

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Isadora Faber Tronca

**ANÁLISE DE PLANOS MUNICIPAIS DE SANEAMENTO
BÁSICO E AVALIAÇÃO DE ÁREAS DE APTIDÃO PARA A
DISPOSIÇÃO FINAL DE RSU**

Porto Alegre

Junho 2018

ISADORA FABER TRONCA

**ANÁLISE DE PLANOS MUNICIPAIS DE SANEAMENTO
BÁSICO E AVALIAÇÃO DE ÁREAS DE APTIDÃO PARA A
DISPOSIÇÃO FINAL DE RSU**

Trabalho de Diplomação apresentado à Comissão de Graduação
do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Engenheira Civil

Orientador: Fernando Mainardi Fan

Coorientador: Dieter Wartchow

Porto Alegre

Junho 2018

ISADORA FABER TRONCA

**ANÁLISE DE PLANOS MUNICIPAIS DE SANEAMENTO
BÁSICO E AVALIAÇÃO DE ÁREAS DE APTIDÃO PARA A
DIPSIÇÃO FINAL DE RSU**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRA CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da atividade de ensino Trabalho de Conclusão de Curso II - CIVIL da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 18 de Junho de 2018

Prof. Fernando Mainardi Fan
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande
do Sul
Orientador

Prof. Dieter Wartchow
Dr. pela Universidade de Stuttgart
Coorientador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Fernando Mainardi Fan (IPH/UFRGS)
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dieter Wartchow (IPH/UFRGS)
Dr. pela Universidade de Stuttgart

Prof. Alfonso Risso (IPH/UFRGS)
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Eng. Natália Pietzsch
Me. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho aos meus pais, Sabrina e Evandro, e ao
meu irmão, Ricardo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Professor Fernando Mainardi Fan, por todos os seus ensinamentos durante as aulas e durante a elaboração deste trabalho, e por ser sempre dedicado, atencioso e amigo.

Agradeço ao meu coorientador Professor Dieter Wartchow pela oportunidade de trabalhar com saneamento básico, e por toda a experiência compartilhada em sala de aula e no projeto do SASB. Agradeço também aos demais membros da banca, Professor Alfonso Risso e Engenheira Natália Pietzsch, por aceitarem o convite e assim contribuírem na melhoria deste trabalho.

Infelizmente, poder estudar em uma universidade federal é um privilégio de poucos, então quero agradecer a todos os professores que tive no decorrer da minha vida como estudante, e a todos os funcionários e servidores da Universidade, por fazerem parte da minha formação como engenheira.

Agradeço também aos meus colegas de curso, de trabalho e da equipe de handebol da UFRGS, pela companhia durante os anos da graduação e por terem tornado os momentos difíceis mais leves e divertidos.

Por fim, agradeço a todos os meus amigos e à minha família, em especial aos meus pais e ao meu irmão, por todo o carinho e apoio incondicional durante a faculdade, e por saber que continuarão ao meu lado independente do caminho que eu seguirei daqui em diante.

RESUMO

O presente trabalho buscou avaliar o gerenciamento dos resíduos sólidos de 28 municípios de pequeno porte do Rio Grande do Sul, participantes do projeto da FUNASA TED 02/2015, através da análise dos Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB) de cada um deles. Foram criados índices para avaliar as atividades de transporte e disposição final de resíduos de cada município e indicar quais municípios necessitam reestruturá-las, propondo novas alternativas de áreas de disposição final. Para isso, foram empregadas ferramentas de geoprocessamento, a fim de estruturar a tomada de decisão por meio de análises multicritério para verificação de áreas de aptidão para a instalação de unidades de disposição final de RSU. Os resultados alcançados mostraram que o manejo de resíduos sólidos ainda é ineficiente nos municípios de pequeno porte, principalmente devido à presença de lixões, à escolha por rotas caras e longas até os aterros sanitários, à falta de prestação de serviços básicos nas comunidades rurais e à escassez de processos de reaproveitamento de resíduos. Quanto aos resultados referentes ao auxílio à tomada de decisão para a escolha de novos locais para aterros, os mapas finais mostraram a aptidão das áreas de cada município de estudo, foi explicada a influência dos fatores e critérios presentes no estudo e os mapas gerados foram comparados com o mapa do Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Sul (PERS-RS). Foi possível concluir que a metodologia aplicada pode ser utilizada como ferramenta de apoio ao planejamento dos municípios, mas que outros tipos de procedimentos metodológicos e pesquisas também podem ser aplicados a fim de melhorar a qualidade dos serviços prestados à população.

Palavras-chave: Planos Municipais de Saneamento Básico. Resíduos Sólidos.
Geoprocessamento.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the solid waste management of 28 small municipalities of Rio Grande do Sul, participants of FUNASA TED 02/2015 project, through the analysis of their Municipal Sanitation Plans. Indexes were created to evaluate the activities of solid waste transportation and final disposal and to indicate which municipalities need to restructure these services, proposing new alternatives for final disposal areas. For this purpose, geoprocessing tools were used in order to structure decision making through multicriteria analysis for verifying the suitability of areas for final disposal solid waste units. The results showed that solid waste management is still inefficient in small municipalities, mainly due to the presence of dumps, to the adoption of expensive and long routes to landfills, to the absence of basic services in rural communities and to the shortage of waste reuse processes. The final maps showed the suitability of each area, the influence of factors and criteria present in the study was explained, and the maps generated were compared with the map of the State Plan of Solid Waste of Rio Grande do Sul. It was concluded that the applied methodology can be used as a tool to support municipal planning, but there are other types of methodological procedures and researches that can also be applied in order to improve the quality of services provided to the population.

Keywords: Municipal Sanitation Plans. Solid Waste. Geoprocessing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Considerações gerais para a elaboração do PMSB.....	20
Figura 2 - Descarregamento de resíduos em aterros tipo valas	32
Figura 3- Detalhe de corte de uma unidade do aterro sustentável	33
Figura 4- Detalhe de corte do aterro sanitário simplificado	33
Figura 5- Componentes de um Sistema de Informações Geográficas	41
Figura 6- Fluxograma de desenvolvimento da primeira etapa do trabalho prático	50
Figura 7- Localização dos municípios	52
Figura 8- Fluxograma de desenvolvimento da segunda etapa do trabalho prático	57
Figura 9- Valores de aptidão para distância de recursos hídricos.....	65
Figura 10 -Valores de aptidão para distância do sistema viário	65
Figura 11- Valores de aptidão para distância do sistema viário.	66
Figura 12 - Mapa final de aptidão sem restrições - Arambaré	76
Figura 13 - Mapa final de aptidão com restrições - Arambaré.....	76
Figura 14 - Mapa de aptidão do PERS-RS- Arambaré	77
Figura 15- Mapa final de áreas de aptidão sem restrições - Áurea.....	79
Figura 16- Mapa final de áreas de aptidão com restrições-Áurea	79
Figura 17 - Mapa de aptidão do PERS-RS - Áurea	80
Figura 18 - Mapa final de áreas de aptidão sem restrições - Chuí.....	82
Figura 19- Mapa final de áreas de aptidão com restrições - Chuí	82
Figura 20 - Mapa de aptidão do PERS-RS - Chuí.	83
Figura 21 - Mapa final de áreas de aptidão sem restrições - Consórcio.....	85
Figura 22 - Mapa final de áreas de aptidão com restrições - Consórcio	85
Figura 23- Mapa de Aptidão do PERS-RS - Consórcio.....	86
Figura 24- Mapa final de áreas de aptidão sem restrições - Garruchos	88
Figura 25 – Mapa final de áreas de aptidão com restrições - Garruchos	89
Figura 26- Mapa de aptidão do PERS-RS - Garruchos.....	89
Figura 27 - Mapa final de aptidão sem restrições - Ipê.....	91
Figura 28 - Mapa final de aptidão com restrições - Ipê	92
Figura 29 - Mapa de Aptidão PERS-RS - Ipê	92
Figura 30 - Mapa Restritivo de Recursos Hídricos - Consórcio.....	114
Figura 31 - Mapa do Fator Recursos Hídricos - Consórcio	114
Figura 32 - Mapa Restritivo de Manchas Urbanas - Consórcio	115
Figura 33 - Mapa do Fator Manchas Urbanas- Consórcio	115
Figura 34 - Mapa Restritivo Sistema Viário - Consórcio.....	116
Figura 35 - Mapa do Fator Sistema Viário - Consórcio.....	116
Figura 36 - Mapa do Fator Declividade - Consórcio	117
Figura 37 - Mapa do Fator Hidrogeologia - Consórcio	117
Figura 38- Mapa do Fator Uso do Solo - Consórcio.....	118
Figura 39 - Mapa do Fator Solo - Consórcio.....	118
Figura 40 - Mapa de Restrição de Áreas Protegidas - Consórcio.....	119
Figura 41 - Mapa Restritivo de Recursos Hídricos- Garruchos	121
Figura 42 - Mapa do Fator Recursos Hídricos - Garruchos	121
Figura 43 - Mapa Restritivo de Manchas Urbanas -Garruchos	122
Figura 44 - Mapa do Fator Manchas Urbanas - Garruchos	122
Figura 45 - Mapa Restritivo do Sistema Viário.....	123
Figura 46 - Mapa do Fator Sistema Viário.....	123
Figura 47 - Mapa do Fator Declividade- Garruchos	124
Figura 48 - Mapa do Fator Hidrogeologia - Garruchos	124
Figura 49 - Mapa do Fator Uso do Solo - Garruchos	125
Figura 50 - Mapa do Fator Solo - Garruchos	125

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição dos Produtos do PMSB	22
Tabela 2 - Classificação de Resíduos Sólidos quanto à periculosidade	26
Tabela 3- Comparação entre as concepções de Aterros Sanitários de Pequeno Porte	34
Tabela 4- Principais critérios para seleção de áreas para aterros sanitários	36
Tabela 5- Sistemas de Projeções Cartográficas	39
Tabela 6- Lista de municípios analisados com suas respectivas coordenadas geográficas	51
Tabela 7- Levantamento de Informações sobre o Gerenciamento de RSU	54
Tabela 8- Dados utilizados.....	58
Tabela 9- Valores de aptidão para o fator declividade	61
Tabela 10 - Valores de aptidão para o fator solos	62
Tabela 11 - Valores de aptidão para o fator hidrogeologia.....	63
Tabela 12- Valores de aptidão para o fator uso do solo	64
Tabela 13- Valores de aptidão para distância de recursos hídricos.....	67
Tabela 14- Índices de Avaliação das atividades de manejo de RSU.....	71
Tabela 15- Matriz de comparação pareada entre os fatores.....	73
Tabela 16- Resultado dos pesos de cada fator	74
Tabela 17- Áreas por classe de aptidão - Arambaré.....	77
Tabela 18 - Áreas por classe de aptidão - Áurea.....	80
Tabela 19- Áreas por classe de aptidão - Chuí.....	83
Tabela 20 - Áreas por classe de aptidão - Consórcio	86
Tabela 21- Áreas por classe de aptidão- Garruchos	90
Tabela 22 - Áreas por classe de aptidão - Ipê	93
Tabela 23- Informações sobre o gerenciamento de resíduos sólidos dos municípios de estudo - Parte I.....	109
Tabela 24 - Informações sobre o gerenciamento de resíduos sólidos dos municípios de estudo - Parte II	110
Tabela 25 - Informações sobre o gerenciamento de resíduos sólidos dos municípios de estudo - Parte III	111
Tabela 26 - Informações sobre o gerenciamento de resíduos sólidos dos municípios de estudo - Parte IV	112

LISTA DE SIGLAS

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

AHP - Analytic Hierarchy Process

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CONDER - Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

ESRI - Environmental Systems Research Institute

FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde

GPS - Global Positioning System

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPH - Instituto de Pesquisas Hidráulicas

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas

LABGEO - Laboratório de Geoprocessamento do Centro de Ecologia

MCDA - Multi-Criteria Decision Analysis

MCE - Multi-Criteria Evaluation

METROPLAN - Fundação Planejamento Metropolitano Regional

MINTER - Ministério do Interior

PMSB - Plano Municipal de Saneamento Básico

PNMA- Política Nacional do Meio Ambiente

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

PROSAB - Programa de Pesquisas em Saneamento Básico

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos

SADES - Sistema de Apoio à Decisão em escolha de áreas para aterros sanitários

SASB - Sistema de Apoio ao Saneamento Básico

SGBD- Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados

SGR - Sistema Geodésico de Referência

SIG - Sistemas de Informações Geográficas

SIMS - Sistema de Informações Municipais sobre Saneamento

SINIR- Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos

SINMETRO - Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

SIRGAS - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

SISNAMA - Sistema Nacional do Meio Ambiente

SNVS - Sistema Nacional de Vigilância Sanitária

SUASA - Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária

TED - Termo de Execução Descentralizada

TR - Termo de Referência

UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

USGS - United States Geological Survey

UTM- Universal Transverse Mercator

WLC- Weighted Linear Combination

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	16
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	16
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	16
2.2.1 Objetivo geral.....	16
2.2.2 Objetivos específicos	16
2.3 MOTIVAÇÃO	17
2.4 DELINEAMENTO.....	17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1 PLANOS MUNICIPAIS DE SANEAMENTO BÁSICO.....	19
3.1.1 Princípios e elementos para a elaboração dos PMSB	19
3.2 RESÍDUOS SÓLIDOS	23
3.2.1 Legislação	23
3.2.2 Definições e Classificações	25
3.2.3 Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos	27
3.2.4 Disposição Final de Resíduos	29
3.2.4.1 Lixões, Aterros Controlados e Aterros Sanitários	29
3.2.4.2 Aterros Sanitários de Pequeno Porte.....	30
3.2.4.3 Critérios de Seleção de Áreas para Aterros Sanitários	35
3.3 GEOPROCESSAMENTO.....	37
3.3.1 Definições e aplicações.....	37
3.3.2 Georreferenciamento	38
3.3.3 Componentes de SIGs	40
3.3.3.1 Banco de Dados e SGBD.....	42
3.3.3.2 Processamento Digital de Imagens	43
3.3.3.3 Sistema de Análise Geográfica	44
3.3.3.4 Sistema de Auxílio a Tomada de Decisões	45
3.4 CONTRIBUIÇÕES CIENTÍFICAS	46
4 METODOLOGIA	50
4.1 ANÁLISE DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	50
4.1.1 Municípios analisados	51
4.1.2 Levantamento de informações	52
4.1.3 Índices de Avaliação.....	55
4.2 MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE APTIDÃO PARA DISPOSIÇÃO FINAL DE RSU	57

4.2.1 Materiais e dados.....	57
4.2.2 Definição dos critérios restritivos	59
4.2.2.1 Recursos hídricos.....	59
4.2.2.2 Sistema viário	60
4.2.2.3 Manchas Urbanas	60
4.2.2.4 Áreas Protegidas.....	60
4.2.3 Definição dos fatores	60
4.2.3.1 Declividade.....	61
4.2.3.2 Solos.....	62
4.2.3.3 Hidrogeologia.....	63
4.2.3.4 Uso do Solo	63
4.2.3.5 Distância de Recursos hídricos	64
4.2.3.6 Distância do Sistema Viário.....	65
4.2.3.7 Distância de Manchas Urbanas	66
4.2.4 Proposta de ponderação dos fatores	66
4.2.5 Agregação dos critérios: criação do mapa de aptidão	67
4.2.6 Análise de cada caso	67
5 RESULTADOS E ANÁLISES	69
5.1 LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES	69
5.2 AVALIAÇÃO E MUNICÍPIOS ESCOLHIDOS	71
5.3 PROPOSTA DE PONDERAÇÃO DOS FATORES	73
5.4. MAPAS DE APTIDÃO.....	75
5.4.1 Arambaré.....	75
5.4.2 Áurea.....	78
5.4.3 Chuí.....	81
5.4.4 Consórcio	84
5.4.5 Garruchos	88
5.4.6 Ipê	91
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	95
7 RECOMENDAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS	98
8 REFERÊNCIAS	99
ANEXO A – Levantamento de Informações.....	108
ANEXO B– Mapas de Restrições e de Fatores do Consórcio: Arvorezinha, Espumoso, Marau e Soledade	113
ANEXO C – Mapas de Restrições e de Fatores do município de Garruchos.....	120

1 INTRODUÇÃO

A superação das desigualdades sociais no acesso aos serviços públicos de saneamento básico é questão fundamental para desenvolver o setor e cumprir sua meta de universalização no atendimento a toda população, conforme estabelecido nas diretrizes nacionais da Política Federal de Saneamento Básico – Lei nº. 11.445/2007 (FUNASA, 2014). São considerados eixos do saneamento básico o conjunto dos serviços públicos e suas respectivas infraestruturas de abastecimento de água, de esgotamento sanitário, de manejo de águas pluviais e drenagem, e de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos.

A existência de um Plano de Saneamento Básico, a partir de 2018, será condição básica para o acesso a recursos orçamentários da União ou a recursos de financiamentos geridos ou administrados por órgão ou entidade da Administração Pública Federal, quando destinados a serviços de saneamento básico, conforme estabelecido no Decreto Federal nº 8.629/2015 (BRASIL, 2015).

Um dos maiores problemas enfrentados pelos municípios brasileiros é o gerenciamento inadequado dos resíduos sólidos. A Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), e define o gerenciamento de resíduos sólidos como o conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento, destinação final ambientalmente adequada dos resíduos, e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Em grande parte do Rio Grande do Sul, o serviço de coleta de resíduos sólidos não atinge todas as localidades dos municípios, e os locais de disposição final são ou grandes aterros sanitários privados, muitas vezes distantes das sedes municipais, ou locais inapropriados como vazadouros à céu aberto. Em municípios de pequeno porte, é possível aplicar a concepção de sistemas de disposição final simples, como aterros sanitários de pequeno porte, em que as diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento são instituídas pela NBR 15.849/2010. Outra opção, é a construção de aterros sanitários compartilhados entre municípios vizinhos, visto que, a Política Nacional de Resíduos Sólidos incentiva a adoção de soluções consorciadas intermunicipais, concedendo aos participantes prioridade para a obtenção de recursos financeiros.

De acordo com Tsuhako (2004), o local ideal para a implementação de aterros sanitários precisa reunir condições técnicas, econômicas e ambientais, a fim de minimizar os impactos negativos desse tipo de empreendimento. Para isso, a literatura tem indicado que através dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) é possível integrar e analisar diferentes imagens e dados espaciais, compondo uma ferramenta de apoio à decisão para a escolha de locais adequados.

Nessa linha, este trabalho visa o estudo da etapa de Diagnóstico Técnico Participativo de serviços de limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos de Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB), com o objetivo de coletar informações locais sobre o gerenciamento de resíduos, e avaliar, por meio dos dados fornecidos, a qualidade das atividades relacionadas ao transporte e disposição final de RSU de cada município estudado. Através do uso de Sistema de Informações Geográficas (SIG), com a utilização de rotinas de apoio à decisão por múltiplos critérios, foram avaliadas áreas de aptidão para a instalação de aterros sanitários municipais de pequeno porte, ou aterros sanitários compartilhados entre municípios, para os casos em que se julguem necessárias mudanças no gerenciamento final de resíduos e rejeitos.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho estão subdivididas em questão e objetivos da pesquisa, justificativa e delineamento, os quais serão descritos nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: Quais são os municípios do Rio Grande do Sul, dentre os 28 analisados, que necessitam de avaliação de novas alternativas de disposição final para resíduos sólidos urbanos, e quais são as áreas mais aptas à implantação dessas alternativas?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

2.2.1 Objetivo geral

O objetivo principal do trabalho é estudar o gerenciamento de resíduos sólidos de um grupo de municípios de pequeno porte do Rio Grande do Sul, participantes do TED 02/2015, avaliando quais deles necessitam reestruturar suas atividades de disposição final de RSU, e quais são as áreas mais aptas para a implantação de novas alternativas.

2.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) realizar um levantamento de informações sobre o gerenciamento de resíduos sólidos de 28 municípios de pequeno porte do Rio Grande do Sul, participantes do TED 02/2015;
- b) classificar os serviços de manejo de RSU de cada município, através da criação de índices de avaliação, com foco nas atividades de transporte e disposição final;
- c) pesquisar e compreender sobre a implantação e operação de aterros sanitários convencionais e de aterros sanitários de pequeno porte, avaliando os benefícios que a implantação de alternativas locais e simplificadas podem gerar aos municípios;
- d) utilizar a tecnologia de geoprocessamento, estabelecendo critérios de restrição e critérios de aptidão, bem como a ponderação de fatores, baseados em Normas Técnicas e trabalhos que utilizaram metodologias aplicáveis a esta pesquisa;

- e) propiciar aos municípios um material de estudos preliminares, que poderá ser norteador de futuros projetos e ações.

2.3 MOTIVAÇÃO

A partir do ano de 2018, os Planos Municipais de Saneamento Básico serão instrumentos obrigatórios para que os gestores públicos possam obter recursos financeiros, contratar ou conceder serviços referentes ao saneamento básico.

Em virtude dessa nova exigência, a UFRGS está oferecendo apoio técnico ao projeto viabilizado pela Fundação Nacional da Saúde (FUNASA), TED 02/2015, através do grupo SASB (Sistema de Apoio ao Saneamento Básico), composto de alunos e professores do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), para que 28 municípios do Rio Grande do Sul construam seus Planos Municipais de Saneamento Básico. A adequação das atividades de gerenciamento de resíduos sólidos representa um dos principais desafios enfrentados pela administração pública dos municípios participantes do Projeto TED 02/2015. Através de levantamento de dados preliminares, durante a construção dos PMSB, foi possível constatar diversos problemas estruturais, ambientais e financeiros, referentes às atividades de gestão de resíduos, que precisam ser solucionados, tais como a falta de coleta seletiva, a disposição irregular de resíduos, a falta de controle de custos referentes ao manejo de RSU, entre outros.

As análises de espaços predispostos à implantação de aterros sanitários, que foram realizadas no presente trabalho, poderão ser utilizadas, posteriormente, nos prognósticos dos PMSB dos municípios estudados, como forma de estudo preliminar para concepção de novos cenários e projetos. Além disso, a avaliação criteriosa dos espaços territoriais é de fundamental importância atualmente, tendo em vista que a crescente urbanização está reduzindo as alternativas de locais adequados para implantação desse tipo de empreendimento.

2.4 DELINEAMENTO

Este trabalho foi realizado de acordo com as etapas apresentadas a seguir.

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) definição dos procedimentos metodológicos;
- c) levantamento de informações referentes ao Gerenciamento de Resíduos Sólidos de cada município;

- d) criação de índices de avaliação para verificar quais municípios necessitam reestruturar a forma de disposição final de resíduos;
- e) obtenção dos dados espaciais iniciais;
- f) aplicação de ferramenta ArcGIS para a análise multicritério de superposição de mapas;
- g) resultados dos mapas de aptidão gerados;
- h) considerações finais e recomendações para trabalhos futuros.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A presente revisão bibliográfica está dividida em quatro partes principais. Primeiramente, o tópico "Planos Municipais de Saneamento Básico" é desenvolvido, com a finalidade de fundamentar os princípios e elementos básicos necessários para a elaboração de PMSB, visto que, os planos estudados foram as fontes principais de dados para a pesquisa. Em um segundo tópico, o tema "Resíduos Sólidos" é abordado, eixo central do estudo, e objeto de análise para a avaliação da qualidade de gerenciamento nos municípios. Na terceira parte da revisão bibliográfica, apresenta-se um estudo teórico sobre geoprocessamento, ferramenta que foi utilizada para a elaboração dos mapas de áreas de aptidão para disposição final de RSU. Por fim, no último tópico, são descritas algumas abordagens de pesquisas recentes acerca de estudos relacionados ao suporte à decisão para a implementação de aterros sanitários, com o objetivo de desenvolver conhecimentos suficientes para a construção da metodologia deste trabalho.

3.1 PLANOS MUNICIPAIS DE SANEAMENTO BÁSICO

3.1.1 Princípios e elementos para a elaboração dos PMSB

Saneamento básico é definido como o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, e drenagem e manejo de águas pluviais urbanas (BRASIL, 2007).

Em 2007, foi sancionada a Lei do Saneamento Básico nº 11.445, que instituiu as diretrizes nacionais para a área, e definiu o planejamento, a regulação e a fiscalização dos serviços como instrumentos fundamentais para se alcançar o acesso universal ao saneamento (FUNASA, 2014). Além disso, esse marco regulatório estipula o controle social como ferramenta essencial para o alcance do desenvolvimento social, por intermédio de mecanismos que garantam à sociedade o acesso às informações e a efetiva participação da população nos processos de planejamento e formulação de políticas.

A referida lei também define que o titular dos serviços deve formular o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), documento base para o planejamento municipal, que deve

contemplar os modelos de gestão, as metas, os projetos e as respectivas tecnologias e estimativas de custos de serviços relacionados aos quatro setores do saneamento.

A partir de 2018, conforme o Decreto nº 8.629/2015, a existência de PMSB será condição para o acesso a recursos orçamentários da União para a realização de obras e serviços de saneamento nos municípios brasileiros. Contudo, antes disso, com o objetivo de definir os procedimentos e requisitos mínimos para a elaboração dos PMSB, tal como preconiza a Lei 11.445/07, a FUNASA elaborou em 2012 o Termo de Referência para Elaboração de Planos Municipais de Saneamento Básico (TR). Esse termo visa a uniformização de procedimentos de formalização e acompanhamento de convênios de cooperação técnica e financeira entre a FUNASA e municípios de até 50 mil habitantes (FUNASA,2014).

Alguns direcionamentos são obrigatórios para a aprovação do PMSB. O Termo de Referência elaborado pela FUNASA ilustra as considerações essenciais para a correta elaboração e posterior aprovação dos PMSB, conforme a Figura 1.

Figura 1 - Considerações gerais para a elaboração do PMSB



(fonte: FUNASA, 2012)

O Termo de Referência também aborda uma descrição detalhada sobre os produtos que devem ser elaborados durante a construção do PMSB para que as metas acima citadas sejam atingidas e o plano seja aprovado. A Tabela 1 traz um resumo desses produtos com suas principais características.

Tabela 1 - Descrição dos Produtos do PMSB

PRODUTOS		DESCRIÇÃO
A	Portaria com os membros dos Comitês de Coordenação e Executivos	Cópia do ato público do Poder Executivo, com definição dos membros dos comitês.
B	Plano de Mobilização Social	Documento de planejamento, que tem como objetivo desenvolver estratégias para promover a mobilização e a participação da população no processo de elaboração do PMSB.
C	Diagnóstico Técnico-Participativo	Relatório contendo o diagnóstico completo dos quatro eixos do saneamento e do setor socioeconômico, utilizando o enfoque técnico paralelamente ao diagnóstico participativo com o levantamento das percepções sociais sobre o saneamento.
D	Prospectiva e Planejamento Estratégico	Relatório contendo uma prospectiva estratégica compatível com as aspirações sociais e com as características socioeconômicas do município, procurando identificar cenários futuros possíveis e desejáveis.
E	Programas, Projetos e Ações	Relatório que detalha as medidas a serem tomadas de forma hierarquizada, de acordo com os anseios sociais. Estruturação de programas, projetos e ações específicos para cada eixo do saneamento.
F	Plano de Execução do PMSB	Plano de execução contendo a programação da implantação dos programas, projetos e ações, definindo horizontes temporais, quem são os responsáveis, e quais são as fontes de recursos.
G	Minuta do Projeto de Lei	Elaboração da Minuta do Projeto de Lei Municipal.
H	Indicadores de Desempenho	Relatório sobre os sistemas de monitoramento e avaliação do Plano, com acompanhamento sistemático e periódico do cumprimento dos objetivos e metas, através de indicadores de desempenho.
I	Sistema de Informações para o Auxílio de Tomada de Decisão	Sistema para organizar dados e informações referentes à situação real do saneamento no município, dar consistência a estes, e divulgá-los, de modo que possam fornecer subsídios para o acompanhamento e a gestão do PMSB.
J	Relatório Mensal Simplificado do Andamento das Atividades Desenvolvidas	Resumo mensal das atividades desenvolvidas. Engloba informações sobre o cumprimento da programação, ocorrências, recomendações, além de conclusões e projeções de prazos e custos.
K	Relatório Final	Apresentação das informações resumidas e consolidadas de todas as etapas e produtos desenvolvidos

(fonte: Adaptado de FUNASA, 2014)

3.2 RESÍDUOS SÓLIDOS

3.2.1 Legislação

No Brasil, a preocupação com o tema de resíduos sólidos na esfera legislativa foi introduzida em lei no ano de 1954, através da Lei Federal nº 2.312 - Normas Gerais sobre Defesa e Proteção da Saúde - que definiu como uma de suas diretrizes: “a coleta, o transporte e o destino final do lixo deverão processar-se em condições que não tragam inconvenientes à saúde e ao bem-estar público”.

Ao final da década de 1970, o Ministério do Interior determinou, por meio da Portaria MINTER nº 53 de 01/03/1979, que:

Os resíduos sólidos de natureza tóxica, bem como os que contêm substâncias inflamáveis, corrosivas, explosivas, radioativas e outras consideradas prejudiciais, deverão sofrer tratamento ou acondicionamento adequado, no próprio local de produção, e nas condições estabelecidas pelo órgão estadual de controle da poluição e de preservação ambiental.

Outro importante marco na legislação brasileira é a criação da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), Lei Federal nº 6.938, de 31/08/1981, que fixou princípios, objetivos e instrumentos que assegurassem a preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio ecológico. A PNMA constituiu a estruturação do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e estabeleceu a competência do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Contudo, o tema de gerenciamento de resíduos sólidos adquiriu maior relevância no cenário nacional a partir do final da década de 80, especialmente devido à promulgação da Constituição de 1988, que, de forma inédita até então, dedicou um capítulo específico ao meio ambiente, impondo à coletividade e ao Poder Público, em seu art. 225, o dever de preservá-lo para as gerações presentes e futuras.

Em 1998 é publicada a Lei nº 9.605, Lei de Crimes Ambientais, que dispõe sobre as sanções administrativas e penais ligadas às atividades lesivas ao meio ambiente. Em seu artigo 54, parágrafo 2º, inciso V, penaliza o descarte de resíduos sólidos em desacordo com as exigências estabelecidas em leis e regulamentos.

A partir de então, outras legislações importantes relacionadas a políticas públicas de saneamento, proteção ao meio ambiente e gerenciamento urbano das cidades foram criadas. Destacam-se a Lei nº 9.795/1999, que instituiu a Política Nacional de Educação Ambiental, a Lei 10.257/2001, denominada Estatuto da Cidade, e a Lei 11.107/2005, que dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos.

