais afastados receberam maior índice de ponderação. Esta abordagem também foi aplicada às APP e aos fragmentos florestais. Cabe destacar que as

áreas vegetadas funcionam como barreira para proteção de impactos ambientais gerados pela emissão de ruídos e poeiras. Neste sentido, é recomendado a implantação de cortinas vegetais para minimizar tais efeitos adversos decorrentes do empreendimento.

3.7.2.1.2 Ponderação de fatores econômicos

Neste nível de avaliação foram considerados os seguintes fatores econômicos: distância de rodovias, de estradas e de local com disponibilidade de material de cobertura (Tabela 4). Tais critérios apresentam forte relação com os custos de logística e operação do aterro sanitário.

O parâmetro “distância de rodovias” foi analisado em função dos custos de transporte e com vista a minimizar os impactos ambientais negativos (ruídos, dispersão de poeiras e odores). Desta forma, o aterro sanitário não deve ser localizado muito distante da rede rodoviária existente para evitar o alto custo da construção de novas vias e nem muito próximo, para minimizar impactos visuais adversos (Majid; Mir, 2021). Para definição do nível de aptidão quanto à distância de rodovias foi respeitada a distância mínima de 200 m, estabelecida pela ABNT (1997).

Para o subcritério “distância de estradas” foram priorizados os locais mais próximos, pois mesmo que não apresentem bom estado de conservação, os custos de manutenção seriam menores, além de que distâncias maiores elevam os gastos com o transporte de resíduos (Alkhuzaie; Janna, 2018; Oliveira *et al.*, 2021).

A pedologia municipal também foi ponderada como fator econômico, pois o processo de instalação e operação de um aterro sanitário utiliza grande volume de solo de baixa permeabilidade. Desta forma, as classes de solos predominantemente argilosas (Argissolos e Latossolos) foram consideradas como locais de disponibilidade de material de cobertura adequada para implantação de aterro sanitário e receberam pontuação igual a 1,0.

Tabela 4 - Ponderação de atributos econômicos para localização de aterro sanitário intermunicipal.

CRITÉRIOS	SUBCRITÉRIOS	NOTAS					
		0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Acesso	Distância de rodovias (m)	≤ 200 ou > 10.000	5.001 – 10.000	3.001 – 5.000	2.001 - 3.000	1.001 – 2.000	201 – 1.000
	Distância de estradas (m)	> 2.000	1.500 – 2.000	1.001 – 1.500	501 - 1000	201 - 500	< 200
Material de cobertura	Distância do local com disponibilidade de empréstimo de material de cobertura	Não disponível no local	-	-	-	-	Disponível no local

Fonte: Autor (2023).

3.7.2.1.3 Ponderação de fatores sociais

A avaliação dos aspectos sociais considerou os seguintes critérios: uso e ocupação do solo, distância de locais de captação de água para abastecimento, de zona urbana, de núcleos populacionais rurais, de bens tombados e de aeródromo (Tabela 5).

Para ponderação do uso e ocupação do solo municipal foram consideradas as classes de cobertura da terra, sendo que as áreas construídas e as áreas “úmidas” receberam menor pontuação, seguida por áreas com cobertura arbórea e herbácea arbustiva. As áreas de solo exposto ou com precedentes de degradação ambiental, receberam fatores mais elevados, com o intuito de minimizar o potencial de geração de impactos ambientais negativos em novas áreas.

Para avaliação da distância de fontes de captação de água para abastecimento foram considerados os sistemas já existentes com o intuito de minimizar potenciais impactos adversos. Neste quesito foi dada prioridade ao sistema de abastecimento público, pela relevância desta modalidade de abastecimento de água no município e para garantir a distribuição de água tratada em qualidade e quantidade adequada. Deste modo, para as fontes superficiais de captação de água foi estabelecido 1.000 m como zona de tampão e os locais mais afastados receberam índices mais elevados.

Na ponderação da “distância da zona urbana” foi considerado que quanto mais afastada do aterro sanitário, mais fácil seria a aceitação pública. Para tal, foi estabelecido 5.000 m como distância mínima. A adoção de distância superior a mínima estabelecida pela legislação também visa minimizar conflitos de ordenamento do território ao longo do tempo de operação do aterro sanitário e minimizar problemas de saúde pública relacionados à poluição do ar, visual e sonora (Majid; Mir, 2021).

A zona tampão de áreas residenciais considerou a localização de núcleos populacionais urbanos e rurais (chácaras, assentamentos e áreas de parcelamento do solo), que foram ponderados além da distância de restrição estabelecida pela ABNT (1997) (500 m). Desta forma, quanto mais longe do aterro sanitário, menores seriam os efeitos nocivos à saúde pública e por isto, maior foi o índice atribuído. Esta pontuação se deve ao fato de que a distância minimiza a oposição social, a desvalorização das propriedades e problemas com odores e vetores (Sharifi; Retsios, 2004; Azevedo; Barbosa, 2021).

Tabela 5 - Ponderação de atributos sociais para localização de aterro sanitário intermunicipal.

CRITÉRIOS	SUBCRITÉRIOS	NOTAS					
		0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Uso e ocupação do solo	Cobertura do solo	Área construída ou áreas úmidas	Cobertura arbórea	Cobertura herbácea arbustiva	-	-	Solo exposto
Distância de locais de captação de água para abastecimento	Fontes superficiais (m)	< 1.000	1.000 – 2.000	2.001 – 3.000	3.001 – 4.000	4.001 – 5.000	> 5.000
Distância de zona urbana	(m)	≤ 5000 ou > 15.000	12.001 -15.000	10.001 – 12.000	-	8.001 - 10.000	5.001 – 8.000
Distância de núcleos populacionais rurais (chácaras e assentamentos)	(m)	≤ 2.000	2.001- 3.000	3.001 – 4.000	4.001 – 5.000	5.001 – 6.000	> 6.000
Patrimônio histórico-cultural	Distância de bens tombados (m)	< 1.000	1.001 – 2.000	2.001 – 3.000	3.001 – 4.000	4.001 – 5.000	> 5.000
Distância do aeródromo	(m)	< 8.000	8.000 – 9.000	9.001 – 10.000	10.001 – 11.000	11.001 – 13.000	> 13.000

Fonte: Autor (2023).

Em relação à distância de bens tombados (patrimônio histórico-cultural) foi considerado como distância mínima o valor de 1.000 m (Chabuk *et al.*, 2016; Kahraman *et al.*, 2018), pois quanto mais próximo, maior seria a influência negativa do aterro sanitário. Por isso, os locais mais afastados receberam notas mais elevadas.

Apesar de vários estudos definirem o raio de 3 ou 5 km de distância entre o aeródromo e o aterro sanitário, foi adotado o valor de 8 km de distância mínima como restrição e à medida que se distancia, foram atribuídas notas crescentes. Esta abordagem visa minimizar risco de acidentes (colisão entre aeronaves e pássaros) (Majid; Mir, 2021).

3.7.2.1.4 Definição de cenários para localização de aterro sanitário intermunicipal

Para definição de cenários foi definido o grau de contribuição de cada aspecto (ambiental, econômico e social) para o objetivo final (localização de ASI), com definição das seguintes proporções:

- **Cenário 1:** 100% ambiental;
- **Cenário 2:** 100% econômico;
- **Cenário 3:** 100% social;
- **Cenário 4:** 33,3% ambiental + 33,3% econômico + 33,3% social.

Os mapas foram elaborados com uso de álgebra de mapas em ambiente SIG. A partir da elaboração de cenários, as áreas foram reclassificadas de acordo com o nível de aptidão. A reclassificação teve o intuito de determinar diferentes vulnerabilidades ambientais e potencialidades para definição fundamentada de alternativas favoráveis a implantação de um ASI.

3.7.3 Terceira aproximação: refinamento das áreas pré-selecionadas pela avaliação de fatores adicionais

A terceira aproximação consistiu na avaliação de fatores adicionais com o intuito de levantar particularidades não avaliadas nos níveis anteriores e destacar as áreas mais adequadas à localização do aterro sanitário. Nesta etapa foram considerados os seguintes critérios:

horizonte de projeto, infraestrutura, características do terreno, posicionamento geográfico e uso e ocupação do solo (Tabela 6). As pontuações de cada subcritério foram atribuídas pelo autor com base em sua experiência técnica, de modo a refletir a relevância de cada aspecto na avaliação das áreas pré-selecionadas.

Tabela 6 – Avaliação de fatores adicionais para refinamento das áreas pré-selecionadas para localização de aterro sanitário intermunicipal.

CRITÉRIOS	SUBCRITÉRIOS	PONTUAÇÃO
Horizonte de projeto	Tamanho da área superior a um terço da demanda do consórcio – possibilidade de ampliação	30
Infraestrutura	Distância de até 1 km de pontos de distribuição de água tratada	10
	Distância de até 1 km de linhas de transmissão de energia elétrica	10
	Distância de até 2 km de rodovias	50
	Possibilidade de construção em fases	30
Terreno	Propriedade pública	50
	Não necessita de obras complexas de nivelamento	20
Posicionamento geográfico	Local visível somente a uma distância superior a 500 m	30
Uso e ocupação do solo	Distância de no mínimo 100 m de áreas agrícolas	10
	Distância de no mínimo 600 m de residências isoladas	40
	O acesso à área não atravessa áreas de APP	20
TOTAL		300

Fonte: Autor (2023).

Em relação ao critério “horizonte de projeto”, que é definido em vista do espaço disponível para implantação e operação do aterro sanitário, foi considerado que quanto maior for o tempo de vida útil, menor será a necessidade de buscar nova área para disposição de rejeitos e mais economicamente viável será o empreendimento. Por isso, áreas que apresentam capacidade suficiente para atender as necessidades do consórcio além do período estabelecido como horizonte de projeto (com tamanho adicional de um terço da área mínima requerida para o empreendimento) receberam 30 pontos.

Em relação aos itens de infraestrutura: pontos de distribuição de água tratada e de linhas de transmissão de energia elétrica, foram considerados como características positivas a existência de locais que já possuíssem estes itens, pois diminuiria os custos para instalação do aterro sanitário. Então, aos locais pré-selecionados foi atribuído pontuação de 10 pontos de acordo com existência de cada um destes itens.

A proximidade do aterro com as rodovias principais reduz as distâncias percorridas pelos caminhões de coleta e transporte de resíduos, que resulta em economia de combustível e

menor desgaste dos veículos. Além disso, a diminuição do tempo de viagem aumenta a eficiência operacional, e permite realizar mais coletas e descargas em um mesmo período. Com menor distância de transporte, os custos logísticos seriam otimizados, beneficiando tanto os municípios do consórcio quanto o meio ambiente, uma vez que menos gases poluentes serão emitidos. Dessa forma, as áreas com até 2 km das rodovias receberam 50 pontos.

A possibilidade de construção em fases sequenciais, em vez de construir toda a infraestrutura do aterro de uma só vez, é frequentemente adotada em áreas onde a quantidade de rejeitos gerados é inicialmente menor e pode aumentar com o tempo, conforme o caso de um consórcio intermunicipal. Esta abordagem requer um investimento financeiro inicial mais baixo e oferece maior flexibilidade de planejamento, pois conforme a demanda aumenta, é possível expandir o aterro gradualmente, adaptando-se às necessidades futuras. Desta forma, as áreas que apresentam possibilidade de construção em fases receberam 30 pontos.

Propriedades de domínio público são mais acessíveis para implantação de um aterro sanitário, enquanto propriedades privadas necessitam de trâmites burocráticos para aquisição e desapropriação de terras. As informações sobre os terrenos foram fornecidas pela Prefeitura Municipal de Araras e os locais sob domínio público receberam 50 pontos.

As características naturais do terreno influenciam economicamente na viabilidade do empreendimento, pois terrenos que exigem obras complexas de terraplanagem, drenagem ou estabilização geotécnica podem aumentar consideravelmente os custos de construção e operação do aterro. Estas áreas foram avaliadas em observância ao Mapa de Declividade do município de Araras. Os locais que não apresentam declividade superior a 8% foram considerados sem necessidade da realização de obras complexas para implantação de aterro sanitário e receberam 20 pontos.

O posicionamento geográfico possui influência direta na logística de transporte e na visibilidade do local, que é relacionada aos impactos visuais negativos, pela transformação da paisagem. Sendo assim, os locais que não são visíveis a uma distância de 500 m receberam 30 pontos. Para verificar a visibilidade das áreas pré-selecionadas foi utilizada a ferramenta "Viewshed" (Campo de Visão - do *software* ArcGIS Pro. Esta ferramenta permitiu a caracterização da visibilidade das áreas pré-selecionadas a partir de pontos de observação, com base em uma distância de 500 m.

Em relação à distância de áreas agrícolas, os locais pré-selecionados mais afastados receberam 10 pontos, a fim de minimizar efeitos adversos, pois em casos de contaminação do

solo, o lixiviado pode prejudicar os espaços produtivos. Em casos de contaminação por longo período, pode tornar o solo improdutivo (Majid; Mir, 2021).

A instalação de um aterro sanitário próximo de residências deve ser evitada, pois a poluição do ar decorrente da decomposição dos rejeitos pode causar impactos na saúde dos moradores. Além disso, o mau cheiro e a presença de vetores como moscas e roedores podem gerar desconforto e disseminar doenças. A valorização imobiliária das propriedades também é prejudicada pela proximidade com o aterro, que afeta o patrimônio dos proprietários. Por essas razões, é importante preservar a qualidade de vida e o bem-estar dos residentes, evitando a localização de aterros em áreas habitacionais. Sendo assim, as áreas localizadas a uma distância mínima de 600 m de residências isoladas receberam 40 pontos.

A pressão do transporte (tráfego de veículos e a circulação de cargas ou pessoas tráfego de veículos e a circulação de cargas ou pessoas) em APP pode representar uma ameaça aos ecossistemas sensíveis e resultar na compactação do solo, erosão, perda de vegetação e contaminação dos recursos hídricos. Para minimizar esses impactos, é essencial adotar medidas de manejo adequadas, como planejar vias de acesso, restringir circulação em áreas vulneráveis e implementar técnicas para controle de erosão. Sendo assim, a rota das áreas pré-selecionadas que não necessitam passar por áreas de APP receberam 20 pontos.

Após a avaliação dos critérios adicionais, as áreas que receberam a maior pontuação foram definidas como as áreas mais favoráveis para implantação de um ASI no município de Araras.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados e discussão desta tese, com abordagem dos municípios selecionados para formação de consórcio para o gerenciamento adequado de RSU e as caracterizações territorial, demográfica, socioeconômica e ambiental destes municípios. Também são apresentados dados das projeções populacionais e da produção de RSU, e os cenários da redução do aterramento de RSU em aterro sanitário utilizados para dimensionamento da área mínima do aterro. Por fim, são apresentados os resultados dos três níveis da análise multicritério e a definição da área mais adequada para localização de aterro sanitário na região de Araras – SP.

4.1 SELEÇÃO DOS MUNICÍPIOS PARA FORMAÇÃO DE ARRANJO

A ponderação dos critérios selecionados para formação do arranjo e a pontuação de cada município é apresentada na Tabela 7, enquanto a classificação de prioridades é mostrada na Figura 21.

Vinte municípios foram enquadrados no critério “proximidade de Araras com distância de até 70 km”, que incluem: Analândia, Artur Nogueira, Charqueada, Conchal, Cordeirópolis, Corumbataí, Engenheiro Coelho, Ipeúna, Iracemápolis, Leme, Limeira, Mogi Guaçu, Mogi Mirim, Piracicaba, Pirassununga, Porto Ferreira, Rio Claro, Santa Cruz da Conceição e Santa Gertrudes.

Após a ponderação dos critérios, dez municípios foram categorizados com alta prioridade para participação de consórcio para gerenciamento de resíduos junto ao município de Araras, são eles: Analândia, Charqueada, Cordeirópolis, Corumbataí, Ipeúna, Mogi Mirim, Pirassununga, Porto Ferreira, Santa Cruz da Conceição e Santa Gertrudes.

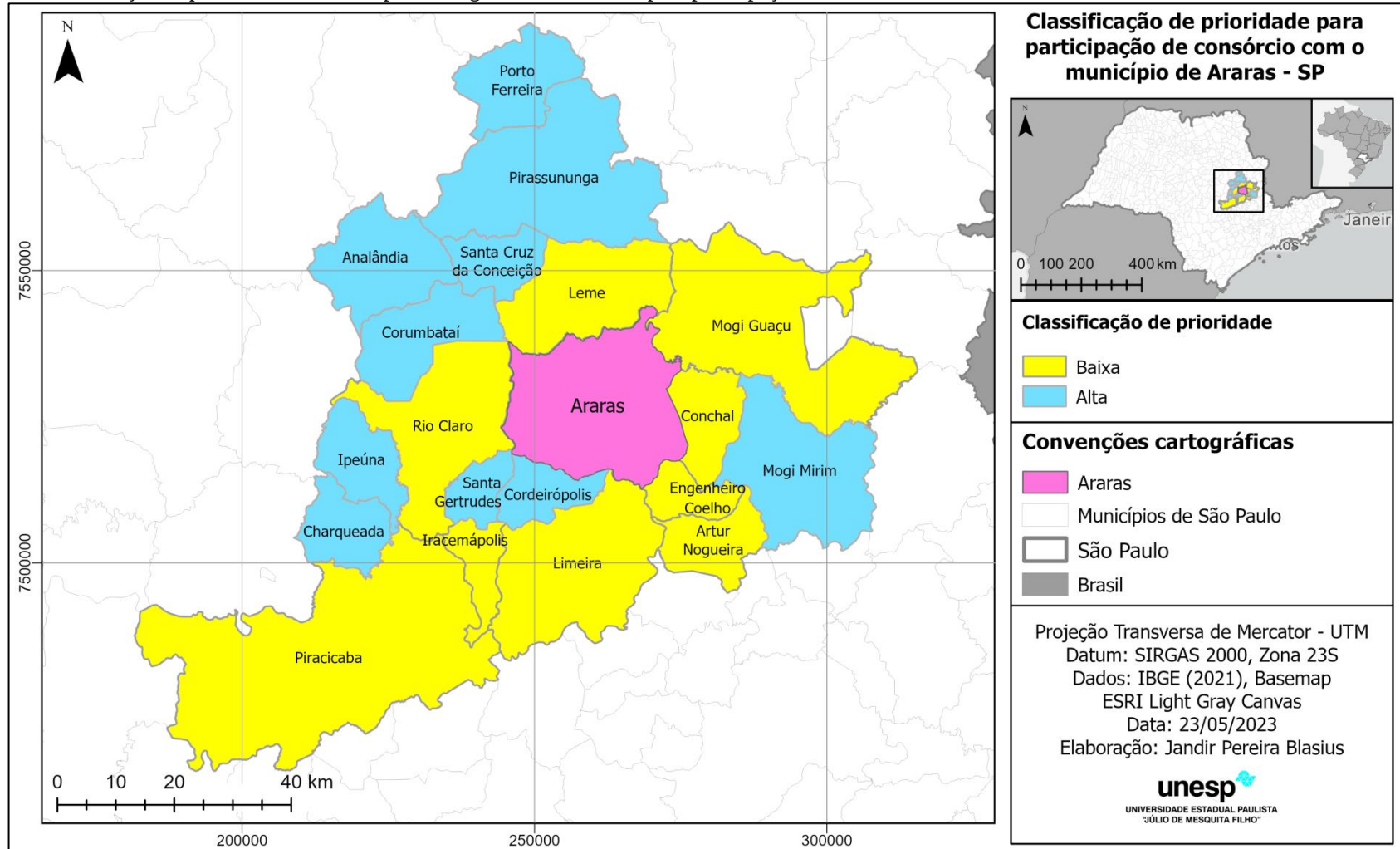
Tabela 7 – Análise de prioridade dos municípios da região de Araras para participação de consórcio intermunicipal

MUNICÍPIOS	INFORMAÇÕES		CRITÉRIOS (FATORES DE PONDERAÇÃO)				PONTOS
	Distância de Araras (km)	Distância do LDA (km)	Volume de resíduos (t/dia)	Araras é mais próxima que o LDA	Local de Disposição	Participa de CIGR	
Analândia	66,0	108,0 (Guataporã)	2,84 (1)	Sim (1)	APAR (1)	Não (1)	1
Artur Nogueira	55,0	30,5 (Conchal)	40,74 (1)	Não (0)	APAR (1)	Sim (0)	0
Charqueada	53,7	APRO	11,14 (1)	* (1)	APRO (1)	Não (1)	1
Conchal	27,0	APAR (Conchal)	21,54 (1)	Não (0)	APAR (1)	Sim (0)	0
Cordeirópolis	32,2	APRO	15,79 (1)	* (1)	APRO (1)	Não (1)	1
Corumbataí	50,9	APRO	1,54 (1)	* (1)	APRO (1)	Não (1)	1
Engenheiro Coelho	43,1	21,4 (Conchal)	11,12 (1)	Não (0)	APAR (1)	Sim (0)	0
Ipeúna	41,8	84,8 (Paulínia)	4,71 (1)	Sim (1)	APAR (1)	Não (1)	1
Iracemápolis	43,7	40,2 (Rio das Pedras)	17,13 (1)	Não (0)	APAR (1)	Não (1)	0
Leme	21,0	APRO	92,79 (1)	** (0)	APRO (0)	Não (1)	0
Limeira	32,8	APRO	271,36 (0)	** (0)	APRO (0)	Não (1)	0
Mogi Guaçu	63,8	APRO	131,71 (0)	** (0)	APRO (0)	Não (1)	0
Mogi Mirim	59,7	64,4 (Paulínia)	70,44 (1)	Sim (1)	APAR (1)	Não (1)	1
Piracicaba	61,4	APRO	361,32 (0)	*(1)	APRO (1)	Não (1)	0
Pirassununga	61,4	102,3 (Paulínia)	56,69 (1)	Sim (1)	APAR (1)	Não (1)	1
Porto Ferreira	64,2	116,9 (Paulínia)	44,66 (1)	Sim (1)	APAR (1)	Não (1)	1
Rio Claro	27,6	APRO	184,00 (0)	** (0)	APRO (0)	Não (1)	0
Santa Cruz da Conceição	31,0	89,0 (Paulínia)	2,17 (1)	Sim (1)	APAR (1)	Não (1)	1
Santa Gertrudes	32,5	56,9 (Rio das Pedras)	22,04 (1)	Sim (1)	APAR (1)	Não (1)	1

LDA: Local de Disposição Atual; CIGR: Consórcio Intermunicipal para o Gerenciamento de Resíduos; APRO: Aterro próprio; APAR: Aterro Particular; *: Aterro próprio com vida útil ≤ 10 anos ou disposição em aterro particular; **: APRO com estimativa de vida útil > 10 anos.

Fonte: Adaptado de CETESB (2022) e Autor (2023).

Figura 21 – Classificação de prioridade dos municípios da região de Araras - SP para participação de consórcio.



4.2 CARACTERIZAÇÕES TERRITORIAL, DEMOGRÁFICA, SOCIOECONÔMICA E AMBIENTAL DO ARRANJO

Neste item é apresentado um panorama geral das características territoriais, demográficas, socioeconômicas e dos serviços de saneamento dos municípios que compõem o arranjo para o gerenciamento consorciado de RSU.

4.2.1 Caracterização territorial

Para análise territorial dos municípios foram considerados três recortes regionais: regiões administrativas e metropolitanas do Estado de São Paulo e Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos, conforme apresentados, a seguir.

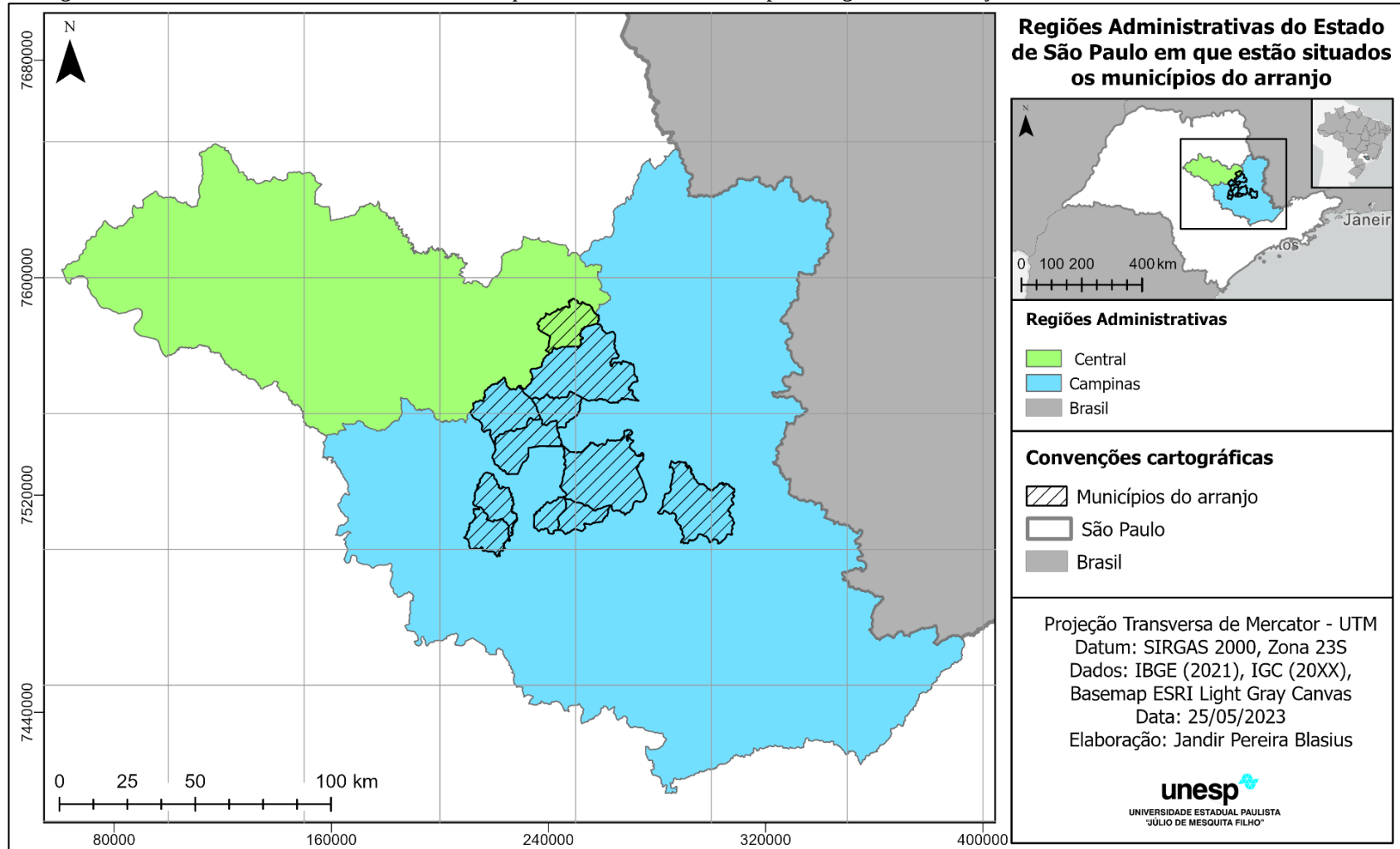
4.2.1.1 *Regiões Administrativas (RA) do Estado de São Paulo*

As RA foram instituídas pelo Decreto n.º. 26.581, de 05 de janeiro de 1987, e consistem em áreas geográficas delimitadas e associadas a um polo urbano principal com intuito de direcionar e favorecer o planejamento das ações governamentais para solução dos problemas socioeconômicos de cada região (São Paulo, 1987).

Conforme destacado na Figura 22, os municípios integrantes do arranjo estão concentrados na RA de Campinas, com exceção do município de Porto Ferreira que se encontra na RA Central.

A concentração geográfica dos municípios em única RA pode influenciar positivamente na formação do consórcio intermunicipal e facilitar a coordenação das ações e a tomada de decisões conjuntas. Além disso, a integração dos municípios pode facilitar o compartilhamento de recursos e a implementação de políticas públicas para o gerenciamento integrado de RSU na região.

Figura 22 - Regiões Administrativas do Estado de São Paulo em que estão inseridos os municípios integrantes do arranjo.



4.2.1.2 Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI)

A Lei Estadual n.º 16.337, de 14 de dezembro de 2016, que dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH), dividiu a hidrografia do Estado de São Paulo em 22 UGRHI. Esta divisão contemplou aspectos hidrológicos, ambientais, socioeconômicos, políticos e institucionais com o objetivo de promover a articulação entre a União, Estados e Municípios para o gerenciamento de recursos hídricos (São Paulo, 2016).

Conforme apresentado na Figura 23, os municípios do arranjo estão distribuídos em duas UGRHI: 05 – Piracicaba/Capivari/Jundiaí (PCJ) (Analândia, Charqueada, Cordeirópolis, Corumbataí, Ipeúna e Santa Gertrudes) e 09 – Mogi-Guaçu (Araras, Mogi-Mirim, Pirassununga, Porto Ferreira e Santa Cruz da Conceição).

O território de alguns municípios não está integralmente localizado em única UGRHI, como é o caso de Analândia, que está presente em três: PCJ, Mogi-Guaçu e Tietê-Jacaré. No entanto, para fins de identificação de UGRHI, é considerada a localização da sede municipal. Sendo assim, o município de Analândia pertence à UGRHI de Mogi Guaçu.

Os municípios do arranjo estão localizados em duas UGRHI, que fisicamente são contíguas. A proximidade entre as unidades pode fortalecer o vínculo entre os municípios em busca de uma gestão mais unificada, eficiente e específica dos recursos hídricos nas áreas abrangidas e desta forma, favorecer a formação de consórcio intermunicipal.

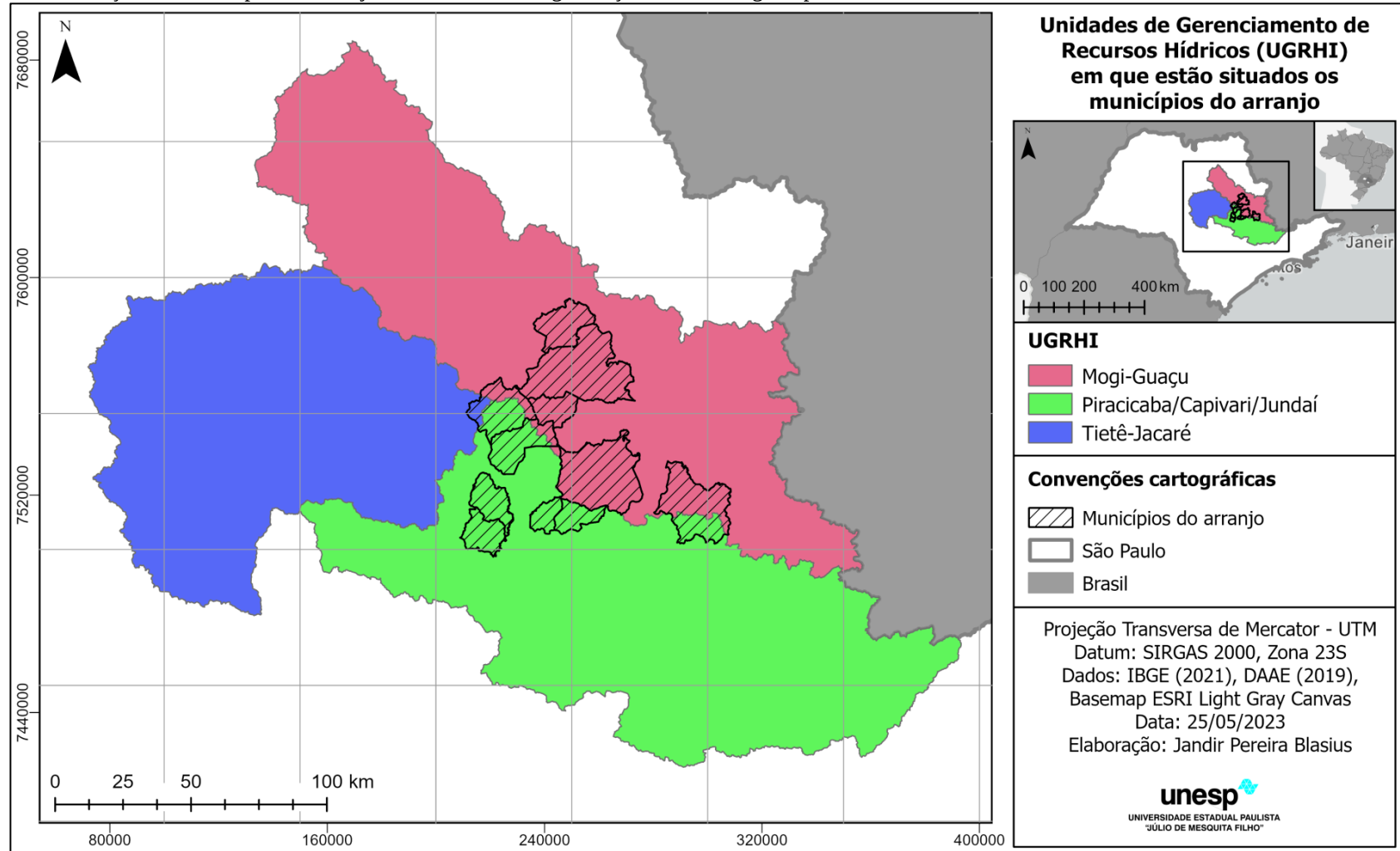
No Quadro 12 são sumarizadas as principais características das UGRHI PCJ e Mogi-Guaçu.

Quadro 12 - Características gerais das UGRHI PCJ e Mogi-Guaçu.

Características gerais	UGRHI 05 – PCJ	UGRHI 09 – Mogi Guaçu
Número de municípios	57 (8,8% do Estado)	38 (5,9% do Estado)
População em 2020 (hab.)	5.700.280 (12,8% do Estado)	1.571.933 (3,5% do Estado)
Área de drenagem (km²)	14.178 (5,7% do Estado)	15.004 (6,03% do Estado)
Disponibilidade hídrica per capita 2020 (m³/ano/hab.)	951,57	3.992,32
PIB 2022	R\$ 61,8 bilhões (2,6% do Estado)	R\$ 387,6 bilhões (16,3% do Estado)
Principais atividades econômicas do PIB	Serviços (66,5%); indústria (32,5%); e agropecuária (1,0%)	Serviços (65,8%); indústria (30,0%); e agropecuária (4,2%)

Fonte: Adaptado de São Paulo (2021) e IBGE (2022).

Figura 23 - Localização dos municípios do arranjo nas UGRHI de Mogi-Guaçu e Pirassununga/Capivari/Jundiaí.



Os dados das UGRHI mostram diferenças significativas com relação ao número de municípios, população, área de drenagem e disponibilidade hídrica per capita. Enquanto a UGRHI 05 possui maior número de municípios e de habitantes, a UGRHI 09 apresenta disponibilidade hídrica per capita consideravelmente mais elevada.

Além disso, os dados revelam disparidades na economia das regiões, sendo que a UGRHI 09 detém uma parcela mais significativa do PIB estadual e uma maior participação da agropecuária em sua composição. Essas diferenças ressaltam a importância da gestão dos recursos hídricos, que deve considerar as particularidades de cada UGRHI e buscar soluções adequadas para garantir o uso sustentável e equitativo dos recursos naturais e o desenvolvimento econômico das regiões.

4.2.1.3 Estudo de Regionalização do Estado de São Paulo para Gestão de Resíduos Sólidos

O Estudo de Regionalização do Estado de São Paulo para Gestão de Resíduos Sólidos foi baseado em estudos técnicos sobre morfologia e hierarquia da rede urbana e considerou critérios econômicos, demográficos e físico-territoriais dos municípios paulistas. Em 2021, foi instituída a Região Metropolitana (RM) de Piracicaba composta por 24 municípios paulistas (São Paulo, 2021).

Dos onze municípios integrantes do arranjo, nove estão situados na RM de Piracicaba. Somente os municípios de Mogi Mirim e Porto Ferreira não estão situados em nenhuma RM do Estado de São Paulo.

De forma geral, a participação da maioria dos municípios do arranjo em RM ressalta a existência de determinada afinidade intermunicipal, que pode representar características favoráveis para a formalização de consórcio com vista ao avanço no planejamento e gestão dos resíduos sólidos na região, proporcionando uma abordagem mais integrada e coordenada para lidar com as questões ambientais e socioeconômicas relacionadas ao gerenciamento desses resíduos.

4.2.2 Caracterização demográfica

A caracterização demográfica dos municípios é fundamental para a formação de um consórcio intermunicipal visando o gerenciamento adequado dos RSU, pois permite que o consórcio desenvolva um planejamento integrado e estratégico de acordo com as necessidades específicas e auxilie na determinação das melhores estratégias para coleta, transporte e tratamento de resíduos em cada município.

Ao compreender as características demográficas de cada município, é possível promover uma distribuição mais equitativa das responsabilidades e custos do gerenciamento de RSU entre os consorciados. Ainda, ajuda a identificar oportunidades para compartilhar recursos e infraestruturas entre os municípios consorciados e desenvolver planos de ação personalizados para enfrentar os desafios e as vulnerabilidades de forma mais efetiva.

Conforme apresentado na Tabela 8, no ano de 2022, os municípios integrantes do arranjo apresentaram população total de 433.172 habitantes, que ocupam uma área territorial total de 3.470,6 km² e apresentam densidade demográfica média de 124,81 hab./km². Os municípios que apresentam os maiores índices de densidade demográfica são: Santa Gertrudes, Porto Ferreira e Araras. Já os municípios de Analândia, Corumbataí, Santa Cruz da Conceição e Ipeúna apresentam os menores índices de densidade demográfica.

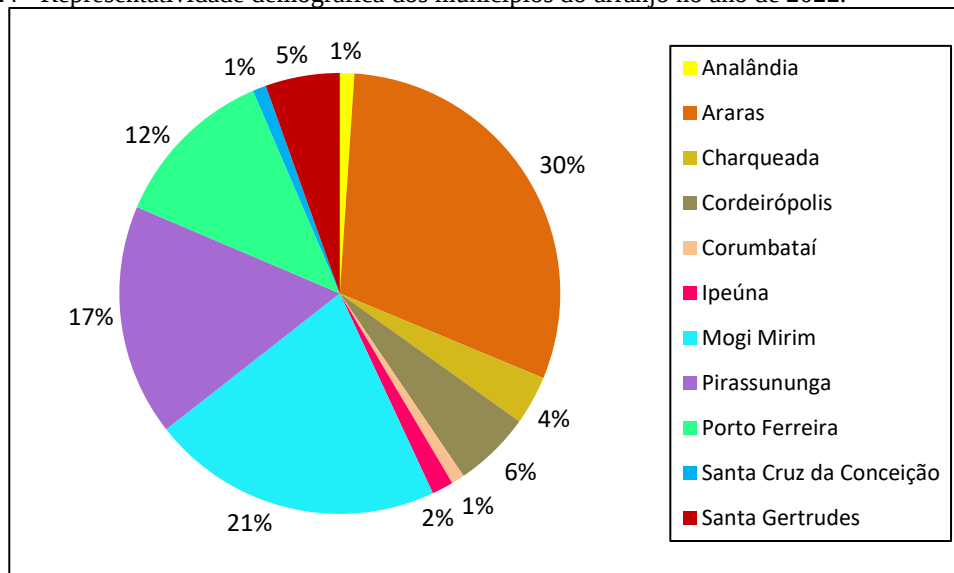
Tabela 8 - Caracterização demográfica dos municípios integrantes do arranjo.

Municípios	Área total (km ²)	População (hab.) (2022)	Densidade demográfica (hab./km ²)
Analândia	325,9	4.589	14,08
Araras	644,8	130.866	202,96
Charqueada	175,8	15.535	87,33
Cordeirópolis	137,5	24.515	178,29
Corumbataí	278,6	4.195	15,06
Ipeúna	190,0	6.831	35,95
Mogi Mirim	497,7	92.559	185,97
Pirassununga	727,1	73.545	101,14
Porto Ferreira	244,9	52.649	214,98
Santa Cruz da Conceição	150,1	4.277	28,49
Santa Gertrudes	98,2	23.611	240,44
TOTAL	3.470,6	433.172	124,81

Fonte: Adaptado de IBGE (2022) e São Paulo (2021).

A representatividade demográfica dos municípios no arranjo, no ano de 2022, é apresentada na Figura 24.

Figura 24 - Representatividade demográfica dos municípios do arranjo no ano de 2022.



Fonte: Adaptado de IBGE (2021).

O município de Araras detém 30% da população total dos municípios integrantes do arranjo, seguido pelos municípios de Mogi Mirim (21%), Pirassununga (17%) e Porto Ferreira (12%). Estes municípios integralizam 80% da população total do arranjo. Os demais municípios possuem baixa representatividade populacional com índices de 1% (Analândia, Corumbataí e Santa Cruz da Conceição), 2% (Ipeúna), 4% (Charqueada), 5% (Santa Gertrudes) e 6% (Cordeirópolis).

Os municípios com maior representatividade demográfica (Araras, Mogi Mirim, Pirassununga e Porto Ferreira) desempenham um papel crucial no consórcio intermunicipal. A participação destes municípios deve impactar diretamente as operações e o sucesso geral do consórcio, tanto em termos de capacidade financeira quanto de influência política. A colaboração e a cooperação entre esses municípios e os demais consorciados são essenciais para alcançar os objetivos de uma gestão eficiente e sustentável dos RSU.

4.2.3 Caracterização socioeconômica

A caracterização socioeconômica é essencial para embasar decisões e ações no processo de formação de um consórcio de municípios para o gerenciamento adequado de RSU. Ela permite uma abordagem mais personalizada, justa e eficiente, garantindo que as políticas e projetos sejam adequados às necessidades e realidades de cada localidade.

Os resultados da caracterização socioeconômica dos municípios do arranjo são sumariamente apresentados no Quadro 13, enquanto os índices avaliados são apresentados e discutidos individualmente nos subtópicos a seguir.

Quadro 13 - Índices socioeconômicos dos municípios integrantes do arranjo.

Municípios	PIB per capita em 2020 (R\$)	IDH municipal (2010)	Indicadores sintéticos do IPRS (2018)			IPRS (2018)	GU em 2021 (%)
			Riqueza	Long.	Escol.		
Analândia	38.762,45	0,754	Baixa	Média	Média	Equitativo	84,6
Araras	47.779,64	0,781	Alta	Baixa	Alta	Desigual	95,3
Charqueada	25.154,89	0,736	Baixa	Alta	Média	Equitativo	91,6
Cordeirópolis	132.627,29	0,758	Alta	Alta	Média	Dinâmico	89,9
Corumbataí	63.796,71	0,754	Baixa	Alta	Média	Equitativo	63,3
Ipeúna	118.999,48	0,753	Alta	Alta	Média	Média	90,9
Mogi Mirim	53.862,97	0,784	Alta	Alta	Alta	Dinâmico	96,0
Pirassununga	40.574,94	0,801	Alta	Média	Média	Média	93,8
Porto Ferreira	40.437,61	0,751	Alta	Média	Média	Dinâmico	98,2
Santa Cruz da Conceição	31.703,34	0,790	Baixa	Alta	Alta	Equitativo	79,9
Santa Gertrudes	98.302,42	0,737	Baixa	Alta	Alta	Equitativo	98,9

*PIB: Produto Interno Bruto; IDH: Índice de Desenvolvimento Humano; Long.: Longevidade; Escol.: Escolaridade; IPRS: Índice Paulista de Responsabilidade Social; GU: Grau de Urbanização.

Fonte: Adaptado de São Paulo (2021) e SEADE (2022).

4.2.3.1 Produto Interno Bruto

O PIB é um índice que reflete a soma de todos os bens e serviços produzidos em determinado período e território. Este indicador não considera a distribuição de renda, educação, qualidade de vida e saúde. O PIB per capita refere-se à divisão equivalente do PIB

total pelo número de habitantes do território analisado. Desta forma, o valor do PIB é elevado quando há investimentos, geração de emprego, renda e consumo (IBGE, 2021).

Em 2020, os municípios que apresentaram os maiores valores do PIB per capita foram: Cordeirópolis (R\$ 132.627,29), Ipeúna (R\$ 118.999,48) e Santa Gertrudes (R\$ 98.302,42). Por sua vez, os municípios de Charqueada (R\$ 25.154,89) e Santa Cruz da Conceição (R\$ 31.703,34) apresentaram os menores índices. Este resultado possui forte correlação com o grau de industrialização das cidades, sendo que os municípios com elevado PIB per capita concentram polos cerâmicos de relevância nacional.

O PIB dos municípios exerce uma influência significativa na formação de um consórcio para realizar o gerenciamento adequado de RSU, uma vez que municípios com PIB mais elevado geralmente possuem maior capacidade financeira e recursos para investir em infraestrutura, tecnologias avançadas e sistemas de tratamento eficientes para os resíduos. Essa maior capacidade de investimento pode impulsionar o consórcio a adotar soluções mais sustentáveis e inovadoras. Além disso, o PIB também pode ser utilizado como um critério para distribuir os custos e responsabilidades de forma mais justa entre os membros do consórcio, garantindo que as cidades com maior poder econômico contribuam de forma proporcional para o gerenciamento conjunto dos RSU.

4.2.3.2 Índice de Desenvolvimento Humano

O IDH consiste em uma medida sintética de desenvolvimento humano de diferentes dimensões (países, regiões, estados, municípios etc.). Os indicadores de longevidade, educação e renda são ponderados com mesmo peso e o IDH varia de 0 a 1, e é dividido em três faixas: baixo (até 0,49), médio (entre 0,50 e 0,79), elevado (acima de 0,80) (PNUD, 2013). Com exceção do município de Pirassununga, que apresentou índice de desenvolvimento elevado, os demais municípios apresentaram índice médio.

O IDH dos municípios exerce uma influência relevante na formação de um consórcio, pois os municípios com IDH mais elevado geralmente possuem melhores condições socioeconômicas, maior nível educacional e acesso a serviços públicos de qualidade, o que pode resultar em maior consciência ambiental e engajamento em práticas sustentáveis de gestão de resíduos. Essa maior conscientização e participação ativa podem fortalecer a cooperação entre

os municípios consorciados, impulsionar a adoção de tecnologias mais avançadas, programas de educação ambiental e políticas integradas para o tratamento e destinação adequada dos RSU. Além disso, o IDH pode ser um indicador importante para a definição de prioridades e para a alocação de recursos, com vista a atender de forma equitativa as necessidades e desafios específicos de cada município no contexto do consórcio.

4.2.3.3 *Índice Paulista de Responsabilidade Social*

O IPRS é calculado com base em três dimensões: riqueza, longevidade e escolaridade. Este índice pode exercer uma influência significativa na formação de um consórcio para o gerenciamento de RSU e pode até ser utilizado como um critério para a inclusão ou seleção de municípios no consórcio.

Municípios com baixo IPRS podem ser identificados como áreas prioritárias para ações de cooperação e investimentos em infraestrutura e programas de educação ambiental, buscando melhorar suas condições socioeconômicas e ambientais. Por outro lado, municípios com IPRS mais alto podem ter mais facilidade em obter apoio financeiro e parcerias, o que pode ser benéfico para todo o consórcio.

De acordo com o levantamento dos índices de riqueza, os municípios de Analândia, Charqueada, Corumbataí, Santa Cruz da Conceição e Santa Gertrudes foram categorizados com índice de riqueza baixa e os demais, com riqueza alta. É provável que este enquadramento tenha relação com o tamanho da população e com o grau de industrialização, sendo que os municípios menos populosos e com menor grau de industrialização, geralmente concentram menos renda.

Em relação aos índices de longevidade, o município de Araras foi categorizado na classe baixa, enquanto os municípios de Analândia, Pirassununga e Porto Ferreira, na classe média e os demais municípios foram enquadrados na classe alta.

Os municípios de Araras, Mogi Mirim, Santa Cruz da Conceição e Santa Gertrudes apresentaram índices de escolaridade de classe alta, os demais municípios foram categorizados na classe de escolaridade média.

Desta forma, a consideração do IPRS dos municípios pode exercer uma influência significativa na formação de um consórcio e garantir uma abordagem mais equitativa, ao equalizar as condições socioeconômicas e assegurar que todos os municípios participantes

tenham acesso a benefícios e melhorias no gerenciamento de resíduos. Ainda, com base neste índice é possível estabelecer metas e estratégias específicas para cada município no consórcio, considerando suas particularidades socioeconômicas. Isso permite uma abordagem mais personalizada e eficaz no planejamento e execução das ações de gerenciamento de RSU.

4.2.3.4 Grau de Urbanização

Este índice representa a proporção da população total que reside na área urbana. Os municípios de Santa Gertrudes (98,9%), Porto Ferreira (98,2%), Mogi Mirim (96,0%) e Araras (95,3%) apresentaram os maiores índices de urbanização, enquanto, os municípios de Corumbataí (63,3%) e Santa Cruz da Conceição (79,9%) apresentaram os menores valores.

A colaboração entre municípios com maior urbanização pode potencializar ações conjuntas, inovação e eficiência, resultando em melhores práticas de gestão de resíduos e benefícios para a sustentabilidade urbana. Municípios com grau de urbanização mais alto tendem a enfrentar desafios e demandas semelhantes no gerenciamento de resíduos, como maior volume de resíduos produzidos, infraestrutura mais complexa e necessidade de tecnologias avançadas. A formação de um consórcio entre essas localidades permite compartilhar experiências e soluções que são relevantes para suas realidades urbanas.

Por outro lado, a concentração populacional em áreas urbanizadas pode proporcionar economias de escala no gerenciamento de RSU. Ao unir esforços e recursos, o consórcio pode alcançar uma maior eficiência na coleta, transporte, tratamento e disposição final dos resíduos, e reduzir os custos operacionais. Além disso, municípios com maior grau de urbanização geralmente têm acesso a mais recursos financeiros, tecnológicos e de conhecimento, o que pode incentivar a busca por soluções inovadoras no gerenciamento de resíduos. O consórcio pode se beneficiar dessa capacidade de inovação e implementar práticas mais sustentáveis.

O grau de urbanização deve favorecer uma maior interação entre os municípios, facilitar a articulação de políticas públicas conjuntas e ações coordenadas para o gerenciamento de RSU. A formação do consórcio pode potencializar essa capacidade de articulação e cooperação entre os entes envolvidos. Por fim, municípios mais urbanizados normalmente têm maior representatividade política e institucional. Sua participação no consórcio pode fortalecer a voz

coletiva em discussões regionais e nacionais sobre gestão de resíduos, e dessa forma, contribuir para a defesa de interesses comuns.

4.2.4 Análise da qualidade ambiental

A avaliação da qualidade ambiental dos municípios é de extrema importância para a formação de um consórcio público para o gerenciamento de RSU, pois permite identificar os desafios ambientais de cada município e possibilita o desenvolvimento de estratégias e ações conjuntas voltadas para a preservação e recuperação do meio ambiente.

A síntese dos dados da qualidade ambiental dos municípios integrantes do arranjo é apresentada no Quadro 14 e os indicadores são discutidos individualmente nos subitens a seguir.

Quadro 14 - Indicadores de qualidade ambiental dos municípios integrantes do arranjo no ano de 2020.

Municípios	IAA (2019)	ICTEM (2020)	IQR (2020)	IQT (2021)	IGR (2020)	Vegetação nativa em 2020 (%)	Quantidade de AIA (2020)	Tamanho de área (ha)	ICMS ecológico 2020 (R\$ 1.000,00)
Analândia	Regular	0 - 2,5	A	NP	SI	20,01 – 50,00	1 – 20	5,01 / 10,00	37,5 - 500
Araras	Bom	0 - 2,5	A	A	Mediano	10,01 -15,00	1 – 20	> 50,00	SR
Charqueada	Bom	5,1 – 7,5	A	NP	Ineficiente	15,01 – 20,00	1 - 20	0,01 – 5,00	37,5 - 500
Cordeirópolis	Bom	0 - 2,5	A	NP	Mediano	< 10,00	1 - 20	0,01 – 5,00	SR
Corumbataí	Bom	7,6 – 10,0	A	NP	SI	20,01 – 50,00	1 - 20	0,01 – 5,00	37,5 - 500
Ipeúna	Regular	7,6 – 10,0	A	A	Mediano	20,01 – 50,00	1 - 20	10,01 – 20,00	SR
Mogi Mirim	Bom	5,1 – 7,5		NP	SI	< 10,00	1 - 20	0,01 – 5,00	SR
Pirassununga	Bom	7,6 – 10,0	A	NP	SI	10,01 -15,00	51 -100	0,01 – 5,00	SR
Porto Ferreira	Bom	7,6 – 10,0	A	NP	SI	15,01 – 20,00	1 - 20	0,01 – 5,00	37,5 - 500
Santa Cruz da Conceição	Regular	7,6 – 10,0	A	NP	Ineficiente	15,01 – 20,00	1 - 20	0,01 – 5,00	SR
Santa Gertrudes	Bom	7,6 – 10,0	A	NP	SI	10,01 -15,00	1 - 20	0,01 – 5,00	SR

*IAA: Índice de Atendimento de Água; ICTEM: Indicador de Coleta e Tratabilidade de Esgoto da População Urbana de Município; IQR: Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos; IQT: Índice de Qualidade de Transbordos; IGR: Índice de Gestão de Resíduos Sólidos; AIA: Auto de Infração Ambiental; ICMS: Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação A: Adequado; I: Inadequado; NP: Não possui; SI: Sem Informações; SR: Sem repasse.

Fonte: Adaptado de São Paulo (2021) e CETESB (2022).

4.2.4.1 Índice de Atendimento de Água

O IAA representa, em termos percentuais, a população total de cada município que é atendida efetivamente pelo sistema de abastecimento público de água. Ao avaliar o IAA de cada município, é possível identificar aqueles que podem enfrentar desafios com relação ao saneamento básico, e que podem ser mais vulneráveis a questões de contaminação e poluição, incluindo questões relacionadas aos resíduos sólidos.

Com exceção dos municípios de Analândia, Ipeúna e Santa Cruz da Conceição, que apresentaram índices regulares (50 a 90%), os demais apresentaram índice bom, com atendimento superior a 90% da população. Em âmbito do consórcio, ações conjuntas podem ser desenvolvidas para melhorar o sistema de abastecimento de água dos municípios que não apresentaram valor de índice satisfatório.

4.2.4.2 Indicador de Coleta e Tratabilidade de Esgoto da População Urbana de um Município

O ICTEM avalia aspectos do sistema de tratamento de esgoto da população urbana, tais como a coleta, eficiência do tratamento do esgoto coletado, efetiva remoção da carga orgânica em relação à carga potencial, destinação adequada dos resíduos gerados no tratamento e o enquadramento do corpo receptor pelo efluente tratado ou não (CETESB, 2022). A avaliação deste indicador é essencial para o processo de formação de arranjos intermunicipais para o gerenciamento de RSU, pois ao considerar os aspectos do tratamento de esgoto e a gestão de resíduos, é possível implementar políticas e projetos que abordem questões de saneamento básico de forma integrada.

Em 2020, os municípios de Araras e Cordeirópolis não possuíam sistema de tratamento de esgoto e apresentaram baixo valor de ICTEM (0 – 2,5). Por sua vez, os municípios de Charqueada e Mogi Mirim, que não atendiam efetivamente a demanda urbana de coleta e tratamento de esgoto, apresentaram índice médio (5,1 – 7,5). Os demais municípios apresentaram bons valores deste índice (7,6 – 10,0). Cabe destacar que, em 2021, o município de Araras reestruturou o sistema de coleta e tratamento de esgoto e em 2022, passou a atender integralmente a demanda urbana.

4.2.4.3 Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos

Conhecer o IQR dos municípios do arranjo possibilita avaliar a conformidade e o desempenho dos aterros sanitários em que cada município direciona seus rejeitos e possibilita criar estratégias para o planejamento da gestão compartilhada dos RSU.

O IQR avalia as condições operacionais, estruturais e locacionais das unidades de compostagem, estações de transbordo de resíduos e destinação final de rejeitos em aterros. O sistema é enquadrado por pontuação em duas categorias: inadequado ($IQR \leq 7,0$) e adequado ($7,1 - 10$) (CETESB, 2021). No ano de 2020, os municípios integrantes do arranjo foram classificados com índice de IQR adequado. Este comportamento reflete o comprometimento dos municípios em prol do gerenciamento adequado dos resíduos e a atuação da CETESB, que fiscaliza periodicamente o desempenho dos municípios frente à temática de resíduos.

4.2.4.4 Índice de Qualidade de Transbordos

Avaliar a eficiência e conformidade das instalações de transbordo, onde os resíduos são transferidos antes da destinação final possibilita otimizar a logística e transporte dos resíduos, garantir a integridade dos materiais durante o transbordo, assegurar a conformidade com a legislação e promover uma gestão integrada e eficiente dos RSU.

O IQT é avaliado de forma análoga ao IQR, no entanto avalia somente as condições das unidades de transbordo de RSU, oriundos da coleta pública (CETESB, 2022). Entre os municípios integrantes do arranjo, em 2021, somente Araras e Ipeúna possuíam estação de transbordo de resíduos e ambas foram classificadas como adequadas.

De um lado, a não existência de estações de transbordo nos demais municípios pode sinalizar a baixa produção de resíduos (que dispensa a necessidade de uma estação de transbordo). Por outro lado, pode indicar que o acondicionamento é realizado em locais inadequados, que pode gerar impactos negativos no meio ambiente. Neste caso, seria essencial buscar soluções conjuntas e investimentos adequados para garantir o manejo adequado dos RSU.

4.2.4.5 Índice de Gestão de Resíduos Sólidos

O IGR avalia o desempenho da gestão de resíduos sólidos de um município ou região. O índice é composto por três subíndices: Índice de Qualidade de Gestão de Resíduos Sólidos (IQGR): avalia o cumprimento dos requisitos legais e normativos de gestão de resíduos sólidos; Índice de Usinas de Compostagem (IUC): avalia a eficiência das usinas de compostagem na transformação de resíduos orgânicos em composto orgânico; Índice de Aterros de Resíduos (IAR): avalia a eficiência dos aterros de resíduos na disposição final de rejeitos. De acordo com a pontuação obtida, os municípios podem ser categorizados como: ineficiente (< 50 pontos), mediano (entre 50 e 75 pontos) e eficiente (> 75 pontos) (São Paulo, 2021).

Conhecer o IGR dos municípios é de extrema importância na formação de consórcio para o gerenciamento de RSU, pois esse indicador permite avaliar o desempenho de cada município na gestão dos resíduos sólidos. É possível identificar os municípios com melhores práticas e experiências bem-sucedidas e buscar estratégias para fomentar a cooperação e a troca de conhecimentos entre os consorciados. Além disso, este índice fornece subsídios para definição de metas e objetivos alinhados à realidade do consórcio.