A Lei nº 11.445/2007 estabelece o manejo de resíduos sólidos e a limpeza urbana como um dos eixos do saneamento básico, e considera como partes integrantes desse eixo, todas as atividades de coleta, transbordo, transporte, triagem, reciclagem, tratamento, disposição final, varrição, capina e poda de árvores, e outros eventuais serviços de limpeza urbana. Assim, as diretrizes nacionais preconizadas na Lei do Saneamento Básico devem ser seguidas para todos os serviços e infraestruturas relacionadas a essas atividades.

Finalmente, em agosto de 2010, é instituída a “Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)”, Lei nº 12.305, reunindo um conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações relativas exclusivamente à gestão integrada e ao gerenciamento dos resíduos sólido. A lei prevê, dentre outros princípios, a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos como diretriz para o desenvolvimento sustentável, e o reconhecimento do resíduo sólido como uma fonte de trabalho e renda, com valor econômico e social.

Entre as metas da PNRS destacam-se a criação do Plano Nacional de Resíduos Sólidos com ampla participação popular, a criação do Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos (SINIR), o estabelecimento de coleta seletiva em todos os municípios e a erradicação dos lixões em todo o país até o ano de 2014. Além disso, a PNRS estabelece uma ordem de prioridades na gestão de resíduos, colocando a disposição final ambientalmente adequada como a última opção para o gerenciamento do resíduo, resultando na concepção de que apenas rejeitos devem ser dispostos em aterros sanitários.

Ainda segundo a referida lei, todas as normas estabelecidas pelos órgãos do SISNAMA, do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS), do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (SUASA) e do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (SINMETRO) aplicam-se ao tema de resíduos sólidos, além das Leis números 11.445/2007, 9.974/ 2000, e 9.966/2000.

No Rio Grande do Sul, a Lei nº 9.921/1993, regulamenta a gestão estadual de resíduos sólidos, e estabelece o reaproveitamento de resíduos como prioridade, através da implantação de

atividades como a segregação na origem, projetos de triagem de materiais recicláveis e reaproveitamento da fração orgânica.

3.2.2 Definições e Classificações

A “NBR 10.004 – Resíduos Sólidos – Classificação” de 2004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), define o termo resíduos sólidos como sendo os produtos, nos estados sólidos e semissólidos, resultantes das atividades industriais, domésticas, hospitalares, agrícolas, comerciais, de serviços e de varrição. Também são incluídos nessa definição os lodos gerados em sistemas de tratamento de água, em equipamentos e instalações de controle de poluição, e determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento em redes de esgoto ou corpos de água.

Já a nº Lei 12.305/2010 define o termo como sendo:

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

Ainda segundo a mesma lei, os resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de aplicação de processos de tratamento e recuperação disponíveis e economicamente viáveis, não apresentam outra possibilidade que não a disposição final de forma ambientalmente correta, são denominados “rejeitos”. Assim, pela terminologia legal, aquilo que popularmente é denominado “lixo”, passa a ser “rejeito”, e vem a ser todo o resíduo que não pode ser reutilizado como matéria prima de novos processos, e que não possui poder calorífero apreciável, logo, todo o resíduo que não possui mais serventia (GEHLING, 2017).

A norma brasileira NBR 10.004/2010 classifica os resíduos sólidos em três classes de periculosidade, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação de Resíduos Sólidos quanto à periculosidade

Resíduos Classe I - Perigosos	Apresentam periculosidade, oferecendo riscos à saúde humana ou riscos ao meio ambiente; ou que apresentam uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade.
Resíduos Classe II A - Não inertes	Aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I - ou de resíduos classe II B, nos termos da NBR 10004. Podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
Resíduos Classe II B - Inertes	Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

(fonte: Adaptado de NBR 10.004/2010)

Em relação à origem, a nº Lei 12.305/2010, em seu artigo 13, incisos I e II, divide os resíduos como:

- a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas *a* e *b*;
- d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas *b*, *e*, *g*, *h* e *j*;
- e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea *c*;
- f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
- h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- i) resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.

3.2.3 Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos

Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos (GIRSU) é o conjunto de atividades realizadas com a participação da sociedade civil e da administração pública relacionadas à limpeza urbana, à coleta, ao tratamento e à disposição final dos resíduos (MONTEIRO et al., 2001).

Para Zanta e Ferreira (2003), as atividades de gerenciamento de RSU possuem o objetivo principal de reduzir a geração de resíduos, a fim de evitar a dispersão de poluentes prejudiciais ao meio ambiente e à saúde pública. Logo, uma hierarquização de estratégias é recomendada, buscando-se primeiramente reduzir a geração de resíduos na fonte, para depois aplicar nesta ordem de prioridade: o reaproveitamento, o tratamento, e a destinação final.

Segundo Brollo e Silva (2001), a redução de resíduos na fonte segue o Princípio da Prevenção, política de gerenciamento de maior ênfase atualmente em países desenvolvidos da Europa, que incentiva o desenvolvimento de tecnologias limpas nas linhas de produção a fim de impactar os padrões de produção e consumo da sociedade.

Já as estratégias de reaproveitamento, englobam as atividades de reutilização, recuperação e reciclagem, enquanto o tratamento pode ser realizado através de processos físicos, químicos e biológicos. Essas atividades são definidas por Zanta e Ferreira (2003) como:

- a) reutilização: processo de reaproveitamento direto, sob a forma de um produto que não sofre alteração na sua composição. Incluem-se os casos em que os materiais necessitam de limpeza ou esterilização para serem usados novamente;
- b) recuperação: processo de extração de algumas substâncias dos resíduos, a fim de utilizá-las para determinado uso. Citam-se como exemplos a utilização dos óxidos de metais e a reforma ou conserto de produtos como móveis descartados;
- c) reciclagem: processo de transformação dos resíduos inertes a fim de inseri-los novamente na cadeia produtiva;
- d) compostagem: tratamento de fração orgânica através de processo biológico que envolve a transformação aeróbia da matéria em composto condicionador do solo;
- e) digestão anaeróbia: estabilização da matéria orgânica com produção de biogás, constituído principalmente por dióxido de carbono e gás metano.

Essas ações, para serem eficientes, devem ser associadas a programas de coleta seletiva, ou no mínimo, de coleta não seletiva seguida de triagem. A coleta seletiva é, conforme Lanza e Carvalho (2006), o processo pelo qual os resíduos sólidos são recolhidos separadamente, a princípio em dois tipos: resíduos orgânicos (úmido ou compostável) e resíduos inorgânicos (seco/reciclável). Os rejeitos idealmente deveriam ser recolhidos de forma separada, para serem

encaminhados aos aterros, contudo, o que ocorre na maioria dos casos é a coleta conjunta com os orgânicos, inviabilizando, muitas vezes, a destinação ideal para cada tipo.

Um programa de coleta seletiva deve contemplar a participação dos catadores, da comunidade, e da administração pública, e, mesmo com a segregação na fonte, a existência de um centro de triagem, que separe os recicláveis por tipo de material, é de extrema importância para dar suporte à indústria de produtos reciclados.

Em 2008, segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, de um total de 5.564 municípios brasileiros, apenas 994 realizavam a coleta seletiva. Com vistas a alterar esse cenário desfavorável, a PNRS (2010) concede prioridade no acesso a recursos da União para os municípios que "implantarem a coleta seletiva com a participação de cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda".

Idealmente, as concessionárias de serviço de limpeza pública deveriam fornecer sacos com identificação apropriada a cada material separado, recolhendo-os através de uma coleta distinta da coleta regular, em que a separação primária de papéis, vidros, metais e plásticos seria feita diretamente nas fontes geradoras, evitando-se assim, gastos com sistemas de separação mecânica em usinas de triagem (GEHLING, 2017).

Para os serviços de transporte de RSU, o acondicionamento dos resíduos domiciliares e públicos deve ser feito de acordo com suas características quali-quantitativas, garantindo o manuseio seguro e mais rápido dos resíduos (ZANTA E FERREIRA, 2003). Outro aspecto importante é o dimensionamento e a escolha dos recursos e serviços necessários relacionados à atividade de transporte. A IPT (2000) cita como fatores a serem definidos: tipos de veículos e equipamentos utilizados, frota necessária, quantidade de trabalhadores, frequência e horários de coleta, pontos de destinação e programação das rotas.

Em alguns casos, o gerenciamento de resíduos sólidos pode extrapolar a gestão municipal, e a realização dos serviços é feita de forma conjunta entre municípios organizados em microrregiões. Isto é o que Borges (2001, apud NARUO, 2003) denomina de "sistemas integrados", casos em que, existindo condições técnicas e financeiras, municípios vizinhos adotam soluções conjuntas ao invés de soluções individuais, como é o caso, por exemplo, de aterros sanitários geridos por consórcios intermunicipais. Naruo (2003) salienta que para o sucesso de sistemas integrados como consórcios públicos, é necessário o estudo de viabilidade econômica dessas soluções e a criação de leis específicas pelos poderes locais envolvidos.

Conforme SEMA (2014) afirma no Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Sul, os consórcios garantem ganho em escala e viabilidade de prestação de serviços em municípios de pequeno porte. Além disso, a PNRS incentiva o estabelecimento de soluções consorciadas intermunicipais, dando prioridade de acesso a recursos financeiros para esses casos.

3.2.4 Disposição Final de Resíduos

3.2.4.1 Lixões, Aterros Controlados e Aterros Sanitários

De acordo com Guimarães (2000), os aterros comuns, também chamados de lixões ou vazadouros, são os locais de descarte do lixo diretamente no solo, sem nenhuma forma de tratamento ou cobertura. Esses depósitos irregulares ocasionam diversos problemas como a poluição do meio físico e o aumento de transmissão de doenças; além disso, corre-se o risco de casos de incêndio, deslizamentos e explosões. Já o aterro controlado, diferencia-se dos lixões devido à existência de cobertura diária dos resíduos inertes, com a utilização de uma camada de solo que minimiza os impactos causados pela proliferação de vetores de doenças.

Segundo pesquisa realizada por ABRELPE (2016), 3.331 municípios brasileiros enviaram mais de 29,7 milhões de toneladas de resíduos, correspondentes a 41,6% do coletado em 2016, para lixões ou aterros controlados. Para Zanta e Ferreira (2003), estão entre as causas da destinação final de resíduos de forma inadequada: a falta de capacitação do setor técnico administrativo do município, a falta de recursos financeiros, a pouca conscientização ambiental da população e a ausência de estrutura organizacional das instituições públicas.

Já o termo aterro sanitário, é definido pela NBR 8.419/84 da ABNT como:

Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário.

A PNRS contempla os aterros sanitários como a forma de disposição ambientalmente adequada para o rejeito, apenas após serem esgotadas todas as possibilidades técnicas e economicamente viáveis de reutilização, reciclagem e tratamento. Assim, segundo Gehling (2017), os aterros sanitários são, em 2017, a solução preconizada por lei, para receber apenas os

rejeitos. Contudo, além desses elementos, os aterros no Brasil continuam a receber resíduos orgânicos e materiais recicláveis em grande quantidade.

Para Pessin et al. (2002), aterros modernos devem conter elementos que minimizem os impactos ambientais decorrentes das suas fases de implantação, operação e encerramento. Destacam-se os sistemas de: espalhamento e compactação, drenagem superficial de águas pluviais, drenagem e tratamento de lixiviados, drenagem e tratamento de gases, impermeabilização de base, impermeabilização lateral, impermeabilização intermediária e impermeabilização superior. Atrelada à operação do aterro, é imprescindível a existência de mecanismos de reaproveitamento de resíduos, como centrais de triagem e pátios de compostagem, para que seja realizada a hierarquização de estratégias de gerenciamento, e o reaproveitamento possa reduzir a quantidade de materiais dispostos ali apenas a rejeitos.

Além disso, os aterros sanitários necessitam de infraestruturas básicas que garantam a segurança do local, tais como: objetos de sinalização, estruturas de isolamento físico, cinturão verde, balanças de pesagem, vias de acessos internas e externas, abastecimento de água e iluminação. Do mesmo modo, é muito importante que se faça o constante monitoramento do empreendimento, por intermédio de técnicas de controle que avaliem as condições de qualidade das águas superficiais, das águas subterrâneas, do chorume, e dos efluentes tratados, bem como as condições de estabilização geotécnica do aterro (LANZA E CARVALHO, 2006).

3.2.4.2 Aterros Sanitários de Pequeno Porte

As normas ABNT NBR 8.419/1992 ("Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos") e ABNT NBR 13.896/1997 ("Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação"), bem como a Diretriz Técnica da FEPAM 04/2017 ("Diretriz técnica para o licenciamento ambiental da atividade de disposição final de resíduos sólidos") tratam de forma abrangente sobre as considerações técnicas para aterros sanitários, independente do porte. Essa abordagem dificulta a inserção de municípios menores no cumprimento das metas da PNRS, que incluem a erradicação total dos lixões no país, primeiramente com prazo definido para 2014, e atualmente postergado para julho de 2021, no caso de municípios com menos de 50 mil habitantes.

Desse modo, fez-se necessária a criação de uma norma que contemplasse os requisitos mínimos para o estabelecimento de técnicas simplificadas e menos onerosas, e assim, em 2010, a

ABNT criou a norma "NBR 15.849/2010: Resíduos sólidos urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento", aplicável a casos de disposição diária de até 20 toneladas de resíduos.

Como uma das principais inovações da NBR 15.849/2010, destaca-se a dispensa de impermeabilização complementar, em casos em que o excedente hídrico não ultrapasse o limite máximo estabelecido nos critérios da norma, tendo como variáveis o coeficiente de permeabilidade, a fração orgânica dos resíduos e a profundidade do lençol freático. (BELEZZONI et al.,2011). Ademais, o sistema de drenagem de gases também pode ser dispensado, conforme instruções referentes à altura do aterro e à fração orgânica dos RSU.

No caso de sistemas de manejo de lixiviados e de impermeabilização da base, sempre que os condicionantes físicos locais e as condições de operação permitirem, esses elementos podem ser dispensados da estrutura do aterro de pequeno porte. Contudo, é obrigatória a instalação de sistemas de drenagem superficial, de cobertura diária e final, de poços de monitoramento e de cercamento físico e arbustivo na área do empreendimento.

Nesse sentido, antes do surgimento de norma técnica reguladora, CETESB (1997), CONDER (2002) e PROSAB (2003) já haviam desenvolvido propostas de tecnologias que consideram sistemas de disposição final simplificadas, primando pela simplicidade de implantação e operação.

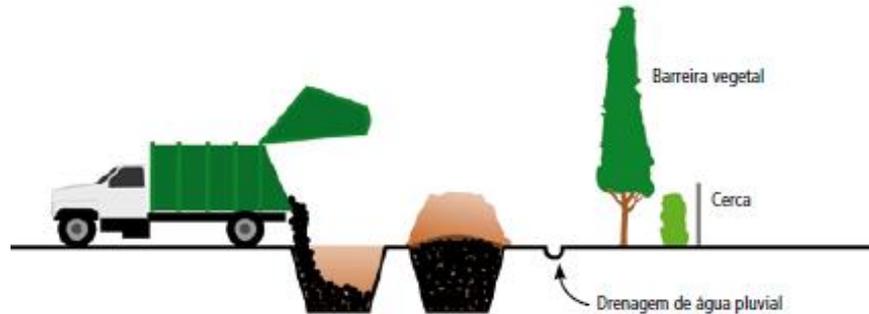
Em 1997 a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) desenvolveu uma proposta tecnológica para aterros de pequeno porte denominada "aterro em valas", que consiste no preenchimento de valas escavadas com dimensões apropriadas, confinada em todos os lados, em que os resíduos são dispostos, compactados e nivelados manualmente, com a colocação de camada de solo ao final do dia.

No decorrer dos anos, a CETESB continuou a aprimorar essa alternativa criando manuais de operação para os técnicos da área. Segundo o "Manual de Operação de Aterro Sanitário em Valas" (CETESB, 2010), é aceitável e aconselhável que municípios de pequeno porte utilizem a técnica, desde que, a produção de resíduos não exceda 10 toneladas diárias. Nesse caso, devido à pequena quantidade de lixiviados e gases gerados, só é obrigatória a execução de sistemas de drenagem pluvial.

Ainda segundo CETESB (2010), cada vala tem vida útil média de 30 dias, e recomenda-se que a sua largura não supere 5,0 metros no nível da superfície e que a profundidade não

ultrapasse 3,0 metros. A Figura 2 mostra de forma simplificada a concepção do aterro modelo da CETESB (2010).

Figura 2 - Descarregamento de resíduos em aterros tipo valas

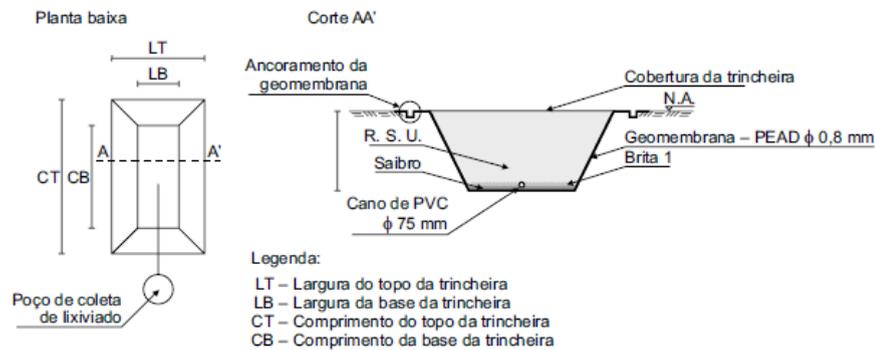


(fonte: CETESB, 2010)

No ano de 2003, o Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB) buscou atender a demanda premente das comunidades de pequeno porte por alternativas tecnológicas acessíveis para a disposição final de resíduos, através da publicação de uma coletânea de trabalhos técnicos referentes ao assunto.

A implantação dos chamados "aterros sustentáveis" (Figura 3) consiste na abertura de trincheiras, com 3 lados confinados, em que o resíduo é disposto de forma direta, recebendo camadas de coberturas intermediárias ao final de expediente, com a reutilização do solo proveniente da escavação. Nesse método são previstos sistemas simplificados de drenagem superficial, de lixiviados e de gases, além de impermeabilização com a utilização de materiais de baixo custo. A cobertura intermediária é facultativa, porém, faz-se necessário o uso de cobertura final no sistema no encerramento da sua vida útil, ocorrendo de 2 a 4 meses após o início de sua operação (GOMES E MARTINS, 2003).

Figura 3- Detalhe de corte de uma unidade do aterro sustentável



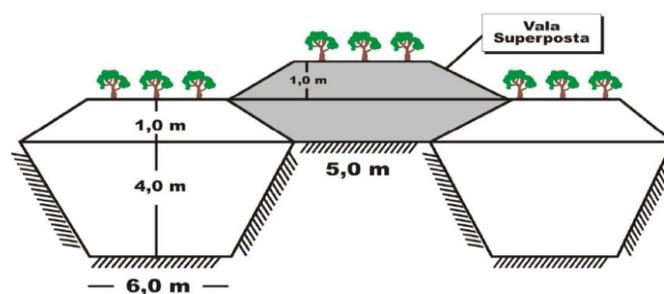
(fonte: GOMES E MARTINS,2003)

O modelo desenvolvido pela Companhia de Desenvolvimento urbano do estado da Bahia (CONDER) como alternativa de disposição para pequenos volumes de RSU é denominado "aterro sanitário simplificado". Para Fiúza (2002), o modelo CONDER gera impactos negativos pouco expressivos e de fácil controle se comparados aos benefícios que essa técnica propicia às comunidades de pequeno porte.

CONDER (2002) propõe duas alternativas para a disposição dos rejeitos: aterramento em trincheiras para municípios de até 20000 habitantes, e aterramento celular para municípios menores, com até 8000 habitantes. As maiores diferenças entre os dois métodos são as dimensões e o tempo de preenchimento de cada um. Enquanto a trincheira é estimada para uma vida útil de aproximadamente um ano, com profundidade limitada de 4,0 metros, cada célula é projetada para ser preenchida em algumas semanas, possuindo apenas 1 a 2 metros de profundidade. A Figura 4 mostra o aterro sanitário simplificado em corte.

Essa técnica dispensa sistemas de drenagem de lixiviados e de gases, e na maior parte dos casos, utiliza apenas a capacidade atenuante de solos argilosos para impermeabilização de fundo.

Figura 4- Detalhe de corte do aterro sanitário simplificado



(fonte: CONDER, 2002)

Para a NBR 15.849/2010, em todos os tipos de aterramento de pequeno porte, a declividade de conformação final do maciço de resíduos deve ser de no mínimo 7 % na menor dimensão. Além disso, a cobertura de fechamento deve ser constituída de camada mínima e contínua de 1,0 m de solo compactado, acrescentada de cobertura vegetal, a fim de evitar erosões e minimizar infiltrações de águas pluviais.

A Tabela 3 mostra a comparação entre as 3 concepções de aterros de pequeno porte, CETESB (1997), CONDER (2002) e PROSAB (2003). Nota-se que PROSAB (2003) apresenta-se como a alternativa mais completa, logo, a mais adequada para locais que possuam áreas com maiores restrições.

Tabela 3- Comparação entre as concepções de Aterros Sanitários de Pequeno Porte

CONCEPÇÃO	CETESB (1997)	CONDER (2002)	PROSAB (2003)
Modelo	Aterro sanitário em valas	Aterro sanitário simplificado	Aterro sanitário sustentável
População máxima atendida	25 000 hab	20 000 hab	10 000 hab
Método construtivo de confinamento	Valas	Trincheiras /aterramento celular	Trincheiras
Vida útil (por unidade)	1 mês	1 ano / 1 mês	2- 4 meses
Forma de compactação dos resíduos	Manual	Manual	Uso de equipamentos manuais
Sistema de Drenagem pluvial	Presente	Presente	Presente
Sistema de Tratamento de lixiviados	Inexistente	Inexistente	Presente
Sistema de Tratamento de gases	Inexistente	Inexistente	Presente

(fonte: Adaptado de CETESB (1997), CETESB (2010), CONDER (2002) e PROSAB (2003)).

3.2.4.3 Critérios de Seleção de Áreas para Aterros Sanitários

Para Lupatini (2002), o local de implantação de um aterro sanitário, considerando todas as fases de seu ciclo de vida, deve possuir características que não somente minimizem os impactos negativos aplicados aos meios físico, biótico e antrópico, mas também diminuam os custos e a complexidade técnica envolvida. No caso de aterros de pequeno porte, a seleção da área deve ser ainda mais criteriosa, visto que, infraestruturas mais complexas só podem ser dispensadas em casos em que as características dos locais permitirem.

Nesse sentido, a NBR 13.896/1997 e a NBR 15.849/2010 determinam critérios mínimos que devem ser analisados para a escolha de localização de um aterro. Além disso, a FEPAM (Fundação Estadual de Proteção de Proteção Ambiental) possui a Diretriz Técnica Nº 04/2017, que versa sobre o licenciamento ambiental para a atividade de disposição de RSU, contendo critérios para a seleção de áreas para aquisição de licença prévia.

A Tabela 4 mostra os principais requisitos estabelecidos nas Normas Técnicas Brasileiras e na Diretriz Técnica Estadual, com adaptações dos trabalhos de Gomes (et al.,2001) e Gomes e Martins (2003).

Tabela 4- Principais critérios para seleção de áreas para aterros sanitários

Aspecto	Critérios
Topografia	Declividade superior a 1% e inferior a 30% Declividade superior a 2% e inferior a 20%
Solos existentes	Desejável a existência de um depósito natural extenso e homogêneo de materiais com coeficiente de permeabilidade inferior a 10^{-6} cm/s e uma zona não saturada com espessura superior a 3,0 m.
Recursos hídricos	Distância mínima de 200 m de qualquer coleção hídrica ou curso de água
Distância de núcleos populacionais	Distância mínima de 500 m Distância máxima de 15 km
Geologia	Distância mínima de 500 metros de falhas geológicas
Áreas de risco	O aterro não deve ser executado em áreas sujeitas a inundações, em períodos de recorrência de 100 anos
Acessos	O local deve conter vias de acesso próximas, mas manter a distância mínima de 100 m de rodovias federais e estaduais
Fauna e Flora	Presença e ausência de espécies indicadoras da qualidade ambiental, de valor científico e econômico, raras e ameaçadas de extinção, e áreas de preservação permanente
Potencial hídrico	Inversamente proporcional à aptidão
Profundidade do lençol freático	Valores maiores que 2 metros

(Fonte: Adaptado de NBR 13.896/1997, NBR 15.849/2010, DT 04/2017, GOMES ET AL. (2001) e GOMES E MARTINS (2003))

Gomes e Martins (2003) afirmam que as considerações sobre legislações locais quanto ao uso do solo e o custo de aquisição da terra, caso esta não seja de propriedade municipal, também devem ser avaliadas. Para os casos de municípios que possuam áreas de descarte caracterizadas como lixões, é recomendável que sejam avaliadas as possibilidades de instalação de sistemas de

disposição sanitariamente seguros no local, a fim de recuperar ambientalmente a área, desde que, os demais critérios sejam atendidos.

Conforme o Plano Estadual de Resíduos Sólidos (SEMA, 2014), não são deferidas novas licenças ambientais para aterros sanitários dentro de um raio de 20 km dos maiores aeródromos, que operam de acordo com as regras de voo por instrumentos, e de 13 km, para os demais aeródromos.

Ressalta-se ainda, a necessidade de avaliar o tamanho da área apta disponível, visto que, o aterro deve operar por no mínimo 15 anos, segundo a NBR 15849, ou 10 anos, conforme recomendação da NBR 13.896.

3.3 GEOPROCESSAMENTO

3.3.1 Definições e aplicações

O termo "geoprocessamento" pode ser definido como o conjunto de "geotecnologias" utilizadas para coletar, armazenar, editar, processar, analisar e disponibilizar informações georreferenciadas, através de aplicativos, equipamentos, dados e profissionais. Algumas das principais geotecnologias são: Sistemas de Informações Geográficas (SIG), cartografia digital, sensoriamento remoto, sistema de posicionamento global e a topografia georreferenciada. (ROSA, 2005).

Dentre as geotecnologias englobadas pelo geoprocessamento, SIG é a de maior destaque, sendo caracterizada como uma ferramenta que integra diversos dados de fontes diferentes, possibilitando a produção de bancos de dados georreferenciados, a análise espacial e a automatização da criação de documentos cartográficos.

Geralmente, SIG é conceituado na literatura apenas como um sistema computacional, contudo, Nazário (1998, apud NARUO 2003) define SIG de forma completa, como sendo uma coleção de software, hardware, dados geográficos e profissionais capacitados, que trabalham em conjunto para facilitar processos de tomadas de decisão que envolvam a utilização de informações georreferenciadas em um contexto organizacional.

Os SIG são instrumentos essenciais para o planejamento aplicado a diversas áreas do conhecimento. Segundo Moura (2003), esses sistemas não somente descrevem elementos ou

fatos, mas também, viabilizam a criação de prognósticos, analisando cenários de possibilidades, tendências e fenômenos. Além disso, a questão da economia de recursos financeiros e a rapidez na obtenção de dados permitem a avaliação do meio de forma a criar modelos digitais com grande número de informações, que permitem uma investigação precisa do ambiente que se quer estudar (SILVA, 2001).

As aplicações principais de SIG na área geográfica são, segundo Santos et al. (2000):

- a) visualização das informações em diferentes formas de apresentação, integrando mapas, gráficos e imagens;
- b) sistema de organização e georreferenciamento de dados;
- c) integração e associação de informações oriundas de diferentes fontes;
- d) análise dos dados através de funções que transformam as informações em ferramentas para a tomada de decisões;
- e) predição de ocorrências de fenômenos.

Piroli (2010) afirma que os SIG podem ser utilizados em aplicações de diferentes áreas em que as informações possam ser mapeadas, sejam elas relativas ao espaço físico ou às relações humanas. Assim, sempre que o "onde" for importante para algum negócio ou estudo, ou seja, nas situações em que o local aparece dentre as questões e problemas que precisam ser solucionados ou avaliados o uso de geoprocessamento é recomendável. (CÂMARA E DAVIS, 2001).

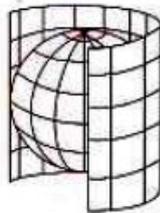
3.3.2 Georreferenciamento

Para que as informações alfanuméricas de um dado geográfico estejam relacionadas com a sua localização espacial, a geometria e os atributos desse dado em um SIG devem estar georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica. Assim, qualquer objeto na Terra somente tem sua localização geográfica estabelecida por meio de definições de posicionamento através de sistemas de referências, constituído de sistemas de projeções e sistemas de coordenadas. (D'ALGE, 2001).

Um Sistema Geodésico de Referência (SGR) é definido por Monico (2000), como um conjunto de parâmetros e convenções, junto a um elipsoide ajustado às dimensões terrestres e devidamente orientado, constituído de um referencial adequado para atribuir coordenadas a locais físicos.

Conforme D'alge (2001), a definição de posições sobre a superfície terrestre requer que a Terra seja tratada matematicamente. Assim, para que se obtenha a correspondência entre os pontos reais e os pontos no plano de projeção do mapa, é necessária a utilização de sistemas de projeção cartográfica. Os principais sistemas de projeção são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5- Sistemas de Projeções Cartográficas

<p>PROJEÇÃO PLANA OU AZIMUTAL</p>	<p>Superfície de projeção plana tangente ou secante a um ponto da superfície da Terra</p>	
<p>PROJEÇÃO CÔNICA</p>	<p>A superfície de projeção é um cone que envolve a Terra e que, em seguida, desenvolve-se num plano</p>	
<p>PROJEÇÃO CILÍNDRICA</p>	<p>Superfície de projeção é um cilindro tangente ou secante à superfície de projeção, que, em seguida, desenvolve-se num plano.</p>	

(fonte: Adaptado de D'ALGE, 2001 e FITZ,2008).

O SGR é definido por uma estrutura básica denominada "datum planialtimétrico", superfície de referência elipsoidal em que se realizam as medições que dão vida à rede geodésica planialtimétrica da região de interesse. Já o "datum vertical" é a estrutura utilizada como referência para definir altitudes em diferentes pontos. (D'ALGE,2001).

No Brasil, o datum vertical de referência é o marégrafo de Imbituba, em Santa Catarina, e o datum horizontal oficial é o SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas). Outros datums que ainda são utilizados no país: WGS 84, SAD 69, Datum Córrego Alegre e Astro Datum Chuá. (PIROLI, 2010).

A partir dos sistemas de referências, os sistemas de coordenadas são gerados, e correspondem a um conjunto de valores de referência para o posicionamento de pontos, por meio de valores angulares ou valores lineares (FITZ, 2008).

Um dos sistemas de coordenadas mais utilizados em geoprocessamento é o de coordenadas geográficas. Esse sistema é configurado por uma rede quadriculada de linhas horizontais e verticais, que formam, respectivamente, valores de latitude e longitude, resultando em um sistema sexagesimal com origens sobre o meridiano de Greenwich e sobre a Linha do Equador. As informações de cada ponto são representadas por valores angulares de grau, minuto e segundo, acompanhados do hemisfério em que se encontram. (PIROLI, 2010).

Outro sistema muito utilizado em geoprocessamento é o sistema de coordenadas cartesianas, baseado na superfície plana. Nele, as posições do mundo real são medidas através de coordenadas x e y a partir de um ponto de origem, e sua conversão para coordenadas esféricas causa distorção em uma ou mais propriedades espaciais (CARVALHO E ARAÚJO, 2008).

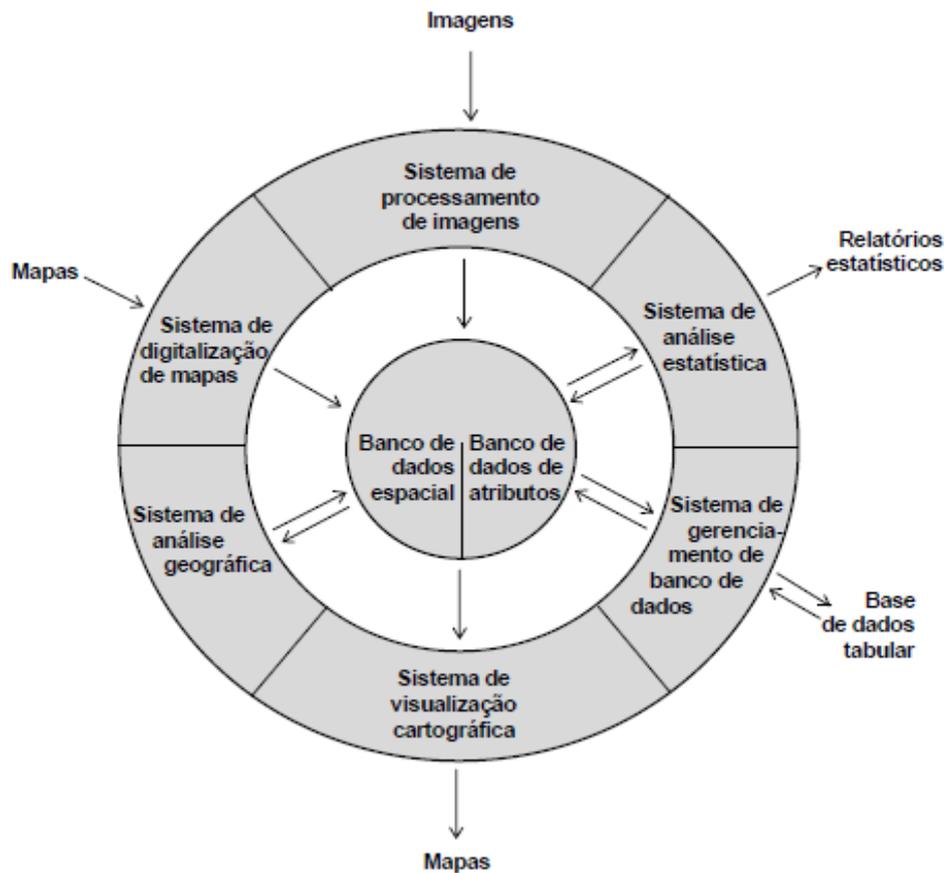
O sistema de coordenadas planas cartesianas UTM, elaborado por Gerardus Mercator, cartógrafo belga do século XVI, é amplamente utilizada em trabalhos de geoprocessamento até hoje. A grade UTM divide a Terra em 60 zonas de 6° de largura, em que cada zona é projetada em um plano, perdendo sua característica esférica, com unidades representadas por valores métricos. (FRANCELINO, 2003).

O Sistema de Posicionamento Global (GPS) é a geotecnologia mais utilizada para georreferenciamento atualmente. Seu funcionamento ocorre por meio de um sistema composto por 24 satélites artificiais, que orbitam o planeta a aproximadamente 20.200 km de altitude, emitindo sinais de rádio com padrões fixados, que são captados por aparelhos receptores (ALVES, 2006). Com o uso de rastreamento de satélites GPS, é possível utilizar o método "Posicionamento diferencial de grande precisão", no qual as coordenadas de um ponto são calculadas através da diferença de coordenadas entre este ponto e outro, cuja posição já é conhecida, sendo ambos rastreados simultaneamente (FRANCELINO, 2003).

3.3.3 Componentes de SIG

Eastman, 1998, define os componentes de um SIG como a integração de diferentes sistemas conectados a um banco de dados, conforme mostra a Figura 5.

Figura 5- Componentes de um Sistema de Informações Geográficas



(fonte: EASTMAN,1998).

O mais básico e essencial dos componentes de SIG é o Sistema de Visualização Cartográfica. Ele permite, a partir de elementos selecionados do banco de dados, produzir mapas como elemento de saída. Em seguida, tem-se o Sistema de Digitalização de Mapas, que permite a conversão de dados existentes em papel para a forma digital, através de equipamentos manuais como mesas digitalizadoras ou automáticas, como scanners. Já o Sistema de Análise Estatística contempla procedimentos estatísticos tradicionais, assim como rotinas específicas de inferências para a descrição de dados.

Os demais elementos, devido a maior complexidade de operação e funções, serão tratados de forma mais completa nos subitens que seguem.

3.3.3.1 Banco de Dados e SGBD

No centro do sistema SIG está o banco de dados, coleção de mapas e informações associadas na forma digital, compreendido em dois elementos: banco de dados espaciais, que descreve a geografia (forma e posição) das feições; e banco de dados de atributos, que descreve as características ou qualidades das feições (Eastman, 1998). Assim, a consulta ao banco de dados pode ser feita pela localização - "o que se encontra em determinada área?"-, ou pelo atributo - "em quais áreas encontra-se determinada característica?".

Os dados, segundo Mendes e Cirilo (2001), são uma abstração da realidade, ou seja, uma conceituação do mundo real em um espaço geográfico. Os dados geográficos mais utilizados em geoprocessamento são os dados espaciais, dados localizados no espaço por um sistema predefinido de coordenadas. Contudo, os autores também definem outros dois tipos de dados, os descritivos, que se referem às características da entidade espacial, e os temporais, ligados ao período ou época de ocorrência do fato geográfico.

A forma de representação dos dados espaciais pode ser feita através da estrutura raster ou da estrutura vetorial.

Na representação vetorial, as feições são descritas por pontos, linhas e polígonos. Os pontos são definidos por uma coordenada, as linhas por vários pontos (vértices) que se interligam, e os polígonos por linhas que começam e terminam no mesmo ponto. Para que o SIG reconheça as feições representadas pelas formas gráficas, são necessárias relações topológicas que definam as conexões espaciais existentes entre as feições, tais como conectividade, adjacência e contiguidade (FRANCELINO, 2003). Outra característica importante dos vetores, é o fato de que suas linhas são analógicas, isto é, não são fragmentadas em células, mas são contínuas do início ao fim. Portanto, a forma representada é mais acurada, como um mapa real. (DAVIS, 2001). Assim, pode-se dizer que na representação vetorial os dados são ordenados da forma mais exata possível em relação à questão espacial, representando com mais verossimilhança os componentes de um mapa real.

Em "raster" o espaço é representado como uma matriz, onde cada célula, também denominada "pixel", possui um número de linha, um número de coluna e um valor correspondente a um atributo, indicativo do tipo de objeto encontrado em determinada posição. Isso supõe, segundo Câmara e Monteiro (2001), que o espaço pode ser tratado como uma superfície plana, onde cada célula está associada a uma porção do terreno. Nesse contexto, Ramos (2009) enfatiza a importância do conceito de resolução espacial, e o define como "a

capacidade do sensor que capta a informação de um objeto de individualizar elementos gráficos e definir o tamanho do pixel".

Eastman, 1998 afirma que as estruturas raster possuem substancialmente mais poder analítico do que as vetoriais, visto que, tendem a ser muito mais rápidas e eficientes para a avaliação de problemas que envolvam diferentes combinações matemáticas de dados em múltiplos planos, e são a forma de representação recomendada para casos em que os dados variam continuamente no espaço. Contudo, para o gerenciamento de banco de dados, as estruturas vetoriais possuem maior eficiência, pois, nestes casos, a representação gráfica das feições está diretamente ligada ao banco de dados de atributos, simplificando a consulta de informações.

As informações contidas em dados de SIG precisam ser gerenciadas para um bom funcionamento das demais funções. Assim, através do Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD), busca-se organizar as camadas de informações geográficas, identificando feições e atributos, e definindo como o armazenamento deve ser feito. Segundo Francelino (2003), um banco de dados bem projetado e gerenciado, proporciona o reaproveitamento contínuo de informações, automatizando rotinas de análises, além de manter a integridade dos dados.

3.3.3.2 Processamento Digital de Imagens

O Sistema de Processamento Digital de Imagens é definido por Nascimento (2012), como sendo a ferramenta capaz de transformar e adaptar imagens a fim de ajustá-las para serem utilizadas em um determinado trabalho. Entre os processamentos mais comuns destacam-se as composições de bandas de imagens de satélite, correções atmosféricas e aplicações de filtros e de contrastes.

Uma das principais fontes de entrada de dados para o processamento de imagens em SIG é o Sensoriamento Remoto (SR). O funcionamento básico do sensoriamento remoto compreende a transferência de energia eletromagnética de uma fonte artificial ou natural, sendo o Sol a fonte natural mais significativa para a Terra. Essa energia propaga-se em forma de ondas com frequências e comprimentos específicos, e, ao colidirem com objetos na superfície, parte de sua energia é refletida e captada por sensores instalados em satélites (DUCATTI, 2010). Além de análises por satélite, denominadas orbitais, o SR também engloba um tipo de técnica denominada suborbital, baseada em fotografias aéreas (FRANCELINE, 2003).

Assim, posto de forma simples, o SR é a identificação ou detecção de um alvo sem que se tenha contato direto entre o sensor e o objeto. Rosa (2005) afirma que a utilização de sensoriamento remoto na atualização da cartografia confere agilidade e redução de custos ao processamento de imagens, além de fornecer dados com cada vez mais qualidade no que diz respeito à resolução espacial, devido ao uso de sensores multiespectrais de alta tecnologia.

3.3.3.3 Sistema de Análise Geográfica

Os Sistemas de Análise Geográfica possibilitam a análise de dados baseada em suas características espaciais reais (BORN, 2014). Uma das ferramentas analíticas mais utilizadas em SIG é a álgebra de mapas, conceituada por Eastman, 1998, como um conjunto de elementos que possibilitam a combinação matemática de planos de mapas, dividida em três operações principais: aritmética escalar, transformações matemáticas por operação padrão, e combinações para resultado composto (adição, subtração, multiplicação e divisão).

As operações aritméticas escalares, nada mais são do que cálculos matemáticos entre uma constante e uma imagem, como é o caso, por exemplo, de imagens que necessitam de correções topográficas. Já as operações padrões, abrangem transformações matemáticas que envolvem funções logarítmicas, trigonométricas, de potência e raiz (BURROUGH, 1998).

Mais comumente utilizadas, as combinações de adição, subtração, multiplicação e divisão são feitas através de operações de sobreposição, ou "overlay". Essas operações combinam dados espacializados entre diferentes planos de informação, de ponto a ponto do plano de georreferência, permitindo a construção de novos planos baseados em combinações lógicas e matemáticas (SARRAIPA, 2003).

A consulta analítica ao banco de dados, na maioria dos softwares disponíveis, pode também ser feita por um processo denominado "reclassificação", em que se criam novos planos para cada condição individual de interesse (EASTMAN, 1998). Esses planos podem gerar "Modelos Booleanos", mapas que envolvem lógicas binárias através de operadores condicionais, em que cada localização é testada para determinar se as evidências naquele ponto satisfazem ou não as regras definidas por uma hipótese (CALIJURI, 2000). Assim, o produto binário resultará em atributo "0" para hipóteses negativas e atributo "1" para hipóteses positivas.

Outras ferramentas comuns são os operadores de distância e os operadores de contexto. Os operadores de distância criam imagens que calculam a distância euclidiana da célula mais

próxima de um conjunto de células-alvo. Essa operação é comumente utilizada para a criação de uma "zona tampão", ou "zona buffer", área limitada em função da distância, onde se quer especificar algum atributo específico. Já as operações de contexto, determinam o novo valor de um pixel com base nos valores dos pixels vizinhos, incluindo ou não as diagonais, através de uma dada fórmula (EASTMAN, 1998). A operação de contexto mais comum é o cálculo de declividade a partir de um modelo digital de terreno.

3.3.3.4 Sistema de Auxílio a Tomada de Decisões

Os Sistemas de Apoio à Decisão incluem módulos que possuem a finalidade de investigar um conjunto de alternativas, a fim de obter o melhor desempenho entre as expectativas de quem avalia e a disponibilidade de adoção das mesmas (SOUZA,1999). Burrough (1998) afirma que as decisões em SIG normalmente ocorrem como análises de multicritérios, para alcançar um objetivo específico, ou como análises de multiobjetivos, em que existe mais de um candidato para atingir objetivos complementares ou escolher entre objetivos conflitantes.

Mais comum nas análises de aptidão, a decisão por multicritérios é estruturada pela Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão (MCDA). Segundo Calijuri (2000), os critérios podem ser divididos em: restrições e fatores. As restrições são avaliadas com auxílio das análises booleanas, diferenciando as regiões estudadas em aptas e não aptas. Já os fatores são critérios que determinam certo grau de aptidão para cada região, geralmente utilizando uma escala contínua.

"Regra de Decisão" é o procedimento que estabelece a forma com que os diferentes critérios são combinados e normalizados. Na maior parte dos casos, os valores de diferentes critérios não são compatíveis entre si, o que torna inviável a sua agregação de forma direta. Assim, é necessário aplicar expressões de pertinência aos conjuntos, isto é, uniformizar as unidades de todos os mapas, construindo uma escala comum de valores de aptidão (WEBER e HASENACK, 2000).

Os conjuntos fuzzy, ou Lógica Fuzzy, criada por Zadeh em 1965, permitem a avaliação de critérios por graus de pertinência, através da utilização de funções que regem a variação entre o ponto mínimo e o ponto máximo, padronizando uma escala. Essa padronização, além de transformar para uma base única de mensuração todas as unidades de diferentes variáveis, ainda organiza de forma hierárquica os valores de cada variável internamente, descrevendo assim, o modo como a aptidão varia espacialmente para cada critério (MELO, 2001).

Como o modelo físico de uma imagem digital possui um suporte geométrico que, associado a cada ponto da imagem, existe um número compreendido entre 0 a 255 (Sausmikat e Almeida, 2005), comumente a padronização é realizada para esse intervalo, que caracteriza um byte.

Além da padronização das variáveis, normalmente é necessário estabelecer qual a importância de cada critério em relação à decisão a ser tomada. Para isso, os métodos MCDA utilizam, basicamente, a mesma ferramenta, a matriz de decisão para atribuição de pesos aos critérios.

Uma das técnicas mais utilizadas para auxiliar na definição de prioridades é o Método de Análise Hierárquica ou Método Analítico Hierárquico (MAH), também conhecido como Analytic Hierarchy Process (AHP), desenvolvido por Thomas Saaty. Esse método utiliza uma matriz de comparação pareada em que todos os critérios relevantes são comparados de par em par, reproduzindo um fator final de preferência associado a um peso, após todos os cruzamentos serem concluídos (BORN, 2014). Essa comparação de importância das variáveis de forma relativa, duas a duas, é utilizada para diminuir a subjetividade na ponderação.

3.4 CONTRIBUIÇÕES CIENTÍFICAS

No decorrer dos últimos anos, diferentes metodologias foram utilizadas por pesquisadores com o objetivo de criar ferramentas de suporte à decisão para a disposição final de resíduos sólidos, tema do presente trabalho. A seguir, são descritas algumas abordagens que ilustram o estado da arte sobre o tema e embasam o desenvolvimento do presente trabalho.

- Waquil et al. (1998), por meio do "Programa Técnico para Gerenciamento da Região Metropolitana de Porto Alegre", desenvolveram um projeto de seleção de áreas de disposição final e tratamento de RSU para a região metropolitana de Porto Alegre. A qualificação das áreas foi feita através da avaliação de diferentes parâmetros ponderados de 1 a 4, divididos em variáveis que receberam notas de 0 a 5, resultando em uma pontuação final escalonada em graus de aptidão. O projeto foi desenvolvido primeiramente em uma área piloto, por meio de investigações geotécnicas e fotointerpretação, para depois ser aplicado para as demais regiões, e envolveu as empresas públicas CPRM, METROPLAN e FEPAM.

- Lima (1999) utilizou uma proposta metodológica de "Avaliação e Hierarquização", visando a seleção de áreas aptas para implantação de aterros sanitários, em princípio, para aplicação universal. Tal metodologia é baseada nos princípios da Análise de Valor e da Lógica Fuzzy, para comparar o desempenho de áreas pré-selecionadas em SIG.
- Vieira (1999) desenvolveu uma pesquisa para a escolha de locais para o tratamento e disposição de RSU no município de Florianópolis/SC, utilizando a ferramenta SIG Idrisi. A metodologia utilizada consiste em: análise dos dados existentes na área objeto de estudo; separação dos diferentes níveis de informações; definição dos critérios técnicos para a escolha dos locais; geoprocessamento das informações; e análise das áreas selecionadas como aptas.
- Melo (2001) apresentou uma proposta metodológica de avaliação de áreas para a implantação de um aterro sanitário no município de Cachoeiro de Itapemirim/ES, estabelecendo critérios ambientais, operacionais e socioeconômicos. O autor utilizou a Lógica Fuzzy e análise multicritério como ferramentas para potencializar as análises espaciais.
- Lupatini (2002) desenvolveu a versão beta de um software denominado SADES (Sistema de Apoio à Decisão em Escolhas de área para aterros sanitários), com o objetivo de fornecer apoio técnico a profissionais de pequenas prefeituras. O sistema é constituído das seguintes etapas: caracterização do município (cadastro de dados referentes à demografia e ao gerenciamento de RSU); avaliação preliminar das áreas pretendidas (com base em informações iniciais e critérios de triagem); cadastro das informações complementares para as áreas classificadas como potenciais; avaliação das áreas potenciais (com inclusão dos pesos para cada critério); e por fim, apoio à implantação (fornecimento de elementos para o dimensionamento do aterro, com base no cruzamento das informações anteriores).
- Nascimento (2012) utilizou ArcGIS para avaliar locais aptos para a implantação de um aterro sanitário no município de Bauru-SP. O estudo empregou a metodologia de Análise Multicritério de Decisão, considerando critérios ambientais, econômicos e sociais, e

identificou critérios restritivos e critérios de aptidão ponderados. A ordenação dos pesos ponderados foi baseada na experiência de profissionais de diferentes áreas envolvidos com o projeto, utilizando o método AHP.

- Naruo (2003) estudou a alternativa de implantação de consórcios entre municípios de pequeno porte para a disposição final de RSU utilizando SIG. Com o auxílio do software TransCad, realizou a análise de localização dos aterros, com base em restrições impostas, e a roteirização das rotas de veículos, visando o menor custo logístico para os municípios.
- Born (2013) utilizou o SIG IDRISI e o SIG ArcGIS para identificar espaços disponíveis e aptos para a implantação de aterros sanitários na região do Vale do Taquari/RS, bem como para verificar se os aterros já instalados localizam-se em áreas de alta aptidão. A autora estabeleceu critérios de restrição e critérios de aptidão com padronização de fatores baseado no conceito de classificação contínua "fuzzy". A comparação ponderada dos critérios de aptidão padronizados foi feita por intermédio do método AHP, e o mapa final foi gerado através da rotina de software MCE (Multi Criteria Evaluation) e do método WLC (Weighted Linear Combination).
- O Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Sul, realizado por SEMA (2014), verificou quais são as áreas do estado potencialmente favoráveis para a destinação ambientalmente adequada de resíduos sólidos, identificadas por meio do cruzamento das informações georreferenciadas. Para os fatores, foram atribuídas pontuações entre 0 e 10, aplicando-se pesos para cada parâmetro, e sobrepondo-os. Algumas áreas foram diferenciadas por serem de potencial nulo, por meio da utilização de critérios restritivos.

As pesquisas científicas descritas acima trazem em comum o desafio de estabelecer metodologias consistentes para embasar às tomadas de decisão referentes à implantação de aterros sanitários. O tema mostra-se bastante complexo, pois envolve diversos fatores ambientais, operacionais e socioeconômicos, que necessitam ser avaliados em conjunto de forma criteriosa. Além disso, verifica-se a importância de avaliações desse tipo em diferentes locais do Brasil, corroborando o fato de que ainda existem muitos problemas em relação ao gerenciamento de resíduos sólidos que necessitam ser saneados.

Com relação aos trabalhos analisados, percebe-se uma dependência da utilização de geotecnologias. As pesquisas mais recentes demonstram maior rapidez em suas análises, devido ao grande acesso a dados espaciais disponíveis, e maior eficiência, pois utilizam comparações multicritérios simultâneas.

Assim, o presente trabalho visa desenvolver uma metodologia de avaliação de áreas de aptidão para disposição final de resíduos, compatível com os trabalhos mais recentes, a fim de potencializar a eficiência na tomada de decisão, tendo como diferencial, a interligação deste tema, com os Planos Municipais de Saneamento Básico, e as análises de gerenciamento de cada município estudado.

4 METODOLOGIA

A prática desta pesquisa se divide em duas etapas: (i) Análise do Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos e (ii) Mapeamento das Áreas de Aptidão para Disposição Final de RSU. Neste capítulo constam os métodos que foram utilizados para o desenvolvimento do trabalho prático, para ambas as etapas.

4.1 ANÁLISE DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A etapa de análise do gerenciamento de RSU seguiu a ordem apresentada no fluxograma da Figura 6.

Figura 6- Fluxograma de desenvolvimento da primeira etapa do trabalho prático



4.1.1 Municípios analisados

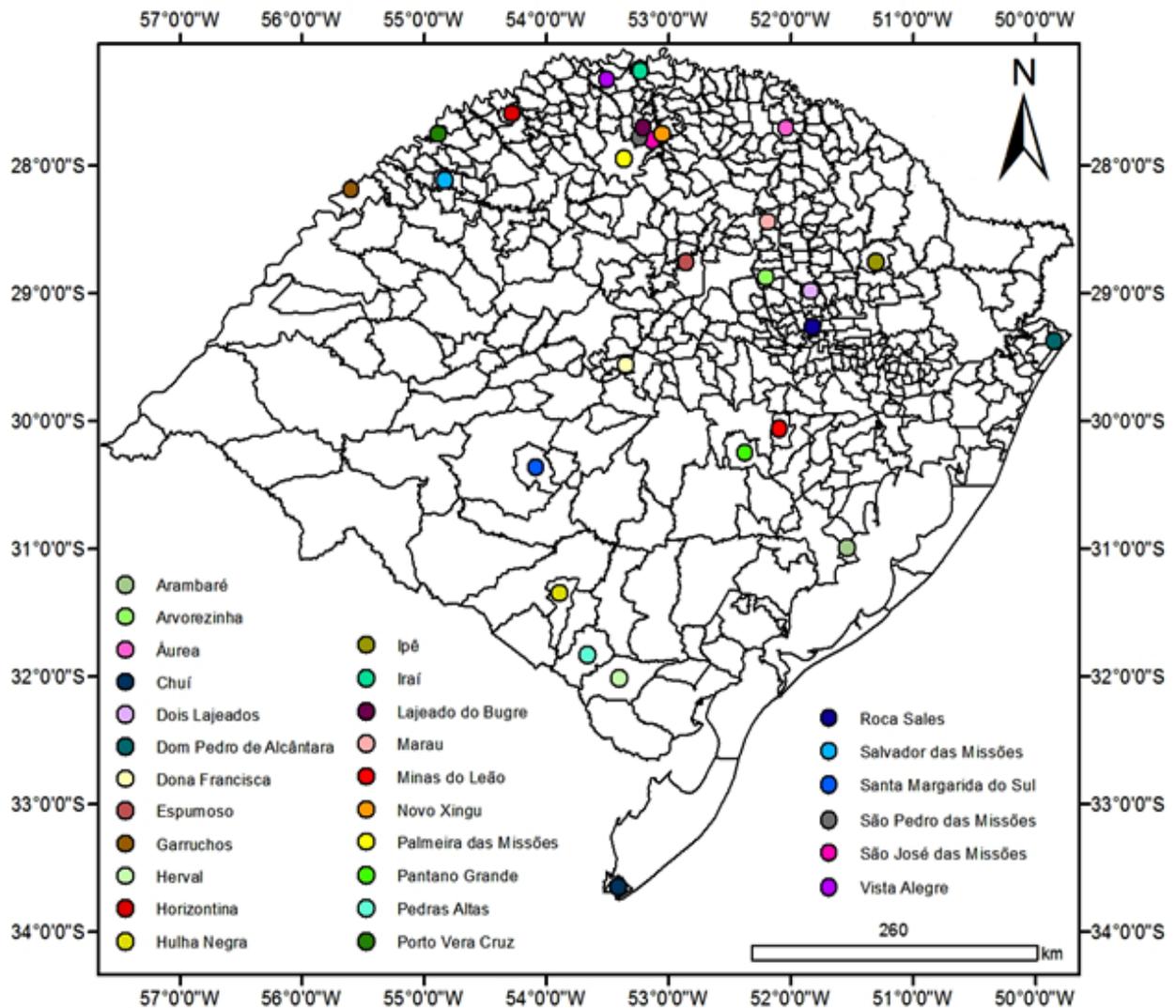
O Termo de Execução Descentralizada nº 02/2015 foi firmado entre UFRGS e FUNASA com a finalidade de conceder apoio técnico a municípios do RS de até 50.000 habitantes, para a elaboração de seus PMSB. A equipe SASB (Sistema de Apoio ao Saneamento Básico), composta por alunos de graduação, alunos de pós-graduação e professores do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), está auxiliando o projeto através de exposições dialogadas e atividades práticas, oficinas, visitas técnicas, acompanhamento individual e em grupo, e correção dos produtos elaborados pelos municípios.

A Tabela 6 apresenta a lista de municípios que foram analisados nesta pesquisa, com as respectivas coordenadas geográficas das suas sedes municipais, e a Figura 7 mostra a distribuição desses municípios no mapa de limites municipais do Rio Grande do Sul. Todos são participantes do TED 02/2015.

Tabela 6- Lista de municípios analisados com suas respectivas coordenadas geográficas

Município	Latitude	Longitude	Município	Latitude	Longitude
Arambaré	-30,915	-51,498	Lajeado do Bugre	-27,689	-53,182
Arvorezinha	-28,872	-52,175	Marau	-28,449	-52,200
Áurea	-27,698	-52,049	Minas do Leão	-30,127	-52,048
Chuí	-33,691	-53,457	Novo Xingu	-27,747	-53,055
Dois Lajeados	-28,984	-51,836	Palmeira das Missões	-27,899	-53,314
Dom Pedro de Alcântara	-29,369	-49,850	Pantano Grande	-30,191	-52,374
Dona Francisca	-29,622	-53,357	Pedras Altas	-31,733	-53,584
Espumoso	-28,725	-52,850	Porto Vera Cruz	-27,736	-54,901
Garruchos	-28,184	-55,639	Roca Sales	-29,284	-51,868
Herval	-32,024	-53,396	Salvador das Missões	-28,126	-54,835
Horizontalina	-27,626	-54,308	Santa Margarida do Sul	-30,340	-54,080
Hulha Negra	-31,404	-53,869	São José das Missões	-27,780	-53,122
Ipê	-28,820	-51,279	São Pedro das Missões	-27,771	-53,255
Irai	-27,194	-53,251	Vista Alegre	-27,367	-53,490

Figura 7- Localização dos municípios



(fonte: Adaptado de IBGE, 2015)

4.1.2 Levantamento de informações

O objeto de estudo principal deste trabalho, que serviu como fonte de informações e de dados referentes ao gerenciamento de resíduos sólidos dos municípios, é o Diagnóstico Técnico Participativo dos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, elaborado por cada município, com o auxílio da equipe da universidade. Nesse diagnóstico devem constar, em teoria, além do levantamento de problemas e sugestões da população referente ao eixo de resíduos, informações sobre os seguintes tópicos: geração de resíduos, composição gravimétrica, coleta, destinação em área de transbordo, transporte de rejeito e disposição final, gerenciamento de resíduos da construção civil, gerenciamento dos serviços de saúde, gerenciamento dos resíduos

especiais, organograma do prestador de serviço, aspectos relacionados aos contratos de delegação de serviços, indicadores financeiros e operacionais, custos e receitas, áreas de passivo ambiental, associações ou cooperativas de catadores, e atividades sujeitas a planos de gerenciamento específico.

Para cumprir um dos objetivos específicos do trabalho, foi feito um levantamento de informações referente ao gerenciamento de RSU de cada município, conforme o modelo mostrado na Tabela 7.

Tabela 7- Levantamento de Informações sobre o Gerenciamento de RSU

INFORMAÇÃO	RESPOSTA
População (Censo 2010)	hab
População estimada (IBGE,2017)	hab
Proporção da população residente na zona urbana (Censo 2010)	%
Proporção da população residente na zona rural (Censo 2010)	%
Geração per capita/dia	kg/hab.dia
Tipo de coleta na zona urbana	Não seletiva/Seletiva/Inexistente
Frequência da coleta na zona urbana	dias/semana ou dias/mês
Responsável pela coleta na zona urbana	Município/Empresa privada
Tipo de coleta na zona rural	Não seletiva/Seletiva/Inexistente
Frequência da coleta na zona rural	Dias/semana ou dias/mês
Responsável pela coleta na zona rural	Município/Empresa privada
Quantidade total de RDO coletado (ton/ano)	ton/ano
Tipo de disposição final	Lixão/Aterro Controlado/Aterro Sanitário (municipal/consórcio/privado)
Localização da disposição final de RSU	No município/ Outro município
Distância de transporte até a destinação final dos RSU (km)	km
Despesas com coleta, transporte e disposição final de RSU	R\$/ano
Receita arrecadada com taxas e tarifas referentes à gestão e manejo de RSU	R\$/ano
População atendida pelos serviços (2017)	hab
Custo anual dos serviços/População Atendida	R\$/hab.ano

(fonte: Autora)

4.1.3 Índices de Avaliação

Visto que o foco do trabalho é a análise das atividades de transporte e disposição final de RSU, o cenário referente a essas atividades foi avaliado através de Índices de Avaliação, que envolvem diferentes critérios. Esses índices foram criados pela autora do trabalho.