Os dados do IGR dos municípios do arranjo revelaram que os municípios de Charqueada e Santa Cruz da Conceição foram classificados como ineficientes em suas práticas de gestão. Nestes municípios, é necessário o desenvolvimento de ações para melhorar o cumprimento dos requisitos legais e normativos, a eficiência das usinas de compostagem e dos aterros de resíduos.

Por outro lado, Araras, Cordeirópolis e Ipeúna foram categorizados como tendo uma gestão mediana, que sinaliza que é necessário o desenvolvimento de ações para melhorar o desempenho nos subíndices que estão abaixo da média.

Já os demais municípios não forneceram informações, o que indica a necessidade de melhorias na coleta de dados e na transparência nas políticas de gestão de resíduos. Essa análise enfatiza a importância de uma abordagem conjunta e colaborativa entre os municípios para compartilhar conhecimentos, boas práticas e recursos, a fim de alcançar uma gestão mais eficiente em toda a região.

4.2.4.6 Índice de Vegetação Nativa

O percentual de vegetação nativa é resultado do mapeamento da cobertura vegetal realizado anualmente pelo Instituto Florestal do Estado de São Paulo e é um indicador que fornece subsídios para orientação de políticas públicas para proteção e conservação dos recursos naturais (São Paulo, 2021).

Em 2020, os municípios de Cordeirópolis e Mogi Mirim apresentaram o menor índice de vegetação nativa (< 10%) entre os municípios do arranjo, seguido pelos municípios de Araras e Pirassununga que apresentaram índices entre 10 e 15%. Somente os municípios de Analândia, Corumbataí e Ipeúna apresentaram índices de vegetação nativa superior a 20%. Os demais municípios apresentaram índices de 15 a 20%. Estes dados sinalizam a necessidade de proteção e conservação da vegetação nativa nos municípios estudados para manutenção da qualidade da biodiversidade.

De forma geral, os índices de vegetação nativa mostraram que a maioria dos municípios possui porcentagens preocupantes de vegetação nativa (baixos índices), destacando a necessidade de ações para preservação dessas áreas e o enfrentamento de desafios ambientais.

4.2.4.7 Autos de Infração Ambiental

A quantidade de AIA é um indicador que retrata o descumprimento da legislação ambiental nos territórios municipais, que geram ameaças e riscos à biodiversidade e às áreas naturais protegidas.

Conhecer os AIA dos municípios é de suma importância na formação de um consórcio, pois esses registros oferecem uma visão detalhada das irregularidades e problemas ambientais ocorridos em cada localidade, e desta forma, permitem identificar os principais desafios e falhas na gestão de resíduos. Com essa informação, o consórcio pode criar estratégias e ações cooperativas para enfrentar as questões ambientais em conjunto, implementar práticas corretivas eficazes e desenvolver planos de ação para a prevenção de infrações futuras.

Além disso, a análise dos autos de infração ajuda a promover uma cultura de conformidade ambiental entre os municípios participantes, fortalecendo a governança

ambiental e o compromisso com a sustentabilidade, o que resulta em benefícios para o meio ambiente, a saúde pública e a qualidade de vida da população abrangida pelo consórcio.

Em 2020, com exceção do município de Pirassununga, que notificou mais de 51 AIA, os demais notificaram de 1 a 20. Estes dados representam números relativamente baixos, frente ao tamanho dos territórios municipais.

Outro aspecto a ser considerado pelos AIA é o tamanho da área de abrangência da notificação, porque está associado à gravidade das infrações ambientais. Sendo assim, o município de Araras apresentou área mais expressiva (> 50,0 ha), seguido pelos municípios de Ipeúna (10,1 – 20,0 ha) e Analândia (5,01 – 10,0 ha). Os AIA dos demais municípios abrangeram áreas municipais com tamanho de 0,01 a 5,0 ha, que podem sinalizar menor gravidade e maior facilidade de recuperação das áreas atingidas.

Embora a maioria dos municípios tenha apresentado números relativamente baixos de notificações de AIA, a gravidade das infrações varia consideravelmente, sendo que algumas áreas afetadas são relativamente maiores que outras e apresentam impacto ambiental negativo mais significativo.

De modo geral, os resultados destacam a importância da implementação de estratégias conjuntas para fortalecer a proteção ambiental e a adoção de medidas para a conservação da vegetação nativa dos municípios do arranjo, a fim de garantir a conformidade com a legislação ambiental, promover a manutenção da biodiversidade e a sustentabilidade dos territórios.

4.2.4.8 ICMS Ecológico

O ICMS Ecológico corresponde à distribuição espacial de recursos arrecadados pelo ICMS estadual aos municípios que possuem espaços territoriais especialmente protegidos (São Paulo, 2021). É um mecanismo que distribui recursos financeiros aos municípios com base em critérios ambientais, como a preservação de áreas verdes, o tratamento de resíduos sólidos, entre outros. Ao identificar os municípios que recebem esses recursos, o consórcio pode estabelecer parcerias estratégicas com essas localidades para direcionar investimentos e recursos adicionais para projetos e ações de gestão de resíduos, buscando fortalecer a infraestrutura, melhorar a coleta seletiva, implementar programas de reciclagem e reduzir os impactos negativos dos RSU na região.

A colaboração entre os municípios e a utilização dos recursos do ICMS Ecológico de forma conjunta e direcionada podem impulsionar ações mais efetivas e sustentáveis no manejo de resíduos, e desta forma, promover benefícios ambientais e sociais para os municípios do arranjo.

Em 2020, somente os municípios de Analândia, Charqueada, Corumbataí e Porto Ferreira receberam recursos na faixa de R\$ 37.500,00 a R\$ 500.000,00. Este aspecto reflete a necessidade dos demais municípios desenvolverem estratégias para participarem deste programa e alcançarem maior desempenho ambiental.

É importante aprimorar as práticas de gestão de resíduos sólidos, implementar políticas de sustentabilidade e cumprir critérios ambientais para receber este recurso que pode ser empregado para alavancar a qualidade do gerenciamento de RSU em toda a região. Sendo assim, o trabalho conjunto e a busca por maior eficiência no manejo dos resíduos podem contribuir para reduzir desigualdades e promover a preservação ambiental de forma mais abrangente e equitativa.

4.3 ÁREA MÍNIMA PARA INSTALAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO INTERMUNICIPAL

4.3.1 Projeção populacional dos municípios do arranjo

As representações gráficas das projeções populacionais dos municípios do arranjo são apresentadas nas Figuras 25 a 27. Após a escolha do modelo que melhor representa o comportamento demográfico de cada município, foi realizada a soma da projeção populacional dos municípios para definir a projeção demográfica do arranjo.

Figura 25 - Projeção populacional dos municípios de Analândia, Araras, Charqueada e Cordeirópolis.

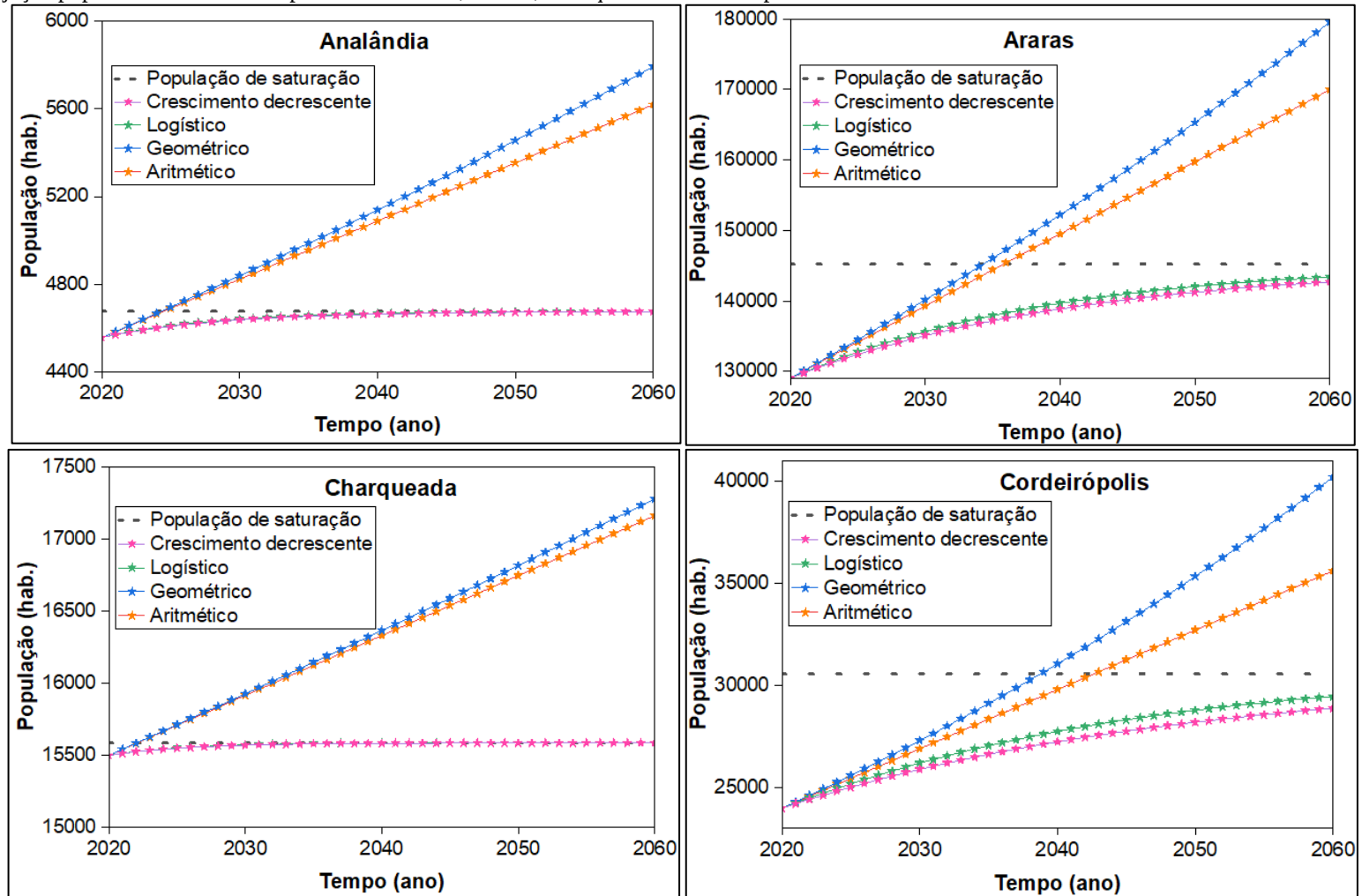


Figura 26 - Projeção populacional dos municípios de Corumbataí, Ipeúna, Mogi-Mirim e Pirassununga.

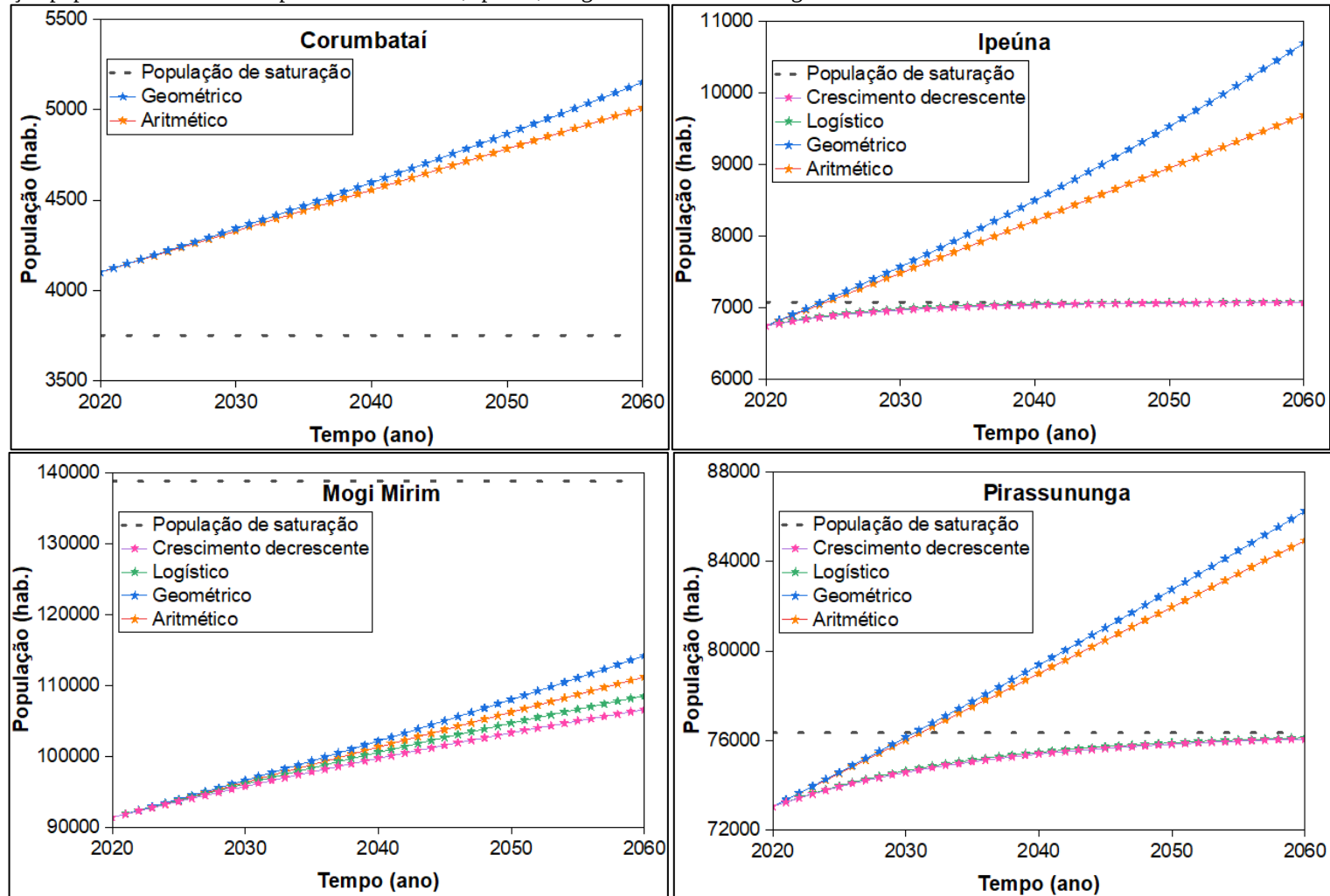
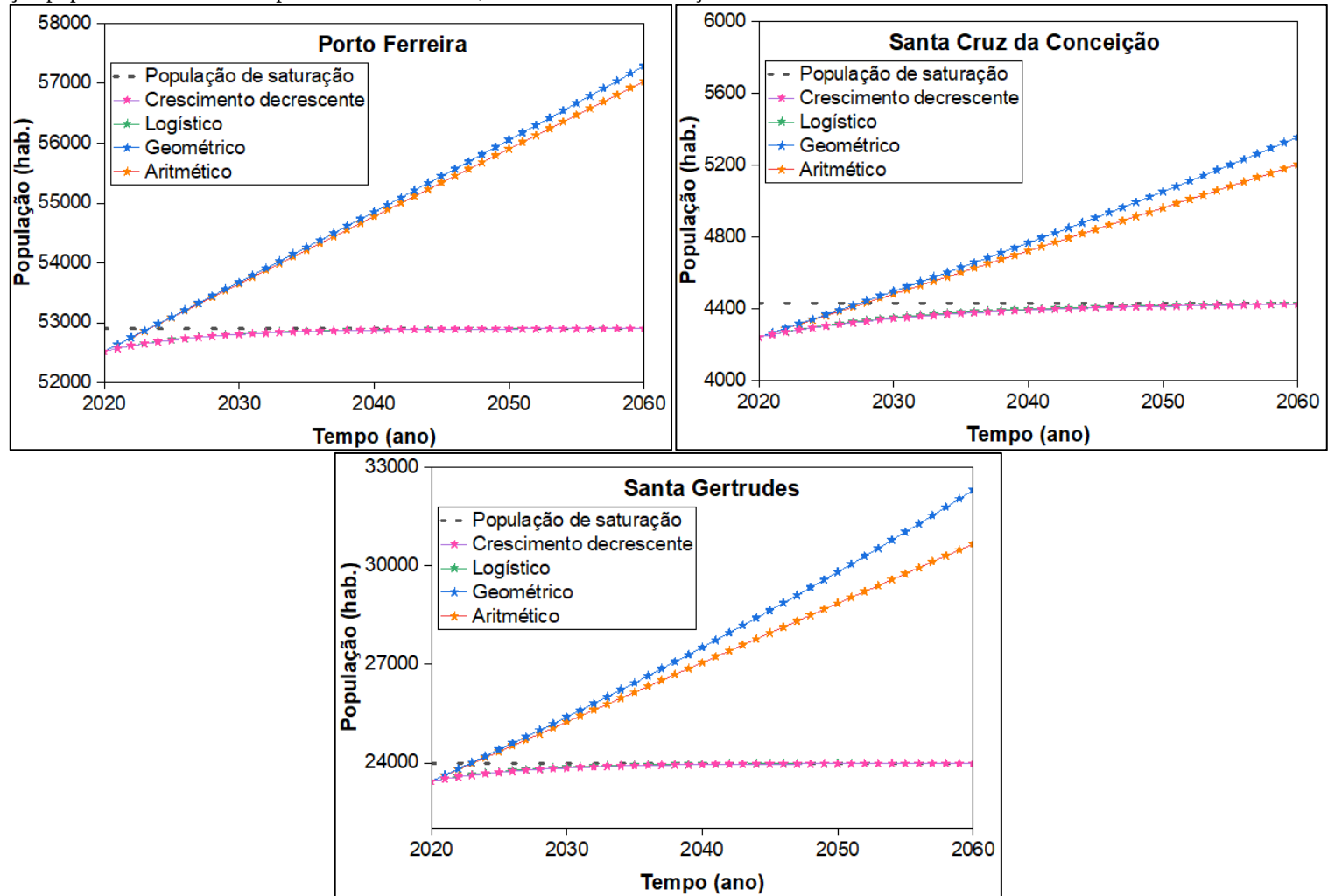


Figura 27 - Projeção populacional dos municípios de Porto Ferreira, Santa Cruz da Conceição e Santa Gertrudes.



Cabem destacar algumas peculiaridades observadas na avaliação da projeção populacional dos municípios:

- **Município de Corumbataí:** não foi possível aplicar os modelos logístico e taxa de crescimento decrescente, pois os dados demográficos destacados nos últimos censos não atendem aos requisitos necessários destacados no Quadro 10 ($P_0 < P_1 < P_2$ e $P_0 \cdot P_2 < P_1^2$);
- **Município de Mogi-Mirim:** apresentou população de saturação superior a população estimada pelos modelos de projeção empregados;
- **Modelos logístico e taxa de crescimento decrescente:** apresentaram valores muito próximos para a maioria dos municípios.

No Quadro 15 são destacados os modelos que melhor representam o crescimento demográfico de cada município do arranjo com base na tendência de crescimento populacional destacada nos últimos censos do IBGE.

Quadro 15 – Determinação dos modelos considerados mais adequados para projeção populacional de cada município do arranjo.

MUNICÍPIOS	MODELOS DE PROJEÇÃO POPULACIONAL MAIS ADEQUADOS
Analândia	Logístico e taxa de crescimento decrescente
Araras	Logístico e taxa de crescimento decrescente
Charqueada	Logístico e taxa de crescimento decrescente
Cordeirópolis	Logístico e taxa de crescimento decrescente
Corumbataí	Aritmético
Ipeúna	Logístico e taxa de crescimento decrescente
Mogi-Mirim	Logístico e taxa de crescimento decrescente
Pirassununga	Logístico e taxa de crescimento decrescente
Porto Ferreira	Logístico e taxa de crescimento decrescente
Santa Cruz da Conceição	Logístico e taxa de crescimento decrescente
Santa Gertrudes	Logístico e taxa de crescimento decrescente

Fonte: Autor (2023).

De forma geral, o modelo de crescimento aritmético apontou um aumento constante na população ao longo dos anos para cada município avaliado. Portanto, na maioria dos municípios

(com exceção dos municípios de Corumbataí) esse modelo não foi considerado adequado para representar o crescimento populacional, já que a população continuou a aumentar além do valor de saturação tomado como referência de máximo crescimento ou a partir do qual, a população tenderia a se estabilizar.

De modo análogo, o modelo de crescimento geométrico também não foi considerado adequado para representar o crescimento dos municípios do arranjo, pois pressupõe um aumento percentual constante da população a cada ano, o que levaria a um crescimento exponencial e dessa forma, ultrapassaria o índice calculado como população de saturação para todos os municípios avaliados.

Já o modelo de crescimento logístico foi considerado como mais adequado (quando comparado aos modelos aritmético e geométrico) para representar a situação real da maioria dos municípios avaliados (com exceção do município de Corumbataí), uma vez que considera que o crescimento populacional desacelera gradualmente à medida em que o número de habitantes se aproxima do valor de referência (população de saturação).

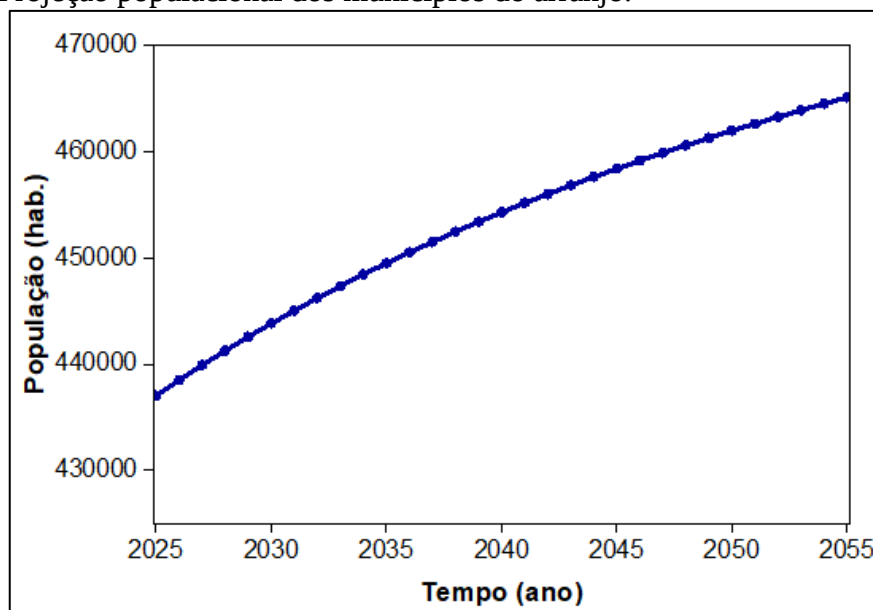
O modelo da taxa de crescimento decrescente apresentou comportamento análogo ao modelo logístico e representou um crescimento populacional mais lento à medida que o número de habitantes de cada município se aproxima do valor de saturação.

Dessa forma, tanto o modelo logístico quanto o de crescimento decrescente indicaram que o crescimento demográfico se estabilizará ao longo do tempo, corroborando com a tendência observada nos últimos três Censos do IBGE (2000, 2010 e 2022) na maioria dos municípios.

Nos casos em que os modelos logístico e da taxa de crescimento decrescente foram elencados como os mais adequados para projeção demográfica dos municípios avaliados, foi adotado o modelo de crescimento decrescente para padronização das estimativas populacionais.

Sendo assim, os dados de cada município foram somados e a projeção populacional do arranjo é apresentada na Figura 28.

Figura 28 – Projeção populacional dos municípios do arranjo.



Fonte: Autor (2023).

De acordo com a modelagem da projeção populacional do arranjo, no ano de 2055 (definido como horizonte de projeto), o ASI atenderá a demanda de 465.125 habitantes.

4.3.2 Projeção da produção de resíduos

A projeção da produção de resíduos é de extrema importância na formação de um consórcio intermunicipal para o gerenciamento de RSU, pois fornece uma base sólida para o planejamento estratégico e a tomada de decisões. Ao estimar a quantidade futura de resíduos, é possível dimensionar corretamente a infraestrutura necessária para seu gerenciamento adequado.

Para estimar a produção de RSU do arranjo foi realizada a análise de correlação entre o índice de geração per capita e o tempo (ano) de cada município. Os coeficientes de determinação (R^2), que indicam o grau de relação entre as variáveis, foram calculados para cada município do arranjo conforme apresentado nas Figuras 29 – 31.

Figura 29 - Correlação entre o tempo e índice de geração per capita de RSU dos municípios de Analândia, Araras, Charqueada e Cordeirópolis.

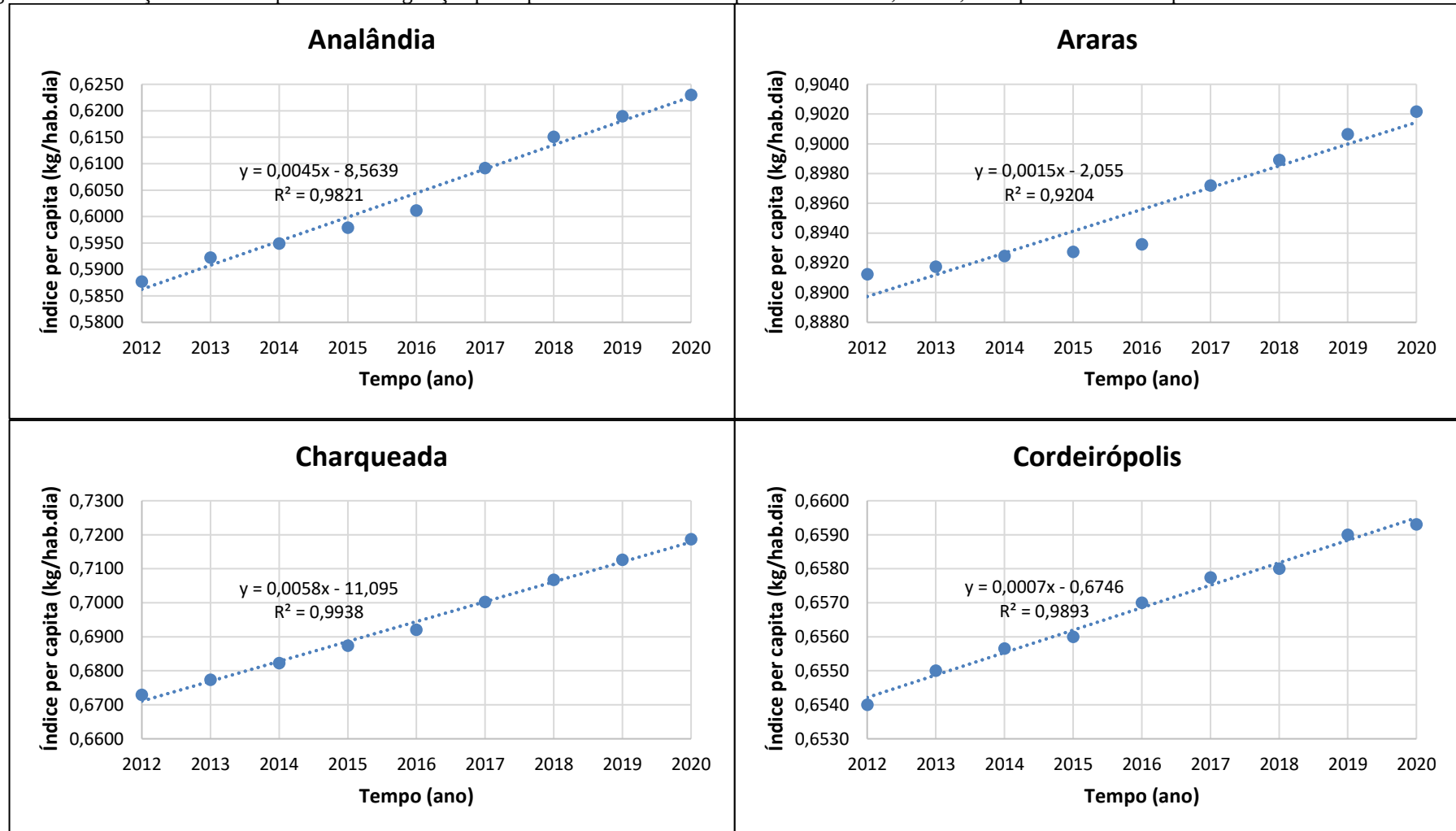


Figura 30 - Correlação entre o tempo e índice de geração per capita de RSU dos municípios de Corumbataí, Ipeúna, Mogi-Mirim e Pirassununga.