O primeiro critério de avaliação, Índice 1 (I1), baseia-se na Política Nacional de Resíduos Sólidos, que considera os aterros sanitários como disposição ambientalmente adequada para os rejeitos, e estipula como uma de suas metas, a eliminação e recuperação de lixões, associada à inclusão social e a emancipação econômica de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis. Os aterros controlados são indicados na PNRS como áreas de passivo ambiental que necessitam ser saneadas. Logo, foram considerados:

I1- Critério ambiental: Tipo de disposição final

= 0 - Aterros Sanitários

= 4 - Aterros Controlados

= 4- Lixões/Vazadouros à céu aberto

O Índice 2 (I2) considera a sustentabilidade da atividade de transporte. Transportar de forma frequente pequenas cargas a longas distâncias geram custos elevados para as prefeituras e aumentam a incidência de impactos ambientais relacionados à poluição atmosférica, configurando um cenário não sustentável de gerenciamento. Assim, para considerar essa questão, o I2 avaliou a rota que a prefeitura ou empresa terceirizada realiza para encaminhar os resíduos até a localização final de disposição.

I2 - Critério de sustentabilidade: Distância do município até a localização de destino final dos RSU

=0 - No município ou a menos de 100 km

=2 - 100 a 200 km

=4 - mais de 200 km

O Índice 3 (I3) é um critério de avaliação financeira, que compara os custos anuais relacionados às atividades de coleta, transporte e disposição final de resíduos, com a população

atendida pelos referidos serviços, gerando assim, um índice de custo anual por habitante (R\$/hab).

Assim como no trabalho de Teske et al. (2018), a população urbana atendida pelas atividades de manejo de RSU foi calculada através da estimativa de população total segundo o IBGE para o ano de 2017, ponderada pelo percentual da população urbana do censo demográfico do ano de 2010. Nos casos em que os municípios informaram em seus diagnósticos que a frequência de coleta na zona rural ocorre pelo menos uma vez por semana, foi considerado que a população atendida é a população total estimada para 2017. Assim, nos municípios que não possuem o serviço de coleta rural frequente, a população rural não foi considerada nos cálculos.

Por fim, o critério financeiro foi baseado na média de custo anual entre todos os municípios analisados.

I3 - Critério financeiro: (Custos com serviços de coleta, transporte e disposição final) / (População atendida pelos serviços)

=0 - Valores abaixo da média de custos

=2 - Valores acima da média de custos

Somando-se os índices de cada município, para resultados iguais ou superiores a 4, os serviços de manejo de resíduos foram considerados ineficientes, logo, esses municípios foram selecionados como objeto de estudo para a segunda etapa do trabalho- mapeamento de áreas de aptidão para a implantação de novos aterros sanitários.

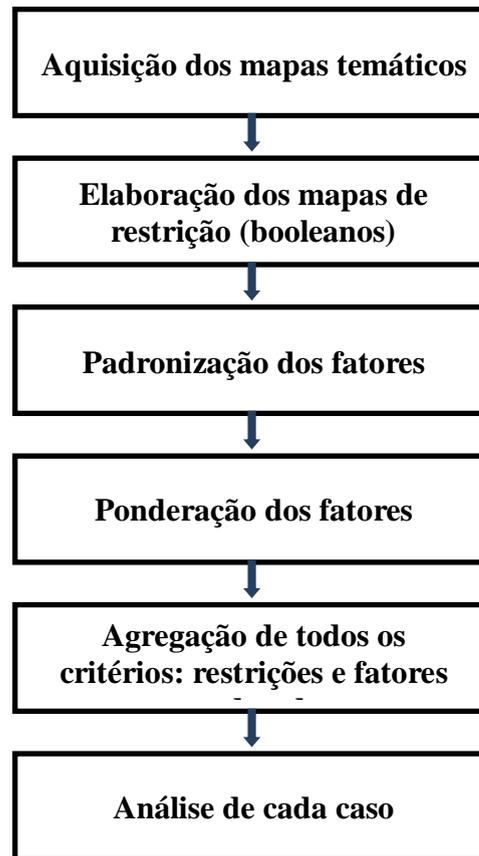
Para os municípios selecionados que estão a menos de 100 km de distâncias uns dos outros, foi feita uma análise conjunta, a fim de estudar alternativas de áreas para aterros consorciados, modalidade de gerenciamento incentivada pela PNRS, através de financiamentos e concessão de prioridade para obtenção de recursos.

Para municípios selecionados que estão a mais de 100 km de distância de outros, foram feitas análises isoladas respeitando cada limite municipal, que geraram alternativas de implantação de aterros de pequeno porte.

4.2 MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE APTIDÃO PARA DISPOSIÇÃO FINAL DE RSU

A etapa de mapeamento das áreas de aptidão para a disposição final de RSU seguiu a ordem apresentada no fluxograma da Figura 8.

Figura 8- Fluxograma de desenvolvimento da segunda etapa do trabalho prático



(fonte: Autora)

4.2.1 Materiais e dados

Para realizar a parte prática desta etapa do trabalho foram utilizados os softwares de SIG ArcGIS 10.3 e TerrSet 18.3 (antigamente denominado de Idrisi), desenvolvidos pela empresa ESRI e pela Clark University, respectivamente. Foram utilizados os manuais dos programas de autoria da ESRI (2015) e Eastman (2015).

Os arquivos digitais que serviram como base para a aquisição de informações estão descritos na Tabela 8, com suas respectivas resoluções - para o caso de arquivos matriciais -, e respectivas escalas - para o caso de arquivos vetoriais.

Tabela 8- Dados utilizados

Dado	Fonte	Descrição	Escala/ Resolução
Limites Municipais	IBGE	IBGE (2015) - Malha Municipal	1:250.000
Sistema viário	LABGEO/ UFRGS	Hasenack e Weber (2010) - Base cartográfica digital do Rio Grande do Sul	1:50.000
Recursos Hídricos	LABGEO/ UFRGS	Hasenack e Weber (2010) - Base cartográfica digital do Rio Grande do Sul	1:50.000
Manchas Urbanas	IBGE	IBGE (2015) - Base cartográfica digital do Brasil	1:250.000
Solos	FEPAM	FEPAM (2001) - Mapa de classificação dos solos do RS quanto à resistência a impactos ambientais	1:1.000.000
Hidrogeologia	CPRM	CPRM (2014) - Mapa Hidrogeológico do Brasil ao milionésimo	1:1.000.000
Áreas Protegidas	CPRM	CPRM (2006) - Mapa Geodiversidade do Brasil	1:2.500.000
Uso do Solo	LABGEO/ UFRGS	UFRGS-IB-Centro de Ecologia (2016) - Mapeamento da cobertura vegetal do Bioma Pampa: Ano-base 2009	1: 250.000
Modelo Digital de Terreno	USGS	Farr, T. G., et al. (2007) - The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)	30m

(fonte: Autora)

Todos os mapas foram convertidos para a projeção geodésica UTM-22 e UTM-21, de acordo com a localização do município. O datum utilizado foi o SIRGAS-2000.

4.2.2 Definição dos critérios restritivos

A determinação de áreas de aptidão para a implantação de aterros sanitários implica em uma tomada de decisão entre alternativas possíveis, baseada em critérios ambientais, operacionais e socioeconômicos, tanto restritivos quanto escalonados.

Os planos de informações restritivos foram aplicados através de mapas de caráter booleano, que, conforme visto anteriormente, evidenciam os pontos que satisfazem ou não satisfazem as regras impostas por um critério. Assim, algumas áreas foram eliminadas, devido a impossibilidades técnicas ou legais de serem utilizadas para a destinação de resíduos.

4.2.2.1 Recursos hídricos

As normas NBR 13.896/1997, NBR 15.849/2010 e a Diretriz Técnica 04/2017 da FEPAM afirmam que deve ser avaliada a influência da implantação de um aterro na qualidade e no uso das águas superficiais e subterrâneas próximas. Para isso, determinam que o aterro sanitário deve ser localizado a uma distância mínima de 200 metros de recursos hídricos como rios, arroios, nascentes e outros mananciais de água. Esse valor é baseado na Portaria MINTER N° 124 de 1980, a qual estabelece que " quaisquer indústrias potencialmente poluidoras, bem como as construções ou estruturas que armazenam substâncias capazes de causar poluição hídrica, devem ficar localizadas a uma distância mínima de 200 (duzentos) metros das coleções hídricas ou cursos d'água mais próximos".

O mapa "Base Cartográfica Vetorial Contínua do Rio Grande do Sul- escala 1:50000" contém a localização dos recursos hídricos perenes e intermitentes do estado. Visto que os recursos hídricos intermitentes não possuem escoamento superficial durante todo o ano, escolheu-se não aplicar o critério de restrição para os mesmos. Assim, na criação dos mapas restritivos, foi realizada a operação "Buffer" para uma distância de 200 metros de todos os recursos hídricos perenes.

Inicialmente, o critério restritivo para valores de profundidade mínima do lençol freático (2 metros) também seria avaliado. Contudo, o material digital disponível para realizar essa análise de forma direta, mapeamento do padrão do lençol freático global de Fan et al. (2013), contém uma resolução muito baixa em relação aos demais dados utilizados neste trabalho, e por isso, não foi utilizado.

4.2.2.2 Sistema viário

Em relação à distância do sistema viário, as Normas Técnicas não especificam restrições. Já a Diretriz Técnica 04/2017 da FEPAM determina que o aterro sanitário deve manter uma distância mínima de 20 metros a partir da faixa de domínio de rodovias e estradas vicinais.

Contudo, tomando como base os estudos de Vieira et al. (1999) e Waquil et al. (1998) foi adotado um critério restritivo mais conservador: 100 metros do eixo de rodovias federais, de rodovias estaduais e de estradas municipais.

O mapa " Base Cartográfica Vetorial Contínua do Rio Grande do Sul- escala 1:50000" contém a localização de todo o sistema viário do estado. Assim, na criação dos mapas restritivos para o sistema viário, realizou-se a operação "Buffer" para uma distância de 100 metros das feições que indicavam rodovias federais, rodovias estaduais e estradas municipais.

4.2.2.3 Manchas Urbanas

Tanto a NBR 15.849/10, quanto a NBR 13.896/97, recomendam uma distância mínima da área útil do aterro a núcleos populacionais vizinhos de 500 m. Assim, na criação dos mapas restritivos para as manchas urbanas, realizou-se a operação "Buffer" para uma distância de 500 metros

4.2.2.4 Áreas Protegidas

Foram avaliadas como critérios restritivos todas as áreas a seguir: reservas ecológicas, terras indígenas, áreas de proteção ambiental, estações ecológicas, florestas, parques, hortos florestais, refúgios de vida silvestre, reservas biológicas e a zona núcleo da reserva da biosfera.

Assim, foi atribuído o valor de "0", através de ferramenta de reclassificação, para os locais em questão.

4.2.3 Definição dos fatores

A padronização é um processo de conversão dos valores dos dados originais em valores de aptidão para o propósito desejado, a fim de uniformizar as unidades de todos os mapas para que possam ser analisados em conjunto na tomada de decisão. Além disso, o processo de

padronização também faz com que cada variável de análise seja hierarquizada internamente. Assim, todos os fatores tiveram suas classes ou unidades de feição convertidas para valores do intervalo de um byte, entre 0 e 255, sendo "0" o valor que configura mínima aptidão e "255" o valor que configura máxima aptidão.

4.2.3.1 Declividade

O fator de declividade é uma característica determinante na escolha do método construtivo da instalação, visto que, irá impactar diretamente nos custos das obras de terraplenagem. Locais com baixas declividades favorecem as movimentações de solo e de resíduos, e possuem menor tendência à erosão, além de oferecer condições menos críticas ao sistema de drenagem de chorume, e ao sistema de escoamento. Contudo, declividades muito baixas podem oferecer riscos de alagamento.

Assim na NBR 13.896/2010, recomendam-se locais com declividade superior a 1% e inferior a 30 %. Já na DT 04/2017, a FEPAM recomenda que a área escolhida esteja situada em regiões entre 2% e 20%, intervalo escolhido para o presente trabalho.

A classificação padronizada foi feita segundo a classificação de declividade de Ramalho Filho e Beek (1995), conforme mostra a Tabela 9, respeitando o intervalo escolhido e o decréscimo de aptidão conforme cresce a declividade.

Tabela 9- Valores de aptidão para o fator declividade

Declividade	Classificação	Valor de Aptidão
0-2%	Suave	0
2-3%	Suave	255
3-8%	Suavemente Ondulado	215
8-13%	Moderadamente Ondulado	190
13-20%	Ondulado	100
20-45%	Fortemente Ondulado	0
45-100%	Montanhoso	0
>100%	Escarpado	0

(fonte: Autora)

Os mapas de declividade foram elaborados com base nos Modelos Digitais de Terreno STRM (Shuttle Radar Topography Mission), de resolução de 30 metros, da agência norte-americana USGS (United States Geological Survey). Foi realizada a operação da ferramenta de

SIG "Slope", que identifica a declividade de cada célula da superfície raster, podendo resultar em um modelo de declividade em graus ou porcentagem.

4.2.3.2 Solos

O fator solo foi avaliado de acordo com o estudo de classificação de solos quanto à resistência a impactos ambientais do Rio Grande do Sul (FEPAM,2001). A classificação é baseada nos seguintes critérios (KÄMPF et al., 2008):

- a) profundidade do solo;
- b) classes genéricas de textura: presença de argila torna o local mais favorável;
- c) mineralogia: considera-se que os solos com predomínio de argila caulinítica e óxidos de ferro, apresentam uma maior resistência a impactos ambientais devido à maior estabilidade física;
- d) gradiente textural: presença de um horizonte superficial mais arenoso seguido por um horizonte subsuperficial mais argiloso diminui a permeabilidade do solo, logo, torna-o menos suscetível a impactos;
- e) drenagem natural;
- f) lençol freático;
- g) lençol suspenso;
- h) erodibilidade;
- f) pedregosidade;
- g) riscos de inundação;
- h) relevo local e declividade;
- i) aptidão agrícola.

Por meio de um quadro-guia foram estabelecidos quatro níveis de limitações crescentes tolerados para cada fator, possibilitando a classificação dos solos nas classes Alta (A), Média (B), Baixa (C) e Muito Baixa (D) de resistência a impactos ambientais, decorrentes principalmente da disposição final de resíduos ao solo. A padronização dessas classes pode ser observada na Tabela 10.

Tabela 10 - Valores de aptidão para o fator solos

Classe	Resistência a Impactos Ambientais	Valor de Aptidão
A	Alta	255
B	Média	180
C	Baixa	100
D	Muito Baixa	25

(fonte: Autora)

4.2.3.3 Hidrogeologia

Analisar a hidrogeologia do local de um empreendimento como um aterro sanitário é extremamente importante para que sejam mitigados os impactos relacionados à contaminação das águas subterrâneas. Regiões com unidades litológicas aflorantes fraturadas geralmente possuem elevado risco de contaminação, pois a capacidade dessas rochas de acumularem água está relacionada à quantidade de fraturas, a suas aberturas e a suas intercomunicações, o que pode permitir facilmente a infiltração de contaminantes.

Embora os aquíferos granulares também possuam condutividade hidráulica considerável, o que também permite a propagação de contaminações, os aquíferos fraturados foram considerados mais problemáticos devido a maior dificuldade em mapear e remediar casos de contaminações nesse tipo de aquífero.

Assim, a classificação do fator hidrogeologia foi feita conforme mostra a Tabela 11.

Tabela 11 - Valores de aptidão para o fator hidrogeologia

Unidade Aflorante	Valor de Aptidão
Granular	255
Fraturada	100

(fonte: Autora)

O estudo ideal para o fator hidrogeologia, abrangeria a avaliação das falhas geológicas existentes, visto que, o estado da arte indica uma distância mínima requerida de 500 metros de falhas. Contudo, faltam fontes de dados mais regionalizados para esse critério.

4.2.3.4 Uso do Solo

Para a avaliação do uso do solo, utilizou-se o mapeamento da cobertura vegetal do Bioma Pampa para o ano base de 2009 (UFRGS-IB-Centro de Ecologia, 2016).

Segundo Kampf et al. (2008), as limitações do solo ao uso agrícola coincidem, geralmente, com as limitações na sua aptidão para o descarte de rejeitos. Assim, locais caracterizados como terras agrícolas, foram classificados com valores de máxima aptidão, bem como campos e pastagem. A atividade de rizicultura aparece como exceção: ela abrange o cultivo de arroz em áreas que necessitam de irrigação ou em várzeas de corpos d'água e banhados,

configurando-se como um local ruim devido à presença da água. Campos úmidos também foram classificados com valores baixos de aptidão devido ao acúmulo de lâmina de água na região em determinadas épocas do ano.

As regiões que abrangem formações arbóreas e formações com areia, como praias e dunas, receberam valores mais baixos de aptidão devido à necessidade de preservação do local e dificuldade de implantação de aterros nesses locais. As classes de banhados, áreas urbanas e água foram consideradas impeditivas.

A Tabela 12 mostra a classificação completa do critério de uso do solo.

Tabela 12- Valores de aptidão para o fator uso do solo

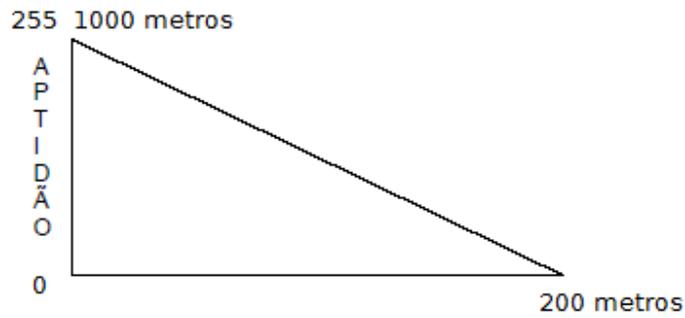
USO DO SOLO	VALOR
Agricultura	255
Campos/Pastagem	255
Misto (Agricultura + Pastagem)	255
Campo + Mata +Afloramento	150
Mata Nativa/ Mata com 30% antrópico/ Mata com 50% antrópico/ Silvicultura	50
Areia/Areais	50
Rizicultura	50
Campos úmidos	50
Banhados	0
Áreas Urbanas	0
Água	0

(fonte: Autora)

4.2.3.5 Distância de Recursos hídricos

Quanto mais próximo de um recurso hídrico estiver o aterro sanitário, maiores serão as chances da ocorrência de impactos ambientais devido a contaminação das águas. Assim, o fator distância de recursos hídricos foi calculado através da função fuzzy linear crescente, em que a aptidão aumenta conforme aumentam as distâncias, conforme mostra a Figura 9. A aptidão mínima ocorre no valor imediatamente superior ao critério restritivo de 200 metros, e aumenta até o valor de estabilização máximo, 1000 metros.

Figura 9- Valores de aptidão para distância de recursos hídricos



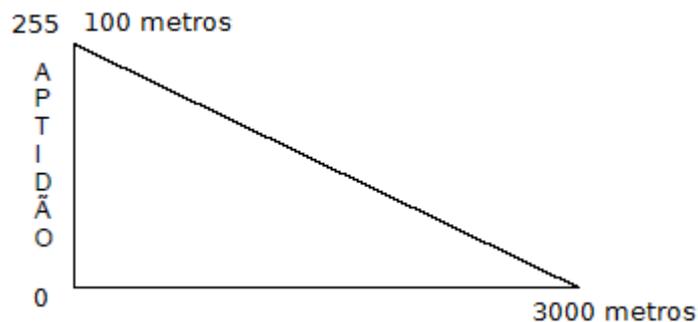
(fonte: Autora)

4.2.3.6 Distância do Sistema Viário

O fator distância do aterro ao sistema viário onera consideravelmente os custos do aterro sanitário, uma vez que a abertura de um acesso para a área encarece os custos de implantação e de operação, além de que a abertura de estradas causam impactos ambientais no meio biótico local. Dessa forma, quanto mais próxima de uma rodovia estiver a área em análise (limitado ao critério restritivo de 100 metros) mais apta ela será para a implantação do aterro, pois menores serão os custos de transporte, e não serão necessárias novas obras de rodovias.

A função fuzzy linear decrescente foi utilizada para a criação do mapa de distância do sistema viário, conforme mostra a Figura 10, com valor máximo de aptidão para a distância imediatamente superior a 100 metros, e como valor mínimo estabilizado de aptidão para a distância de 3000 metros das estradas.

Figura 10 -Valores de aptidão para distância do sistema viário



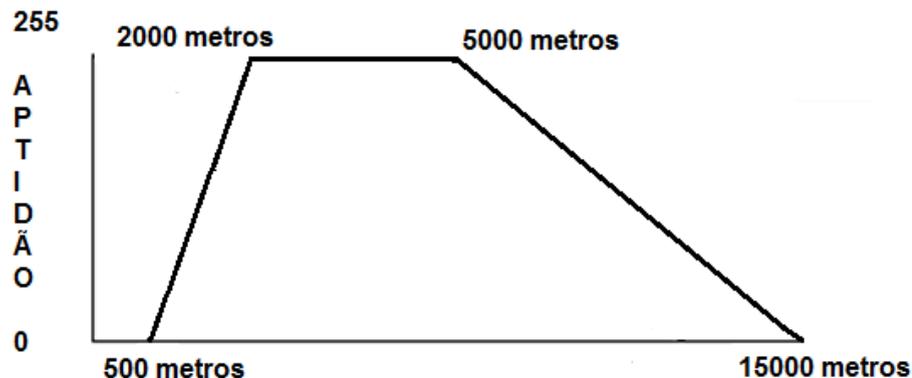
(fonte: Autora)

4.2.3.7 Distância de Manchas Urbanas

O fator distância de manchas urbanas também onera de forma considerável os custos para operação de aterros, visto que, quanto maior for a distância dos focos de geração de resíduos até sua destinação final, maior serão os gastos com transporte. Contudo, locais muito próximos às moradias acarretam problemas de mau cheiro.

Dessa forma, foi considerada uma função com patamar de aptidão máxima, conforme mostra a Figura 11. Ela é crescente entre o valor de restrição 500 metros e o valor de 2000 metros, possui aptidão máxima no patamar de 2000 a 5000 metros, e a partir daí, torna-se decrescente até 15000 metros, valor em que a classificação é estabilizada como mínima. Essa classificação foi adaptada do trabalho de Felicori et al. (2016).

Figura 11- Valores de aptidão para distância do sistema viário.



(fonte: Autora)

4.2.4 Proposta de ponderação dos fatores

A fim de diminuir a subjetividade na escolha de ponderação dos fatores que interferem na avaliação das áreas, optou-se por utilizar a rotina Analytic Hierarchy Process (AHP), que auxilia no processo de definição de pesos finais de cada variável, estabelecendo uma comparação relativa de variáveis duas a duas, por meio de uma matriz de comparação pareada. Para isso, foi utilizada a rotina WEIGHT do software TerrSet.

4.2.5 Agregação dos critérios: criação do mapa de aptidão

O processo de agregação dos dados foi feito através do método de Combinação Linear Ponderada, utilizando a ferramenta Raster Calculator do software ArcGIS. De forma simples, multiplicam-se as imagens padronizadas (feições de 0-255) por seus respectivos fatores de ponderação (calculados por AHP), e somam-se os resultados. Por fim, acrescentam-se as imagens booleanas, servindo como barreira absoluta de inaptidão, por meio de operação de multiplicação simples uma a uma.

Os valores de aptidão para a instalação de aterros sanitários, obtidos a partir dessa avaliação por múltiplos critérios, foram reclassificados para classes temáticas de aptidão, em intervalos iguais, conforme mostra a Tabela 13.

Tabela 13- Valores de aptidão para distância de recursos hídricos.

Aptidão	Valores
Sem aptidão	0
Baixa	1- 51
Média Baixa	51-102
Média	102-153
Média Alta	153-204
Alta	204-255

(fonte: Autora)

4.2.6 Análise de cada caso

Com os mapas de aptidão prontos, foi realizada a análise individual para cada município escolhido. Nessa etapa, foram contabilizadas as áreas disponíveis para cada classe de aptidão.

Por fim, os produtos finais foram comparados com o estudo realizado pelo Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Sul, “Áreas potencialmente favoráveis para a destinação de resíduos sólidos”, a fim de verificar se os resultados de ambos os estudos são razoavelmente compatíveis entre si

O estudo da PERS-RS avalia a aptidão natural dos solos, a ocupação e uso dos solos, e a infraestrutura de transporte existente, ponderando esses fatores para pesos de 0,4, 0,4 e 0,2 respectivamente. Além disso, são avaliados critérios complementares de localização, como

critérios restritivos, incluindo manchas urbanas, rodovias, corpos e cursos d'água, áreas úmidas, áreas de conservação, áreas de uso sustentável economicamente, florestas públicas, terras indígenas, e existência de aeroportos.

5 RESULTADOS E ANÁLISES

5.1 LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES

O Levantamento de informações referente ao gerenciamento de RSU de cada município, baseado no Diagnóstico Técnico Participativo de seus respectivos PMSB, encontra-se no Anexo A.

As atividades de gerenciamento de resíduos sólidos mostram-se ineficientes na maior parte dos municípios analisados. Uma das principais constatações está na disparidade entre a prestação de serviços na zona urbana e na zona rural, visto que apenas nove municípios realizam a coleta de resíduos nas áreas rurais com frequência mínima de uma vez por semana. Nos demais, a coleta é inexistente, ou acontece com uma frequência muito pequena, mensal ou até trimestral, não abrangendo todas as localidades rurais dos municípios. Como uma boa parte dos municípios de pequeno porte possui mais pessoas vivendo nas zonas rurais, esse cenário é preocupante. São encontradas áreas de passivo ambiental em estradas rurais, campos e matas, devido ao descarte irregular de resíduos, que são abandonados em locais impróprios, enterrados ou queimados, por não haver outra alternativa de disposição final fornecida pela gestão pública.

Apenas onze dos 28 municípios analisados cumprem uma das principais metas da PNRS, que é a prática da coleta seletiva de resíduos. Desses onze, apenas dois realizam a coleta seletiva com a frequência mínima de uma vez por semana também na zona rural. Os programas de coleta seletiva são essenciais para que os processos de reaproveitamento de resíduos, como a reciclagem e a compostagem, possam ser aplicados, e assim, reduzir a quantidade de material enviado aos aterros sanitários.

Chuí e Garruchos ainda possuem lixões e precisam regularizar a forma de disposição final de seus RSU antes do prazo estipulado para a erradicação dos lixões no Brasil, que foi prorrogado para 2021 para municípios de pequeno porte. Essa situação deve-se principalmente à dificuldade de acesso e à localização geográfica desfavorável dos mesmos. Dezenove municípios transportam seus resíduos para aterros sanitários privados de grande porte, muitas vezes distantes de suas sedes, localizados nos municípios de Minas do Leão, Giruá, Candiota, Içara, São Leopoldo, Serafina Correa e Santa Maria. Dentre os sete restantes, seis fazem parte de consórcios públicos, CIGRES, localizado no município de Seberi, e CONIGEPU, localizado no município

de Trindade do Sul, e um, Palmeira das Missões, possui um aterro localizado no próprio município.

A responsabilidade da coleta, transporte e destinação final de resíduos varia de acordo com o município. Nove deles realizam as atividades através de serviço prestado pela própria prefeitura, dezessete estabeleceram contratos com empresas privadas para a realização desses serviços de forma terceirizada, e dois possuem responsabilidade mista entre prefeitura e empresa privada.

Em relação às taxas cobradas para a realização do manejo de RSU é possível observar que em nenhum município de estudo a receita arrecadada cobre os custos, ocasionando déficits anuais significativos para a administração pública. Dois municípios estudados, Santa Margarida do Sul e Novo Xingu sequer possuem taxa de lixo, e outros 4 não sabem informar qual é a receita referente ao manejo de RSU.

No contexto financeiro, destaca-se o município de Dom Pedro de Alcântara, por possuir custos anuais baixos e implantar a coleta seletiva tanto na zona urbana quanto na zona rural. Em relação aos consórcios, com exceção de Lajeado do Bugre, todos os integrantes do consórcio do CIGRES apresentaram custos anuais inferiores à média. Já o município de Novo Xingu, pertencente ao consórcio do CONIGEPU, apresentou um custo anual bastante superior à média. Apesar da coleta seletiva não estar empregada em todos os municípios participantes de consórcios, o CIGRES e o CONIGEPU desenvolvem na localidade de seus aterros, os processos de triagem, de compostagem e de tratamento de chorume.

No cenário geral, destaca-se o município de Palmeira das Missões. Seu custo anual por habitante resultou abaixo da média, o município realiza a coleta seletiva tanto na zona rural quanto na zona urbana, e possui um aterro no próprio município, onde são realizadas as atividades de triagem dos materiais reciclados e tratamento de efluentes oriundos da decomposição dos resíduos.

Alguns diagnósticos dos PMSB mostraram-se incompletos, com falta de informações referentes à geração per capita de resíduos, à fração mássica de orgânicos, rejeitos, e recicláveis, à quantidade total de resíduos coletada, e ao controle financeiro. Os dados do SNIS não são preenchidos em todos os municípios, e muitas vezes as informações fornecidas diretamente pelos servidores da prefeitura não condizem com os dados presentes no SNIS, o que faz com que nem todas as informações nos PMSB sejam acuradas.

5.2 AVALIAÇÃO E MUNICÍPIOS ESCOLHIDOS

O resultado da análise de cada município por meio de Índices de Avaliação encontra-se na Tabela 14.

Tabela 14- Índices de Avaliação das atividades de manejo de RSU.

Id	MUNICÍPIOS	ÍNDICES			
		I1	I2	I3	SOMA
1	Arambaré	0	2	2	4
2	Arvorezinha	0	4	2	6
3	Áurea	0	4	2	6
4	Chuí	4	0	2	6
5	Dois Lajeados	0	0	0	0
6	Dom Pedro de Alcântara	0	2	0	2
7	Dona Francisca	0	0	0	0
8	Espumoso	0	4	0	4
9	Garruchos	4	0	0	4
10	Herval	0	2	0	2
11	Horizontalina	0	0	2	2
12	Hulha Negra	0	0	0	0
13	Ipê	0	2	2	4
14	Iraí	0	0	0	0
15	Lajeado do Bugre	0	0	0	0
16	Marau	0	4	0	4
17	Minas do Leão	0	0	0	0
18	Novo Xingu	0	0	2	2
19	Palmeira das Missões	0	0	0	0
20	Pantano Grande	0	0	0	0
21	Porto Vera Cruz	0	0	2	2
22	Roca Sales	0	0	2	2
23	Pedras Altas	0	0	0	0
24	Salvador das Missões	0	0	2	2
25	Santa Margarida do Sul	0	2	0	2
26	São José das Missões	0	0	0	0
27	São Pedro das Missões	0	0	0	0
28	Vista Alegre	0	0	0	0

*As somas iguais ou maiores que quatro, representadas em vermelho, indicam que o município será avaliado na próxima etapa do trabalho.