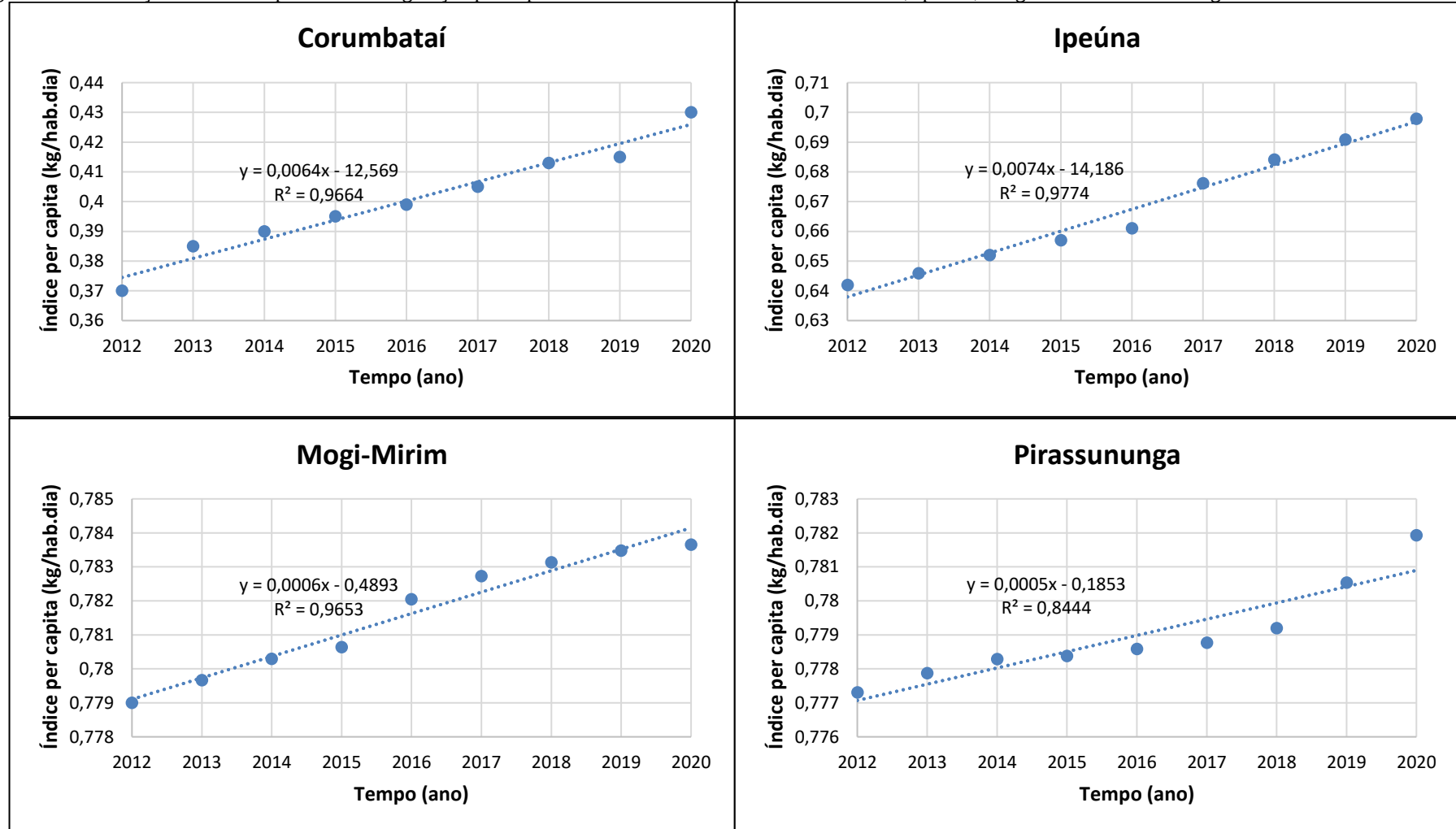
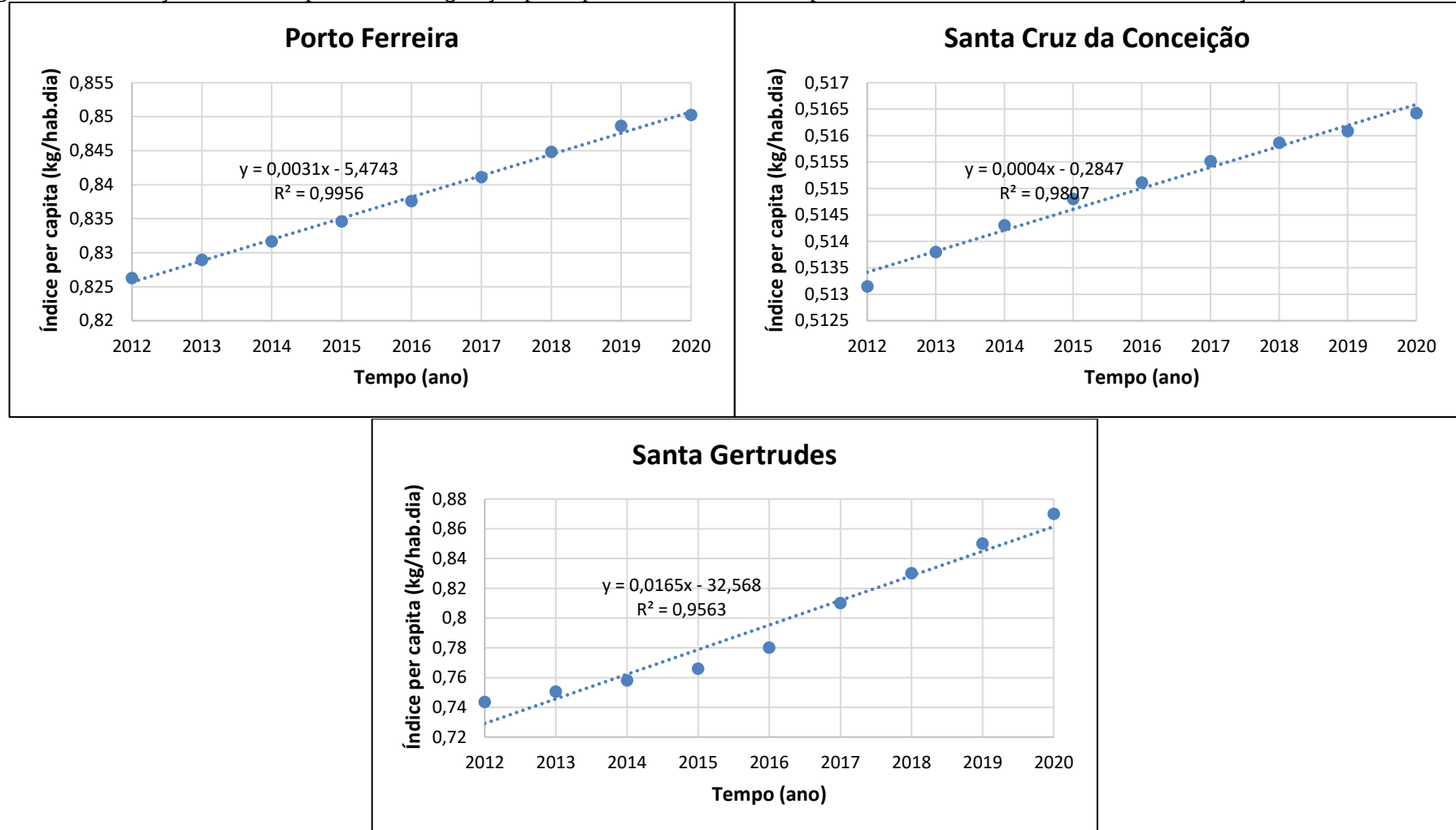


Figura 31 - Correlação entre o tempo e índice de geração per capita de RSU dos municípios de Porto Ferreira, Santa Cruz da Conceição e Santa Gertrudes.



Neste estudo, o coeficiente de determinação (R^2) representa uma medida estatística que indica o quanto o aumento do índice de geração per capita de RSU pode ser explicado pela variação do tempo (em ano). Quanto mais próximo de 1 é o valor de R^2 , maior é a capacidade do modelo estatístico em prever a relação entre as duas variáveis.

Com base no R^2 é possível inferir que todos os municípios do arranjo apresentaram forte correlação positiva entre os parâmetros avaliados (valores próximos de 1). Esse resultado indica a consistência das tendências de aumento da geração de resíduos no período analisado.

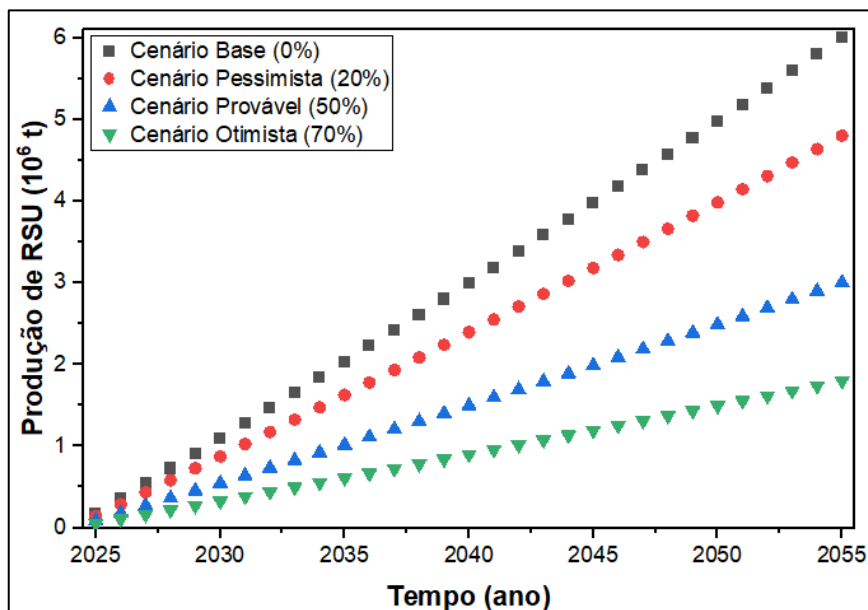
Com relação ao índice médio per capita de geração de RSU para o arranjo, ao longo do período analisado, foi encontrado o valor de 0,87 kg/hab./dia. Este valor é inferior à média estimada para os municípios paulistas, conforme dados do SNIS (2021), que é de 1,01 kg/hab./dia. Essa disparidade pode ser atribuída ao tamanho dos municípios, pois os locais mais densamente povoados tendem a produzir mais resíduos, devido a fatores como poder aquisitivo da população e padrões de consumo. Municípios mais populosos geralmente têm uma produção de resíduos per capita maior, o que contribui para elevar a média do índice do Estado como um todo. Essa análise destaca a influência do porte populacional na geração de RSU e fornece informações valiosas para entender as disparidades nos padrões de produção de resíduos entre diferentes regiões.

4.3.2.1 Cenários da geração de resíduos do arranjo

Projetar a geração de resíduos é um processo complexo, pois envolve diversos fatores, tais como: tamanho, aumento e concentração da população, padrão e hábitos de consumo, poder de compra, condições climáticas, sazonalidade etc. (MMA, 2020).

A partir da estimativa da produção de RSU para cada município do arranjo foram projetados quatro cenários, considerando a redução gradativa do aterramento de RSU em termos percentuais: 0%/20%/50%/70%. A projeção da massa de resíduos gerada de acordo com cada cenário é apresentada na Figura 32.

Figura 32 - Projeção da massa de RSU gerada pelo arranjo durante o horizonte de projeto conforme os cenários pré-definidos.



Fonte: Autor (2023).

O Cenário Base, que representa a situação atual sem coleta seletiva eficiente nos municípios do arranjo, prevê uma quantidade significativa de RSU (6,0 milhões de toneladas) que seria encaminhada ao aterro sanitário durante o horizonte de projeto. Por outro lado, com a adoção de coleta seletiva mais eficiente, é possível reduzir substancialmente o volume de RSU destinado ao aterro sanitário, conforme apresentado nos cenários: Pessimista (4,8 milhões de toneladas), Provável (3,0 milhões de toneladas) e Otimista (1,8 milhão de toneladas).

Essa diferença representa uma variação significativa no volume de resíduos encaminhados ao aterro sanitário e reflete diretamente na eficácia e sustentabilidade do gerenciamento de resíduos do consórcio. A partir desses dados, é evidente que a implementação de coleta seletiva é uma ação estratégica essencial para promover a redução dos impactos ambientais e a maximização da reciclagem e reutilização dos resíduos, alinhada a uma abordagem mais sustentável e responsável para o manejo dos resíduos sólidos no consórcio intermunicipal.

4.3.4 Área mínima para implantação de aterro sanitário

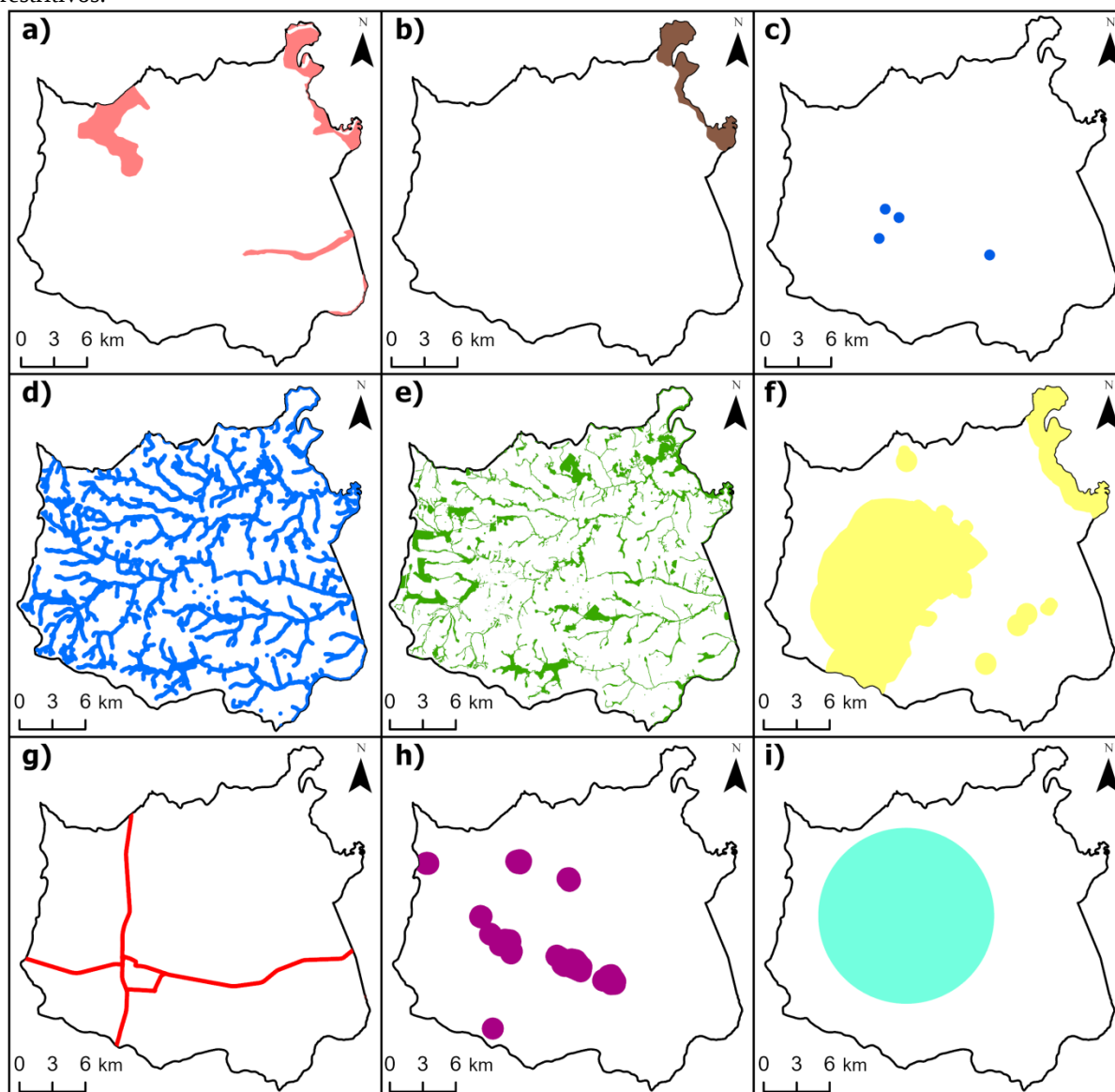
É esperado que no âmbito do consórcio sejam desenvolvidos programas e ações para redução da quantidade de resíduos gerada e que maior eficiência do sistema de coleta seletiva seja atingida. Mesmo assim, para cálculo da área mínima foi utilizado como referência o valor obtido pela projeção do Cenário Pessimista (massa de 4,8 milhões de toneladas de RSU - que condiz com uma abordagem mais cautelosa). Sendo assim, esta massa representa um volume de 7,6 milhões de m³, que requer área mínima de 38,4 hectares (valor arredondado para 40 hectares).

Desta forma, é garantida determinada margem de segurança para atendimento das demandas do consórcio, considerando as possíveis variações no volume de resíduos gerado ao longo do tempo.

4.4 PRIMEIRA APROXIMAÇÃO PARA SELEÇÃO PRELIMINAR DE ÁREAS FAVORÁVEIS À LOCALIZAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO EM ARARAS - SP

A primeira aproximação consistiu na avaliação da área municipal quanto ao atendimento aos critérios restritivos pré-definidos para localização de aterro sanitário. A representação gráfica de cada critério restritivo avaliado é apresentada na Figura 33.

Figura 33 - Mapeamento das áreas inaptas à localização de aterro sanitário de acordo com a análise de critérios restritivos.



*a) Geologia; b) Pedologia; c) Profundidade do nível freático; d) Distância de recursos hídricos; e) Áreas de Preservação Permanente e fragmentos florestais; f) Macrozoneamento e distância de núcleos populacionais e da zona urbana; g) Distância de rodovias; h) Distância de bens tombados (patrimônio histórico-cultural); i) Distância de aeródromo (aeroclube).

Fonte: Autor (2023).

Na Tabela 9 é destacada a representatividade das áreas municipais caracterizadas como inaptas, segundo os critérios restritivos avaliados.

Tabela 9 – Percentual de áreas municipais destacadas como inaptas, segundo a definição dos critérios restritivos, à instalação de aterro sanitário em Araras - SP.

CRITÉRIOS	ÁREA (km ²)	ÁREA (%)
Geologia (Depósitos Colúvio-Eluvionares e Aluvionares)	43,27	6,71
Pedologia (Organossolos)	18,83	2,92
Profundidade do nível freático (< 3m)	0,78	0,12
Distância de recursos hídricos (< 200 m)	232,03	35,98
Presença de Áreas de Preservação Permanente e fragmentos florestais	133,43	20,69
Macrozoneamento (distância de núcleos habitacionais, zona urbana e zona de expansão urbana: < 500 m)	174,06	26,99
Distância de rodovias (< 200 m)	24,65	3,82
Distância de bens tombados (< 1000 m)	34,58	5,36
Distância de aeródromo/aeroclube (< 8 km)	78,50	12,17

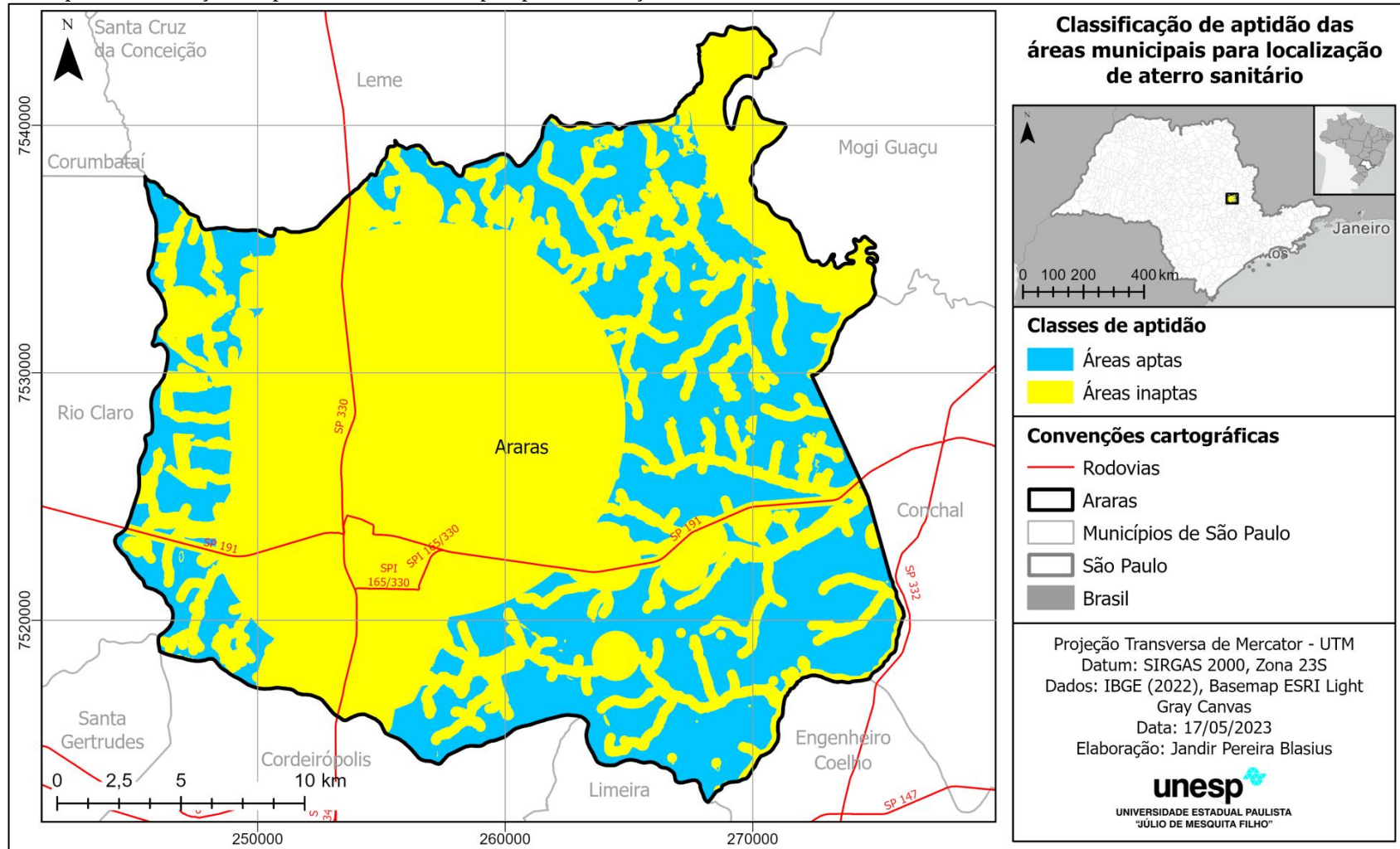
Fonte: Autor (2023).

É possível observar que diversos fatores contribuem para a inadequação de áreas no município. Cerca de 6,71% da extensão municipal foi considerada inadequada devido às suas características geológicas, enquanto 2,92% são impróprios devido à predominância de solos orgânicos (Organossolos). A presença de locais com nível freático a menos de 3 metros de profundidade torna 0,12% da área inadequada para instalação do aterro sanitário. Aproximadamente 36% da área é considerada inapta devido à zona de influência exigida para proteção dos recursos hídricos. Além disso, a presença de APP e fragmentos florestais torna 20,69% da área inapta. A proximidade de macrozonas urbanas, de expansão urbana e de núcleos populacionais rurais e urbanos restringe cerca de 27% da área municipal. A presença de rodovias, bens tombados e aeródromo/aeroclube influencia na inaptidão de 3,82%, 5,36% e 12,17% da área, respectivamente.

Esta análise destaca os desafios em encontrar locais apropriados para a implantação de aterros sanitários em Araras - SP, considerando a necessidade de preservar recursos naturais e áreas ambientalmente sensíveis, bem como respeitar restrições legais e de uso do solo.

Pela aplicação da técnica de sobreposição de mapas, foi possível combinar as regiões destacadas como inaptas para instalação de um aterro sanitário, conforme apresentado na Figura 34.

Figura 34 - Mapa de classificação de aptidão das áreas municipais para localização de aterro sanitário.



De acordo com os critérios elencados, na primeira aproximação para seleção preliminar de áreas para instalação de ASI em Araras - SP, 428,86 km² da área municipal foi definida como área inapta para instalação do empreendimento. Este índice representa 66,5% da área municipal.

As áreas inaptas estão concentradas principalmente próximas à área urbana e de expansão urbana, que socialmente apresentam maior oposição para implantação de um aterro sanitário. Por outro lado, áreas mais afastadas podem ser percebidas como menos intrusivas e com menor probabilidade de causar impactos negativos às comunidades locais.

4.5 SEGUNDA APROXIMAÇÃO PARA SELEÇÃO PRELIMINAR DE ÁREAS FAVORÁVEIS À LOCALIZAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO EM ARARAS - SP

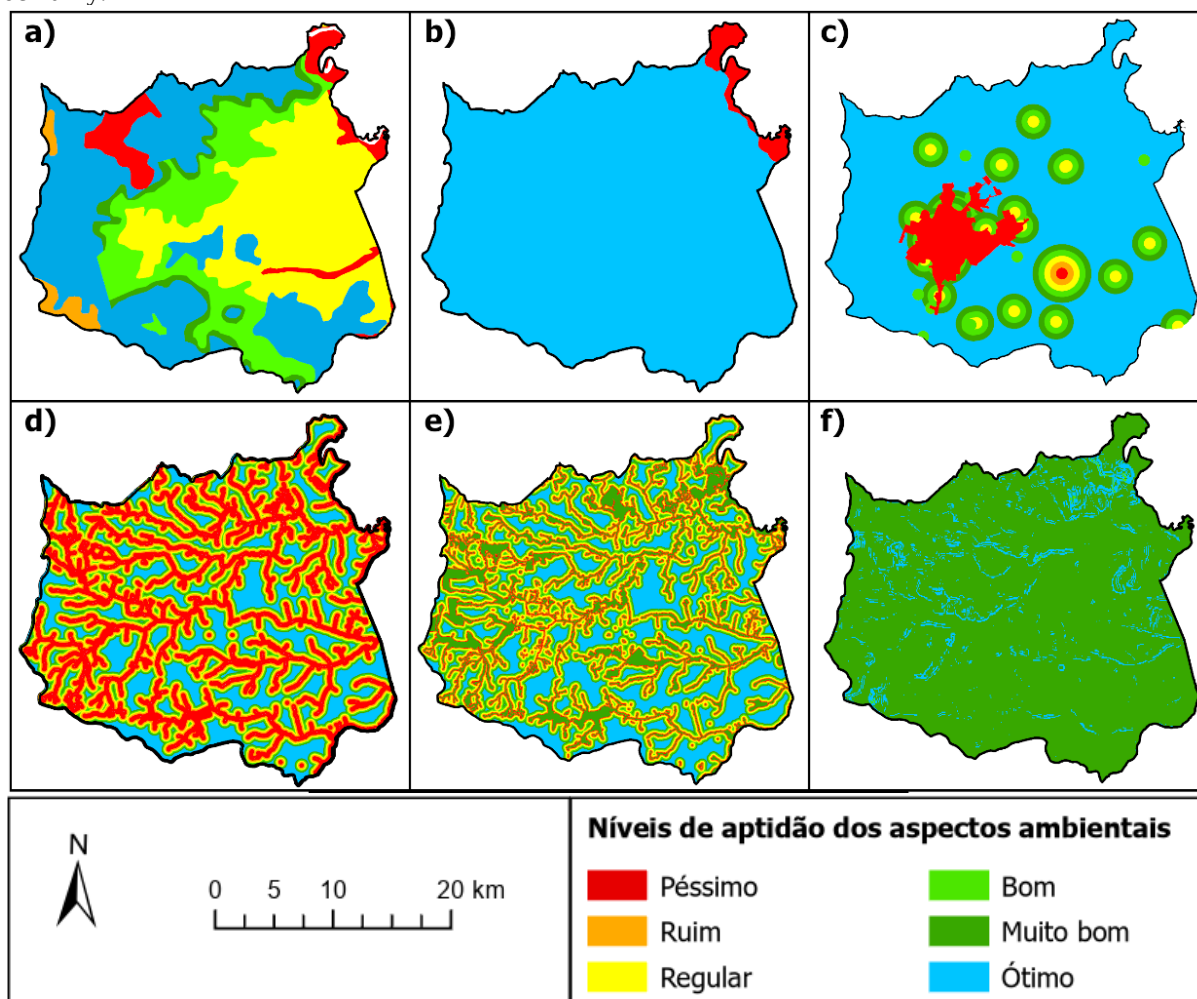
A segunda aproximação para a seleção preliminar de áreas favoráveis à localização de um aterro sanitário em Araras – SP foi realizada com base na lógica de Fuzzy. Este método permitiu a realização de uma análise mais abrangente, levando em consideração as nuances e a complexidade dos aspectos ambientais, sociais e econômicos. Sendo assim, os critérios foram ponderados em diferentes níveis de aptidão: péssimo, ruim, regular, bom, muito bom e ótimo.

Os critérios de cada aspecto foram discutidos individualmente (itens: 4.5.1, 4.5.2 e 4.5.3) e o peso dos critérios de cada aspecto foi definido pelo uso da técnica AHP, por meio da elaboração de matriz de comparação pareada (item 4.5.4 e subitens 4.5.4.1, 4.5.4.2, 4.5.4.3). Na sequência, os critérios ponderados foram agrupados (item 4.5.5) para comporem os cenários pré-definidos (1: 100% ambiental; 2: 100% econômico, 3: 100% social; e 4: 33,3% ambiental + 33,3% econômico + 33,3% social). A seguir, é apresentada a avaliação de cada aspecto e dos cenários gerados.

4.5.1 Aspectos ambientais

A categorização dos aspectos ambientais do município de Araras permitiu a realização de uma análise mais completa e contextualizada dos seguintes atributos: geologia, pedologia, nível freático, hidrografia, vegetação e declividade. A representação gráfica da ponderação dos critérios relativos aos aspectos ambientais é apresentada na Figura 35 e os dados estatísticos são sumarizados na Tabela 10.

Figura 35 - Categorização dos aspectos ambientais do município de Araras segundo atribuição de notas pela lógica de Fuzzy.