(fonte: Autora)

Na análise do primeiro índice, os municípios de Chuí e Garruchos receberam nota igual a 4 por possuírem lixão como forma de disposição final, e assim, já são escolhidos por esse critério para serem analisados na próxima etapa do trabalho.

No segundo índice, que avalia a sustentabilidade da atividade de transporte analisando quais as distâncias percorridas da sede municipal até o destino final dos RSU, 4 municípios receberam nota igual a 4, o que significa que a distância é maior do que 200 km. São eles: Arvorezinha, Áurea, Espumoso e Marau. Assim, esses municípios já se enquadram nos critérios de disposição final inadequada da metodologia utilizada. Arambaré, Dom Pedro de Alcântara, Herval, Ipê e Santa Margarida do Sul receberam nota 2, por possuírem uma rota de destinação final entre 100 e 200 km. Aqui cabe destacar que muitos municípios ao contratar os serviços de destinação final, optam por rotas extremamente longas, mesmo tendo alternativas de outros aterros mais próximos.

O índice 3, que avalia o custo anual com o manejo de RSU em relação a população atendida pelos serviços, resultou em uma média de R\$ 84,60 por habitante. Os municípios em que os custos anuais por habitante são maiores do que a média receberam nota 2. Assim, como esse é um critério de desempate para àqueles que receberam nota 2 no Índice 2, apenas Ipê e Arambaré foram acrescentados na lista de municípios a serem analisados na próxima etapa.

Dessa forma, somando-se os três índices de avaliação, os municípios escolhidos foram: Arambaré, Arvorezinha, Áurea, Chuí, Espumoso, Garruchos, Ipê e Marau.

Arvorezinha, Espumoso e Marau estão a menos de 100 km de distância entre si, ao analisarmos o sistema viário disponível. Como o município de Soledade encontra-se no meio da rota entre eles, os quatro municípios foram avaliados de forma conjunta, a fim de propor um estudo de áreas de disposição final para um consórcio público entre eles.

Os demais municípios, Arambaré, Áurea, Chuí, Garruchos e Ipê, estão a mais de 100 km de distância entre si, e assim, foram trabalhadas propostas individuais para áreas de disposição final. A geração per capita informada por esses municípios permite projetar a quantidade média de resíduos gerados por dia em cada município, e esses valores ficam dentro do limite máximo estabelecido pela NBR 15.849/2010 para a concepção de aterros de pequeno porte.

É válido ressaltar que esses índices avaliam o gerenciamento dos resíduos com foco no tipo e local de destinação final, e não necessariamente os municípios bem avaliados por eles possuem todos os serviços de qualidade. Cita-se como exemplo Pedras Altas, que destina seus resíduos a um aterro sanitário próximo, sem gastar muito, o que é um ponto positivo ambientalmente e financeiramente, porém, não existe nenhum tipo de seleção ou triagem de

resíduos no município, e a zona rural nem sequer possui coleta. Assim, para esses casos, cabem outros tipos de análise que visem à melhoria das etapas anteriores à disposição final, como é o caso, por exemplo, de estudos para a implantação de coleta seletiva em todo o município, de usinas de triagem, e de composteiras.

5.3 PROPOSTA DE PONDERAÇÃO DOS FATORES

A matriz de comparação pareada proposta entre os sete fatores considerados neste trabalho encontra-se na Tabela 15. O valor contido em cada célula faz a comparação de quantas vezes o fator contido na linha é mais importante em comparação ao fator contido na coluna.

Tabela 15- Matriz de comparação pareada entre os fatores

	Declividade	Solos	Uso do solo	Hidrogeologia	Distância de recursos hídricos	Distância do sistema viário	Distância de manchas urbanas
Declividade	1	-	-	-	-	-	-
Solos	0,75	1	-	-	-	-	-
Uso do solo	0,75	1	1	-	-	-	-
Hidrogeologia	0,25	0,5	0,5	1	-	-	-
Distância de recursos hídricos	0,5	0,75	0,75	1,33	1	-	-
Distância do sistema viário	1	1,33	1,33	4	2	1	-
Distância de manchas urbanas	1	1,33	1,33	4	2	1	1

(fonte: Autora)

A predominância de formas de destinação final inadequadas em municípios de pequeno porte é explicada principalmente pela falta de recursos financeiros. Sendo assim, os fatores que mais contribuem para o custo das atividades de gerenciamento dos resíduos foram considerados de ponderação mais alta, e são eles: distância de manchas urbanas e distância do sistema viário. Tanto o fator de distância de manchas urbanas, quanto o fator de distância de estradas, afetam diretamente os custos de operação de um aterro sanitário, pois incidem sobre a escolha da rota mais econômica para a coleta e transporte dos resíduos.

A declividade foi considerada igualmente importante aos fatores de distância de estradas e de distância de manchas urbanas, visto que, em terrenos com declividades muito altas, torna-se praticamente inviável a construção e operação de um aterro sanitário.

O fator de solo e o fator de uso do solo foram avaliados com uma ponderação moderadamente inferior aos três primeiros, por não impactarem tanto os custos de operação do aterro. Contudo, a escolha de locais com tipo e uso de solo favoráveis minimizam a necessidade de implantação de estruturas complementares de impermeabilização e drenagem, conforme os critérios da NBR 15.849/2010, o que pode ser fundamental para a viabilidade de construção de um aterro de pequeno porte.

Em um terceiro nível de importância, está o fator de distância de recursos hídricos. Embora seja um critério ambiental muito importante, e quanto mais longe de cursos d'água estiver o aterro menor serão os impactos deste sobre o meio ambiente, o critério restritivo de 200 metros já garante uma proteção adequada aos corpos d'água.

Por fim, ponderado como de menor importância entre todos, está o fator hidrogeologia. De maneira geral, a hidrogeologia local seria um dos fatores mais importantes a ser considerado em análises de impactos ambientais, pois a remediação de contaminações de águas subterrâneas é uma atividade complexa e onerosa. Contudo, a informação avaliada no fator de hidrogeologia-tipo de unidade litológica aflorante- não é suficiente para obter uma avaliação completa das áreas, sendo necessário um estudo mais aprofundado em questões hidrogeológicas para que este fator seja avaliado com um peso maior.

O resultado de definição dos pesos finais de cada fator considerado na análise multicritério pode ser observado na Tabela 16.

Tabela 16- Resultado dos pesos de cada fator

Fator	Peso
Declividade	0,1929
Distância do sistema viário	0,1929
Distância de manchas urbanas	0,1929
Solos	0,1344
Uso do solo	0,1344
Distância de recursos hídricos	0,0945
Hidrogeologia	0,058

(fonte: Autora)

5.4. MAPAS DE APTIDÃO

São apresentados neste item os mapas finais de aptidão para a implantação de aterros sanitários dos 6 casos de estudo. Primeiramente, é apresentado o mapa final de aptidão sem os critérios restritivos, e depois, com os critérios restritivos, para poder ser avaliado o impacto das restrições ambientais e operacionais na instalação de aterros sanitários. Os mapas intermediários de critérios restritivos e fatores foram utilizados para a construção do mapa final de cada caso, e estão disponíveis para consulta por meio de contato com a autora do trabalho. Para fins de ilustração, os mapas intermediários do consórcio municipal (Arvorezinha, Espumoso, Soledade e Marau) e de Garruchos encontram-se nos Anexos B e C, respectivamente.

Também é apresentado o mapa de estudo do PERS-RS para cada município, e as duas metodologias são comparadas. Os mapas do PERS-RS são apresentados neste trabalho conforme encontram-se nos PMSB, e neles não estão contidas as restrições para cursos d'água e estruturas antrópicas. Assim, eles são comparados aos mapas sem restrições do presente estudo, a fim de facilitar a visualização de semelhanças e diferenças. O mapa completo do Rio Grande do Sul com todas as restrições incluídas encontra-se no próprio Plano Estadual de Resíduos Sólidos.

5.4.1 Arambaré

A Figura 12 e a Figura 13 - **Mapa final de aptidão com restrições - Arambaré** mostram os mapas finais de aptidão do município de Arambaré, sem e com os critérios restritivos aplicados. A Figura 14 mostra o mapa de estudo do PERS-RS para as áreas potencialmente favoráveis à destinação de resíduos sólidos do município de Arambaré.

Figura 12 - Mapa final de aptidão sem restrições - Arambaré

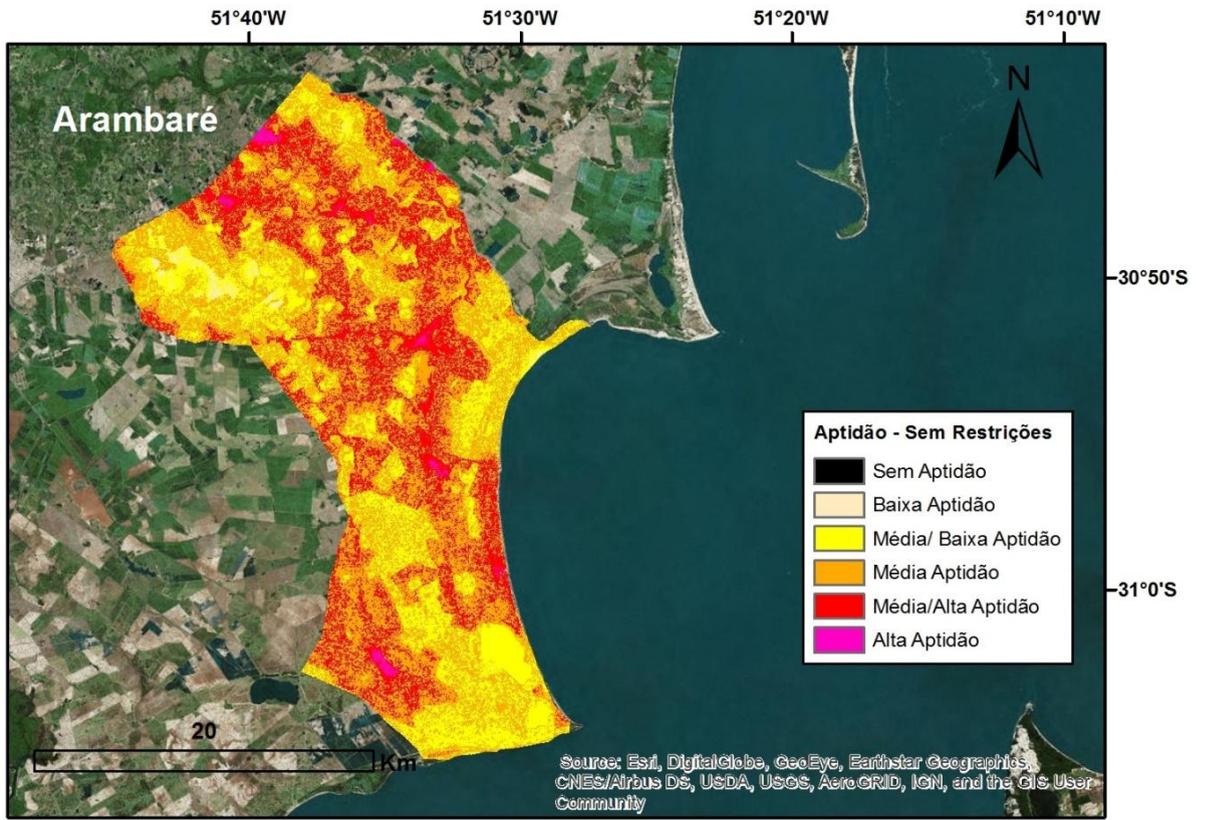
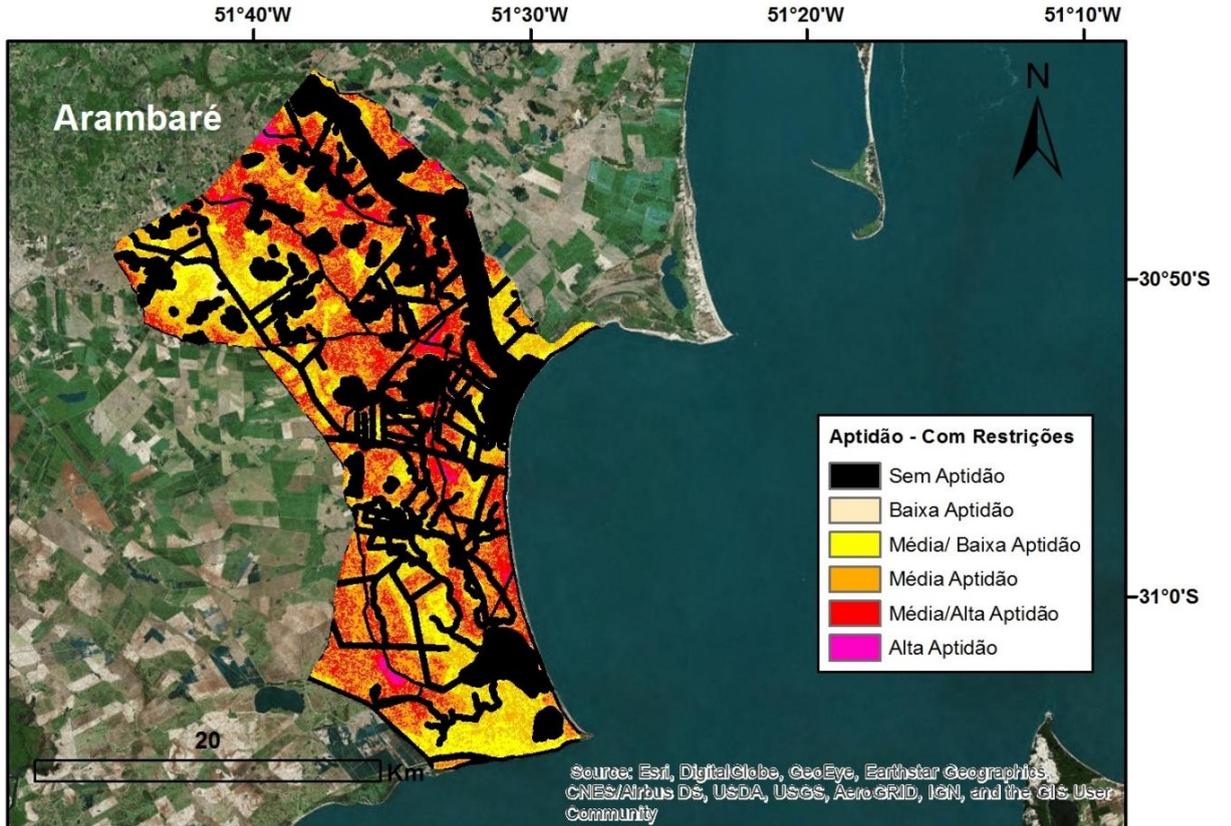
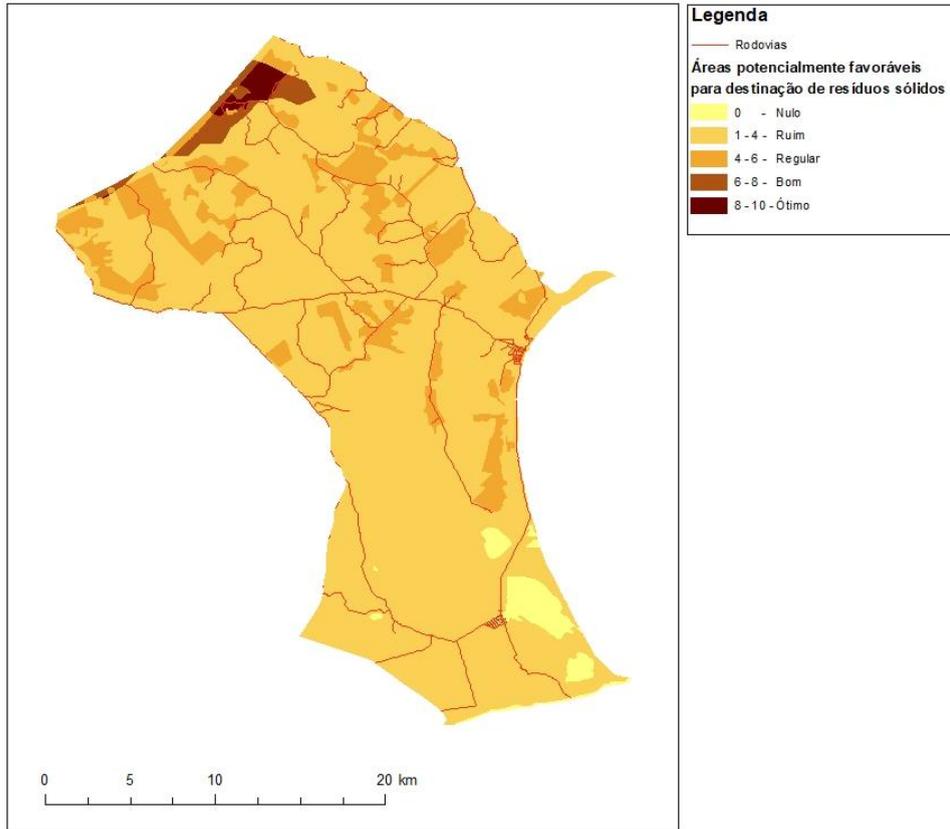


Figura 13 - Mapa final de aptidão com restrições - Arambaré



(fonte: Autora)

Figura 14 - Mapa de aptidão do PERS-RS- Arambaré



(fonte: PMSB do Município de Arambaré, 2018)

A análise multicritério para Arambaré mostra que o município possui a maior parte de sua extensão classificada como locais sem aptidão para a instalação de aterros sanitários, conforme mostra a Tabela 17.

Tabela 17- Áreas por classe de aptidão - Arambaré

Classe	Área (km ²)	%
Sem Aptidão	259,32	50,19%
Baixa Aptidão	1,15	0,22%
Média/Baixa Aptidão	50,84	9,84%
Média Aptidão	130,96	25,35%
Média/Alta Aptidão	71,62	13,86%
Alta Aptidão	2,76	0,53%

(fonte: Autora)

O principal motivo para isso é a grande quantidade de recursos hídricos dentro dos limites do município, que inclui a Lagoa dos Patos e o Arroio Velhaco, entre outros rios, lagoas, arroios, e canais da Bacia do Rio Camaquã. Segundo o PMSB de Arambaré, o município é atingido por alagamentos frequentes, o que mostra a importância do critério de afastamento de recursos hídricos. Na porção nordeste do mapa é possível identificar uma faixa de restrição considerável, caracterizada por uma porção da zona núcleo da reserva da biosfera, destinada à proteção integral da natureza.

A segunda classe mais encontrada na análise foi a de média aptidão, e apenas 0,53% da área do município foi classificada como sendo de alta aptidão. Uma das razões para isso é o relevo do município, que se caracteriza como planície, com muitas regiões de declividade abaixo do limite mínimo de 2% requerido pela FEPAM. Assim, é possível encontrar diversas áreas passíveis de alagamento, fator que deve ser levado em conta no planejamento de empreendimentos como aterros. Além disso, o solo é predominantemente do tipo Planossolo Solódico, classificado como de muito baixa resistência a impactos ambientais. O predomínio da atividade de rizicultura também colabora para com que não se tenham muitos locais de alta aptidão na região.

O estudo do PERS-RS mostra muitas áreas classificadas como ruins e regulares para a destinação final de resíduos, e as porções de maior potencial encontram-se na fronteira noroeste com o município de Camaquã. Esse resultado mostrou-se similar ao mapa gerado pelo estudo, que possui predominância de áreas sem aptidão e de média aptidão, e contém uma de suas áreas de maior potencial localizada na mesma porção do PERS-RS.

5.4.2 Áurea

A Figura 15 e a Figura 16 mostram os mapas finais de aptidão do município de Áurea sem e com os critérios restritivos aplicados. A Figura 17 mostra o mapa de estudo do PERS-RS de áreas potencialmente favoráveis à destinação de resíduos sólidos do município de Áurea.

Figura 15- Mapa final de áreas de aptidão sem restrições - Área

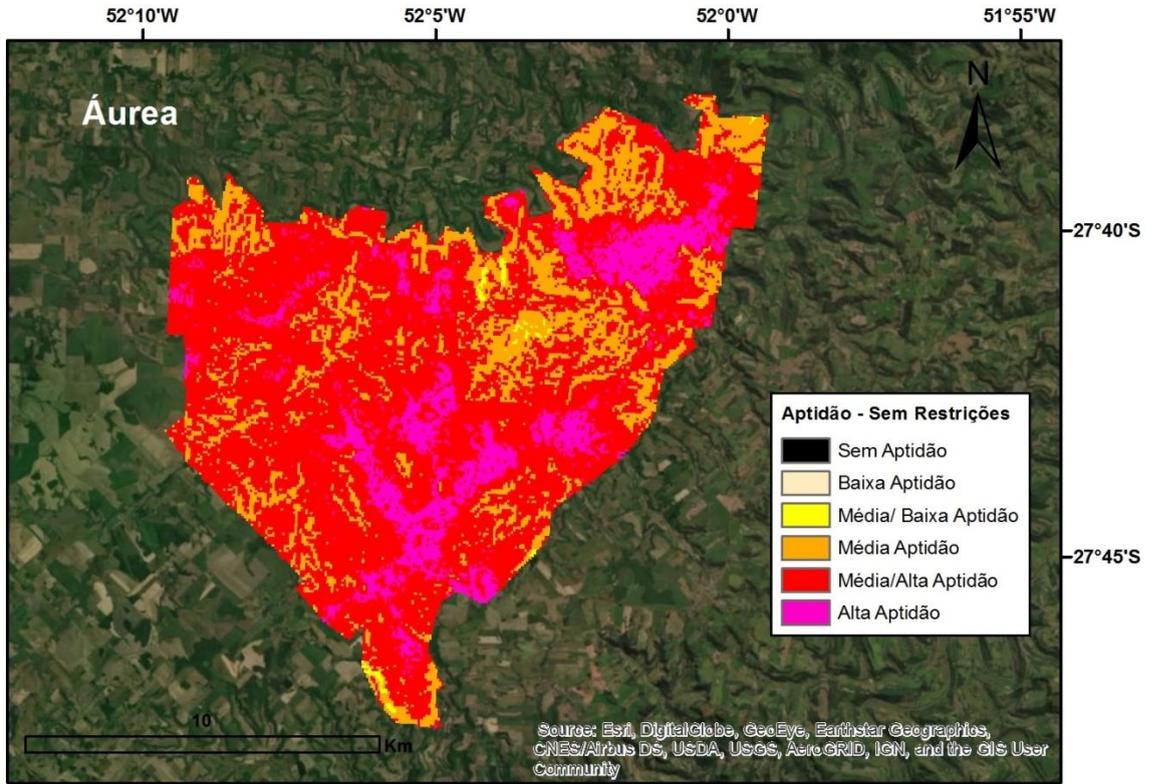
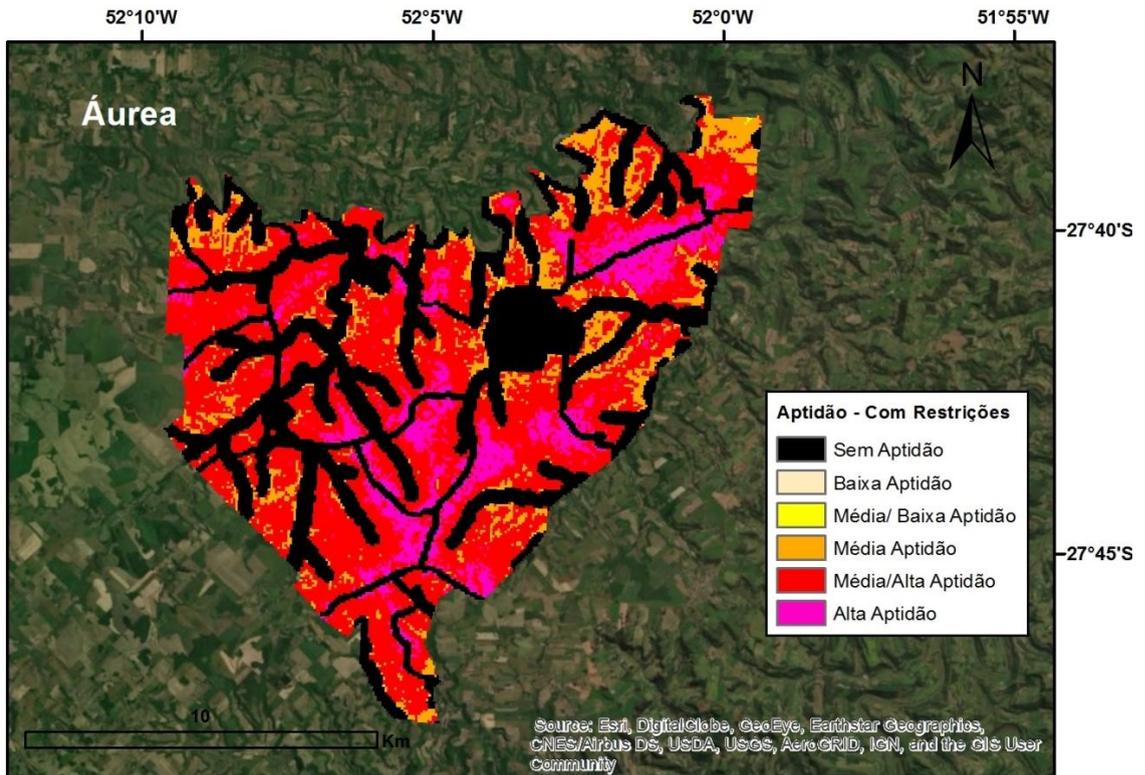
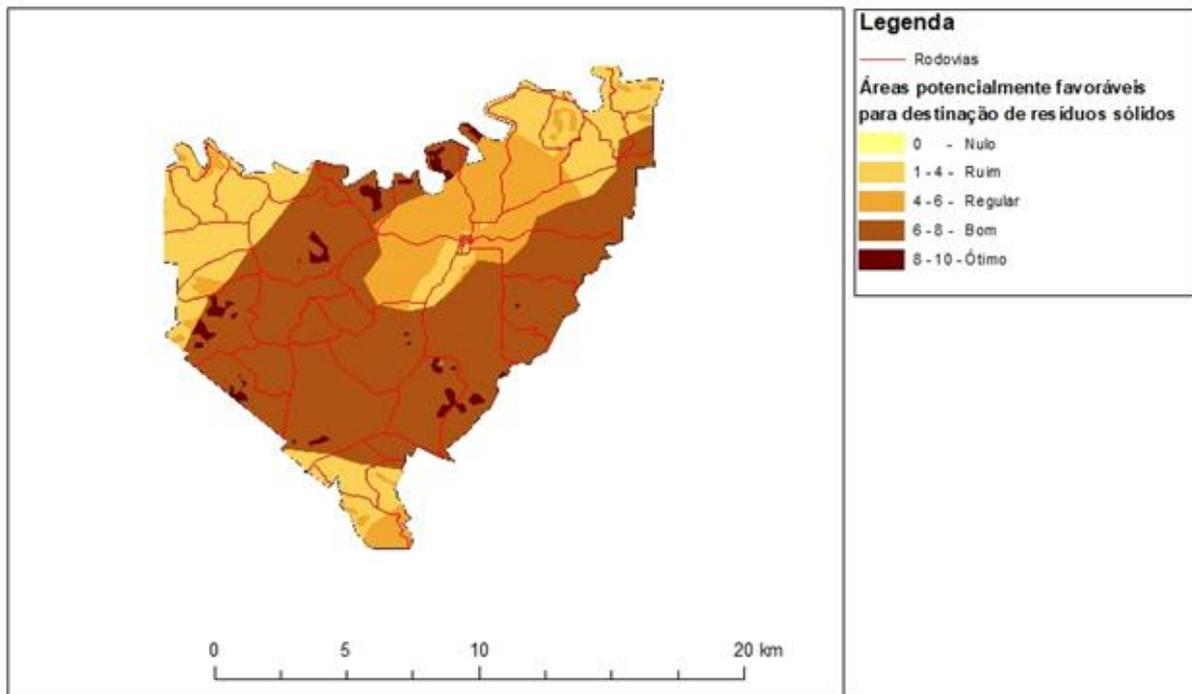


Figura 16- Mapa final de áreas de aptidão com restrições-Área



(fonte: Autora)

Figura 17 - Mapa de aptidão do PERS-RS - Áurea



(fonte: PMSB do Município de Áurea, 2018)

A análise multicritério para o município de Áurea mostra um panorama positivo: cerca de 52,8% da área total do município enquadra-se na classe de média/alta aptidão ou alta aptidão. Praticamente não foram encontradas áreas de média/baixa e baixa potencialidade. A contabilidade da área total em km² para cada classificação encontra-se na Tabela 18.

Tabela 18 - Áreas por classe de aptidão - Áurea

Classe	Área (km ²)	%
Sem Aptidão	57,79	37,00%
Baixa Aptidão	0,00	0,00%
Média/Baixa Aptidão	0,04	0,03%
Média Aptidão	15,83	10,13%
Média/Alta Aptidão	68,33	43,75%
Alta Aptidão	14,19	9,08%

(fonte: Autora)

O cenário favorável é explicado pelo fato de que a ocupação do solo na região é basicamente para fins agrícolas e pastagem, com pouca presença de mata nativa. Além disso, dois

tipos de solo são predominantes na região, o Cambissolo Eutrófico e o Latossolo, ambos caracterizados como solos de média resistência a impactos ambientais, mantendo a nota de aptidão ainda em valores mais altos. Como o município possui uma extensão pequena, cerca de 156 km², os mapas dos fatores de distância de manchas urbanas e de distância de estradas praticamente não apresentam valores mais baixos, pois as distâncias em que a aptidão é estabilizada como mínima não são atingidas.

A hidrogeologia local, apesar de ser caracterizada pela presença de aquíferos fraturados, não chega a rebaixar a nota geral de aptidão das áreas do município, devido ao valor de ponderação baixo considerado para esse fator.

Os locais com menor potencial coincidem com os locais em que a declividade é mais alta, caracterizados por um relevo fortemente ondulado. As áreas restritivas englobam as faixas de algumas estradas vicinais, da mancha urbana, e principalmente de rios e arroios que cortam a extensão do município. Já os locais de alta aptidão coincidem com os locais próximos às estradas municipais, respeitando o critério restritivo de 100 metros, e estão na maior parte localizados dentro do patamar de aptidão máxima para o fator de distância de manchas urbanas.

O mapa do PERS-RS também mostra uma grande quantidade de locais aptos à construção de aterros, classificados como "bons". Contudo, o resultado do presente estudo mostra mais áreas classificadas como de alta aptidão, em comparação aos locais considerados "ótimos" do estudo do PERS-RS, provavelmente pelo fato do fator de aptidão natural dos solos ter uma ponderação diferente em cada um.

5.4.3 Chuí

A Figura 18 e a Figura 19 mostram os mapas finais de aptidão do município de Chuí, sem e com os critérios restritivos aplicados. A Figura 20 mostra o mapa de estudo do PERS-RS de áreas potencialmente favoráveis à destinação de resíduos sólidos do município de Chuí.

Figura 18 - Mapa final de áreas de aptidão sem restrições - Chuí

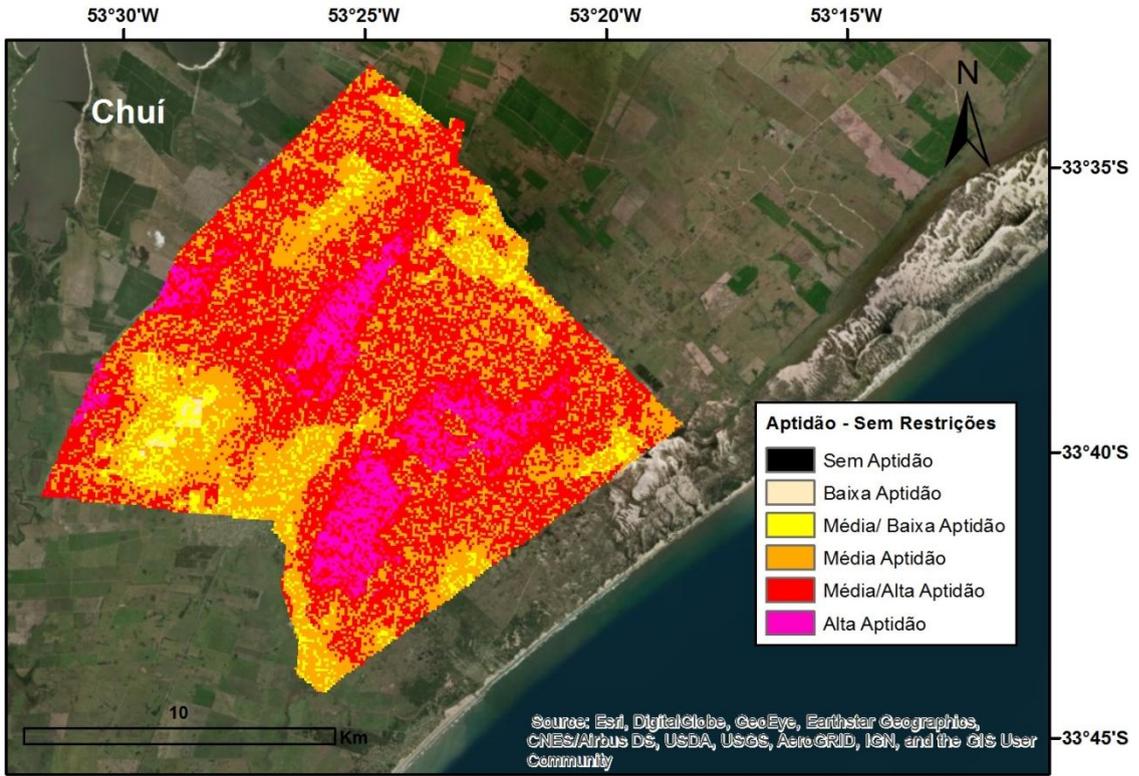
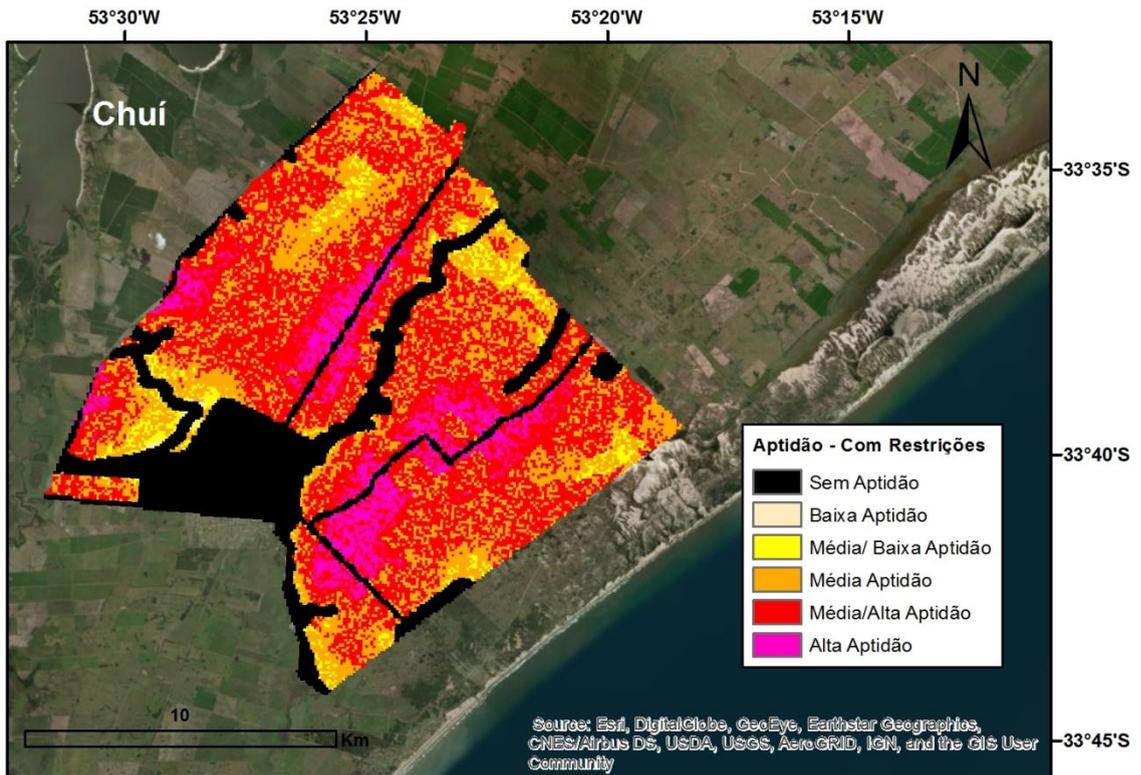
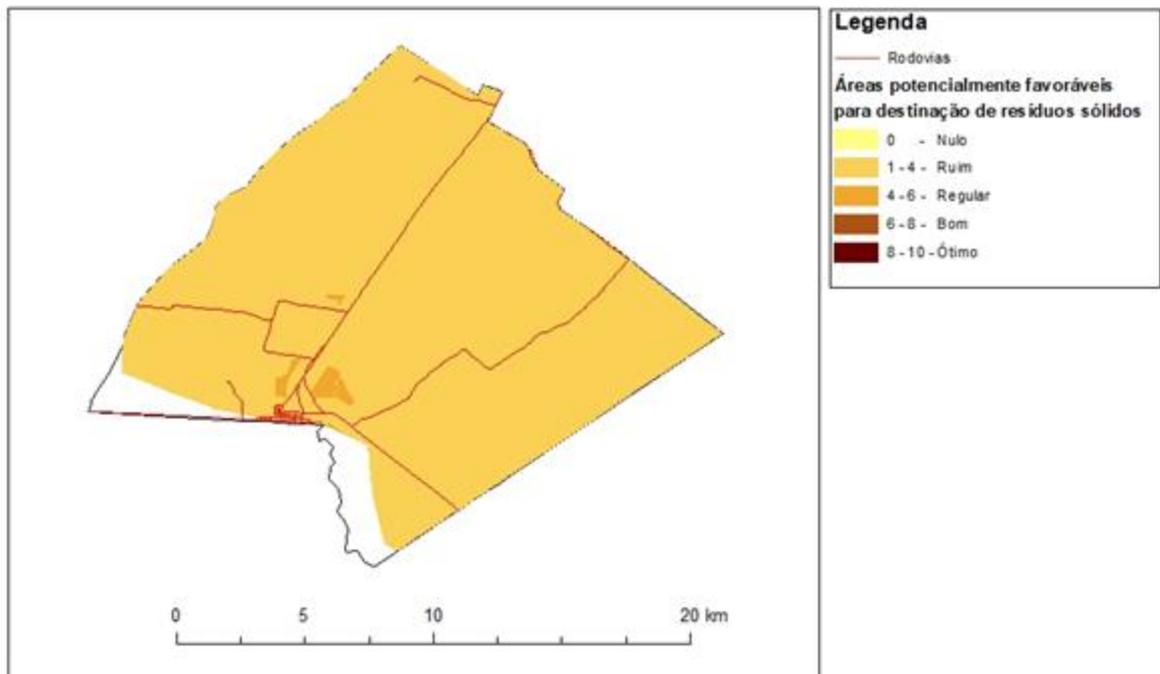


Figura 19- Mapa final de áreas de aptidão com restrições - Chuí



(fonte: Autora)

Figura 20 - Mapa de aptidão do PERS-RS - Chuí.



(fonte: PMSB do Município de Chuí, 2018)

Chuí, segundo a metodologia de estudo, apresenta em torno de 48,7% de áreas classificadas como de média/alta e alta aptidão para a implantação de um aterro sanitário que substitua o lixão atualmente existente no município. A Tabela 19 mostra a quantidade de áreas disponíveis divididas por classe.

Tabela 19- Áreas por classe de aptidão - Chuí.

Classe	Área (km ²)	%
Sem Aptidão	40,92	20,38%
Baixa Aptidão	0,16	0,08%
Média/Baixa Aptidão	6,42	3,20%
Média Aptidão	55,53	27,65%
Média/Alta Aptidão	84,25	41,95%
Alta Aptidão	13,57	6,76%

(fonte: Autora)

A predominância de locais com valores elevados de aptidão deve-se ao fato de que o município apresenta um relevo mais plano, com média de 3,28 % de declividade. Além disso, sua área é pequena, aproximadamente 200 km², o que faz com que os mapas dos fatores de distância de

manchas urbanas e de estradas possuam muitas áreas com valores altos de classificação. A hidrogeologia local recebe nota máxima, devido a presença de aquífero granular, e o fator de uso apresenta predominância de áreas de campo seco.

Contudo, o solo da região apresenta textura mais arenosa, englobando os tipos Dunas, Planossolo Solódico e Gleissolo Solódico, caracterizados como solos de baixa e muito baixa resistência a impactos ambientais. Assim, é necessário um cuidado extra para que sejam instalados sistemas de drenagem e de impermeabilização eficientes no futuro aterro, a fim de garantir a preservação do solo e das águas subterrâneas do local.

O Chuí não possui tantas áreas restritivas, devido à pequena quantidade de recursos hídricos perenes nos limites do município, e à pequena quantidade de estradas. As áreas de maior potencial estão localizadas próximas à Rodovia Federal BR471, respeitando o critério mínimo de 100 metros de distância, e em locais em que a distância de recursos hídricos já foi estabilizada como de aptidão máxima. As áreas de menor aptidão encontram-se nas regiões com predomínio de uso do solo para rizicultura, banhados e campos úmidos.

Por Chuí possuir um lixão como área de descarte, é recomendável que seja avaliada a possibilidade de instalação de um aterro sanitário no local, a fim de recuperar ambientalmente a área, desde que, os demais critérios sejam atendidos. Como as coordenadas do lixão não foram informadas, não foi possível verificar o potencial do local.

O mapa da análise multicritério mostrou-se o mais diferente da análise do PERS-RS. Segundo o Plano Estadual, Chuí praticamente só possui áreas com potencial ruim, pois em toda a sua extensão o fator solo recebeu nota mínima (zero). Como nele são avaliados menos fatores, e a aptidão natural dos solos acaba tendo uma importância maior em relação a importância desse fator no presente estudo, isso rebaixou a nota de toda a área do município, bem como de toda a região Sudeste do estado. Já o mapa gerado por este trabalho, por avaliar mais fatores, consegue distinguir quais locais são mais e menos aptos dentro dos limites municipais.

5.4.4 Consórcio

A Figura 21 e a Figura 22 mostram os mapas finais de aptidão do Consórcio proposto (Arvorezinha, Soledade, Marau e Espumoso), sem e com os critérios restritivos aplicados. A Figura 23 mostra o mapa de estudo do PERS-RS de áreas potencialmente favoráveis à destinação de resíduos sólidos desses municípios.

Figura 21 - Mapa final de áreas de aptidão sem restrições - Consórcio

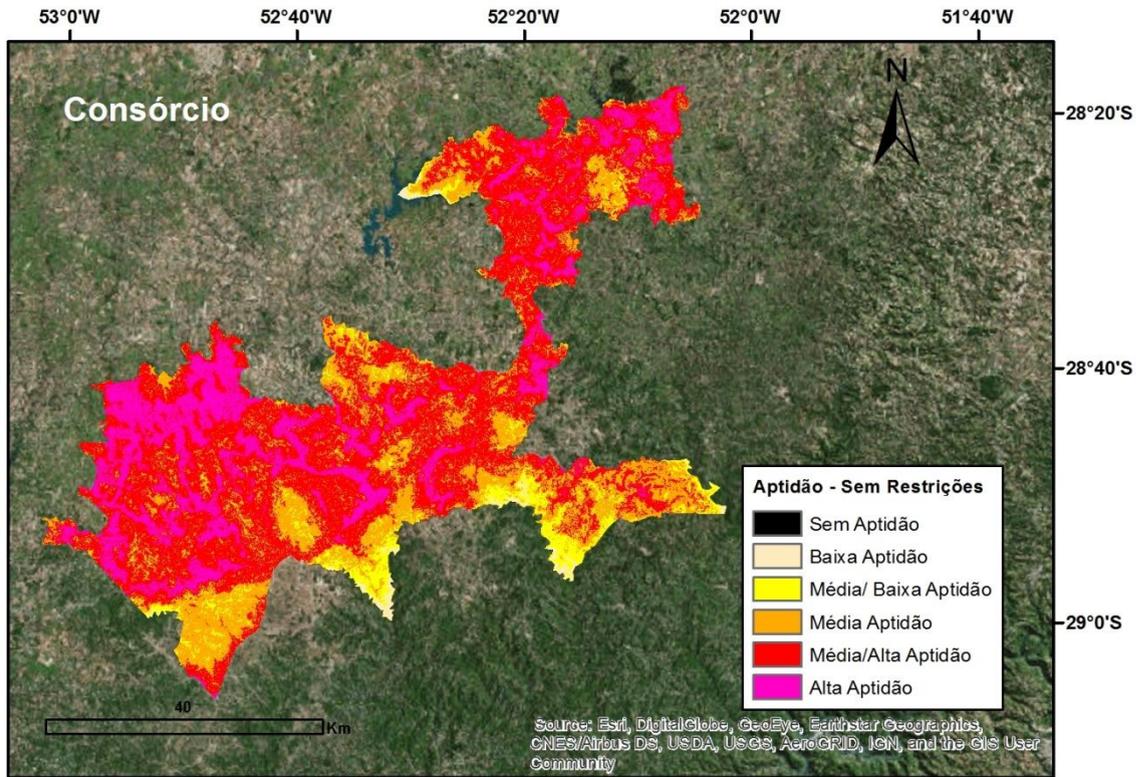
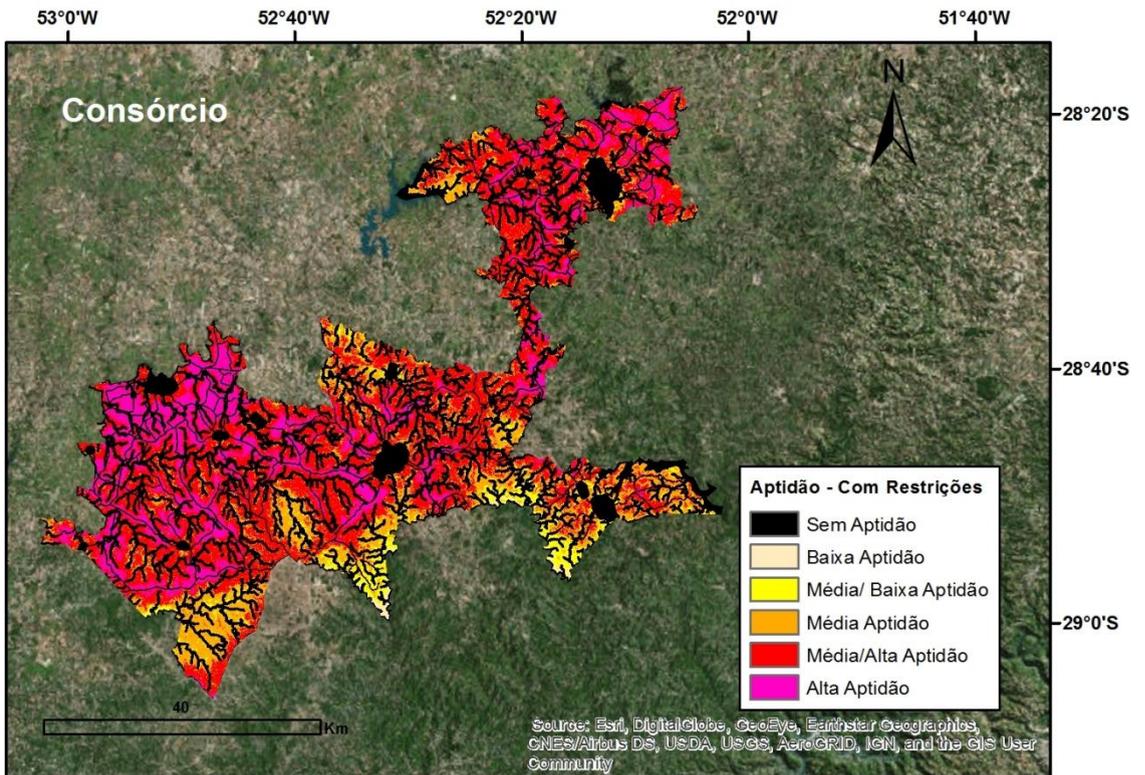
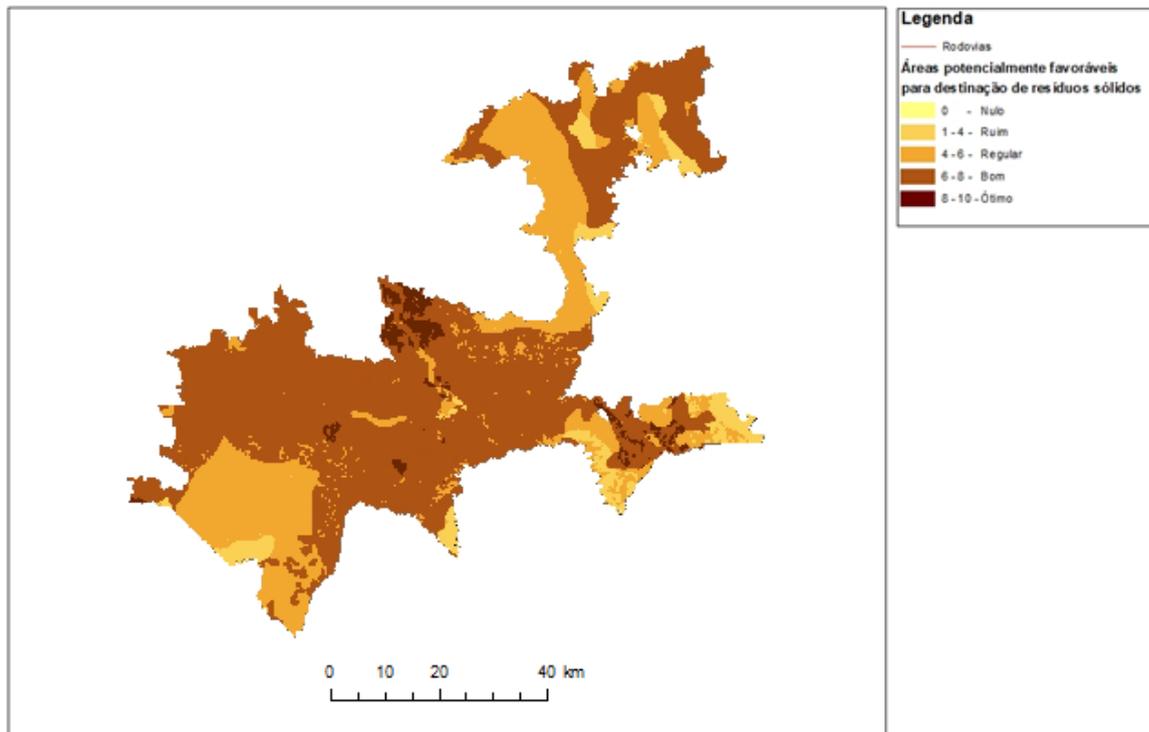


Figura 22 - Mapa final de áreas de aptidão com restrições - Consórcio



(fonte: Autora)

Figura 23- Mapa de Aptidão do PERS-RS - Consórcio.



(fonte: Adaptado do PSMB de Arvorezinha, PMSB de Espumoso e PMSB de Marau, 2018)

A análise multicritério para o consórcio intermunicipal proposto mostra que os municípios do consórcio (Arvorezinha, Soledade, Marau e Espumoso) possuem a maior parte de suas áreas classificadas como locais sem aptidão para a instalação de aterros sanitários, conforme mostra a Tabela 20.

Tabela 20 - Áreas por classe de aptidão - Consórcio

Classe	Área (km ²)	%
Sem Aptidão	1151,22	39,87%
Baixa Aptidão	9,43	0,33%
Média/Baixa Aptidão	78,06	2,70%
Média Aptidão	370,92	12,85%
Média/Alta Aptidão	941,72	32,61%
Alta Aptidão	336,28	11,65%

(fonte: Autora)

Os quatro municípios analisados possuem uma população maior do que a média de população dos 28 municípios avaliados, e possuem a maior parte de seus habitantes vivendo nas zonas urbanas. Assim, as manchas urbanas possuem áreas consideravelmente maiores que nos outros casos estudados, aumentando as zonas de restrições. A grande quantidade de recursos hídricos na região, que inclui importantes cursos d'água como o Rio Jacuí, o Rio Guaporé, o Rio Forqueta e o Arroio Marau, entre outros rios e arroios das Bacias Hidrográficas do Jacuí e do Taquari-Antas, também aumenta as faixas de restrições ambientais. Além disso, a existência de um sistema viário mais completo, que inclui a BR 386, a RS 332, a RS 153 e a RS324, estabelece mais áreas inaptas no limite considerado para rodovias.

No município de Arvorezinha também existe uma faixa restritiva caracterizada pela zona núcleo da reserva da biosfera.

A segunda classe de aptidão mais encontrada no consórcio proposto é a classe de média/alta aptidão. Isso se deve principalmente pelo fator de aptidão natural dos solos, que indica cerca de 60% do solo como caracterizado por alta resistência a impactos ambientais. Além disso, por existirem mais manchas urbanas na região, o resultado da função de distância de núcleos urbanos mostra várias áreas dentro do patamar ótimo de distanciamento. Em adição, o uso do solo mostra-se predominantemente para fins agrícolas e pastagem, com poucas áreas caracterizadas por mata nativa.

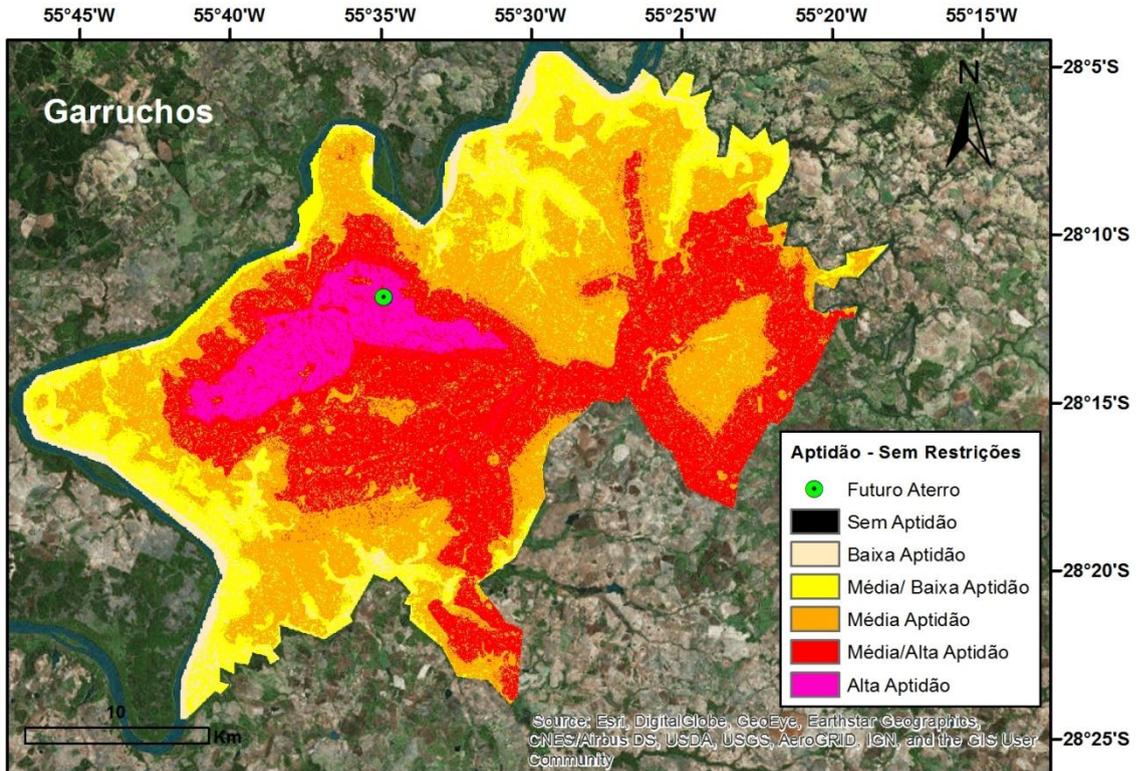
As áreas de menor aptidão encontram-se mais concentradas nos locais em que coincidem os fatores de declividade maior que 100%, de solos de resistência muito baixa, e de existência de mata nativa. Essas áreas de menor potencial estão localizadas principalmente no município de Arvorezinha, e na porção sul do município de Soledade. Assim, os municípios de Marau e Espumoso podem ser vistos como locais preferenciais na escolha da instalação de um aterro intermunicipal.

O estudo do PERS-RS também resulta em uma grande parcela de áreas com "boa" aptidão, e a distribuição das zonas mais e menos aptas mostra-se semelhante ao do presente estudo, com exceção do município de Marau, na porção mais ao norte do mapa, que apresenta mais áreas de aptidão média/alta em comparação a quantidade de áreas "boas" do mapa do PERS-RS.

5.4.5 Garruchos

A Figura 24 e a Figura 25 mostram os mapas finais de aptidão do município de Garruchos, sem e com os critérios restritivos aplicados. A Figura 26 mostra o mapa de estudo do PERS-RS de áreas potencialmente favoráveis à destinação de resíduos sólidos do município de Garruchos.

Figura 24- Mapa final de áreas de aptidão sem restrições - Garruchos



(fonte: Autora)

Figura 25 – Mapa final de áreas de aptidão com restrições - Garruchos

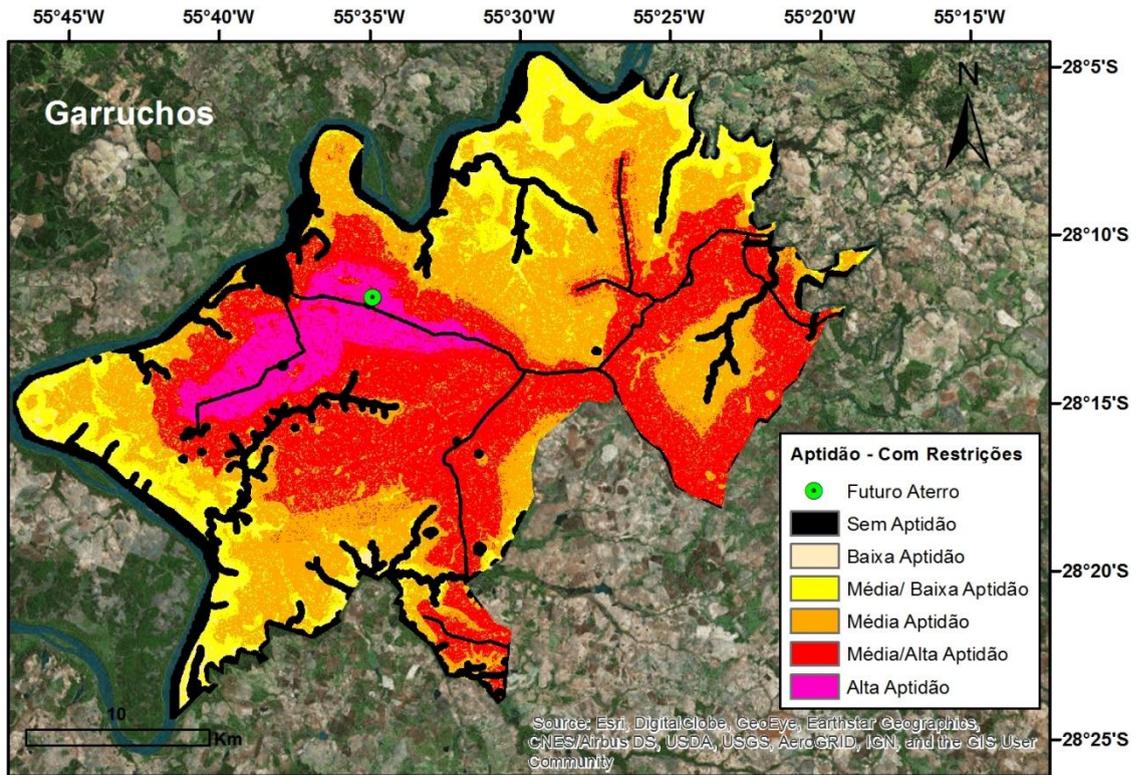
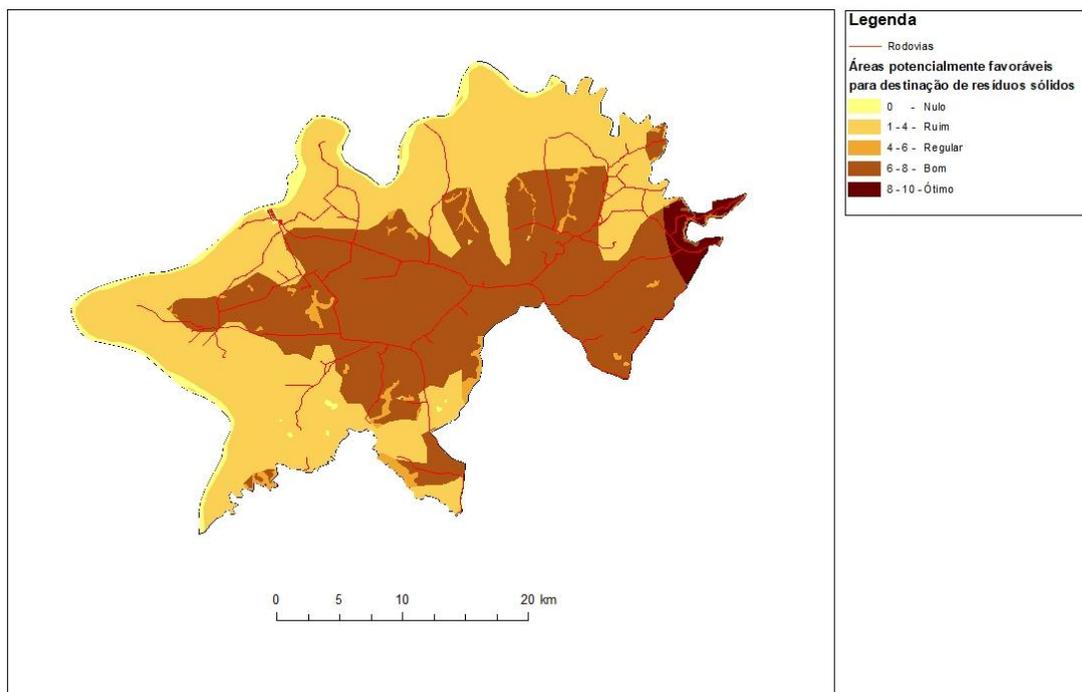


Figura 26- Mapa de aptidão do PERS-RS - Garruchos.