*a) Geologia; b) Pedologia; c) Profundidade do nível freático; d) Distância de recursos hídricos; e) Distância de Áreas de Preservação Permanente e fragmentos florestais; f) Declividade.

Fonte: Autor (2023).

Em relação ao critério Geologia, 6,71% da área municipal foi classificada com nível de aptidão Péssimo, 1,87% como Ruim, 30,81% como Regular, 17,36% como Bom, 5,17% como Muito bom e 38,09% como Ótimo (Tabela 11). Estes dados indicam que uma porcentagem considerável das áreas municipais possui condições inadequadas para a instalação de um aterro sanitário (39,39%), que inclui áreas classificadas como péssimas, ruins e regulares. Estas áreas apresentam características geológicas desfavoráveis, tais como: alta permeabilidade do material gênese e baixa resistência mecânica das rochas. Essas condições geológicas podem comprometer o subsolo do local do aterro sanitário, o que torna essas áreas impróprias para esse tipo de instalação (Kamdar, 2019).

Tabela 10 - Classificação percentual de áreas municipais quanto ao nível de aptidão dos aspectos ambientais.

CRITÉRIOS	NÍVEIS DE APTIDÃO DA ÁREA MUNICIPAL (%)					
	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Muito bom	Ótimo
Geologia	6,71	1,87	30,81	17,36	5,17	38,09
Pedologia	2,92	-	-	-	-	97,08
Profundidade do nível freático	0,07	0,32	1,01	69,09	19,38	10,13
Distância de recursos hídricos	35,98	14,59	12,81	10,36	8,49	17,30
Presença de APP e fragmentos florestais	29,27	9,29	16,03	11,36	13,56	20,49
Declividade	-	-	-	0,16	92,43	7,41

Fonte: Autor (2023).

A avaliação das características pedológicas revelou que a maioria das áreas municipais possui condições altamente favoráveis (97,08%) para a instalação de um aterro sanitário. Apenas uma parcela (2,92%) apresenta condições pedológicas desfavoráveis, devido à presença de solos de origem orgânica. As áreas favoráveis são predominantemente compostas por solos argilosos, o que contribui para um suporte adequado e estável para a construção e operação de um aterro sanitário.

Com relação ao critério “profundidade no nível freático” os dados mostraram que a maioria das áreas municipais (98,60%) apresenta profundidade adequada, sendo classificadas com nível de aptidão Bom (69,09%), Muito bom (19,38%) e Ótimo (10,13%). Isso significa que nessas áreas a água subterrânea está localizada em uma profundidade suficiente para reduzir o risco de contaminação. A preservação deste recurso é essencial, pois representa uma importante fonte de abastecimento de água no município de Araras.

No entanto, é importante destacar que uma porcentagem relativamente pequena de áreas municipais apresenta nível de aptidão Péssimo (0,07%), Ruim (0,32%) e Regular (1,01%), que indicam que nestes locais o nível freático está mais próximo da superfície. Essas áreas são consideradas inaptas para a instalação de um aterro sanitário devido ao risco de contaminação das águas subterrâneas.

A avaliação do critério “distância de recursos hídricos” revelou que uma porcentagem significativa (63,38%) das áreas municipais é considerada inadequada para a instalação de um aterro sanitário devido à proximidade dos recursos hídricos. As áreas categorizadas como "Péssimas" (35,98%), "Ruins" (14,59%) e "Regulares" (12,81%) denotam que essas regiões estão próximas de cursos de água e corpos d'água, sendo assim, um aterro sanitário no local

pode representar um risco potencial de contaminação destas fontes hídricas. Por outro lado, as classes Boa (10,36%), Muito boa (8,49%) e Ótima (17,30%) indicam uma distância segura dos recursos hídricos e, portanto, são mais adequadas para a localização de um aterro sanitário, com vista a minimizar os potenciais impactos ambientais negativos.

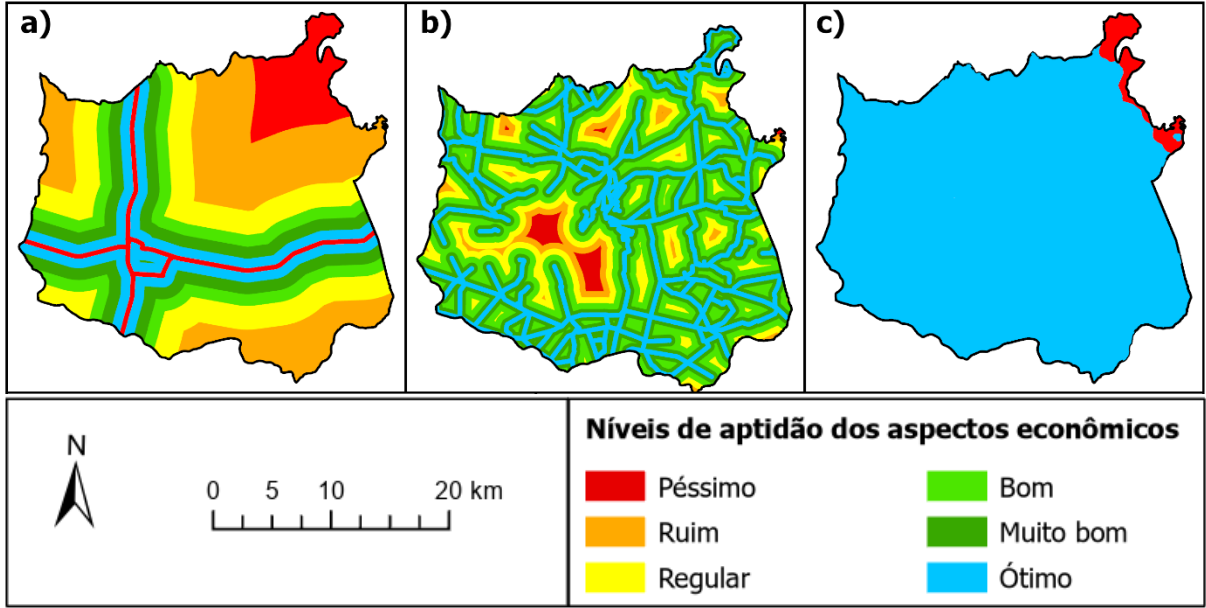
Devido à existência de áreas protegidas (presença de APP e fragmentos florestais) uma área municipal considerável (38,56% - soma das categorias Péssimo e Ruim) foi considerada inadequada ou com nível de aptidão Regular (16,03%) para a instalação de um aterro sanitário. É importante evitar essas áreas e priorizar as áreas com níveis de aptidão Bom (11,36%), Muito bom (13,26%) e Ótimo (20,49%), que indicam uma menor presença de áreas protegidas e são mais adequadas para a instalação de um aterro sanitário, com vista a reduzir potenciais impactos adversos sobre o meio ambiente natural.

A declividade municipal foi classificada com níveis de aptidão Bom (0,16%), Muito bom (92,43%) e Ótimo (7,41%), que indicam características favoráveis, com inclinação suave o suficiente para garantir a estabilidade do terreno e facilitar a instalação e operação de um aterro sanitário. Sendo assim, este critério não foi considerado como um fator significativo para a instalação do empreendimento no município de Araras.

4.5.2 Aspectos econômicos

A fim de categorizar os aspectos econômicos para a localização de um aterro sanitário no município de Araras, foram considerados os seguintes critérios: proximidade de rodovias e de estradas e disponibilidade de material de cobertura. A representação visual da ponderação desses critérios pode ser observada na Figura 36, enquanto os dados estatísticos correspondentes são resumidos na Tabela 11.

Figura 36 - Categorização dos aspectos econômicos do município de Araras segundo atribuição de notas pela lógica de Fuzzy.



*a) Distância de rodovias; b) Distância de estradas; c) Existência de material de cobertura no local (solos argilosos).
Fonte: Autor (2023).

Tabela 11 - Classificação percentual de áreas municipais quanto ao nível de aptidão dos aspectos econômicos.

CRITÉRIOS	NÍVEIS DE APTIDÃO DA ÁREA MUNICIPAL (%)					
	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Muito bom	Ótimo
Distância de rodovias	11,64	12,88	13,74	12,53	20,74	28,47
Distância de estradas	1,86	4,13	11,89	27,87	29,04	25,21
Distância de local com disponibilidade de material de cobertura	2,92	-	-	-	-	97,08

Fonte: Autor (2023).

A avaliação das áreas municipais quanto ao critério “distância de rodovias” para a instalação de um aterro sanitário indicou a existência de áreas caracterizadas como péssimas (11,64%), ruins (12,88%) e regulares (13,74%). Estas áreas estão muito próximas ou muito afastadas das rodovias, o que pode gerar desafios logísticos como a dificuldade de acesso para o transporte de resíduos e para o gerenciamento de tráfego, além de impactos negativos, como ruído, emissões de gases e odores e atração da avifauna, que podem afetar as áreas adjacentes e causar riscos de acidentes de trânsito.

Por outro lado, as áreas classificadas como boas (12,53%), muito boas (20,74%) e ótimas (28,47%) apresentam distâncias mais adequadas, proporcionando melhores condições para a instalação do aterro sanitário. Essas áreas estão afastadas o suficiente para minimizar os impactos negativos mencionados anteriormente e facilitam o acesso de veículos de coleta e transporte de resíduos e as operações logísticas do aterro sanitário.

Na avaliação do critério “distância de estradas”, 17,88% das áreas municipais foram categorizadas como inadequadas para instalação de um aterro sanitário, que incluem as classes: péssima (1,86%), ruim (4,13%) e regular (11,89%). Diferentemente do critério “distância das rodovias”, a distância de estradas recebeu melhor avaliação quanto mais próximo das vias. Essa abordagem é baseada no fato de que a proximidade reduziria os custos de manutenção das estradas, além de minimizar os gastos com o transporte de resíduos (combustível, manutenção de veículos, tempo de percurso e mão de obra), como destacado nos estudos de Alkhuzai e Janna (2018) e Oliveira et al. (2021). Portanto, optar por locais mais próximos das estradas existentes deve ajudar a reduzir esses custos, já que a distância percorrida seria menor.

A avaliação de aptidão do critério “distância de locais com disponibilidade de material de cobertura” (solos argilosos) mostrou que as áreas municipais foram majoritariamente consideradas adequadas (nível ótimo de 97,08%) para a instalação de um aterro sanitário. A presença de solos argilosos é benéfica para um aterro sanitário, pois esses solos têm características físicas e químicas que promovem a vedação adequada e a minimização da percolação de líquidos através do aterro. Além disso, a argila oferece uma boa capacidade de retenção de água e menor permeabilidade, ajudando a proteger as águas subterrâneas de possíveis contaminações.

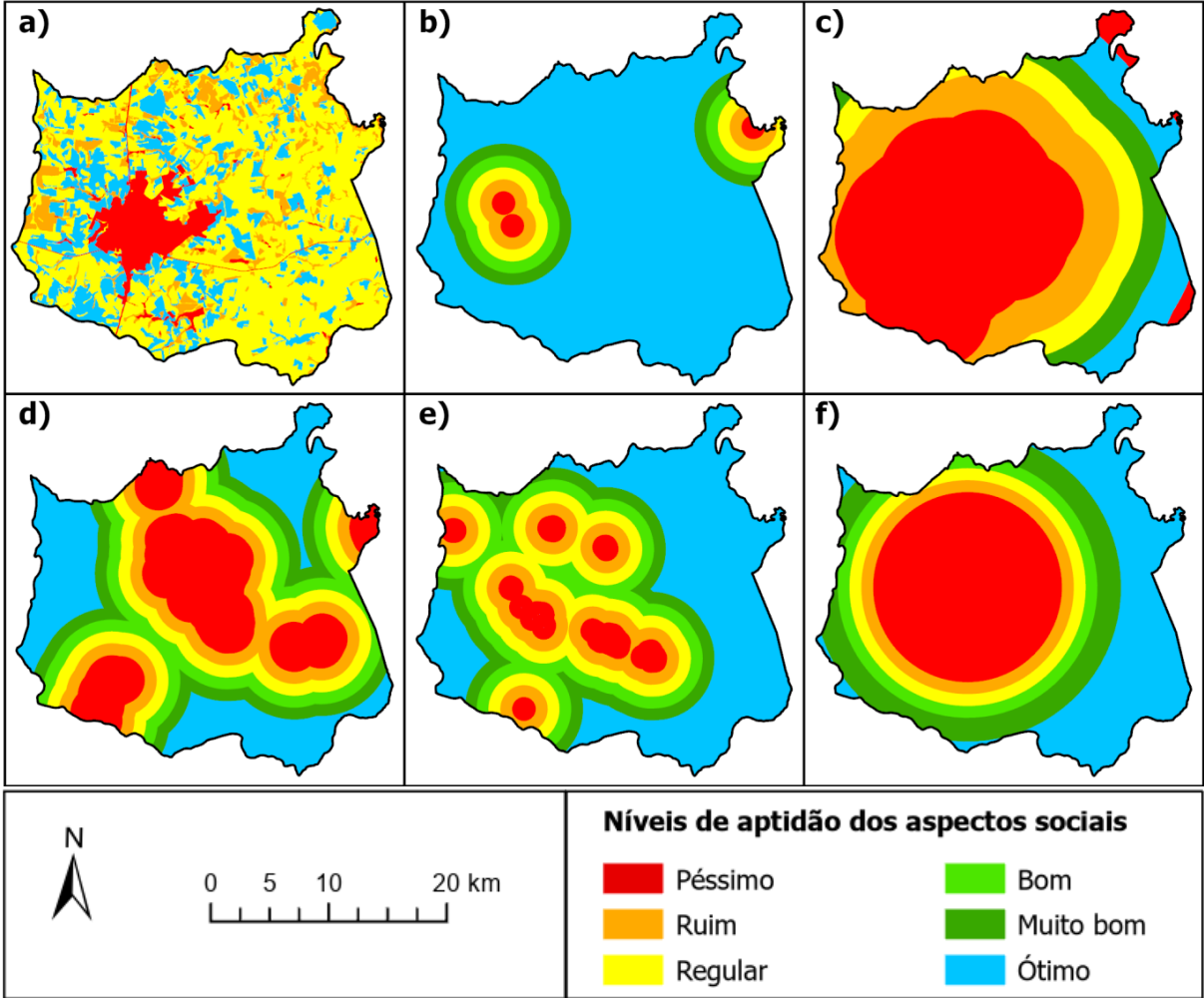
Por outro lado, apenas uma pequena porcentagem das áreas é classificada como péssima (2,92%) devido à presença de solos de origem orgânica. Os solos orgânicos são inadequados para a instalação e operação de um aterro sanitário, pois apresentam alta permeabilidade e podem permitir a percolação de lixiviado e a contaminação do solo e subsolo.

4.5.3 Aspectos sociais

A fim de categorizar os aspectos sociais para a localização de um aterro sanitário no município de Araras, foram considerados os seguintes critérios: uso e ocupação do solo,

distâncias em relação a locais de captação de água para abastecimento, de zona urbana, de núcleos populacionais rurais (chácaras e assentamentos), bens tombados e aeródromo. A representação visual da ponderação desses critérios pode ser observada na Figura 37, enquanto os dados estatísticos correspondentes são resumidos na Tabela 12.

Figura 37 - Categorização dos aspectos sociais do município de Araras segundo atribuição de notas pela lógica de Fuzzy.



*a) Uso e ocupação do solo; b) Distância de locais de captação de água para abastecimento; c) Distância de zona urbana; d) Distância de núcleos populacionais rurais (chácaras e assentamentos); e) Distância de bens tombados; f) Distância do aeródromo.

Fonte: Autor (2023).

Tabela 12 - Classificação percentual de áreas municipais quanto ao nível de aptidão dos aspectos sociais.

CRITÉRIOS	NÍVEIS DE APTIDÃO DA ÁREA MUNICIPAL (%)					
	Péssimo	Ruim	Regular	Bom	Muito bom	Ótimo
Uso e ocupação do solo	7,61	10,49	61,18	-	-	20,72
Distância de locais de captação de água para abastecimento	1,31	3,19	4,66	5,59	6,94	78,31
Distância de zona urbana	48,5	8,87	9,98	-	10,74	21,91
Distância de núcleos populacionais rurais (chácaras e assentamentos)	22,38	13,53	13,87	13,78	10,83	25,52
Distância de bens tombados	6,86	12,32	15,35	14,78	10,26	40,43
Distância do aeródromo	31,17	8,29	8,85	8,97	15,94	26,78

Fonte: Autor (2023).

A análise de aptidão do uso e ocupação do solo de Araras - SP indicou que a maioria das áreas municipais foi classificada com nível de adequação regular (61,18%) para a instalação de um aterro sanitário. Isso se deve a restrições legais, conflitos com outros usos do solo ou por apresentar características desfavoráveis (áreas protegidas ou ecologicamente sensíveis) que impedem sua utilização para essa finalidade. Além disso, uma porcentagem considerável de áreas é classificada como ruim (10,49%) e péssima (7,61%), o que reforça a inaptidão dessas regiões para a instalação de um aterro sanitário. Por outro lado, 20,72% da área municipal foi classificada como ótima (20,72%), que indica a presença de locais adequados para a instalação do empreendimento, por apresentar conformidade com regulamentos e legislação aplicável, além de não destacar conflito com outros usos do solo.

Com relação aos locais de captação de água para abastecimento, a maioria das áreas municipais foi classificada como ótima (78,31%) para a instalação de um aterro sanitário. Isso ocorreu em virtude dessas áreas serem localizadas suficientemente distantes dos pontos de captação de água. Sendo assim, o risco de contaminação destas fontes é menor e maior é a garantia da segurança do abastecimento. Por outro lado, uma pequena porcentagem de áreas foi classificada como péssima (1,31%), ruim (3,19%) e regular (4,66%), que indicam certa proximidade dos locais de captação de água. É importante evitar essas áreas e priorizar as áreas classificadas como boas (5,59%) e muito boas (6,94%) para garantir a proteção dos recursos

hídricos utilizados para abastecimento e minimizar os riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública.

De acordo com a avaliação da proximidade da zona urbana, foi constatado que 48,5% das áreas municipais foram classificadas como péssimas, 8,87% como ruins, 9,98% como regulares, 10,74% como muito boas e 21,91% como ótimas. Essa classificação considerou os potenciais riscos à saúde, segurança e bem-estar da comunidade local, além da oposição popular em relação à instalação e operação do aterro sanitário.

Com base nesses dados, é possível afirmar que as áreas classificadas como muito boas e ótimas são as mais adequadas para a instalação do empreendimento. Essas regiões estão mais afastadas da zona urbana, o que reduz os possíveis impactos negativos sobre a saúde e o bem-estar da população. Além disso, a menor oposição popular nessas áreas pode facilitar o processo de implementação e operação do empreendimento.

A análise de aptidão da distância de núcleos populacionais rurais (chácaras e assentamentos) classificou 22,38% das áreas municipais como péssima, 13,53% como ruim, 13,87% como regular, 13,78% como boa, 10,83% como muito boa e 25,52% como ótima. A proximidade da localização de um aterro sanitário às áreas residenciais pode acarretar riscos significativos para a saúde e segurança dos moradores locais, implicar custos elevados de desapropriação e enfrentar oposição social. Portanto, com base nessa análise, foram priorizadas as áreas mais afastadas com intuito de minimizar os efeitos adversos potenciais e preservar o bem-estar e a qualidade de vida das pessoas afetadas.

A avaliação do critério “distância de bens tombados” para a instalação de um aterro sanitário indicou que 6,86% da área municipal foi classificada com nível de aptidão Péssimo, 12,32% como Ruim, 15,35% como Regular, 14,78% como Bom, 10,26% como Muito bom e 40,43% como Ótimo. A proximidade do empreendimento a bens tombados pode acarretar riscos de danos ou impactos negativos aos elementos do patrimônio cultural e histórico da região. Portanto, é priorizado o seu estabelecimento em áreas com classificações mais favoráveis (boas, muito boas e ótimas) a fim de preservar o valor e a integridade desses bens.

Considerando a distância do aeródromo municipal, 31,17% das áreas foram classificadas como péssimas, 8,29% como ruins e 8,85% como regulares, por estarem muito próximas do aeródromo, o que pode representar riscos de segurança e interferências nas operações aeroportuárias. Por outro lado, as áreas classificadas como boas (8,97%), muito boas

(15,94%) e ótimas (26,78%) possuem distâncias mais adequadas, que minimizam os impactos negativos e riscos relacionados ao aeródromo, e desta forma, é possível garantir a segurança e o bom funcionamento tanto do aterro sanitário quanto do aeródromo.

4.5.4 Matriz de Comparação Pareada (MCP)

Para atribuição de pesos aos critérios dos aspectos ambientais, econômicos e sociais foi empregada a MCP. Essa metodologia permitiu o julgamento e a comparação entre os diferentes critérios, possibilitando uma análise mais abrangente e sistemática de cada aspecto, conforme apresentado nos subitens a seguir.

4.5.4.1 Julgamento dos aspectos ambientais

O peso dos critérios ambientais foi definido com o intuito de garantir a preservação e proteção do meio ambiente durante todas as fases do projeto. Na Tabela 13 é apresentada a comparação pareada de julgamento dos critérios relacionados aos fatores ambientais.

Tabela 13 - Matriz de comparação pareada de julgamento dos critérios ambientais.

	GEO	NF	PED	DRHS	DEC	VEG	PESOS (%)
GEO	1,00	0,14	0,20	0,14	2,00	0,33	3,60
NF	7,00	1,00	5,00	0,50	9,00	5,00	31,90
PED	5,00	0,20	1,00	0,20	9,00	5,00	15,60
DRHS	7,00	2,00	5,00	1,00	9,00	5,00	39,70
DEC	0,50	0,11	0,11	0,11	1,00	0,25	2,40
VEG	3,00	0,20	0,20	0,20	4,00	1,00	5,20
SOMA							100,00%
RAZÃO DE CONSISTÊNCIA							9,50%

*GEO: Geologia; NF: Nível Freático; PED: Pedologia; DRHS: Distância de Recursos Hídricos Superficiais; DEC: Declividade; VEG: Vegetação.

Fonte: Autor (2023).

Foram realizadas 15 comparações pareadas e a avaliação apresentou razão de consistência igual a 9,50%, que corresponde a um bom índice de consistência de julgamentos dos aspectos ambientais.

O critério que recebeu maior peso foi “distância de recursos hídricos superficiais” (39,70%), seguido por: nível freático (31,90%), pedologia (15,60%), vegetação (5,20%), geologia (3,60%) e declividade (2,40%).

A distância de recursos hídricos superficiais foi considerada como o critério mais relevante do ponto de vista ambiental, devido à importância da proteção das águas superficiais e em função da alta densidade de canais e interflúvios de água presentes no município de Araras.

Com relação ao nível freático, mesmo com o levantamento de poucos pontos críticos no território municipal (loais com nível freático próximo à superfície), este critério recebeu pontuação alta, devido à importância deste recurso para abastecimento público, à gravidade da poluição e contaminação dos aquíferos locais e à complexidade de remediação.

A “pedologia” foi classificada como o terceiro critério mais importante para o estudo, pois a permeabilidade do solo apresenta forte influência na depuração de substâncias contaminantes, no caso de acidentes ambientais. Além disso, o município de Araras apresenta áreas com solos de elevada permeabilidade (Organossolos), que podem facilitar a movimentação e o transporte de contaminantes.

A “vegetação” foi classificada como quarto critério em ordem de prioridade, isto porque apesar de sua importância como componente ambiental, o município não dispõe de áreas de proteção ambiental estabelecidas, tais como: unidades de conservação e reservas naturais etc. Cabe destacar que as APP já haviam sido consideradas no primeiro nível de avaliação como fator restritivo à implantação de um aterro sanitário.

A “Geologia” recebeu baixa pontuação, pois poucos locais apresentam restrição quanto à resistência mecânica das rochas e às características de permeabilidade do material gênese das camadas litológicas. Ainda, no município não foram identificados locais com instabilidade geológica que poderiam prejudicar o bom funcionamento de um aterro sanitário. Por fim, a declividade recebeu a menor pontuação, pois o município de Araras não apresenta locais com restrição a este critério (declividade superior a 30%).

4.5.4.2 Julgamento dos aspectos econômicos

Os critérios econômicos foram ponderados de acordo com sua importância relativa no processo de tomada de decisão com intuito de otimizar os custos de instalação e operação do

aterro sanitário. Na Tabela 14 é apresentada a matriz de comparação pareada do julgamento destes critérios.

Tabela 14 - Matriz de comparação pareada de julgamento dos critérios econômicos.

	Distância de rodovias	Distância de estradas	Material de cobertura	PESOS (%)
Distância de rodovias	1,00	4,00	0,20	19,40
Distância de estradas	0,25	1,00	0,11	6,30
Material de cobertura	5,00	9,00	1,00	74,30
SOMA				100,00%
RAZÃO DE CONSISTÊNCIA				7,40%

Fonte: Autor (2023).

Durante o processo de avaliação, foram realizadas 6 comparações pareadas entre os critérios econômicos considerados. Essas comparações permitiram estabelecer uma hierarquia de importância entre estes critérios, com consideração das características e impactos relevantes.

A distância de rodovias recebeu o peso de 19,40%, que indica que a proximidade ou afastamento das rodovias é um fator relevante a ser considerado na escolha da área devido aos custos logísticos e aos potenciais impactos adversos ao trânsito. Já a distância de estradas, com um peso de 6,30%, também teve uma influência menor na decisão final, pois sua proximidade ou afastamento é menos crítica e envolve custos menos expressivos para sua construção e manutenção.

Por outro lado, a disponibilidade de material de cobertura obteve o maior peso na avaliação dos aspectos econômicos, com 74,30%. Isso indica que a capacidade de obter material adequado para a cobertura dos resíduos no aterro sanitário é um fator de extrema importância na seleção da área, que impacta diretamente nos custos de operação do aterro, devido ao grande volume requerido para recobrimento das células de disposição de rejeitos.

4.5.4.3 Julgamento dos aspectos sociais

O julgamento dos aspectos sociais consistiu na definição do peso de cada critério avaliado com o intuito de evitar ou minimizar possíveis impactos negativos à qualidade de vida das pessoas afetadas, harmonizar as necessidades e expectativas da comunidade, além de

favorecer a aceitação pública do empreendimento. Na Tabela 15 é apresentada a comparação pareada de julgamento dos critérios relacionados aos fatores sociais.

Tabela 15 - Matriz de comparação pareada de julgamento dos critérios sociais.

	UOS	DLCAA	DZU	DNPR	PHC	DA	PESOS (%)
UOS	1,00	0,20	0,33	0,50	0,25	3,00	7,20
DLCAA	5,00	1,00	1,00	3,00	1,00	5,00	27,4
DZU	3,00	1,00	1,00	3,00	1,00	7,00	26,3
DNPR	2,00	0,33	0,33	1,00	1,00	5,00	13,8
PHC	4,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	21,8
DA	0,33	0,20	0,14	0,20	0,20	1,00	3,6
SOMA							100,00%
RAZÃO DE CONSISTÊNCIA							3,5%

*UOS: Uso e Ocupação do Solo; DLCAA: Distância de Locais para Captação de Água para Abastecimento; DZU: Distância da Zona Urbana; DNPR: Distância de Núcleos Populacionais Rurais (chácaras e assentamentos); PHC: Patrimônio Histórico e Cultural; DA: Distância de Aeródromo.

Fonte: Autor (2023).

O critério “uso e ocupação do solo” recebeu peso de 7,20%, que indica que a forma como o solo está sendo utilizado e ocupado é um fator a ser considerado, mas não possui um peso tão significativo comparado aos demais atributos sociais. Isto ocorreu porque em alguns casos há sobreposição de camadas, como no caso da classe de “áreas construídas” e o critério “distância da zona urbana” (que foi avaliado separadamente).

Ao critério “distância de locais para captação de água para abastecimento” foi atribuído o maior peso (27,4%). Esta ponderação reflete a necessidade e a importância de manter uma distância adequada entre o aterro sanitário e os pontos de captação de água destinados ao abastecimento público para evitar a contaminação ou exigência de tratamento mais complexo da água, e garantir a sustentabilidade dos recursos naturais e da biodiversidade.

O critério “distância da zona urbana” recebeu o segundo maior peso (26,3%) devido à necessidade de garantir uma distância segura entre o empreendimento e as áreas urbanas. Este distanciamento visa minimizar potenciais impactos negativos, tais como: degradação da paisagem (que causa a desvalorização dos imóveis nas proximidades), conflitos com outras atividades urbanas, como indústrias, comércio e até mesmo residências; riscos de acidentes e incidentes (incêndios, vazamentos ou instabilidade do terreno). O afastamento apropriado ajuda a preservar a estética e a atratividade das áreas urbanas, além de contribuir para o desenvolvimento harmonioso das áreas urbanas e a preservação da qualidade de vida da população.

A distância de núcleos populacionais rurais (chácaras e assentamentos) também recebeu um peso significativo, de 13,8%. Esta ponderação foi atribuída com intuito de proteger a saúde, o bem-estar e os meios de subsistência das comunidades rurais, ao mesmo tempo em que se assegura uma gestão ambientalmente responsável dos resíduos sólidos, com a minimização dos impactos negativos para o meio ambiente e para a sociedade local.

O critério “patrimônio histórico-cultural” foi ponderado com 21,8%, demonstrando a necessidade de proteger e preservar o legado cultural e histórico da região durante o processo de escolha da localização do aterro sanitário. Esse critério visa garantir que a instalação do aterro não comprometa ou cause danos irreparáveis a sítios, monumentos, áreas arqueológicas, tradições culturais e outros elementos patrimoniais relevantes.