(fonte: PMSB do Município de Garruchos, 2018)

A análise multicritério para o município de Garruchos identificou que a classe de aptidão mais encontrada é a de média aptidão, caracterizada por cerca de 31,6% do total. Ainda assim, o município apresenta uma distribuição favorável, pois em torno de 35,4% da área total do município enquadra-se como classe de média/alta aptidão ou alta aptidão. A contabilidade da área total em km² para cada classe de aptidão encontra-se na Tabela 21.

Tabela 21- Áreas por classe de aptidão- Garruchos

Classe	Área (km ²)	%
Sem Aptidão	136,82	17,23%
Baixa Aptidão	11,18	1,41%
Média/Baixa Aptidão	113,42	14,28%
Média Aptidão	251,42	31,66%
Média/Alta Aptidão	238,21	29,99%
Alta Aptidão	43,15	5,43%

(fonte: Autora)

Uma das razões para a grande quantidade de áreas favoráveis ou medianamente favoráveis é a predominância de relevo com declividades entre 3% e 8%. Além disso, o solo na região é predominantemente utilizado para fins agrícolas ou para a pastagem, e a maior parcela do solo é classificada como de alta resistência a impactos ambientais.

Não são encontradas áreas a serem protegidas dentro dos limites municipais áreas, o que diminui a quantidade de áreas restritivas. A pouca quantidade de recursos hídricos perenes e de estradas também resulta em poucas restrições em relação a outros municípios.

As áreas de baixa aptidão encontram-se próximas às margens do Rio Uruguai e da fronteira com a Argentina. Isso se deve à proximidade de recursos hídricos, à parcela de solo da região, que é considerado como de resistência muito baixa, e à presença de mata nativa e rizicultura.

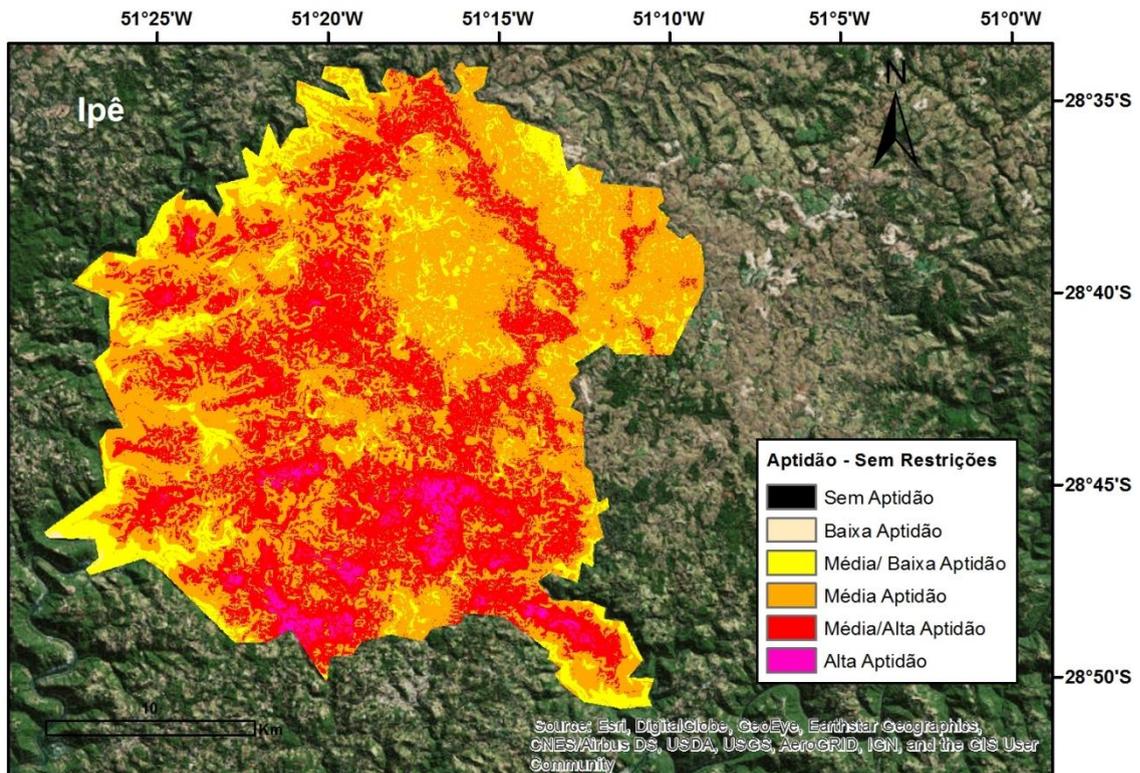
O terreno para a instalação do futuro aterro (localizado nas coordenadas 28°12'05.2'' sul e 55°34'46.7'' oeste) encontra-se em uma região de alta aptidão, segundo a metodologia aplicada. O aterro, se for construído, estará localizado dentro do patamar de potencial máximo em relação à distância de manchas urbanas e próximo à principal estrada, fatores que reduzirão consideravelmente os custos operacionais das atividades de transporte e destinação final de resíduos.

Em comparação ao estudo do PERS-RS, é possível observar que ambos possuem áreas mais aptas na região central do município, e áreas menos aptas próximas a fronteira com a Argentina. A maior diferença entre os mapas é observada em relação a localização da área de aptidão mais alta. Isso se deve provavelmente ao fato de que a identificação de áreas favoráveis do PERS-RS utiliza um número menor de critérios para a sua definição, e principalmente por utilizar os fatores da presença de manchas urbanas e de rodovias como critérios complementares, enquanto o presente trabalho coloca os mesmos critérios com importância mais alta.

5.4.6 Ipê

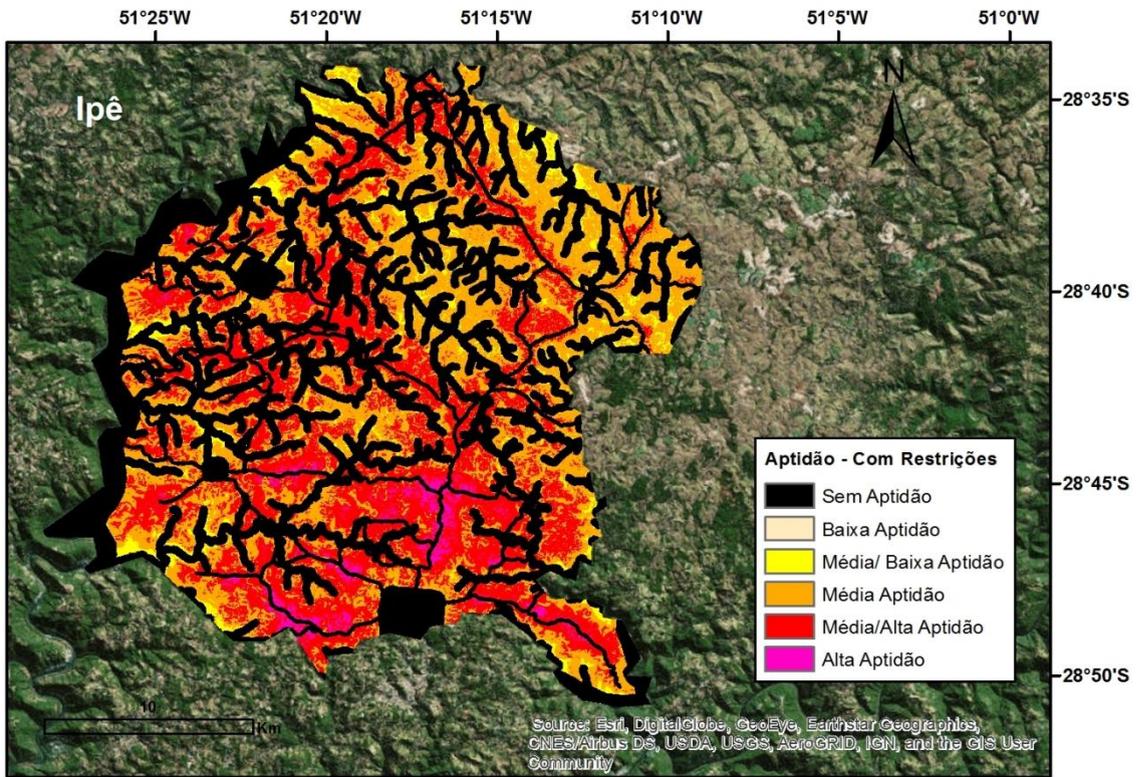
A Figura 27 e a Figura 28 mostram os mapas finais de aptidão do município de Ipê, sem e com os critérios restritivos aplicados. A Figura 26 mostra o mapa de estudo do PERS-RS de áreas potencialmente favoráveis à destinação de resíduos sólidos do município de Ipê.

Figura 27 - Mapa final de aptidão sem restrições - Ipê.



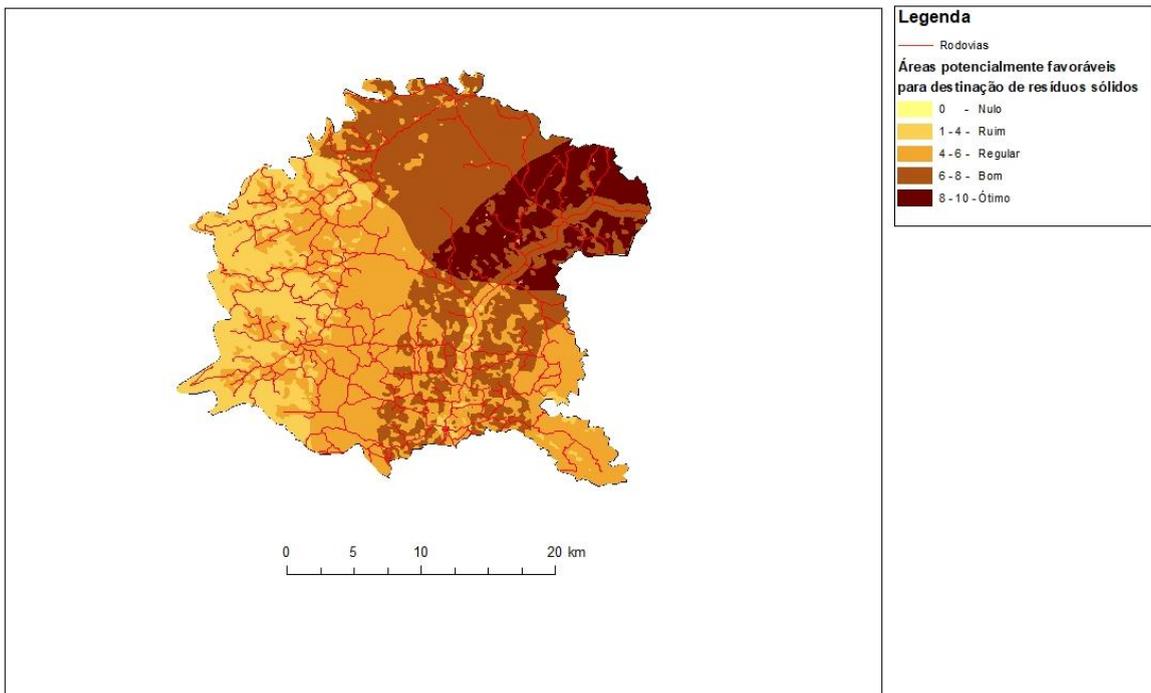
(fonte: Autora)

Figura 28 - Mapa final de aptidão com restrições - Ipê



(fonte: Autora)

Figura 29 - Mapa de Aptidão PERS-RS - Ipê



(fonte: PMSB do Município de Ipê,2018)

A análise multicritério para Ipê mostra que o município possui a maior parte de sua área classificada como locais sem aptidão para a instalação de aterros sanitários, conforme mostra a Tabela 22.

Tabela 22 - Áreas por classe de aptidão - Ipê

Classe	Área (km ²)	%
Sem Aptidão	275,86	46,20%
Baixa Aptidão	0,04	0,01%
Média/Baixa Aptidão	18,77	3,14%
Média Aptidão	156,57	26,22%
Média/Alta Aptidão	137,78	23,07%
Alta Aptidão	8,11	1,36%

(fonte: Autora)

A grande quantidade de recursos hídricos dentro dos limites do município, que inclui o Rio Turvo e o Rio da Telha, entre outros rios e cursos d'água da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas, faz com que sejam estabelecidas muitas faixas de restrições. Além disso, Ipê possui uma grande faixa restritiva à oeste, na fronteira com os municípios de Protásio Alves e André da Rocha, caracterizada pela zona núcleo da reserva da biosfera.

A segunda maior classe encontrada é a de média aptidão, e apenas 1,36% da área do município é caracterizada como de alta aptidão. Isso se deve principalmente ao fato de que Ipê possui um relevo ondulado, com declividade média de aproximadamente 17,60%. Além disso, grande parte do solo do município é caracterizada como de baixa ou muito baixa resistência aos impactos ambientais. A soma desses dois fatores resultaria em uma classificação predominante de média/baixa e baixa aptidão, contudo, o mapa de uso do solo faz com que a maioria dos valores continuem medianos pois grande parte da área é utilizada para fins agrícolas e pastagem.

É possível observar que as áreas de baixa aptidão coincidem com as áreas em que a declividade é muito alta, atingindo valores maiores que 100%, e com as áreas de mata nativa. As poucas manchas de alta aptidão encontradas no mapa encontram-se no patamar de aptidão máxima do fator de distâncias de manchas urbanas, e próximas às estradas vicinais e à rodovia estadual RS 122.

A maior semelhança entre o mapa do PERS-RS e do presente trabalho encontra-se na localização das áreas menos aptas dentro do município, situadas próximas ao Rio Turvo, onde se encontra a porção de solo com menor resistência a impactos ambientais. Já as áreas de alta

aptidão encontram-se em posições diferentes nos mapas, mostrando mais uma vez que a aplicação de diferentes fatores e diferentes ponderações alteram os resultados finais de uma análise multicritério.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A organização de dados atualizados sobre a gestão de resíduos nos municípios é fundamental para que possam ser prestados serviços de qualidade. No decorrer deste trabalho, observou-se que muitos municípios ainda não possuem um sistema de informações estruturado, o que ocasiona a falta de subsídios para um planejamento adequado. Inicialmente, a ideia do trabalho era avaliar outros índices além dos que foram propostos, que incluíssem o valor das receitas arrecadadas por cada município, e a quantidade de resíduos coletada. Contudo, esses valores não foram fornecidos por todos os participantes do TED FUNASA 02/2015, e muitos campos de dados informativos do SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento) estão incompletos. Assim, a criação de uma ferramenta como o Sistema de Informações Municipais sobre Saneamento (SIMS), conforme é previsto nos PMSB e no Termo de Referência da FUNASA, é de extrema importância para servir como base para a implantação de novos programas e projetos que visem a melhoria, não somente das atividades de manejo de resíduos, mas também dos outros eixos do saneamento.

O levantamento de informações mostrou que os municípios de pequeno porte enfrentam dificuldades financeiras e operacionais para seguir as diretrizes da PNRS. Uma de suas metas, ainda pouco empregada, é a implantação de coleta seletiva universal, que propicie a valoração dos resíduos através da geração de renda e trabalho, e fomenta a preservação do meio ambiente, reduzindo a quantidade de RSU encaminhados aos aterros sanitários por meio de processos de reaproveitamento.

As condições atuais de destinação final de resíduos dos municípios de Garruchos e Chuí devem ser reconfiguradas o quanto antes, pois a situação irregular de lixões prevê processos jurídicos por crime ambiental. Quanto à destinação final dos RSU dos outros municípios de estudo, também vale a pena estudar a viabilidade de novas alternativas de disposição que sejam mais sustentáveis.

Acredita-se que a estruturação de opções de disposição final locais, de menor porte, que requeiram menores rotas, causem menos impactos ambientais e financeiros, e que a existência de um aterro sanitário no município ou próximo a ele, atrelada a programas de educação ambiental, pode despertar mais consciência da população em relação à importância da diminuição na geração de resíduos, da separação na fonte, da reciclagem e da compostagem, para que apenas aquilo que é rejeito seja destinado a esses locais. Além disso, soluções integradas de gestão,

como é o caso dos consórcios públicos, recebem incentivo da PNRS, e podem promover o desenvolvimento da economia regional.

O emprego de geoprocessamento no auxílio de tomadas de decisão para verificar alternativas como essas, mostrou-se uma ferramenta útil e rápida, que utiliza poucos recursos. Esse tipo de abordagem permite racionalizar recursos financeiros e optar por novos cenários mais adequados do ponto de vista operacional e técnico.

Foram encontrados apenas alguns pontos compatíveis entre os resultados da metodologia utilizada para a avaliação de áreas de aptidão e a metodologia do PERS-RS. Ambas não se caracterizam por estudos restritivos, e sim de orientação. A utilização de sete fatores neste trabalho, quatro a mais do que o estudo do PERS-RS, e a utilização de diferentes importâncias para cada mapa, fez com que os resultados fossem diferentes. Isso mostra que a análise multicritério por geoprocessamento pode resultar em produtos bastante distintos, dependendo da quantidade de fatores e critérios analisados, de como eles são padronizados, e de como eles são ponderados dentro de cada estudo.

De maneira geral, o mapa do PERS mostra quais áreas são mais aptas dentro do estado do Rio Grande do Sul, resultando em uma proposta de macrolocalização de áreas potencialmente favoráveis para implantação de aterros sanitários. Os critérios aplicados apontam para uma grande disponibilidade de áreas com potencial bom ou ótimo nas mesorregiões Noroeste e Nordeste do Estado. Já as mesorregiões Sudeste e Sudoeste apresentaram pouca disponibilidade de áreas com potencial ótimo, onde a principal característica que as diferencia é a aptidão natural dos solos. Assim, é perceptível que o estudo da PERS-RS é muito útil para subsidiar propostas de unidades regionalizadas preferenciais, sob uma visão geral do estado do Rio Grande do Sul.

Já a metodologia utilizada nesta pesquisa pretendeu avaliar quais áreas são mais ou menos aptas dentro dos limites do próprio município ou de vizinhos a ele, considerando que provavelmente seja inviável financeiramente e tecnicamente para aqueles mais afastados levarem seus resíduos até os locais considerados ótimos dentro do estado. É o caso principalmente de Chuí, que segundo a metodologia da PERS-RS, não possui áreas aptas para a destinação de resíduos devido às condições de seu solo, mas é um município muito distante das áreas consideradas ótimas. Uma das soluções para esses casos, é avaliar locais mais adequados dentro do próprio município, como é feito neste trabalho, juntamente com o cuidado de projetar todas as medidas necessárias para que o aterro sanitário tenha componentes que mitiguem os impactos ambientais provenientes de sua atividade.

Assim, os resultados deste trabalho podem ser utilizados como ferramenta adicional de planejamento municipal na avaliação preliminar para a implantação de aterros sanitários.

7 RECOMENDAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho utilizou informações dos PMSB dos municípios participantes do TED 02 /2015 para avaliar a forma com que é realizado o manejo de RSU nestes locais, e propor alternativas de disposição final através de um estudo de áreas de aptidão. A gama de dados contida nos planos, bem como de problemas enfrentados pelos municípios, propicia oportunidades para outros estudos na área do saneamento que visem a universalização de serviços de qualidade e novos métodos de gestão. Destaca-se aqui a problemática da falta de compromisso com o reaproveitamento dos resíduos, tema que pode ser melhor explorado em outras oportunidades.

Em relação ao trabalho com geoprocessamento, conforme mostrado nas considerações finais, os procedimentos metodológicos utilizados resultaram em produtos distintos dos da metodologia aplicada no PERS-RS, mostrando que a mudança na regra de decisão estabelecida altera a configuração final dos mapas. Assim, o assunto de determinação de locais apropriados à implantação de unidades de disposição final não se esgota, e outras metodologias podem ser testadas. Alguns exemplos são a utilização do critério de profundidade de lençol freático e de presença de falhas geológicas, que não foram utilizados neste estudo devido à baixa resolução ou à pequena escala dos mapas base disponíveis, mas que se caracterizam como restrições importantes para garantir a preservação das águas subterrâneas do local de implantação do aterro. Outro critério que pode ser avaliado é o raio mínimo de distanciamento de aeródromos.

Uma limitação comum em trabalhos que utilizam SIG é o detalhamento dos dados disponíveis. As escalas utilizadas neste trabalho são bastante distintas, e longe de serem ideais para avaliações territoriais municipais. Dessa forma, para um trabalho futuro, seria interessante a utilização de dados com escalas maiores, que aumentassem o grau de precisão da localização espacial das informações geradas.

Por fim, apesar da importância de análises espaciais nas etapas de planejamento, a implantação de um aterro municipal ou intermunicipal requer outros tipos de estudo, que podem ser realizados em pesquisas futuras, como é o caso de projetos de viabilidade financeira, de dimensionamento do aterro e de unidades de processos de reaproveitamento de resíduos.

8 REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo, 2016.

ALVES, S. "A matemática do GPS." **Revista do Professor de Matemática**, Nº59, p.17-26, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2016**. São Paulo: ABRELPE, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13896: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos Sólidos- Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15849: Resíduos sólidos urbanos - Aterros sanitários de pequeno porte**. Rio de Janeiro, 2010.

BELLEZONI, R.A.; IWAI, C.K.; ELIS, W.; PAGANINI, W. da S.; HAMADA, J. **Investigação de um aterro sanitário de pequeno porte do estado de São Paulo e aspectos normativos**. 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES. Porto Alegre, 2011.

BORN, V. **Avaliação da aptidão de áreas para a instalação de aterro sanitário com o uso de ferramentas de apoio à decisão por múltiplos critérios**. Trabalho de Conclusão de Curso. UNIVATES, Lajeado, 2014.

BRASIL. **Lei nº 2.312, de 3 de setembro de 1954**. Normas Gerais sobre Defesa e Proteção da Saúde. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/L2312.htm>. Acesso em: 17 out.2017.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm>. Acesso em: 17 out.2017.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília. Senado Federal, 1988.

BRASIL. **Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9605.htm>. Acesso em: 17 out.2017.

BRASIL. **Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999**. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9795.htm>. Acesso em: 17 out.2017.

BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001.** Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal e estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10257.htm>. Acesso em: 18 out.2017.

BRASIL. **Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005.** Dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos e dá outras providências. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/111107.htm> Acesso em:18 out.2017.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007.** Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm>. Acesso em:19 out.2017.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>>. Acesso em:19 out.2017.

BRASIL. **Decreto 8.629, de 30 de dezembro de 2015.** Altera o Decreto nº 7.217, de 21 de junho de 2010, que regulamenta a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2015/Decreto/D8629.htm>. Acesso em:15 out.2017.

BRASIL. Ministério de Estado do Interior. **Portaria MINTER nº 53, de 1º de março de 1979.**

BRASIL. Ministério de Estado do Interior. **Portaria MINTER nº124, de 20 de agosto de 1980.**

BROLLO, M. J.; SILVA, M. M. **Política e gestão ambiental em resíduos sólidos. Revisão e análise sobre a atual situação no Brasil.** 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001.

BURROUGH, P.A.; MCDONNELL, R.A. **Principles of GIS.** Oxford University Press: London, UK, 1998.

CALIJURI, M.L. **Treinamento em Sistemas de Informações Geográficas.** Viçosa/MG. Universidade Federal de Viçosa, 2000.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. **Introdução ao geoprocessamento.** Fundamentos de Geoprocessamento. INPE. São José dos Campos, 2001.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M.V. **Conceitos Básicos em Ciência da Geoinformação.** Fundamentos de Geoprocessamento. INPE. São José dos Campos, 2001.

CARVALHO, E.A.de.; ARAÚJO, P.C.de. **Cartografia aplicada ao ensino da Geografia. Leituras Cartográficas e Interpretações Estatísticas I.** p. 1-10,2008.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO URBANO DO ESTADO DA BAHIA. Projeto, **concepção e manual de operação de aterros sanitários manuais - modelo CONDER**. Salvador, 2002.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL-CETESB. **Aterros Sanitários em Valas. Apostilas Ambientais. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1997.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Manual de Operação de Aterro Sanitário em Valas Aterros Sanitários em Valas. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo**. São Paulo, 2010

CPRM - Serviço Geológico do Brasil- **Mapa Hidrogeológico do Brasil ao Milionésimo**. Organizadores: Diniz, J.A.O; Monteiro, A.B; De Paula, T.L.F; Silva, R.C, Recife, 2014.

CPRM-Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Geodiversidade do Brasil**, escala 1: 2.500. 000. ,2006.

D'ALGE, J.C.L. **Cartografia para geoprocessamento. Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, p. 32, 2001.

DAVIS, B.E. **GIS: A visual approach**. Cengage Learning, 2001.

DUCATTI, A. **Análise da fragmentação florestal da bacia hidrográfica do Rio Forqueta entre os anos de 1989 e 2008 e simulação dinâmica da paisagem para 2018**. Dissertação de Mestrado. UNIVATES, Lajeado,2010.

EASTMAN, J. R. **Idrisi for Windows: introdução e exercícios tutoriais**. Heinrich Hasenack e Eliseu Weber. UFRGS, Centro de Recursos Idrisi, Porto Alegre, Brasil, 1998.

EASTMAN, J. R. (2015). **TerrSet Tutorial**. Clark Labs, Clark University: Worcester, MA, United States, 2015.

ESRI (2015). **ArcGIS Tutorials-ArcGIS 10.3**. Disponível em <<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/main/get-started/arcgis-tutorials.htm> >. Acesso em: 15 jan.2018.

FAN, Ying; LI, H.; MIGUEZ-MACHO, Gonzalo. **Global patterns of groundwater table depth**. Science, v. 339, n. 6122, p. 940-943, 2013.

FARR, T. G., et al. (2007), **The Shuttle Radar Topography Mission**, Rev. Geophys., 45, RG2004, doi:10.1029/2005RG000183.

FELICORI, T. D. C., MARQUES, E. A. G., SILVA, T. Q., PORTO, B. B., BRAVIN, T. C., SANTOS K. M. C. (2016). **Identificação de áreas adequadas para a construção de aterros sanitários e usinas de triagem e compostagem na mesorregião da Zona da Mata**, Minas Gerais. Eng Sanit Ambient, 21(3), 547-560.

FEPAM (2001) - FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIS ROESSLER. **Mapa de Classificação dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul quanto à Resistência a Impactos Ambientais**. Porto Alegre: FEPAM. 13 p. (n.publ.) Relatório final de consultoria elaborado por Nestor Kämpf. Mapa em meio digital, 2001.

FEPAM (2001) - FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIS ROESSLER. **DIRETRIZ TÉCNICA Nº. 04/2017. Diretriz técnica para o licenciamento ambiental da atividade de disposição final de resíduos sólidos urbanos**. Porto Alegre, 2017.

FITZ, P.R. **Cartografia básica 1.ed.** Oficina de Textos, 2008.

FIUZA, JM de S.; FONTES, M.T; CRUZ, C.S. **Nova tendência de disposição final de resíduos sólidos no estado da Bahia: Aterro Sanitário Simplificado**. Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária, p-1-6, 2002.

FRANCELINO, M.R. **Introdução ao Geoprocessamento**. Caratinga: Centro, 2003.

FUNASA. **Termo de Referência para Elaboração de Planos Municipais de Saneamento Básico**. Brasília, 2012.

FUNASA. **Política e Plano Municipal de Saneamento Básico**. Brasília, 2014.

GEHLING, G.R. **Notas de Aula. Módulo I: IPH 026-A, Gerenciamento de Resíduos Sólidos**. UFRGS, Porto Alegre, 2017. Disponível em < http://www.avasan.com.br/notas_aula026.html>. Acesso em: 08.ago.2017

GOMES, L. P., COELHO, O. W., ERBA, D. A., VERONEZ, M. (2001). Critérios de seleção de áreas para disposição final de resíduos sólidos. Andreoli, CV Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final, 145-163. **Critérios de seleção de áreas para disposição final de resíduos sólidos**. Andreoli, CV Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final, p. 145-163, 2001.

GOMES, L. P.; MARTINS, F. B. **Projeto, implantação e operação de aterros sustentáveis de resíduos sólidos urbanos para municípios de pequeno porte**. CASTILHOS JUNIOR, A. B. Projeto, implantação e operação de aterros sustentáveis de resíduos sólidos urbanos para municípios de pequeno porte. Rio de Janeiro, ABES, Projeto PROSAB, 2003.