A atribuição de peso igual a 3,6% ao critério de "distância de aeródromo" indica que a proximidade do aterro sanitário em relação a este empreendimento é um aspecto a ser considerado, porém, com uma importância menor em comparação aos outros critérios. Essa decisão foi tomada com base no fato de que o aeródromo em questão é voltado para fins esportivos e não recebe voos frequentes ou de grande porte.

Esses pesos refletem a importância relativa de cada critério na avaliação da localização do aterro sanitário em Araras-SP, considerando as características locais, regulamentações ambientais e necessidades da comunidade. A escolha dos critérios e suas respectivas ponderações foi fundamental para auxiliar no processo de tomada de decisão para seleção da área mais favorável para instalação do empreendimento.

4.5.5 Cenários da classificação de aptidão das áreas municipais

Para localização de aterro sanitário no município de Araras - SP foram considerados quatro cenários com base nos aspectos ambientais, econômicos e sociais (1: 100% ambiental; 2: 100% econômico; 3: 100% social; e 4: 33,3% ambiental + 33,3% econômico + 33,3 social). A representação gráfica dos cenários é apresentada nas Figuras 38 – 41.

Na Tabela 16 são apresentados os resultados da classificação de aptidão das áreas municipais de acordo com cada cenário.

Figura 38 - Cenário 1: Avaliação dos aspectos ambientais para localização de aterro sanitário em Araras-SP.

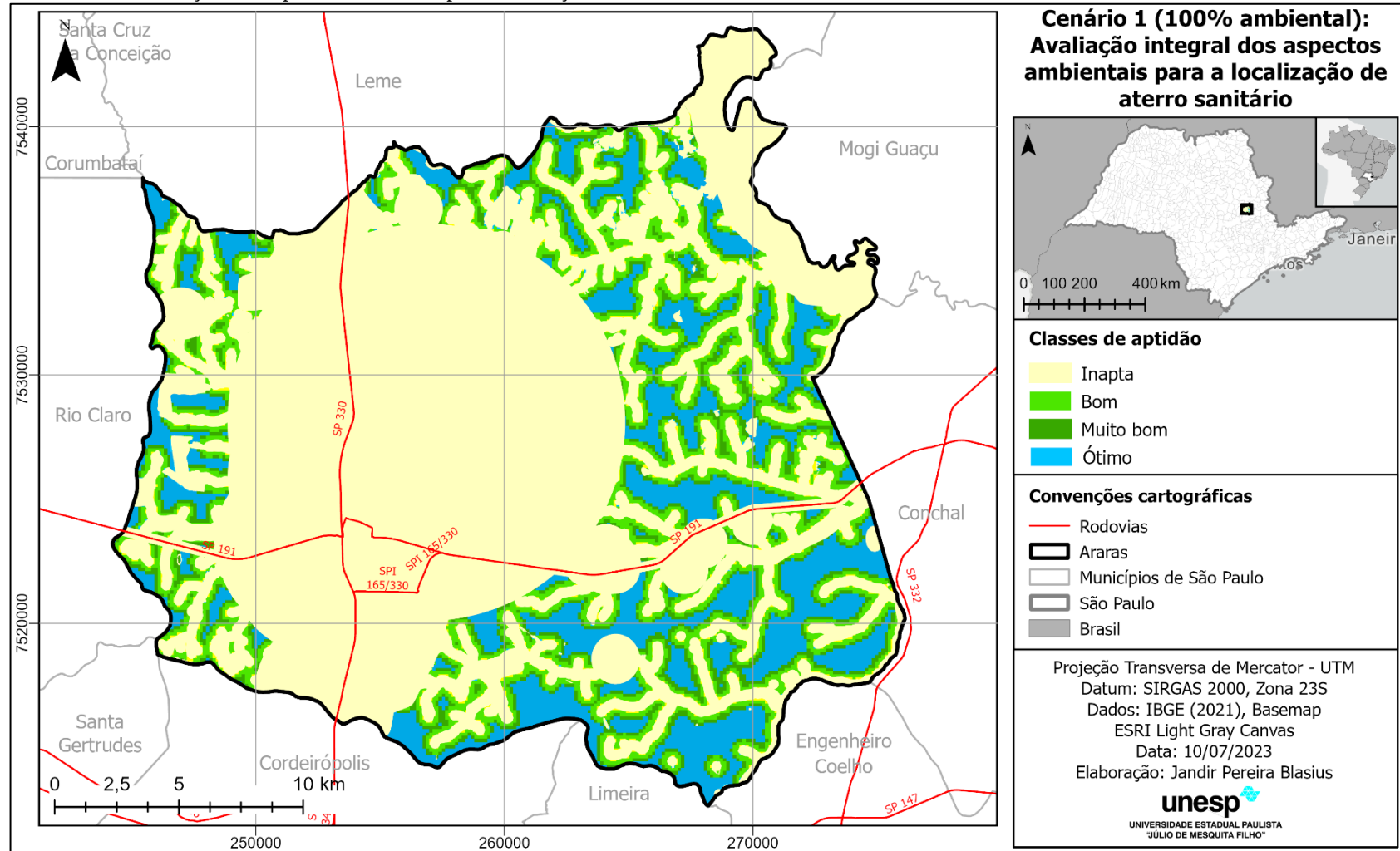


Figura 39 - Cenário 2: Avaliação dos aspectos econômicos para localização de aterro sanitário em Araras –SP.

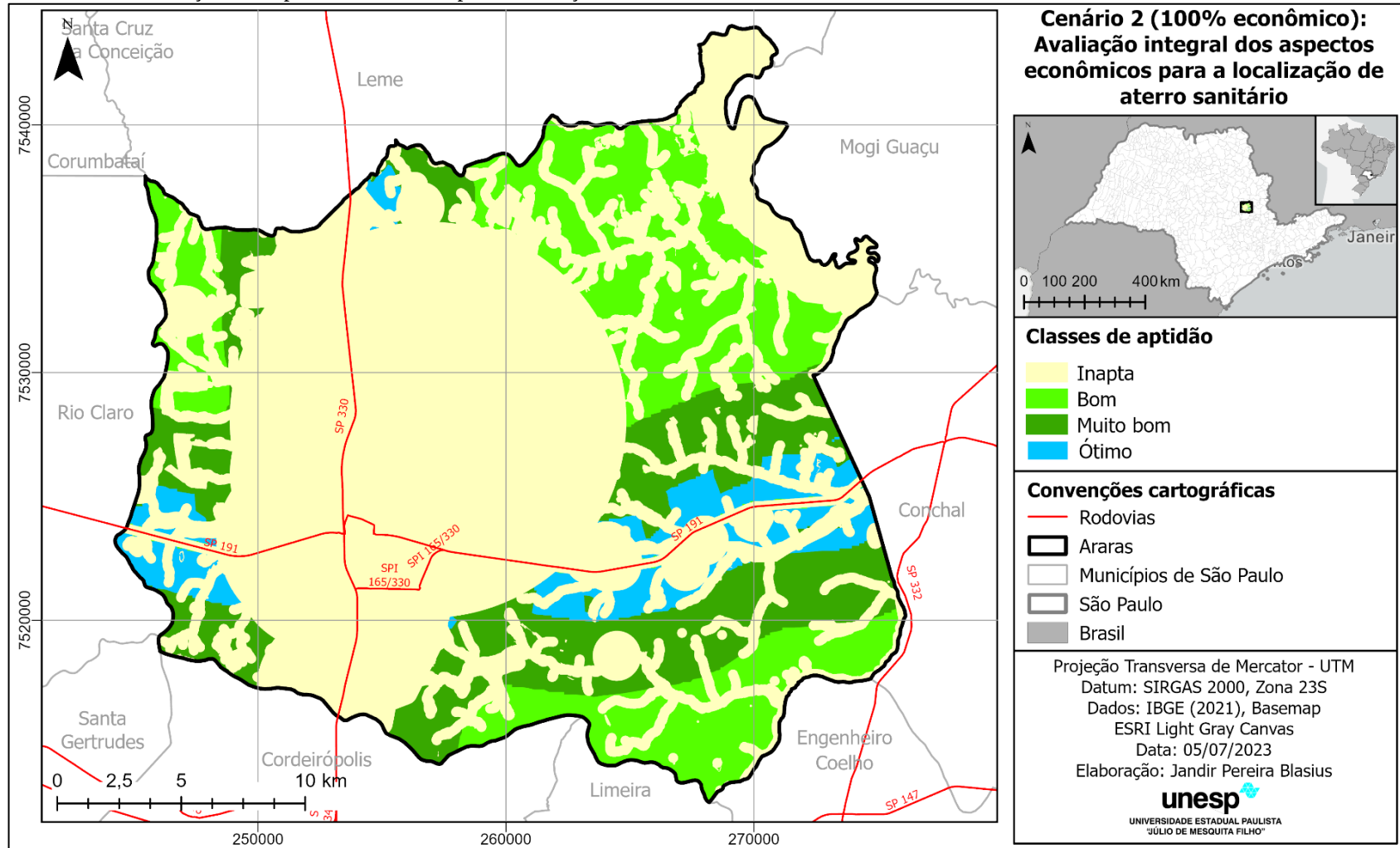


Figura 40 - Cenário 3: Avaliação dos aspectos sociais para localização de aterro sanitário em Araras-SP.

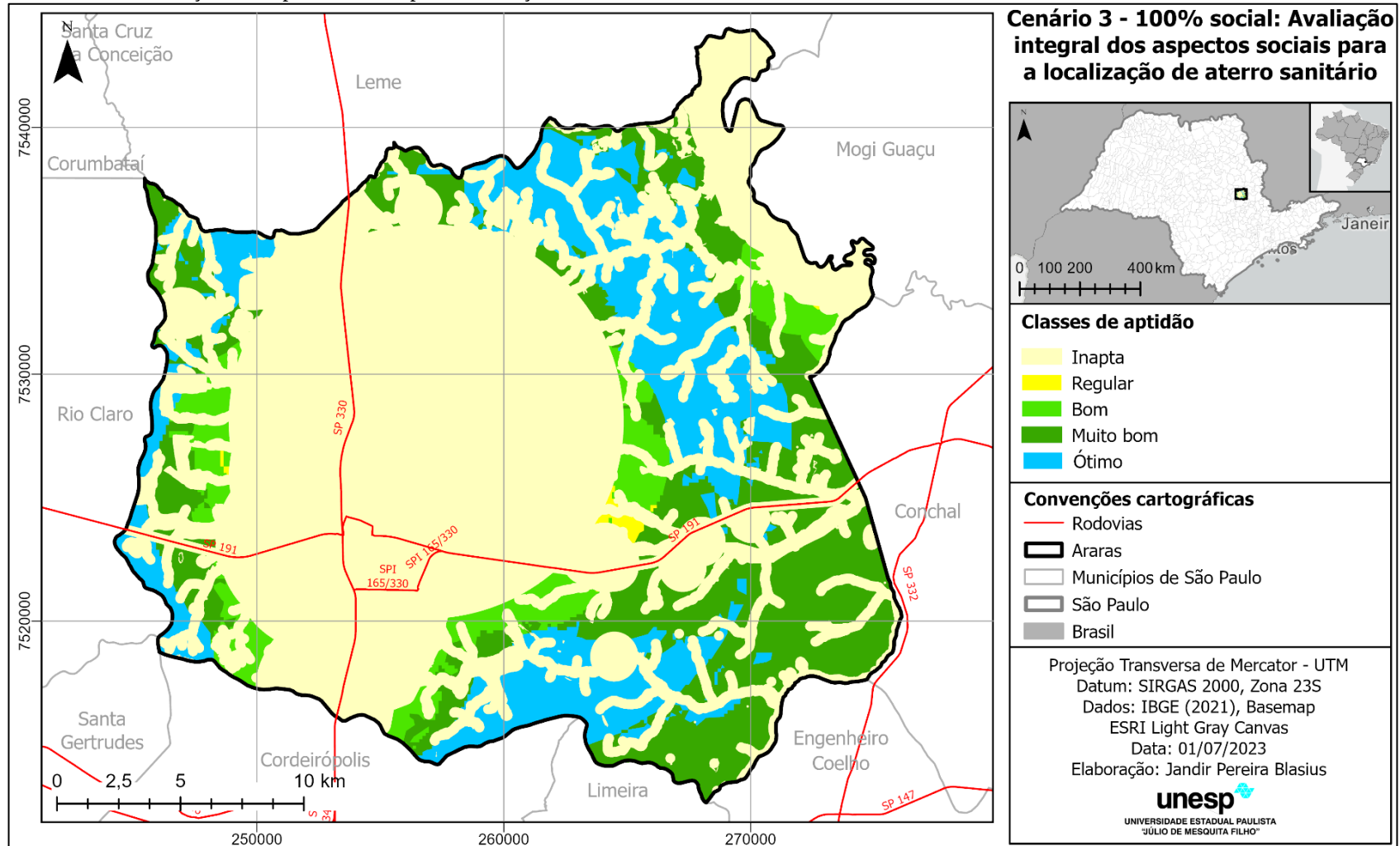


Figura 41 - Cenário 4 - Avaliação integrada dos aspectos ambientais, econômicos e sociais para localização de aterro sanitário em Araras-SP.

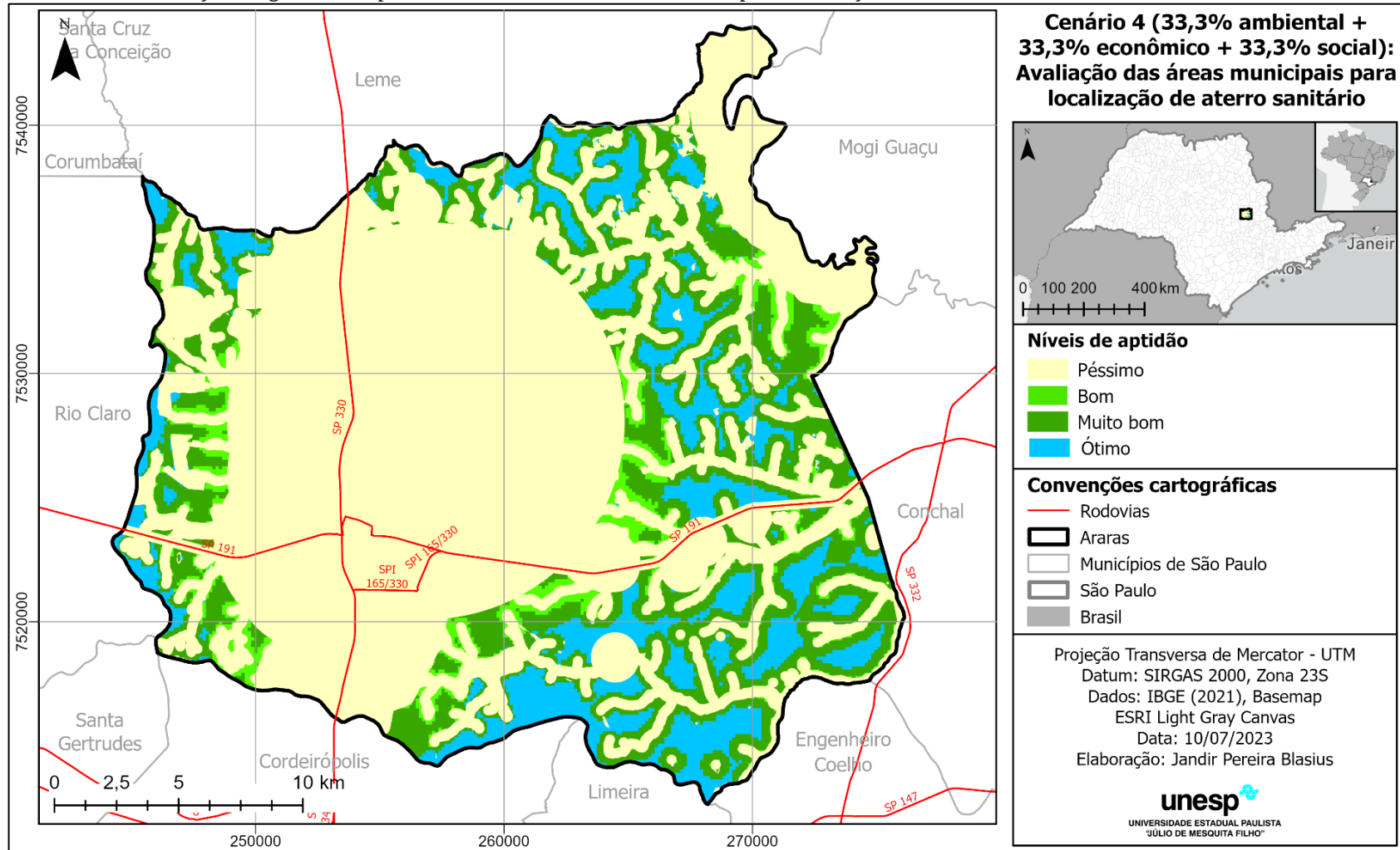


Tabela 16 - Classificação de aptidão das áreas municipais de acordo com os cenários elaborados.

CENÁRIOS	NÍVEIS DE APTIDÃO (%)				
	Áreas inaptas	Regular	Bom	Muito bom	Ótimo
1 (100% ambiental)	66,50	-	5,52	3,43	24,55
2 (100% econômico)	66,50	-	19,84	8,59	5,07
3 (100% social)	66,50	0,37	5,28	14,49	13,36
4 (33,3% ambiental + 33,3% econômico + 33,3% social)	66,50	-	2,09	10,24	21,17

Fonte: Autor (2023).

No Cenário 1 (100% ambiental), 5,52% das áreas do município de Araras foram classificadas com nível de aptidão Bom, 3,43% como Muito bom e 24,55% como Ótimo para a localização de um aterro sanitário. É importante ressaltar que, ao somar as áreas classificadas como "Bom" e "Muito bom", cerca de 9,95% das áreas municipais também apresentam níveis aceitáveis de aptidão ambiental.

Sendo assim, os dados do Cenário 1 indicam que a maioria das áreas caracterizadas como aptas apresenta condições ambientais altamente favoráveis para essa finalidade. A escolha de áreas com maior aptidão ambiental para a instalação de aterros sanitários é fundamental para minimizar impactos negativos ao meio ambiente, garantindo a proteção dos recursos naturais e a qualidade de vida da população local.

De acordo com o Cenário 2 (100% econômico), 19,84% das áreas foram classificadas como "Bom", 8,59% como "Muito bom" e 5,07% como "Ótimo". O nível de aptidão "Bom" sugere que pode haver alguns desafios econômicos ou custos adicionais associados à instalação e operação do aterro. Provavelmente, esses desafios estão relacionados à logística do transporte dos resíduos, devido ao distanciamento dessas áreas em relação a rodovias e estradas principais, o que pode demandar investimentos em infraestrutura de acesso e transporte.

Por outro lado, os níveis "Muito bom" e "Ótimo" sinalizam que essas áreas podem apresentar vantagens econômicas significativas e podem ser mais atraentes em termos de custos e benefícios financeiros. Provavelmente, essas áreas possuem melhores condições logísticas e menor distância em relação às principais vias de transporte, o que resulta em redução de custos operacionais.

A análise da viabilidade econômica é crucial para a escolha adequada da localização de aterros sanitários, uma vez que influencia diretamente os custos de operação e a eficiência do gerenciamento de resíduos sólidos. Áreas com maior aptidão econômica podem otimizar os recursos financeiros disponíveis, garantindo a eficiência na destinação dos resíduos e contribuindo para a sustentabilidade financeira do projeto.

No Cenário 3 (100% social), as áreas municipais foram classificadas em quatro categorias distintas, representando diferentes níveis de adequação em relação à instalação do aterro. Apenas 0,37% das áreas foram classificadas como "Regular" devido à proximidade com núcleos populacionais (assentamentos rurais), que potencialmente enfrentaria oposição popular devido aos possíveis efeitos adversos na qualidade de vida dos moradores locais. Essas áreas requerem uma atenção especial, considerando a necessidade de equilibrar a destinação adequada dos resíduos com a minimização dos impactos sociais.

Cerca de 5,28% das áreas foram classificadas como "Bom", que indica que estas áreas podem apresentar adequação social aceitável para a instalação do aterro, porém ainda podem demandar a implementação de medidas de mitigação, a fim de garantir que os impactos sociais sejam reduzidos. Para escolha de áreas classificadas com nível de aptidão "Bom" seriam necessários estudos detalhados e consultas públicas para identificar e atender às preocupações e expectativas da comunidade local, assegurando uma abordagem responsável e participativa no processo de implantação do aterro.

Por outro lado, 14,49% das áreas foram classificadas como "Muito bom" e 13,36% como "Ótimo". Essas categorias indicam áreas com alta adequação social, ou seja, regiões onde a instalação do aterro sanitário provavelmente encontraria poucos desafios em termos de aceitação e adaptação da comunidade local. Nessas áreas, a probabilidade de ocorrência de resistência ou oposição social é significativamente menor, o que pode facilitar o processo de implementação e operação do aterro.

A análise dos aspectos sociais é fundamental para a seleção da localização adequada de aterros sanitários. Considerar o contexto social, engajar a comunidade local e adotar práticas de comunicação transparente são etapas essenciais para promover uma gestão de resíduos sólidos mais eficiente, responsável e bem-sucedida. Além disso, a inclusão das perspectivas e interesses da população afetada é crucial para o desenvolvimento de projetos sustentáveis e que atendam às necessidades de todos os envolvidos.

Por fim, no Cenário 4, 2,09% das áreas foram classificadas com nível de aptidão "Bom" nas três dimensões consideradas: ambiental, econômica e social. Isso indica que essas áreas apresentam um nível aceitável de adequação, embora medidas preventivas e corretivas precisem ser implantadas para adequação das áreas para localização de aterro sanitário.

Por outro lado, 10,24% das áreas foram classificadas com nível de aptidão "Muito bom" e 21,17% como "Ótimo", que sinaliza a existência de áreas com características altamente favoráveis nas três dimensões consideradas. Estas áreas apresentam as melhores condições para localização de um aterro sanitário, pois devem minimizar impactos ambientais adversos, possibilitar a otimização dos custos operacionais e financeiros e, ao mesmo tempo, contar com o apoio e aceitação da comunidade local, que é essencial para garantir uma gestão de resíduos eficiente, sustentável e socialmente responsável. No entanto, ainda é importante conduzir estudos detalhados, realizar consultas públicas e considerar as diretrizes regulatórias e normativas pertinentes para garantir a viabilidade e a segurança da implantação do empreendimento.

A avaliação dos quatro cenários demonstrou a importância de uma abordagem abrangente e equilibrada na seleção da localização de aterros sanitários. Em cada cenário foram considerados diferentes critérios e dimensões, como a aptidão ambiental, a viabilidade econômica e a adequação social das áreas municipais.

O Cenário 4, em particular, se destacou por combinar as três dimensões de forma equilibrada, que permitiu a identificação de áreas que apresentam alto potencial em termos ambientais, econômicos e sociais. Ao considerar todos esses aspectos de maneira integrada, o cenário evitou a tomada de decisão baseada em apenas um aspecto isolado, o que poderia levar a resultados sub-ótimos ou a problemas não previstos em outras dimensões.

Sendo assim, a seleção das áreas municipais mais adequadas para instalação de um aterro sanitário a partir do Cenário 4 reflete uma abordagem mais holística e cuidadosa. Isso ajuda a garantir que o local escolhido atenda às necessidades de disposição de resíduos sólidos, ao mesmo tempo em que minimiza impactos ambientais negativos e é socialmente aceitável pela comunidade local. Por tais motivos, a partir deste cenário, foram pré-selecionadas as áreas municipais consideradas mais adequadas para instalação de um aterro sanitário.

4.6 TERCEIRA APROXIMAÇÃO PARA SELEÇÃO PRELIMINAR DE ÁREAS FAVORÁVEIS À LOCALIZAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO EM ARARAS - SP

A adoção do Cenário 4 possibilitou a pré-seleção de 10 localidades municipais que se destacaram por apresentarem níveis ótimos de aptidão em relação aos aspectos ambientais, econômicos e sociais avaliados, conforme indicado na Figura 42.

Para pré-seleção foi considerado o tamanho das áreas, pois conforme o dimensionamento prévio, o empreendimento demanda de área mínima de 40 hectares. Esse requisito visa garantir que a área selecionada possua capacidade suficiente para atender à demanda do consórcio durante o horizonte de projeto estipulado (30 anos).

Na seleção preliminar das áreas municipais também foi considerada a rota de transporte de resíduos, com intuito de evitar que os veículos passem por núcleos populacionais rurais. Essa medida foi adotada para reduzir a exposição dessas comunidades a problemas como aumento do tráfego de veículos pesados, poeira, ruídos e odores associados ao transporte de resíduos. Essa abordagem demonstra um cuidado especial com a preservação das condições de vida das populações locais e busca mitigar possíveis impactos negativos nas áreas circundantes ao longo do percurso do transporte. A escolha estratégica da rota de transporte é fundamental para a implementação bem-sucedida de um aterro sanitário, já que a logística de transporte de resíduos pode ter implicações significativas na aceitação e adaptação da comunidade local ao projeto.

Na Tabela 17 são apresentados os resultados da avaliação de critérios adicionais aplicados às 10 áreas pré-selecionadas para a instalação do aterro sanitário. A pontuação total de cada área indica o grau de adequação de acordo com os critérios analisados.

Figura 42 - Áreas pré-selecionadas para localização de aterro sanitário em Araras-SP.

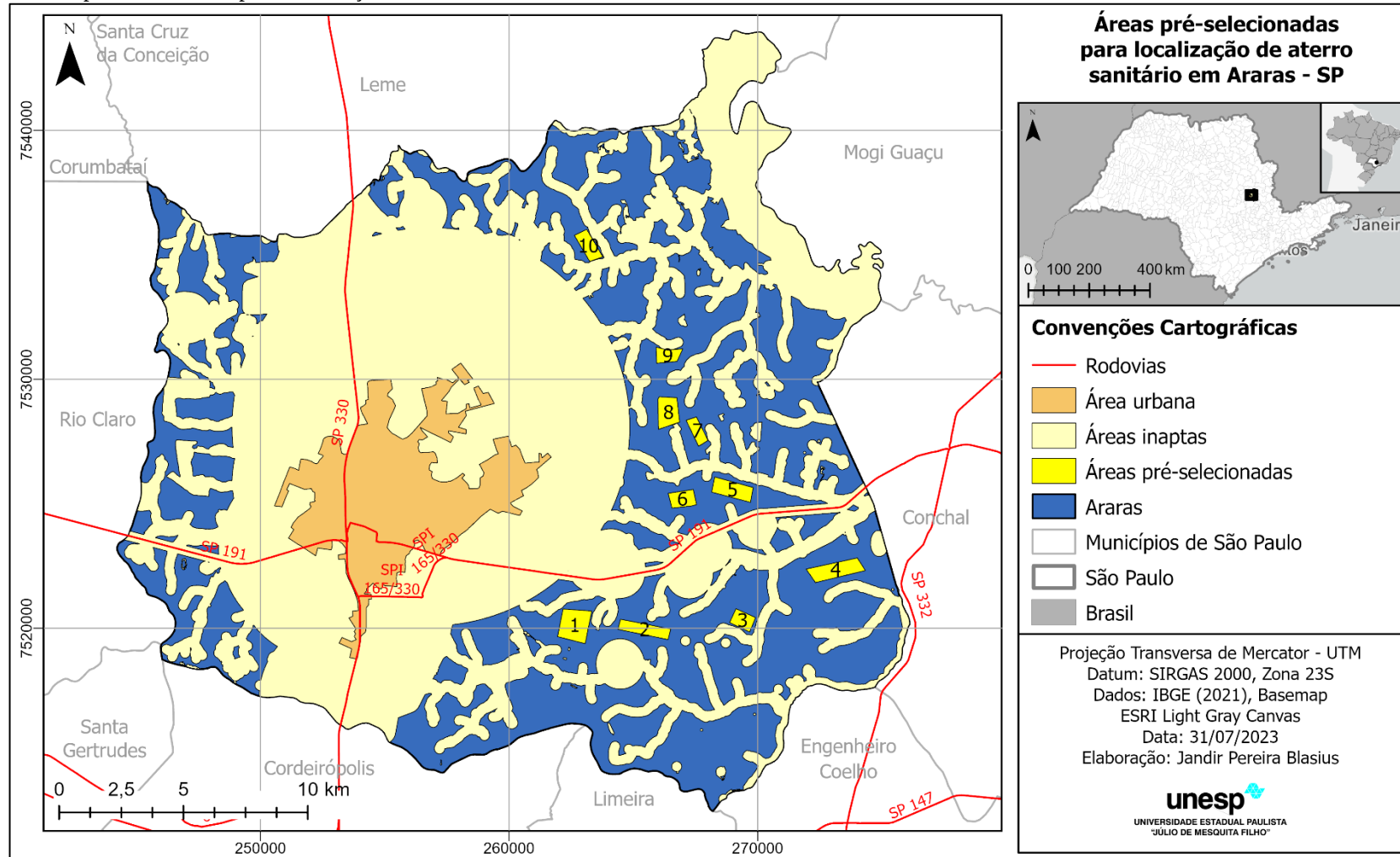


Tabela 17 - Classificação das áreas pré-selecionadas para localização de aterro sanitário de acordo com a avaliação de critérios adicionais.

CRITÉRIOS	SUBCRITÉRIOS	CARACTERÍSTICAS DAS ÁREAS PRÉ-SELECIONADAS (PONTOS POR SUBCRITÉRIOS)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Horizonte de projeto	Área em ha – (possibilidade de ampliação)	141,7 (30)	88,1 (30)	54,5 (30)	122,9 (30)	98,5 (30)	63,6 (30)	48,4 (0)	93,1 (30)	49,6 (0)	68,7 (30)
Infraestrutura	Distância de até 1 km de pontos de distribuição de água tratada	Não (0)	Não (0)	Não (0)	Não (0)	Não (0)	Não (0)	Não (0)	Não (0)	Não (0)	Não (0)
	Distância de até 1 km de pontos de transmissão de energia elétrica	Sim (10)	Sim (10)	Sim (10)	Sim (10)	Sim (10)	Sim (10)	Sim (10)	Sim (10)	Sim (10)	Sim (10)
	Distância de até 2 km de rodovias	1,46 (50)	1,75 (50)	5,44 (0)	7,24 (0)	0,58 (50)	1,42 (50)	4,52 (0)	6,2 (0)	10,1 (0)	13,3 (0)
	Possibilidade de construção em fases	Sim (30)	Sim (30)	Sim (30)	Sim (30)	Sim (30)	Sim (30)	Sim (30)	Sim (30)	Sim (30)	Sim (30)
Terreno	Propriedade pública	Não (0)	Não (0)	Não (0)	Não (0)	Não (0)	Não (0)	Não (0)	Não (0)	Não (0)	Não (0)
	Necessita de obras complexas de nivelamento do terreno	Não (20)	Não (20)	Não (20)	Não (20)	Não (20)	Não (20)	Não (20)	Não (20)	Não (20)	Não (20)
Posicionamento geográfico	Local visível somente à distância superior a 500 m	Sim (30)	Sim (30)	Sim (30)	Sim (30)	Sim (30)	Sim (30)	Sim (30)	Sim (30)	Sim (30)	Sim (30)
Uso e ocupação do solo	Distância de no mínimo 100 m de áreas agrícolas	Não (0)	Não (0)	Não (0)	Não (0)	Não (0)	Não (0)	Não (0)	Não (0)	Não (0)	Não (0)
	Distância de residências isoladas (m) – mínimo de 600 m para pontuar	580 (0)	660 (40)	1.100 (40)	500 (0)	850 (40)	990 (40)	690 (40)	670 (40)	500 (0)	610 (40)
	O acesso atravessa APP e/ou fragmentos florestais	Sim (0)	Não (20)	Sim (0)	Sim (0)	Não (20)	Não (20)	Sim (0)	Sim (0)	Sim (0)	Sim (0)
PONTUAÇÃO TOTAL		170	230	160	120	230	230	130	160	90	160

Fonte: Autor (2023).

A avaliação dos critérios adicionais, como horizonte de projeto, infraestrutura, terreno, posicionamento geográfico e uso e ocupação do solo, forneceu informações valiosas para identificar possíveis desafios e oportunidades de cada área pré-selecionada. Essa análise contribuiu para o processo de tomada de decisão para a seleção dos locais mais adequados para a implantação do aterro sanitário.

As áreas: 1, 3, 4, 7, 8, 9 e 10 obtiveram pontuação na faixa de 90 - 170 pontos. Por outro lado, as áreas 2, 5 e 6 obtiveram 230 pontos cada. Sendo assim, essas áreas com maior pontuação foram definidas como as mais favoráveis para localização de um aterro sanitário e demais instalações de saneamento, pois além de, previamente terem apresentado elevado nível de aptidão em relação aos aspectos ambientais, econômicos e sociais avaliados no Cenário 4, atenderam a mais critérios adicionais. Essa abordagem teve o intuito de minimizar os impactos negativos e maximizar os benefícios para a comunidade e o meio ambiente.

4.6.1 Comparação entre as três áreas consideradas como as mais favoráveis para localização de um aterro sanitário

Para definição da área mais favorável foi realizada a comparação entre as três áreas pré-selecionadas, a fim de destacar características de diferenciação e estabelecer uma hierarquia de aptidão.

Nas Figuras 43 – 45 são apresentadas as áreas pré-selecionadas consideradas como as mais favoráveis para localização de um aterro sanitário.

Figura 43 – Detalhamento de área pré-selecionada para localização de aterro sanitário em Araras-SP: Área 2.

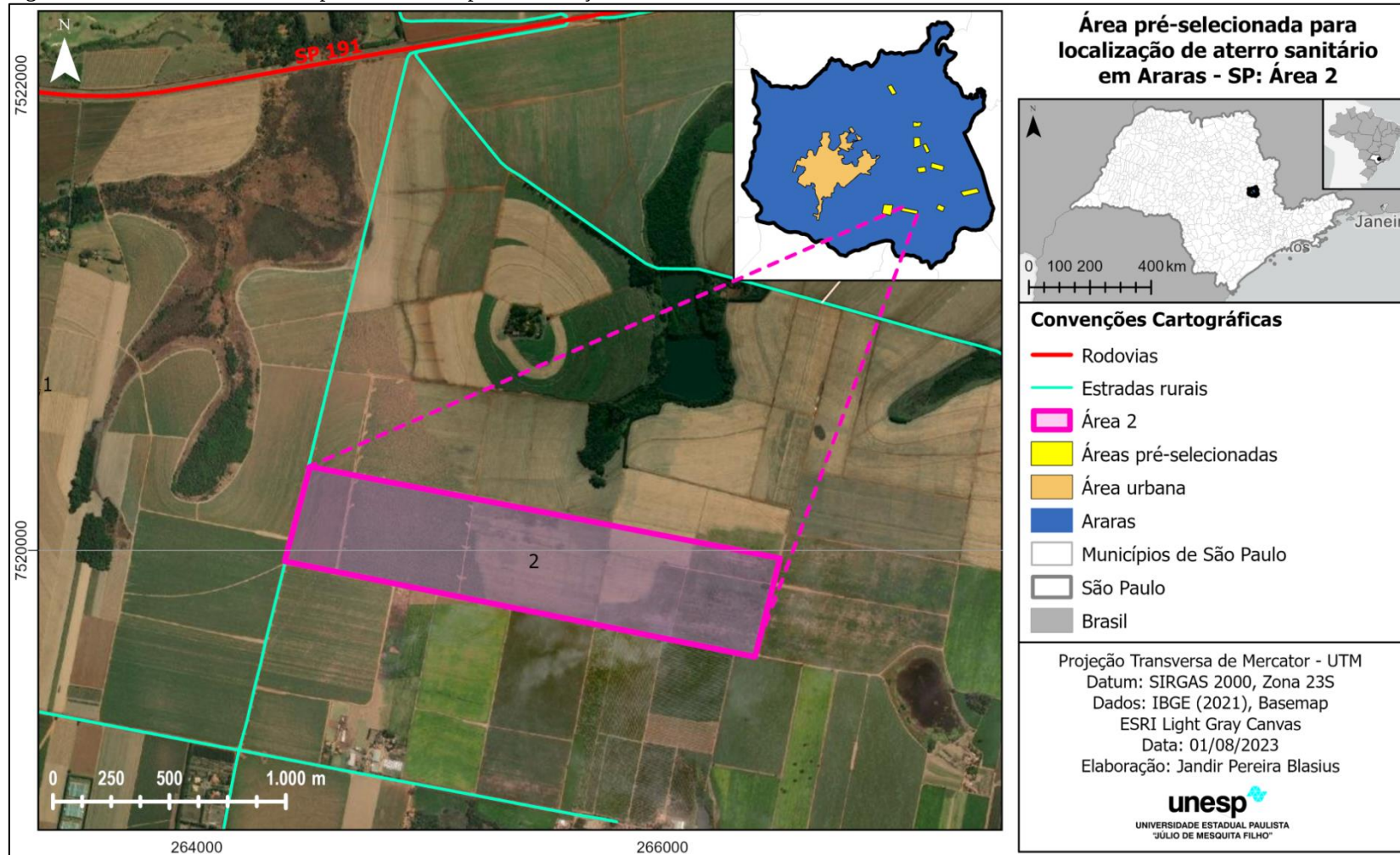


Figura 44 - Detalhamento de área pré-selecionada para localização de aterro sanitário em Araras-SP: Área 5.

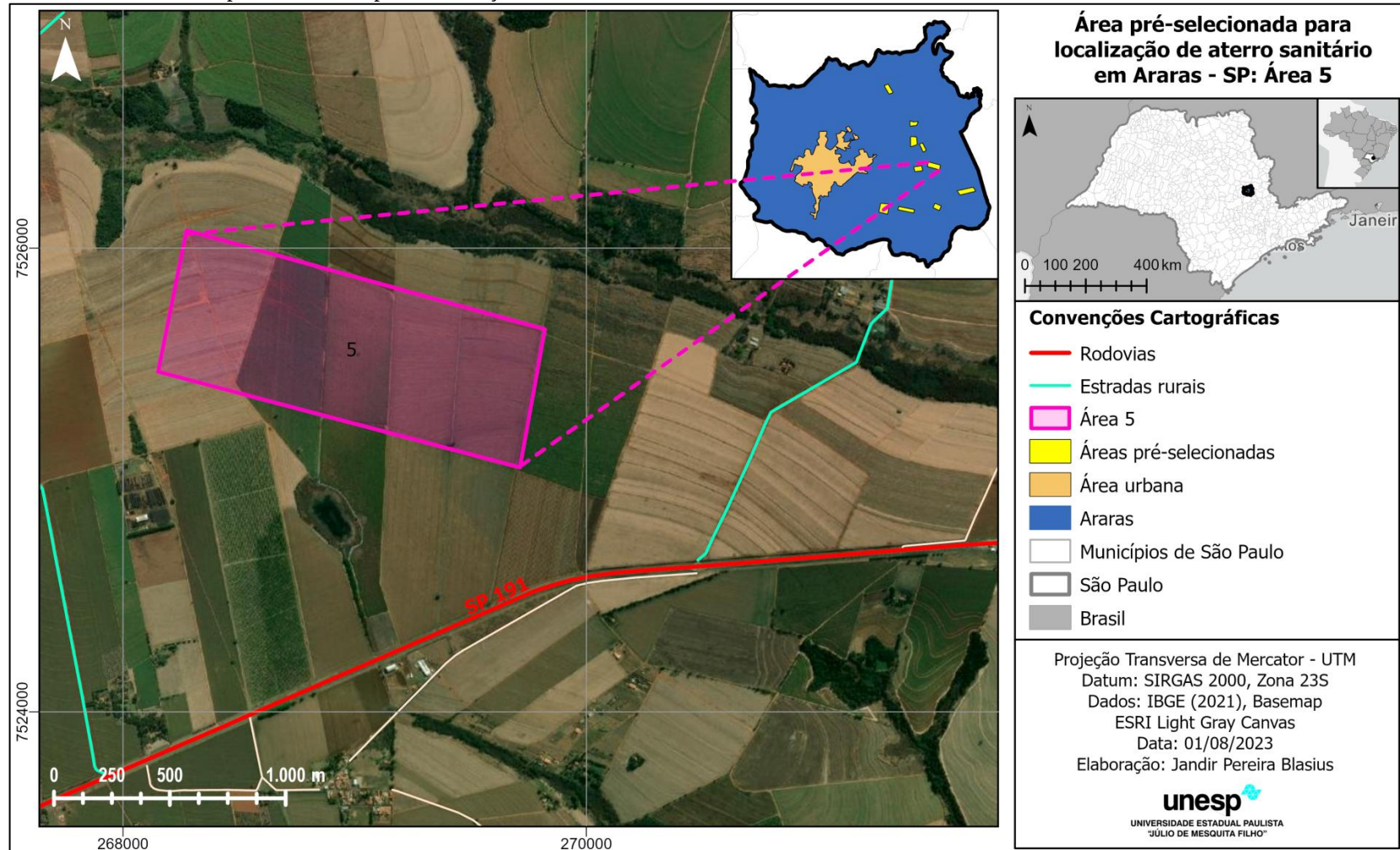
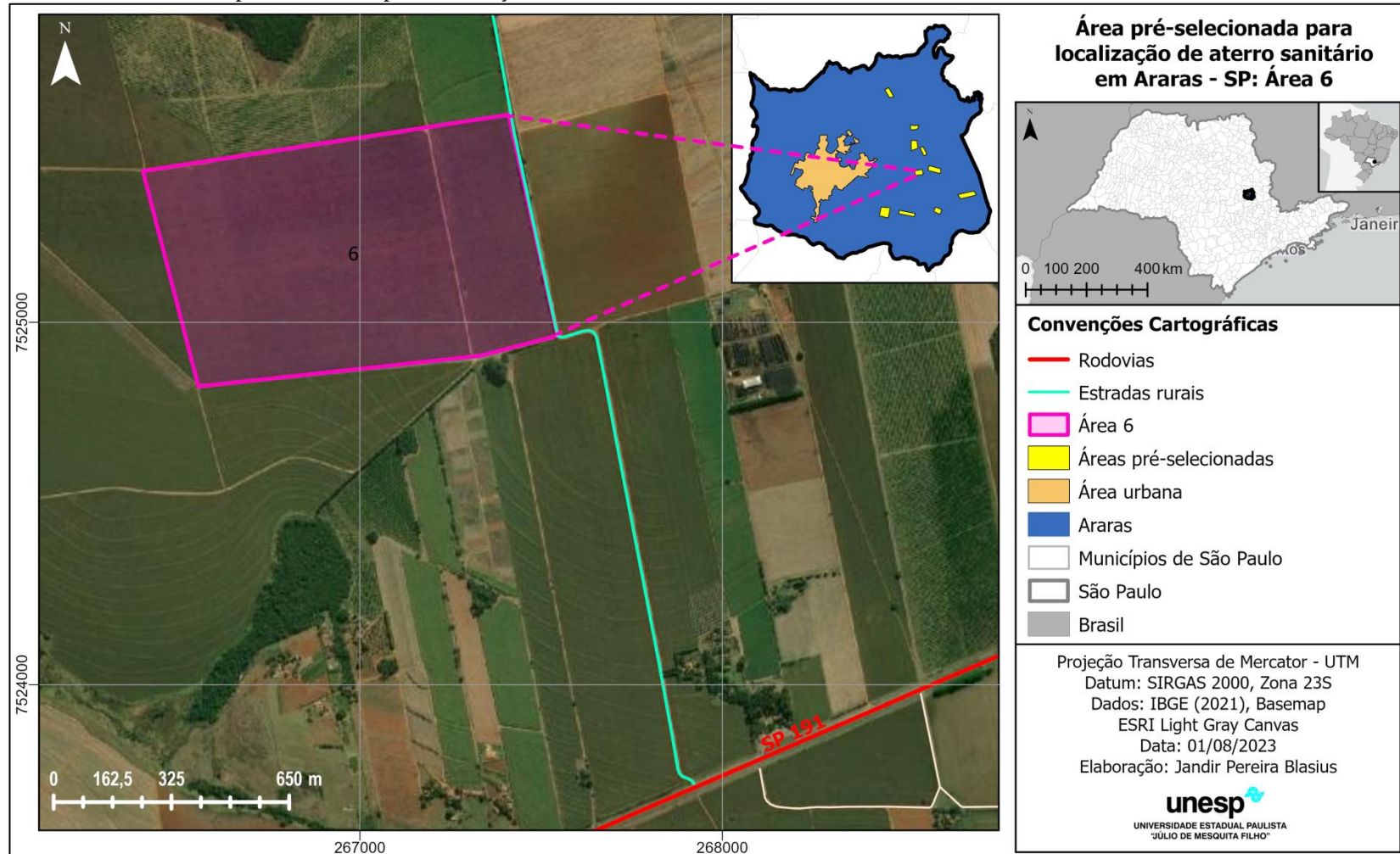


Figura 45 - Detalhamento de área pré-selecionada para localização de aterro sanitário em Araras-SP: Área 6.



A comparação entre as áreas consideradas como as mais favoráveis para localização de um aterro sanitário destacou que todas as áreas apresentam uma distância segura em relação a equipamentos de infraestrutura urbana, de residências isoladas, e de recursos hídricos com vista a preservação dos recursos naturais, a eficiência logística e o bem-estar das comunidades locais.

As áreas 2 (88,1 ha), 5 (98,5 ha) apresentam mais que o dobro do tamanho da área mínima requerida (40 ha) para instalação do empreendimento, que é um fator diferencial a ser considerado.

Devido à localização dessas áreas na zona rural e a certa distância do perímetro urbano, não existem pontos de distribuição de água tratada em um raio de até 1 km. Essa situação evidencia a necessidade de implantar métodos de tratamento de água alternativos para suprir a demanda do futuro empreendimento, que podem incluir, por exemplo, a instalação de poços ou sistemas de captação e tratamento simplificado de água de fontes naturais próximas, desde que seja realizado de forma responsável e em conformidade com a legislação ambiental.

Por outro lado, por haver residências relativamente próximas (até 1 km) há pontos de transmissão de energia elétrica perto das três áreas pré-selecionadas. A presença de pontos de transmissão de energia próximos a estas áreas permite a conexão à rede elétrica existente, e dessa forma, evita a necessidade de construção de linhas de transmissão de longa distância, o que resultaria em custos adicionais e possíveis impactos ambientais.

A proximidade da rodovia é um fator estratégico importante na escolha do local para o aterro sanitário. Uma distância menor até a rodovia reduz os custos operacionais e o impacto do transporte de resíduos no tráfego local, pois encurta o percurso dos caminhões coletores e facilita a logística de movimentação dos resíduos até o aterro. Além disso, facilita o acesso de veículos de serviços, fornecedores e equipes de operação, agilizando o atendimento de necessidades operacionais e a manutenção das instalações do aterro.

A área 5 está localizada a uma distância de apenas 0,58 km da rodovia Wilson Finardi (SP 191), o que a torna mais próxima em relação às áreas 2 e 6, que estão a 1,78 e 1,42 km da mesma rodovia, respectivamente. Com base na proximidade da rodovia, a área 5 apresenta vantagens significativas para a instalação de um aterro sanitário.

Os critérios: possibilidade de construção em fases, propriedade do terreno, necessidade de obras complexas de nivelamento, visibilidade do local, distância de áreas agrícolas e se o

acesso ao local passa por APP e/ou fragmentos florestais, não apresentaram diferenciação entre as três áreas avaliadas.

As áreas estão localizadas a uma distância significativa de residências isoladas, com vista a evitar possíveis impactos negativos na qualidade de vida dos moradores locais. A área 6 apresenta a maior distância, com 990 metros de afastamento, seguida pelas áreas 5 e 2, com 850 metros e 660 metros, respectivamente. Essa consideração reforça a preocupação com a preservação do bem-estar das comunidades próximas e demonstra o compromisso em minimizar quaisquer potenciais efeitos adversos decorrentes da instalação e operação do aterro sanitário.

Cabe ressaltar que as áreas 5 e 6 estão situadas próximas a uma usina de compostagem (licenciada por órgão ambiental estadual), operada por uma empresa privada. Essa proximidade pode ser considerada como um fator positivo, pois a população local já está familiarizada com essa atividade, que é relacionada à gestão de resíduos. Além disso, a presença de uma usina de compostagem nas imediações pode indicar a aceitação prévia e a existência de infraestrutura já estabelecida para o manejo adequado de resíduos na região, o que pode contribuir para uma integração mais harmoniosa do aterro sanitário com as atividades pré-existentes.

A avaliação dos critérios adicionais proporcionou uma visão abrangente e detalhada das características das áreas pré-selecionadas e permitiu uma análise fundamentada para a seleção do local mais adequado para a instalação do aterro sanitário. Com base nessa avaliação, a área 5 apresentou o maior potencial para abrigar o empreendimento.

No entanto, é fundamental ressaltar a relevância da realização de investigações de campo, que incluem sondagens, levantamento topográfico e inspeções. Essas ações têm o propósito de aprofundar a compreensão das condições do local em questão, e podem revelar informações adicionais que não foram previamente identificadas no escopo deste estudo. É importante salientar que a descoberta de novos dados ou condições durante essas investigações podem influenciar significativamente na decisão sobre a escolha da localização ideal para a implantação de um aterro sanitário. Portanto, a preferência por outra área para localização das instalações de saneamento pode surgir como resultado das informações obtidas por meio dos procedimentos de campo.

No caso de descarte da área 5, as áreas 6 e 2 se tornam prioritárias, na ordem em que foram apresentadas. Não obstante, com base nas informações atualmente disponíveis, a área 5

permanece como a escolha mais promissora para a instalação do aterro sanitário, com o propósito de promover uma gestão de resíduos mais sustentável e responsável, alinhada às demandas da comunidade local e à preservação do meio ambiente.

Por fim, é importante destacar que, no contexto da formação efetiva de consórcio público para o gerenciamento de RSU, a área a ser desapropriada excede significativamente a área útil para a implantação de um aterro sanitário e demais instalações de saneamento. Isso ocorre devido à desvalorização comercial das áreas circundantes, que torna o uso dessas áreas um desafio para o desenvolvimento de outras atividades econômicas no local.

5 CONCLUSÕES

Um conjunto de critérios foi ponderado para definição de um arranjo intermunicipal para gerenciamento adequado dos RSU junto ao município de Araras/SP. Sendo assim, 10 municípios apresentaram prioridade elevada para participação de consórcio. A caracterização demográfica e a análise da qualidade dos serviços ambientais destes municípios destacaram potencialidade elevada para integrarem-se e desenvolver uma solução conjunta para a gestão de resíduos.

Entre os métodos empregados para projeção populacional, o modelo da taxa de crescimento decrescente apresentou o comportamento mais próximo à tendência de crescimento demográfico para a maioria dos municípios do arranjo, com projeção de aproximadamente 465 mil habitantes durante o horizonte de projeto. Já em relação aos cenários do aterramento de RSU, foi adotado o Cenário Pessimista, considerando que as iniciativas municipais contribuirão para a redução da produção e um percentual mínimo de 20% dos RSU serão encaminhados para o tratamento adequado. Sendo assim, 4,8 milhões de toneladas de RSU (que representa um volume de 7,6 milhões de m³) serão gerados durante o horizonte de projeto, que requer área mínima de 40 hectares para as instalações de saneamento.

As áreas municipais foram avaliadas em três níveis quanto ao grau de aptidão para localização de aterro sanitário intermunicipal. No primeiro nível, que correspondeu a categorização de aptidão das áreas municipais com base em aspectos ambientais, econômicos e sociais, 66,5% das áreas municipais foram consideradas como inaptas para instalação e operação do empreendimento. As áreas consideradas aptas foram reavaliadas no segundo nível de avaliação. Neste nível, foram propostos cenários considerando diferentes proporções entre os aspectos ambientais, econômicos e sociais avaliados. O Cenário 4 (33,3% ambiental + 33,3% econômico + 33,3% social) foi considerado o mais adequado para a pré-seleção das áreas municipais mais favoráveis à localização do aterro sanitário.

Com base no Cenário 4, dez áreas foram pré-selecionadas e submetidas ao terceiro nível de avaliação, com a ponderação de critérios adicionais para hierarquização do nível de aptidão. Então, as áreas 2, 5 e 6 apresentaram mais características favoráveis para localização do aterro sanitário e em uma análise mais abrangente, a área 5 apresentou mais vantagens quando

comparadas as demais (como maior área útil e melhor condição de acesso). Portanto, esta área foi eleita a área municipal mais adequada para localização do empreendimento.

A metodologia empregada mostrou-se promissora para atingir os objetivos propostos. A estruturação de critérios e formulação de cenários permitiu avaliar diferentes perspectivas, de forma mais abrangente. Desta forma, a presente tese comprovou como verdadeira a hipótese de que somente com informações públicas e processamento de dados geográficos, seria possível identificar com baixo custo as áreas mais adequadas para a implantação de um aterro sanitário intermunicipal. Por consequência, os resultados desta tese podem ser utilizados para auxiliar os gestores públicos no processo de tomada de decisões para gerenciamento consorciado de RSU na região de Araras-SP.

REFERÊNCIAS

- ABDELLI, I. S.; ABDELMALEK, F.; DJELLOUL, A.; MESGHOUNI, K.; ADDOU, A. GIS-based approach for optimized collection of household waste in Mostaganem city (Western Algeria). **Waste Management & Research**, v. 34, n. 5, p. 417-426, 2016.
- AJIBADE, F. O.; OLAJIRE, O. O.; AJIBADE, T. F.; NWOGWU, N. A.; LASISI, K. H.; ALO, A. B.; ADEWUMI, J. R. Combining multicriteria decision analysis with GIS for suitably siting landfills in a Nigerian state. **Environmental and Sustainability Indicators**, v. 3, p. 100010, 2019.
- ALAVI, N.; GOUDARZI, G.; BABAEI, A. A.; JAAFARZADEH, N.; HOSSEINZADEH, M. Municipal solid waste landfill site selection with geographic information systems and analytical hierarchy process: a case study in Mahshahr County, Iran. **Waste Management & Research**, v. 31, n. 1, p. 98-105, 2013.
- ALI, S.; TAWEEKUN, J.; TECHATO, K.; WAEWSAK, J.; GYAWALI, S. GIS based site suitability assessment for wind and solar farms in Songkhla, Thailand. **Renewable Energy**, v. 132, p. 1360-1372, 2019.
- ALI, S. A.; AHMAD, A. Suitability analysis for municipal landfill site selection using fuzzy analytic hierarchy process and geospatial technique. **Environmental Earth Sciences**, v. 79, n. 10, p. 1-27, 2020.
- ALKHUZAIE, M. M.; JANNA, H. Optimum location for landfills sites based on GIS modeling for Al-Diwaniyah City, Iraq. **International Journal of Civil Engineering and Technology**, v. 9, n. 8, p. 941-951, 2018.
- ALMEIDA, F. F. M. Fundamentos geológicos do relevo paulista. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 39, n. 3, p. 9-75, 2018.
- ALZAGHRINI, N.; SROUR, F. J.; SROUR, I. Using GIS and optimization to manage construction and demolition waste: The case of abandoned quarries in Lebanon. **Waste Management**, v. 95, p. 139-149, 2019.
- Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos urbanos no Brasil**, 2022. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/download-panorama-2022/>>. Acesso em: 06 jan. 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8.419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.896: Aterro de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004: Resíduos Sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.849: Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento**. Rio de Janeiro, 2010.

AZEVEDO, A. M.; BARBOSA, I. M. B. R. **Identificação de áreas restritas à implantação de aterros de resíduos sólidos na região metropolitana do Recife**. 2021.

BAHRANI, S.; EBADI, T.; EHSANI, H.; YOUSEFI, H.; MAKNOON, R. Modeling landfill site selection by multi-criteria decision making and fuzzy functions in GIS, case study: Shabestar, Iran. **Environmental Earth Sciences**, v. 75, n. 4, p. 1-14, 2016.

BENEDETI, L. L. **Consórcios intermunicipais e regionalização como instrumento para o gerenciamento de resíduos sólidos**, p. 70, 2022.

BOIN, M. N.; NUNES, J. O. R.; SILVA TOMAZINI, L.; OKADO, M. N. A. identificação de áreas potencialmente favoráveis para a destinação ambientalmente adequada de resíduos sólidos. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia-MG, v. 23, n. 85, p. 137–156, 2022.

BRAHIM, F. B.; BOUGHARIOU, E.; BOURI, S. Multicriteria-analysis of deep groundwater quality using WQI and fuzzy logic tool in GIS: A case study of Kebilli region, SW Tunisia. **Journal of African Earth Sciences**, v. 180, p. 104224, 2021.

BRANS, J. P.; VINCKE, P.; MARESCHAL, B. PROMETHEE: a new family of outranking methods in multicriteria analysis. **Journal of Operational Research**, North Holland, Amsterdam. P. 477-490, 1984.

BRASIL. **Decreto 6.017, de 17 de janeiro de 2007**. Regulamenta a Lei n.º 11.107, de 6 de abril de 2005, que dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos. Diário Oficial da União, 18 jan. 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/decreto/d6017.htm>. Acesso em: 10 mai. 2021.

BRASIL. **Decreto n.º 10.936, de 12 de janeiro de 2022**. Regulamenta a Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União, 12 jan. 2022. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/web/dou/-/decreto-n-10.936-de-12-de-janeiro-de-2022-373573578>>. Acesso em: 22 mai. 2022.

BRASIL. **Lei n.º 11.107, de 6 de abril de 2005**. Dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos e dá outras providências. Diário Oficial da União, 06 abr. 2005. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/111107.htm>. Acesso em: 10 mai. 2021.

BRASIL. **Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n.º 9.6055, de 12 de fevereiro de 1998. Diário Oficial da União, 3 ago. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 10 mai. 2021.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 16 de outubro de 2012.** Dispõe sobre o controle da fauna nas imediações de aeródromos. Diário Oficial da União, 16 out. 2012. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12725.htm>. Acesso em: 25 jul. 2023.

BRASIL, **Lei nº 12.725, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981

CAPRIOLI, C.; BOTTERO, M. Addressing complex challenges in transformations and planning: A fuzzy spatial multicriteria analysis for identifying suitable locations for urban infrastructures. **Land Use Policy**, v. 102, p. 105147, 2021.

CARVALHO, M. B.; JUNIOR, N. G.; LOLLO, J. A. Uso de geotecnologias na seleção de áreas para implantação de aterros sanitários: abordagem composta aplicada ao município de Mirandópolis, SP. **Geociências** (São Paulo), v. 38, n. 3, p. 717-729, 2019.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos - 2021.** Série Relatórios. ISSN (0103-4103), São Paulo, p. 82, 2022. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/residuossolidos/wp-content/uploads/sites/26/2022/07/Inventario-Estadual-de-Residuos-Solidos-Urbanos-2021.pdf>>. Acesso em: 08 dez. 2022.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo – 2021.** Série Relatórios. ISSN (0103-4103), São Paulo, p. 287, 2022. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2022/11/RAI-2021-Relatorio-Qualidade-das-Aguas-Interiores-no-Estado-de-Sao-Paulo.pdf>>. Acesso em: 09 dez. 2022.

CHABUK, A.; AL-ANSARI, N.; HUSSAIN, H. M.; KNUTSSON, S.; PUSCH, R. Landfill site selection using geographic information system and analytical hierarchy process: A case study Al-Hillah Qadhaa, Babylon, Iraq. **Waste Management & Research**, v. 34, n. 5, p. 427-437, 2016.

CHANG, N.; PARVATHINATHAN, G.; BREEDEN, J. B. Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region. **Journal Of Environmental Management**, v. 87, n. 1, p. 139-153, 2008.

CLIMATE DATA. **Clima de Araras - SP (Brasil).** 2022. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/sao-paulo/araras-10675/>>. Acesso em: 04 dez. 2022.

COBOS-MORA, S. L.; GUAMÁN-AUCAPIÑA, J.; ZÚÑIGA-RUIZ, J. Suitable site selection for transfer stations in a solid waste management system using analytical hierarchy process as a multi-criteria decision analysis: a case study in Azuay-Ecuador. **Environment, Development and Sustainability**, v. 25, n. 2, p. 1944-1977, 2023.

COLVERO, D. A.; PFEIFFER, S. C.; CARVALHO, E. H. de. Materiais recicláveis provindos dos resíduos urbanos: caso de estudo para o estado de Goiás, Brasil. *A Engenharia Sanitária nas Cidades do Futuro: Livro de Comunicações*, v. 17, p. 713-720, 2016.

COLVERO, D. A.; **Estudo das oportunidades de valorização de resíduos urbanos para o estado de Goiás (Brasil)**. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia do Ambiente), Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Portugal, p. 428, 2018.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 4, de 9 de outubro de 1995**. Estabelece as Áreas de Segurança Portuária. Ministério do Meio Ambiente, 1995.

COSTA, W.; LORANDI, R.; SERIKAWA, V. S.; FERREIRA, T. S.; FÁBIO NOEL STANGANINI, F. N.; GONÇALVES NETO, P. S.; LOLLO, J. A. Análise multicritério aplicada à seleção de áreas para implantação de aterros sanitários na Bacia do Ribeirão do Meio (Leme, SP), em escala 1:50.000. **Sociedade & Natureza, Uberlândia**, MG. v.30, p.205-227, 2018.

COSTA, E.; MOLIN, P. G. Use of multicriteria analysis to define the most appropriate location for a landfill: A comparison between local and regional planning. In: *International Congress on Engineering and Sustainability in the XXI Century*. **Springer**, Cham, p. 87-96, 2019.

COX, A. B.; GIFFORD, F. An overview to geographic information systems. **The Journal of Academic Librarianship**, v. 23, n. 6, p. 449-461, 1997.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil. MARCONATO, A. *et al.* **Geologia e recursos minerais do Estado de São Paulo**. Programa Geologia do Brasil, 2006. Disponível em: <<https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/2966>>. Acesso em: 14 nov. 2022.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil. **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php>. Acesso em: 08 jan. 2022.

DAAE - Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Shapefile das Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo**. 2019. Disponível em: <<https://datageo.ambiente.sp.gov.br/geoserver/datageo/ows?SERVICE=WMS>>. Acesso em: 19 ago. 2022.

DEMESOUKA, O. E.; VAVATSIKOS, A. P.; ANAGNOSTOPOULOS, K. P. Using MACBETH multicriteria technique for GIS-based landfill suitability analysis. **Journal of Environmental Engineering**, v. 142, n. 10, p. 04016042, 2016.

DEMESOUKA, O. E.; ANAGNOSTOPOULOS, K. P.; SISKOS, E. Spatial multicriteria decision support for robust land-use suitability: The case of landfill site selection in Northeastern Greece. **European Journal of Operational Research**, v. 272, n. 2, p. 574-586, 2019.

DIAS, M. B. G. **Depósitos tecnogênicos na região noroeste de Goiânia (GO)**. 2015.

DJOKANOVIĆ, S.; ABOLMASOV, B.; JEVREMOVIĆ, D. GIS application for landfill site selection: a case study in Pančevo, Serbia. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, v. 75, n. 3, p. 1273-1299, 2016.

DONEVSKA, K. R.; GORSEVSKI, P. V.; JOVANOVSKI, M.; PEŠEVSKI, I. Regional non-hazardous landfill site selection by integrating fuzzy logic, AHP and geographic information systems. **Environmental Earth Sciences**, v. 67, p. 121-131, 2012.

DOLUI, S.; SARKAR, S. Identifying potential landfill sites using multicriteria evaluation modeling and GIS techniques for Kharagpur city of West Bengal, India. **Environmental Challenges**, v. 5, p. 100243, 2021.

EBISTU, T. A.; MINALE, A. S. Solid waste dumping site suitability analysis using geographic information system (GIS) and remote sensing for Bahir Dar Town, North Western Ethiopia. **African Journal of Environmental Science and Technology**, v. 7, n. 11, p. 976-989, 2013.

EFFAT, H. A.; HEGAZY, M. N. Mapping potential landfill sites for North Sinai cities using spatial multicriteria evaluation. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v. 15, n. 2, p. 125-133, 2012.

EGHTESADIFARD, M.; AFKHAMI, P.; BAZYAR, A. An integrated approach to the selection of municipal solid waste landfills through GIS, K-means and multi-criteria decision analysis. **Environmental Research**, v. 185, p. 109348, 2020.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. 2ª ed. Brasília, 2006.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Contando ciência na Web**. 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/contando-ciencia/bioma-cerrado>>. Acesso em: 18 jan. 2021.

FERES, R. **Análise de processos de erosão acelerada, com base em fotografias aéreas e geoprocessamento: Bacia do Rio Bonito (Descalvado, SP)**. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 158 f., 2002.

FEYZI, S.; KHANMOHAMMADI, M.; ABEDINZADEH, N.; AALIPOUR, M. Multi-criteria decision analysis FANP based on GIS for siting municipal solid waste incineration power plant in the north of Iran. **Sustainable Cities and Society**, v. 47, p. 101513, 2019.

GBANIE, S. P.; TENGBE, P. B.; MOMOH, J. S.; MEDO, J.; KABBA, V. T. S. Modelling landfill location using geographic information systems (GIS) and multi-criteria decision analysis (MCDA): case study Bo, Southern Sierra Leone. **Applied Geography**, v. 36, p. 3-12, 2013.

GENELETTI, D. Combinando a análise das partes interessadas e a avaliação multicritério espacial para selecionar e classificar os aterros inertes. **Gestão de Resíduos**, v. 30, n. 2, pág. 328-337, 2010.

GIAMALAKI, M.; TSOUTSOS, T. Sustainable siting of solar power installations in Mediterranean using a GIS/AHP approach. **Renewable Energy**, v. 141, p. 64-75, 2019.

GIVISIEZ, G. H. N. Introdução a métodos de estimativas e interpolações populacionais. **Livros**, p. 45-70, 2015.

GOMES, F. O.; FLECKINGER, N. A.; PEREIRA, W. S.; SOUZA, J. G. Análise técnica locacional e socioambiental da área de disposição final de Resíduos Sólidos Urbanos de São João do Oriente—MG. **ÚNICA Cadernos Acadêmicos**, v. 2, n. 1, 2018.

GORSEVSKI, P. V.; DONEVSKA, K. R.; MITROVSKI, C. D.; FRIZADO, J. P. Integrating multi-criteria evaluation techniques with geographic information systems for landfill site selection: a case study using ordered weighted average. **Waste management**, v. 32, n. 2, p. 287-296, 2012.

GOSWAMI, S.S.; BEHERA, D.K. Evaluation of the best smartphone model in the market by integrating fuzzy-AHP and PROMETHEE decision-making approach. **Decision**, v. 48, 71–96 (2021). <https://doi.org/10.1007/s40622-020-00260-8>.

HALDER, B.; BANDYOPADHYAY, J.; BANIK, P. Assessment of hospital sites' suitability by spatial information technologies using AHP and GIS-based multi-criteria approach of Rajpur–Sonarpur Municipality. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 6, n. 4, p. 2581-2596, 2020.

HANAN, D.; BURNLEY, S.; COOKE, D. A multi-criteria decision analysis assessment of waste paper management options. **Waste Management**, v. 33, n. 3, p. 566-573, 2013.

HANINE, M.; BOUTKHOUM, O.; TIKNIOUINE, A.; AGOUTI, T. Comparison of fuzzy AHP and fuzzy TODIM methods for landfill location selection. **Springer Plus**, v. 5, n. 1, p. 1-30, 2016.

HARIZ, H. A.; DÖNMEZ, C. Ç.; SENNAROGLU, B. Siting of a central healthcare waste incinerator using GIS-based Multi-Criteria Decision Analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 166, p. 1031-1042, 2017.

HEREHER, M. E.; AL-AWADHI, T.; MANSOUR, S. A. Assessment of the optimized sanitary landfill sites in Muscat, Oman. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v. 23, n. 3, p. 355-362, 2020.

IBAM – Instituto Brasileiro de Administração Municipal. **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República – SEDU/PR. Rio de Janeiro, 2001.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produto Interno Bruto – PIB 2022**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php>>. Acesso em: 07 Ago. 2023.

IGLESIAS, M. S. Diagnóstico de implantação de aterro sanitário no município de Veríssimo-MG. Observatorium: **Revista Eletrônica de Geografia**, v. 12, n. 01, p.16-35, 2021.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas; Compromisso Empresarial para Reciclagem - CEMPRE. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 4. ed. São Paulo, p. 350, 2018.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo: 1:1.000.000**. São Paulo: IPT, vol. II, 1981.

JOSIMOVIĆ B., MARIĆ I., MANIĆ B. Methodological approach to the determination of landfill location for municipal solid waste - Case study: Regional landfill in Kolubara region. **Architecture and Urbanism**. 32: 55-64, 2011.

KAHRAMAN, C.; CEBI, S.; ONAR, S. C.; OZTAYSI, B. A novel trapezoidal intuitionistic fuzzy information axiom approach: An application to multicriteria landfill site selection. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 67, p. 157-172, 2018.

KAMDAR, I.; ALI, S.; BENNUI, A.; TECHATO, K.; JUTIDAMRONGPHAN, W. Municipal solid waste landfill siting using an integrated GIS-AHP approach: A case study from Songkhla, Thailand. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 149, p. 220-235, 2019.

KEBEDE, Y. S.; ALENE, M. M.; ENDALEMAW, N. T. Urban landfill investigation for managing the negative impact of solid waste on environment using geospatial technique. A case study of Assosa town, Ethiopia. **Environmental Challenges**, v. 4, p. 100103, 2021.
KÖPPEN, W. Climatología. México, DF: Fondo de Cultura Económica. p. 71, 1948.

LOUREIRO, A. I. S. **Análise espacial para localização de áreas para aterros sanitários no Estado de São Paulo**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual Paulista

"Júlio de Mesquita Filho" (Unesp), 2022. Disponível em:
<<http://hdl.handle.net/11449/236032>>.

LOURENÇO, R. W.; CUNHA, D. C.; SALES, J. C. A.; MEDEIROS, G. A.; OTERO, R. A. P. Metodologia para seleção de áreas aptas à instalação de aterros sanitários consorciados utilizando SIG. **Ciência e Natura**, v. 37, n. 3, p. 122-140, 2015.

MADI, N.; SROUR, I. Managing emergency construction and demolition waste in Syria using GIS. **Resources, conservation and recycling**, v. 141, p. 163-175, 2019.

MAJID, M.; MIR, B. A. Landfill site selection using GIS based multi criteria evaluation technique. A case study of Srinagar city, India. **Environmental Challenges**, v. 3, p. 100031, 2021.

MARQUES, L. S.; ERNESTO, M. **O magmatismo toleítico da Bacia do Paraná. Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Editora Beca, 2004. p. 245-263.

MARQUES, J. A. A. S.; SOUSA, J. J. O. Hidráulica Urbana – Sistemas de abastecimento de água e de drenagem de águas residuais. **Imprensa da Universidade de Coimbra**, 2008.

MDR – Ministério de Desenvolvimento Regional. **Roteiro para implementação de consórcios públicos de manejo de RSU. Cooperação para a proteção do clima na gestão dos resíduos sólidos urbanos – ProteGEEr**. Brasília, p. 75, 2021.

MELARÉ, A. V. S.; GONZÁLEZ, S. M.; FACELI, K.; CASADEI, V. Technologies and decision support systems to aid solid-waste management: a systematic review. **Waste management**, v. 59, p. 567-584, 2017.

MELO, A. L. O. **Avaliação e seleção de área para implantação de aterro sanitário utilizando lógica fuzzy e análise multi-critério: uma proposta metodológica. Aplicação ao município de Cachoeiro de Itapemirim-ES**. 2001.

MELO JUNIOR, H. R.; MARMOS, J. L.; CONCEIÇÃO, R. A. C.; MAIA, M. A. M.; MACHADO, M. F. **Guia de procedimentos técnicos do Departamento de Gestão Territorial: Volume 6 – seleção e caracterização de áreas adequadas para a instalação de aterros sanitários**. 2022.

MELO, M. S. **A Formação Pariqueira-Açu e depósitos relacionados: sedimentação, tectônica e geomorfogênese**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 1990.

MEZZALIRA, S.; AZEVEDO, A. A. B. Léxico estratigráfico do Estado de São Paulo. **Boletim do Instituto Geográfico e Geológico**, Secretaria de Agricultura e Abastecimento, n.º 5, p.161, 1981.

MIRANDA, G. L.; SIMIÃO, J. B.; ABREU, P. H. S.; VIEIRA, E. M. Minimização do conflito na gestão do território por meio do emprego da lógica booleana e critérios geoambientais para definição de áreas favoráveis à implantação de aterro sanitário: estudo de caso no Município de Itabira-MG. **Holos Environment**, v. 19, n. 4, p. 578-595, 2019.

MOEINADDINI, M.; KHORASANI, N.; DANEHKAR, A.; DARVISHSEFAT, A. A. Siting MSW landfill using weighted linear combination and analytical hierarchy process (AHP) methodology in GIS environment (case study: Karaj). **Waste management**, v. 30, n. 5, p. 912-920, 2010.

MOTLAGH, Z. K.; SAYADI, M. H. Siting MSW landfills using MCE methodology in GIS environment (Case study: Birjand plain, Iran). **Waste management**, v. 46, p. 322-337, 2015.

MMA - Ministério de Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Secretaria de Qualidade Ambiental**. Brasília, p. 209, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/agendaambientalurbana/lixao-zero/plano_nacional_de_residuos_solidos-1.pdf>. Acesso em: 31 dez.2022.

MOREIRA, M. A. A.; LORANDI, R.; MORAES, M. E. B. de. Caracterização de áreas preferenciais para a instalação de aterros sanitários no município de Descalvado (SP), na escala 1:50.000. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 60/02, p. 177-194, 2008.

NAS, B.; CAY, T.; ISCAN, F.; BERKTAY, A. Selection of MSW landfill site for Konya, Turkey using GIS and multi-criteria evaluation. **Environmental monitoring and assessment**, v. 160, n. 1, p. 491-500, 2010.

NAVAL, D. S. V. **Desenvolvimento de uma metodologia para a seleção de um local para a instalação de um aterro sanitário na província de Luanda**. p. 89, 2020.

NEVES, M. A. **Modelos para a localização de aterros sanitários em São Tomé e Príncipe**. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Informações Geográficas e Modelação Territorial Aplicados ao Ordenamento), Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, Portugal, p. 77, 2019.

NI-BIN, C.; PARVATHINATHAN, G.; BREEDEN, B. J. Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region. **Journal of Environmental Management**, Kingsville, v. 87, n. 1, p.139-153, abr. 2008.

OGLU, S. V. H. Application of Fuzzy ELECTRE method with trapezoidal fuzzy numbers. **World Science**, 2021.

OLIVEIRA, A. A. A.; CORRÊA, S. D. S.; MARIANO, M. O. H.; BEZERRA, S. D. T. M.; COELHO, I. C. L. Métodos multicritérios para seleção de áreas destinadas a aterros sanitários. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica**, v. 14, n. 1, p. 425-440, 2021.

- ONGARBAYEV, I.; MADANI, N. Anisotropic Inverse Distance Weighting (IDW) Method: An Innovative Technique for Resource Modeling of Vein-type Deposits. **Journal of Mining and Environment**, 2022.
- OZER, I.; LANE, D. Multi-Criteria Group Decision Making Methods, Integrated Web-Based Support Systems Group Decisions and Negotiations. **Conference, Mont Tremblant**, Quebec, p. 21, 2010.
- PAIXÃO, J. L.; LIMA, D. A. C.; FABRIN, F. G.; SANTANA, G. C.; BALDISSERA, L. B.; SILVA, R. N. Uso do método AHP na prioridade de ações de combate a perdas não técnicas. **Salão do Conhecimento**, v. 7, n. 7, 2021.
- PALIAGA, G.; FACCINI, F.; LUINO, F.; TURCONI, L. A spatial multicriteria prioritizing approach for geo-hydrological risk mitigation planning in small and densely urbanized Mediterranean basins. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 19, n. 1, p. 53-69, 2019.
- PASALARI, H.; NODEHI, R. N.; MAHVI, A. H.; YAGHMAEIAN, K.; CHARRAHI, Z. Landfill site selection using a hybrid system of AHP-Fuzzy in GIS environment: A case study in Shiraz city, Iran. **MethodsX**, v. 6, p. 1454-1466, 2019.
- PAUL, S.; GHOSH, S. Identification of solid waste dumping site suitability of Kolkata Metropolitan Area using Fuzzy-AHP model. **Cleaner Logistics and Supply Chain**, v. 3, p. 100030, 2022.
- PERINOTTO, J. A.; LINO, I. C. **Geologia, recursos minerais e passivos ambientais**. Atlas Ambiental da Bacia do Rio Corumbataí, Centro de Análise e Planejamento Ambiental (CEAPLA), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP/Campus de Rio Claro, 2006. Disponível em: <<http://ceapla.rc.unesp.br/atlas/geologia.html>>. Acesso em: 14 nov. 2022.
- PERRONI, H. P. **Contribuição metodológica para análise preliminar de potenciais áreas para aterro sanitário com auxílio do software QGIS: estudo de caso: município de Vargem Grande do Sul - SP**. São Paulo, p. 186, 2021.
- PHONPHOTON, N.; PHARINO, C. Multi-criteria decision analysis to mitigate the impact of municipal solid waste management services during floods. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 146, p. 106-113, 2019.
- PIGIRS - Plano Intermunicipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. **Plano Intermunicipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PIGIRS) do Consórcio Intermunicipal de Resíduos Sólidos do Oeste Paulista (CIRSOP)**. Álvares Machado, SP, p. 694. Disponível em: <<https://www.cirsop.sp.gov.br/publicacoes/527>>. Acesso em: 25 jul. 2023.
- PINA, L. G.; FLORENCIO, M. N. S.; COSTA, B. M. G. Gerenciamento de resíduos sólidos: um estudo de caso aplicado no Consórcio Público do Agreste Central. **Revista Valore**, v. 7, n. 1, p. 152-164, 2022.

PINHEIRO, M. M. F.; OSCO, L. P.; MENDES, T. S. G.; RAMOS, A. P. M. Caracterização das áreas restritas para implantação de aterro sanitário na região do Pontal do Paranapanema-SP. **Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Santos. São José dos Campos, INPE, 2019.

PMGIRS - **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Araras – 2015**. p.416, 2015. Disponível em: < https://araras.sp.gov.br/im/PLANO_RESIDUOS_FINAL.pdf>. Acesso em: 20 Ago. 2020.

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Índice de Desenvolvimento Humano Municipal Brasileiro**. Brasília, DF, 2013.

QASIM, Syed R. Wastewater treatment plants: planning, design, and operation. **Routledge**, 2017.

QURESHI, S.; SHORABEH, S. N.; SAMANY, N. N.; MINAEI, F.; HOMAEI, M.; NICKRAVESH, F.; ARSANJANI, J. J. A new integrated approach for municipal landfill siting based on urban physical growth prediction: A case study mashhad metropolis in Iran. **Remote Sensing**, v. 13, n. 5, p. 949, 2021.

RAHIMI, S.; HAFEZALKOTOB, A.; MONAVARI, S. M.; HAFEZALKOTOB, A.; RAHIMI, R. Sustainable landfill site selection for municipal solid waste based on a hybrid decision-making approach: Fuzzy group BWM-MULTIMOORA-GIS. **Journal of Cleaner Production**, v. 248, p. 119186, 2020.

REZAEISABZEVAR, Y.; BAZARGAN, A.; ZOHOURIAN, B. Landfill site selection using multi criteria decision making: Influential factors for comparing locations. **Journal of Environmental Sciences**, v. 93, p. 170-184, 2020.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 10, p. 41-58, 1996.
ROSSI, M. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado**. São Paulo: Instituto Florestal, 2017.

SAATY, T. L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 48. P. 9 - 26, 1990.

SAATY, T. L. Multicriteria Decision Making: The analytic hierarchy process. **Planning, Priority Setting, Resource Allocation**. New York: McGraw-Hill, 1980.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G.; SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. The analytic network process. **Springer US**, 2013.

SALAMONI, R. H.; PINHEIRO, R. J. B.; NUMMER, A. V. Processo operacional da Central de Tratamento de Resíduos da Caturrita-Santa Maria, RS. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, n. 14, p. 43-50, 2009.

SANTOS, R. L. R.; RODRIGUES, C. S.; YUN, G.; PEREIRA, A. B.; RABELO, J. M. G. Análise de decisão multicritério e sistema de informações geográfica na gestão de resíduos de construção e demolição. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 15984-16006, 2020.

SÃO PAULO (Estado). **Decreto Estadual nº 26.581, de 5 de janeiro de 1987**. Compatibiliza as regiões administrativas com as regiões de Governo criadas pelo Decreto n.º 22.970, de 29/11/1984. São Paulo, 5 jan. 1987. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1987/decreto-26581-05.01.1987.html>>. Acesso em: 25 fev. 2022.

SÃO PAULO (Estado). **Lei complementar n.º 1.360, de 24 de agosto de 2021**. Cria a Região Metropolitana de Piracicaba e dá providências correlatas. São Paulo, 24 ago. de 2021. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei.complementar/2021/lei.complementar-1360-24.08.2021.html>>. Acesso em: 28 ago. 2022.

SÃO PAULO (Estado). **Lei Estadual n.º 16.337, de 14 de dezembro de 2016**. Dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH e dá providências correlatas. São Paulo, 14 dez. 2016. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2016/lei-16337-14.12.2016.html>>. Acesso em: 2 abr. 2022.

SÃO PAULO (Estado). **Lei Estadual n.º 12.300, de 16 de março de 2006**. Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e define princípios e diretrizes. São Paulo, 14 dez. 2016. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2006/lei-12300-16.03.2006.html>>. Acesso em: 19 jul. 2022.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente. **Meio ambiente paulista: relatório de qualidade ambiental 2021**. Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente, Coordenadoria de Planejamento Ambiental – 1ª ed. – São Paulo, 2021. Disponível em: <www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br>. Acesso em 12 nov. 2022.

SCHNEIDER, R. L.; Schneider, R.; Mühlmann, H.; Tommasi, E.; Medeiros, R. D.; Daemon, R. F.; Nogueira, A. A. **Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná**. In: Sociedade Brasileira de Geologia, Congresso Brasileiro de Geologia, 28, Porto Alegre, 1974. v. 1 p. 41-65.

SEADE – Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. **Consulta de dados por município – 2022**. Disponível em: <<https://municipios.seade.gov.br/economia/>>. Acesso em: 19 dez. 2022.

SHARIFI, M. A.; RETSIOS, V. Site selection for waste disposal through spatial multiple criteria decision analysis. **Journal of Telecommunications and Information Technology**, p. 28-38, 2004.

SHORABEH, S. N.; FIROZJAEI, H. K.; FIROZJAEI, M. K.; JELOKHANI-NIARAKI, M.; HOMAEI, M.; NEMATOLLAHI, O. The site selection of wind energy power plant using

GIS-multi-criteria evaluation from economic perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 168, p. 112778, 2022.

SILVA FILHO, R. I.; CORRÊA, A. C. B. Os desafios do consórcio intermunicipal de resíduos sólidos do Vale do Açu, Rio Grande do Norte. **Geo UERJ**, n. 37, 2020.

SILVA, W. L. A. **Consórcio público regional de resíduos sólidos do Seridó/RN: perspectivas de um novo modelo de gestão**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, p. 152, 2015.

SMA - Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. As águas subterrâneas do Estado de São Paulo. **Cadernos de Educação Ambiental**, 3ª ed, p. 106, 2014. Disponível em: <<http://arquivo.ambiente.sp.gov.br/cea/2014/11/01-aguas-subterraneas-estado-sao-paulo.pdf>>. Acesso em: 06 dez. 2022.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico Temático - Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - Visão Geral ano de referência 2020**. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/rs/2020/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VI_SAO_GERAL_RS_SNIS_2021.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2022.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Brasil. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. **Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2019**. Brasília, 244 p., 2020.

SOLTANI, A.; HEWAGE, K.; REZA, B.; SADIQ, R. Multiple stakeholders in multi-criteria decision-making in the context of municipal solid waste management: a review. **Waste Management**, v. 35, p. 318-328, 2015.

SOS MATA ATLÂNTICA; INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica - Relatório Técnico: período de 2019-2020**. p. 39, 2021. Disponível em: <https://cms.sosma.org.br/wp-content/uploads/2021/05/SOSMA_Atlas-da-Mata-Atlantica_2019-2020.pdf>. Acesso em: 07 dez. 2022.

SOUZA, D. M. G; LOBATO, E. **Características gerais dos Latossolos**, 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-cerrado/solo/tipos-de-solo/latossolos#:~:text=Apresentam%20teor%20de%20silte%20inferior,em%20grande%20amplitude%20de%20umidade>>. Acesso em: 10 fev. 2023.

SOUZA, M. P.; OSORTO, M. R. R.; SOUZA, N. M. **Identificação de áreas aptas à instalação de aterros sanitários utilizando SIG no Município de Santo Estêvão-Bahia**, 2022. Disponível em: <<https://doi.editoracubo.com.br/10.4322/cobramseg.2022.1009.pdf>>. Acesso em: 28 fev. 2023.

TAVARES, G.; ZSIGRAIOVÁ, Z.; SEMIAO, V. Multi-criteria GIS-based siting of an incineration plant for municipal solid waste. **Waste management**, v. 31, n. 9-10, p. 1960-1972, 2011.

UNAL, M.; CILEK, A.; GUNER, E. D. Implementation of fuzzy, Simos and strengths, weaknesses, opportunities and threats analysis for municipal solid waste landfill site selection: Adana City case study. **Waste Management & Research**, v. 38, n. 1 suppl, p. 45-64, 2020.

VAHIDNIA, M. H.; ALESHEIKH, A. A.; ALIMOHAMMADI, A. Hospital site selection using fuzzy AHP and its derivatives. **Journal of environmental management**, v. 90, n. 10, p. 3048-3056, 2009.

VATALIS, K.; MANOLIADIS, O. A two-level multicriteria DSS for landfill site selection using GIS: case study in Western Macedonia, Greece. **Journal of Geographic Information and Decision Analysis**, v. 6, n. 1, p. 49-56, 2002.

VERONESI, F.; SCHITO, J.; GRASSI, S.; RAUBAL, M. Automatic selection of weights for GIS-based multicriteria decision analysis: site selection of transmission towers as a case study. **Applied geography**, v. 83, p. 78-85, 2017.

VU, H. L.; NG, K. T. W.; BOLINGBROKE, D. Parameter interrelationships in a dual phase GIS-based municipal solid waste collection model. **Waste Management**, v. 78, p. 258-270, 2018.

WEATHERSPARK. Clima característico em Araras, Brasil durante o ano. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/30199/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Araras-Brasil-durante-o-ano#google_vignette>. Acesso em: 03 set.2023.

YALCINKAYA, S.; KIRTILOGLU, O. S. Application of a geographic information system-based fuzzy analytic hierarchy process model to locate potential municipal solid waste incineration plant sites: A case study of Izmir Metropolitan Municipality. **Waste Management & Research**, v. 39, n. 1, p. 174-184, 2021.

YILDIRIM, V.; MEMISOGLU, T.; BEDIROGLU, S.; COLAK, H. E. Municipal solid waste landfill site selection using multi-criteria decision making and GIS: case study of Bursa province. **Journal of Environmental Engineering and Landscape Management**, v. 26, n. 2, p. 107-119, 2018.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and Control**, v. 8, Issue 3, p. 338 – 353, 1965.

ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; ASTOLFI, M. A. M.; VIEIRA, I. S.; CONCELCAO, J. C. J.; APPI, V. T.; MARQUES, A. **The Parana Basin, Brazil: Chapter 33: Part II. Selected Analog Interior Cratonic Basins: Analog Basins**. 1990.