GUIMARÃES, L. T. **Utilização do Sistema de Informação Geográfica (SIG) para identificação de áreas potenciais para disposição de resíduos na Bacia do Paquequer, município de Teresópolis**. Dissertação (M.S.). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

HASENACK, H.; WEBER, E.(org.) **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000**. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM. (Série Geoprocessamento n.3). ISBN 978-85-63483-00-5 (livreto) e ISBN 978-85-63843-01-2 (DVD).

IBGE, I. B. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística–IBGE, 2008.

IBGE (2015) - **Base cartográfica digital do Brasil**, 2015.

IBGE, I. B. **Malha Municipal 2015- RS**. Bases Cartográficas, Malhas Digitais, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística–IBGE 2015.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado** 2ª Edição. São Paulo: IPT, CEMPRE, 2000.

KÄMPF, N. et al. **Metodologia para classificação de solos quanto à resistência a impactos ambientais decorrentes da disposição final de resíduos**. Fepam em Revista, Porto Alegre, v. 2, n.1, p.11-17, 2008.

LANZA, V.C.V; CARVALHO A.L. de. **Orientações Básicas para a operação de aterro sanitário**. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte, FEAM,2006.

LIMA, G. S. **Seleção de áreas para implantação de aterros sanitários: uma proposta baseada na análise do valor e lógica fuzzy**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil com ênfase em Geotecnia, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1999.

LUPATINI, G. **Desenvolvimento de um Sistema de Apoio à Decisão em Escolha de Áreas para Aterros Sanitários**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Sanitária Ambiental. PPGA, UFSC. 2002.

MELO, A.L.O de. **Avaliação e seleção de área para implantação de aterro sanitário utilizando lógica fuzzy e análise multicritério: uma proposta metodológica. Aplicação ao município de Cachoeiro de Itapemirim**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

MENDES, C.A.B; CIRILO, J.A. **Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação**. ABRH, 2001.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: Descrição, Fundamentos e Aplicações**. São Paulo: Ed. UNESP, 2000.

MONTEIRO, J.H.P. [ET AL.]; Coordenação técnica Victor Zular Zveibil. **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro, 2001.

MOURA, A. C. M. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. A Autora, 2003.

NASCIMENTO, V.F. **Proposta para indicação de áreas para a implantação de aterro sanitário no município de Bauru-SP, utilizando análise multicritério de decisão e técnicas de geoprocessamento**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2012.

NARUO, M. K. **O estudo do consórcio entre municípios de pequeno porte para disposição final de resíduos sólidos urbanos utilizando Sistemas de Informação Geográficas**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil com ênfase em Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

PESSIN, N.; SILVA, A. R.; DE CONTO, S. M.; PANATOTTO, T. P.; BEAL, L. L. **Concepção e implantação de células piloto de aterramento de resíduos sólidos**. In: Alternativas de disposição de resíduos sólidos urbanos para pequenas comunidades. Trabalho Técnico. Florianópolis, PROSAB, 2002.

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

PREFEITURA MUNICIPAL DE ARAMBÁRE (2018). **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Arambaré**. Projeto FUNASA TED 02/2015. Equipe SASB-IPH/UFRGS. Em elaboração.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ARVOREZINHA (2018). **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Arvorezinha**. Projeto FUNASA TED 02/2015. Equipe SASB-IPH/UFRGS. Em elaboração.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ÁUREA (2018). **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Áurea**. Projeto FUNASA TED 02/2015. Equipe SASB-IPH/UFRGS. Em elaboração.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CHUÍ (2018). **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Chuí**. Projeto FUNASA TED 02/2015. Equipe SASB-IPH/UFRGS. Em elaboração.

PREFEITURA MUNICIPAL DE DOIS LAJEADOS (2018). **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Dois Lajeados**. Projeto FUNASA TED 02/2015. Equipe SASB-IPH/UFRGS. Em elaboração.

PREFEITURA MUNICIPAL DE DOM PEDRO DE ALCÂNTARA (2018). **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Dom Pedro de Alcântara**. Projeto FUNASA TED 02/2015. Equipe SASB-IPH/UFRGS. Em elaboração.

PREFEITURA MUNICIPAL DE DONA FRANCISCA (2018). **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Dona Francisca**. Projeto FUNASA TED 02/2015. Equipe SASB-IPH/UFRGS. Em elaboração.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ESPUMOSO (2018). **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Espumoso**. Projeto FUNASA TED 02/2015. Equipe SASB-IPH/UFRGS. Em elaboração.

PREFEITURA MUNICIPAL DE GARRUCHOS (2018). **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Garruchos**. Projeto FUNASA TED 02/2015. Equipe SASB-IPH/UFRGS. Em elaboração.

PREFEITURA MUNICIPAL DE HERVAL (2018). **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Herval**. Projeto FUNASA TED 02/2015. Equipe SASB-IPH/UFRGS. Em elaboração.

PREFEITURA MUNICIPAL DE HORIZONTINA (2018). **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Horizontina**. Projeto FUNASA TED 02/2015. Equipe SASB-IPH/UFRGS. Em elaboração.

PREFEITURA MUNICIPAL DE HULHA NEGRA (2018). **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Hulha Negra**. Projeto FUNASA TED 02/2015. Equipe SASB-IPH/UFRGS. Em elaboração.

PREFEITURA MUNICIPAL DE IPÊ (2018). **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Ipê.** Projeto FUNASA TED 02/2015. Equipe SASB-IPH/UFRGS. Em elaboração.

PREFEITURA MUNICIPAL DE IRAÍ (2018). **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Iraí.** Projeto FUNASA TED 02/2015. Equipe SASB-IPH/UFRGS. Em elaboração.

PREFEITURA MUNICIPAL DE LAJEADO DO BUGRE (2018). **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Lajeado do Bugre.** Projeto FUNASA TED 02/2015. Equipe SASB-IPH/UFRGS. Em elaboração.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MARAU (2018). **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Marau.** Projeto FUNASA TED 02/2015. Equipe SASB-IPH/UFRGS. Em elaboração.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MINAS DO LEÃO (2018). **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Minas do Leão.** Projeto FUNASA TED 02/2015. Equipe SASB-IPH/UFRGS. Em elaboração.

PREFEITURA MUNICIPAL DE NOVO XINGU (2018). **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Novo Xingu.** Projeto FUNASA TED 02/2015. Equipe SASB-IPH/UFRGS. Em elaboração.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PALMEIRA DAS MISSÕES (2018). **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Palmeira das Missões.** Projeto FUNASA TED 02/2015. Equipe SASB-IPH/UFRGS. Em elaboração.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PANTANO GRANDE (2018). **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Pantano Grande.** Projeto FUNASA TED 02/2015. Equipe SASB-IPH/UFRGS. Em elaboração.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PEDRAS ALTAS (2018). **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Pedras Altas.** Projeto FUNASA TED 02/2015. Equipe SASB-IPH/UFRGS. Em elaboração.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO VERA CRUZ (2018). **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Porto Vera Cruz.** Projeto FUNASA TED 02/2015. Equipe SASB-IPH/UFRGS. Em elaboração.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ROCA SALES (2018). **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Roca Sales.** Projeto FUNASA TED 02/2015. Equipe SASB-IPH/UFRGS. Em elaboração.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SALVADOR DAS MISSÕES (2018). **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Salvador das Missões.** Projeto FUNASA TED 02/2015. Equipe SASB-IPH/UFRGS. Em elaboração.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA MARGARIDA DO SUL (2018). **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Santa Margarida do Sul.** Projeto FUNASA TED 02/2015. Equipe SASB-IPH/UFRGS. Em elaboração.

- PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO JOSÉ DAS MISSÕES (2018). **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de São José das Missões**. Projeto FUNASA TED 02/2015. Equipe SASB-IPH/UFRGS. Em elaboração.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PEDRO DAS MISSÕES (2018). **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de São Pedro das Missões**. Projeto FUNASA TED 02/2015. Equipe SASB-IPH/UFRGS. Em elaboração.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE VISTA ALEGRE (2018). **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Vista Alegre**. Projeto FUNASA TED 02/2015. Equipe SASB-IPH/UFRGS. Em elaboração.
- PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO (PROSAB). **Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte**. Rio de Janeiro: ABES, Rima, 2003.
- RAMALHO FILHO, A; BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS,1995.
- RAMOS, C. **Utilização de técnicas de geoprocessamento para otimização de traçados em empreendimentos lineares**. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Civil. UFRGS. Porto Alegre, 2009.
- RIO GRANDE DO SUL. ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA. **Lei nº 9.921, de 27 julho de 1993**. Dispõe sobre a gestão dos resíduos sólidos, nos termos do artigo 247, parágrafo 3º, da Constituição do Estado e dá outras providências. Disponível em <<http://www.al.rs.gov.br/legiscomp/arquivo.asp?idNorma=465&tipo=pdf>>. Acesso em: 20 out.2017.
- ROSA, R. **Geotecnologias na geografia aplicada**. Revista do Departamento de Geografia, v. 16, p.81-90, 2005.
- SANTOS, S.M; PINA, M.F; CARVALHO, M.S. **Os Sistemas de Informações Geográficas. In Conceitos Básicos de Informações Geográficas Aplicados à Saúde**. 1.ed. Brasília: Organização Panamericana de Saúde; Ministério da Saúde, 2000.
- SARRAIPA, LA dos S. **Banco de dados georreferenciado para zoneamento edafoclimático do estado de São Paulo**. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical). Área de Concentração Gestão de Recursos Ambientais, Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas,2003.
- SAUSMIKAT, G; ALMEIDA, M. G. **Modelagem para detecção de bordas em imagens digitais usando Wavelets e lógica Fuzzy bidimensionais**. Educação & Tecnologia, v. 10, n. 2, 2005.
- SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos do RS**. 2014
- SILVA, J.X. da. **Geoprocessamento para análise Ambiental**. Rio de Janeiro, 2001.

SOUZA, F.C.B. **Sistemas de Apoio à Decisão em Ambiente espacial aplicado em um estudo de caso de avaliação de áreas destinadas para a disposição de resíduos sólidos na região metropolitana de Porto Alegre.** Tese de Doutorado em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

TESKE, F. F; MAESTRI, A.B; TEJADAS, B. E; WARTCHOW, D. **Avaliação dos custos dos serviços do manejo de resíduos sólidos domiciliares de 21 municípios do Rio Grande do Sul.** 48º Congresso Nacional de Saneamento ASSEMAE. Fortaleza, 2018

TSUHAKO, E. M. **Seleção Preliminar de Locais Potenciais à Implantação de Aterro Sanitário na Sub-Bacia de Itupararanga (Bacia do Rio Sorocaba e Médio Tietê).** Mestrado (Dissertação). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, 2004.

UFRGS-IB-Centro de Ecologia. **Mapeamento da cobertura vegetal do Bioma Pampa: Ano-base 2009.** Porto Alegre: UFRGS-IB-Centro de Ecologia. 2016.

VIEIRA, S.J. **Seleção de áreas para o sistema de tratamento e disposição final dos resíduos sólidos de Florianópolis/SC,** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. 1999.

WAQUIL, D. R. D., RODRIGUES, A. L. M., ANGHINONI, M. D. C. M., & ORLANDI FILHO, V. **Seleção de áreas para tratamento e disposição final de resíduos sólidos na região metropolitana de Porto Alegre, RS.** CPRM, 1998.

WEBER, E.; HASENACK, H. **Avaliação de áreas para instalação de aterro sanitário através de análises em SIG com classificação contínua dos dados.** Porto Alegre: UFRGS, 2000.

ZANTA, V.M.; FERREIRA, C.F.A. **Gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos.** In: Castilhos Júnior, A. B. (org.). Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte. Rio de Janeiro. Rima: ABES, 2003.

ANEXO A – Levantamento de Informações

Tabela 23- Informações sobre o gerenciamento de resíduos sólidos dos municípios de estudo - Parte I

INFORMAÇÃO	Arambaré	Arvorezinha	Áurea	Chuí	Dois Lajeados	Dom Pedro de Alcântara	Dona Francisca	Espumoso
População (Censo 2010)	3693	10225	3665	5917	3278	2550	3401	15240
População estimada (IBGE,2017)	3748	10614	3718	6456	3430	2617	3331	15843
Proporção da população residente na zona urbana (Censo 2010)	79%	61%	42%	96%	48%	29%	63%	73%
Proporção da população residente na zona rural (Censo 2010)	21%	39%	58%	4%	52%	71%	37%	27%
Geração per capita (kg/hab.dia)	0,61	0,7	0,7	1,03	0,37	Não informado	0,3	0,73
Tipo de coleta na zona urbana	Não seletiva	Seletiva	Seletiva	Não seletiva	Seletiva	Seletiva	Não seletiva	Seletiva
Frequência da coleta na zona urbana	3dias/semana	5dias/semana	3dias/semana	diariamente	4dias/semana	3dias/semana	3dias/semana	6dias/semana
Responsável pela coleta na zona urbana	Empresa privada	Empresa privada	Empresa privada	Município	Empresa privada e Município	Município	Município	Empresa privada
Tipo de coleta na zona rural	Não seletiva	Seletiva (só seco)	Seletiva (só seco)	Não seletiva	Seletiva (só seco)	Seletiva	Não seletiva	Seletiva
Frequência da coleta na zona rural	2 a 1dias/semana	1dia/mês	Bimestralmente	2dias/semana	3dias/ano	3dias/semana	2dias/mês	1dia/15 dias
Responsável pela coleta na zona rural	Empresa privada	Empresa privada	Empresa privada	Município	Empresa privada	Município	Município	Município
Quantidade total de RDO coletado (ton/ano)	1368	1560	468	2304	450	54	360	3102,5
Tipo de disposição final	Aterro sanitário privado	Aterro sanitário privado	Aterro sanitário privado	Lixão	Aterro sanitário privado	Aterro sanitário privado	Aterro sanitário privado	Aterro sanitário privado
Localização da disposição final de RSU	Minas do Leão	Minas do Leão	Minas do Leão	Chuí	Serafina Corrêa	Içara	Santa Maria	Minas do Leão
Distância de transporte até a destinação final dos RSU (km)	155	262	381	-	31,1	107	63,8	260
Despesas com coleta, transporte e disposição final de RSU	R\$ 391.996,27	R\$ 585.600,00	R\$ 158.691,86	R\$ 720.000,00	R\$ 120.267,24	R\$ 36.000,00	R\$ 144.000,00	R\$ 932.502,00
Receita arrecadada com taxas e tarifas referentes à gestão e manejo de RSU	R\$ 114.793,53	R\$ 260.723,33	R\$ 62.004,64	R\$ 304.275,20	R\$ 32.457,10	R\$ 14.773,44	R\$ 22.757,56	Não informado
População atendida pelos serviços (2017)	3748	6512	1559	6456	1637	2617	2102	11571
Custo anual/ População Atendida	R\$ 104,59	R\$ 89,93	R\$ 101,78	R\$ 111,52	R\$ 73,49	R\$ 13,76	R\$ 68,51	R\$ 80,59

Tabela 24 - Informações sobre o gerenciamento de resíduos sólidos dos municípios de estudo - Parte II

INFORMAÇÃO	Garruchos	Herval	Horizontina	Hulha Negra	Ipê	Iraí	Lajeado do Bugre
População (Censo 2010)	3234	6753	18348	6043	6016	8078	2487
População estimada (IBGE,2017)	3182	6980	19338	6561	6482	7921	2596
Proporção da população residente na zona urbana (Censo 2010)	33%	67%	79%	48%	48%	55%	28%
Proporção da população residente na zona rural (Censo 2010)	67%	33%	21%	52%	52%	45%	72%
Geração per capita/dia (kg/hab.dia)	0,45	0,25	Não informado	Não informado	0,58	0,2	0,36
Tipo de coleta na zona urbana	Não seletiva	Não seletiva	Seletiva	Não seletiva	Seletiva	Não seletiva	Não seletiva
Frequência da coleta na zona urbana	3dias/semana	3dias/semana	diariamente	diariamente	diariamente	6dias/semana	2dias/semana
Responsável pela coleta na zona urbana	Município	Empresa privada	Empresa privada	Município	Empresa privada	Empresa privada	Município
Tipo de coleta na zona rural	Não seletiva	Inexistente	Inexistente	Não seletiva	Seletiva (só seco)	Inexistente	Inexistente
Frequência da coleta na zona rural	1dia/semana	-	-	Ocasionalmente	1dia/mês	-	-
Responsável pela coleta na zona rural	Município	-	-	Município	Empresa privada	-	-
Quantidade total de RDO coletado (ton/ano)	192	432	3629	469,44	1200	906	93,1
Tipo de disposição final	Lixão	Aterro sanitário privado	Aterro sanitário privado	Aterro sanitário privado	Aterro sanitário privado	Aterro do consórcio CIGRES	Aterro do consórcio CIGRES
Localização da disposição final de RSU	No município	Candiota	Giruá	Candiota	São Leopoldo	Seberi	Seberi
Distância de transporte até a destinação final dos RSU (km)	-	104	65	40	150	39	47
Despesas com coleta, transporte e disposição final de RSU	R\$ 54.000,00	R\$ 360.210,00	R\$ 1.468.946,76	R\$ 32.100,00	R\$ 519.996,00	R\$ 340.800,00	R\$ 61.116,08
Receita arrecadada com taxas e tarifas referentes à gestão e manejo de RSU	R\$ 17.572,50	R\$ 34.212,28	R\$ 478.000,00	R\$ 12.800,64	R\$ 85.892,00	R\$ 68.800,00	Não informado
População atendida pelos serviços (2017)	3182	4671	15355	3158	3139	4370	737
Custo anual / População Atendida	R\$ 16,67	R\$ 77,12	R\$ 95,67	R\$ 10,16	R\$ 165,68	R\$ 77,98	R\$ 82,93

Tabela 25 - Informações sobre o gerenciamento de resíduos sólidos dos municípios de estudo - Parte III

INFORMAÇÃO	Marau	Minas do Leão	Novo Xingu	Palmeira das Missões	Pantano Grande	Porto Vera Cruz	Roca Sales
População (Censo 2010)	36364	7631	1757	34328	9895	1852	10284
População estimada (IBGE,2017)	41059	8059	1790	34844	9845	1676	11101
Proporção da população residente na zona urbana (Censo 2010)	87%	96%	32%	87%	84%	24%	64%
Proporção da população residente na zona rural (Censo 2010)	13%	4%	68%	13%	16%	76%	36%
Geração per capita (kg/hab.dia)	0,63	0,34	0,31	0,96	0,30	0,21	Não informado
Tipo de coleta na zona urbana	Seletiva	Não seletiva	Não seletiva	Seletiva	Não seletiva	Não seletiva	Seletiva
Frequência da coleta na zona urbana	diariamente	3dias/semana	2dias/semana	6dias/semana	3dias/semana	2dias/semana	diariamente
Responsável pela coleta na zona urbana	Empresa privada	Empresa privada	Empresa privada	Empresa privada	Empresa privada	Empresa privada	Empresa privada
Tipo de coleta na zona rural	Seletiva	Não seletiva	Não seletiva	Seletiva	Não seletiva	Não seletiva	Seletiva (só seco)
Frequência da coleta na zona rural	1dia a cada 2 meses	Não informado	1 dia/mês	1 dia/semana	2 dias/semana	1 dia/mês	1 dia/mês
Responsável pela coleta na zona rural	Empresa privada	Empresa privada	Empresa privada	Empresa privada	Empresa privada	Mista	Empresa privada
Quantidade total de RDO coletado (ton/ano)	8160	960	60	10.076	1.080	170	1524
Tipo de disposição final	Aterro sanitário privado	Aterro Sanitário privado	Aterro do consórcio CONIGEPU	Aterro sanitário municipal	Aterro sanitário privado	Aterro sanitário privado	Aterro sanitário privado
Localização da disposição final de RSU	Minas do Leão	No município	Trindade do Sul	No município	Minas do leão	Giruá	Serafina Corrêa
Distância de transporte até a destinação final dos RSU (km)	300	-	51	-	31	74,10	90
Despesas com coleta, transporte e disposição final de RSU	R\$ 2.507.317,80	R\$ 116.638,80	R\$ 136.145,16	R\$ 1.988.006,40	R\$ 353.310,00	R\$ 112.205,69	R\$ 796.034,28
Receita arrecadada com taxas e tarifas referentes à gestão e manejo de RSU	R\$ 1.051.407,39	R\$ 5.833,98	R\$ 0,00	R\$ 66.830,03	R\$ 6.853,51	R\$ 30.563,39	R\$ 96.964,37
População atendida pelos serviços (2017)	35632	7752	564	34844	9845	398	7124
Custo anual/População Atendida	R\$ 70,37	R\$ 15,05	R\$ 241,22	R\$ 57,05	R\$ 35,89	R\$ 281,79	R\$ 111,73

Tabela 26 - Informações sobre o gerenciamento de resíduos sólidos dos municípios de estudo - Parte IV

INFORMAÇÃO	Pedras Altas	Salvador das Missões	Santa Margarida do Sul	São José das Missões	São Pedro das Missões	Vista Alegre
População (Censo 2010)	2212	2669	2352	2720	1886	2832
População estimada (IBGE,2017)	2168	2776	2519	2714	1998	2877
Proporção da população residente na zona urbana (Censo 2010)	35%	41%	23%	30%	28%	42%
Proporção da população residente na zona rural (Censo 2010)	65%	59%	77%	70%	72%	57%
Geração per capita/dia	1,1	Não informado	Não informado	0,46	0,428	0,47
Tipo de coleta na zona urbana	Não seletiva	Não seletiva	Não seletiva	Não seletiva	Não seletiva	Seletiva
Frequência da coleta na zona urbana	2 dias/semana	2dias/semana	2 dias/semana	1dia/semana	1x/semana	3dias/semana
Responsável pela coleta na zona urbana	Município	Empresa privada	Empresa privada	Município	Município	Empresa privada
Tipo de coleta na zona rural	Inexistente	Não seletiva	Não seletiva	Não seletiva	Não seletiva	Seletiva
Frequência da coleta na zona rural	-	1dia/mês	2 dias/semana	1dia/semana	1dia/semana	1dia/mês
Responsável pela coleta na zona rural	-	Empresa privada	Empresa privada	Município	-	Município
Quantidade total de RDO coletado (ton/ano)	144	Não informado	Não informado	139,86	81,89	276,18
Tipo de disposição final	Aterro Sanitário privado	Aterro sanitário privado	Aterro Sanitário privado	Aterro do consórcio CIGRES	Aterro do consórcio CIGRES	Aterro sanitário consórcio (CIGRES)
Localização da disposição final de RSU	Candiota	Giruá	Santa Maria	Seberi	Seberi	Seberi
Distância de transporte até a destinação final dos RSU (km)	36	77	170	54,4	50	11
Despesas com coleta, transporte e disposição final de RSU	R\$ 41.131,68	R\$ 159.787,32	R\$ 78.000,00	R\$ 52.771,08	R\$ 123.374,67	R\$ 92.232,00
Receita arrecadada com taxas e tarifas referentes à gestão e manejo de RSU	R\$ 7.688,83	Não informado	R\$ 0,00	R\$ 13.766,40	Não informado	24.723,75
População atendida pelos serviços (2017)	753	1138	2519	2714	1998	1204
Custo anual / População Atendida	R\$ 54,64	R\$ 140,43	R\$ 30,96	R\$ 19,44	R\$ 61,75	R\$ 76,62

**ANEXO B– Mapas de Restrições e de Fatores do Consórcio:
Arvorezinha, Espumoso, Marau e Soledade**

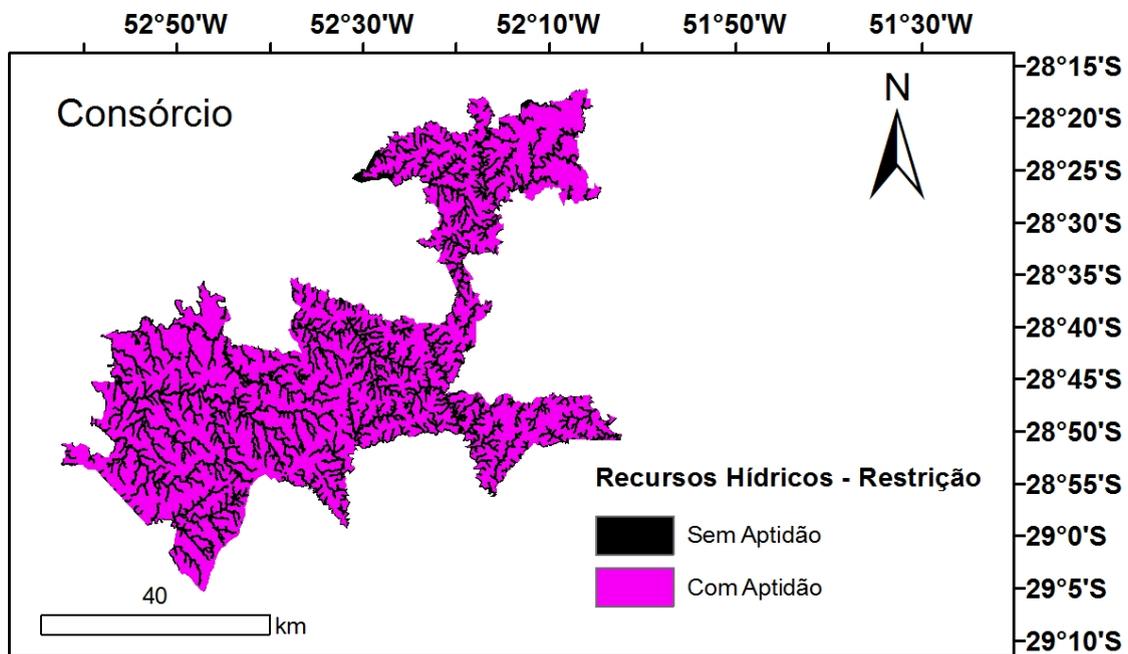
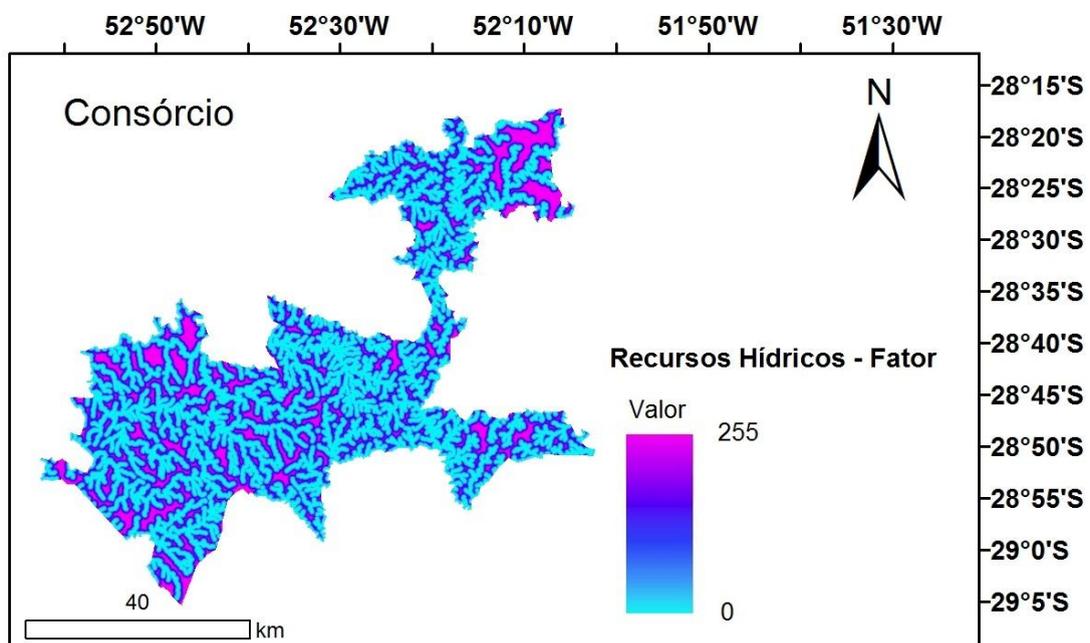


Figura 30 - Mapa Restritivo de Recursos Hídricos - Consórcio

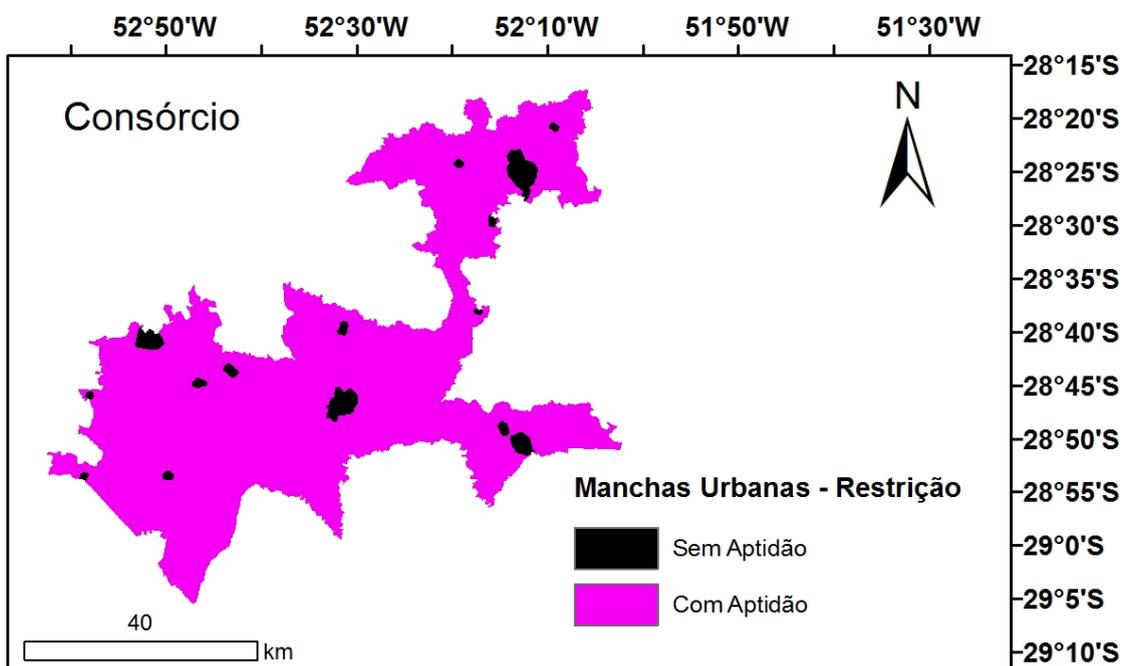
(fonte: Autora)

Figura 31 - Mapa do Fator Recursos Hídricos - Consórcio



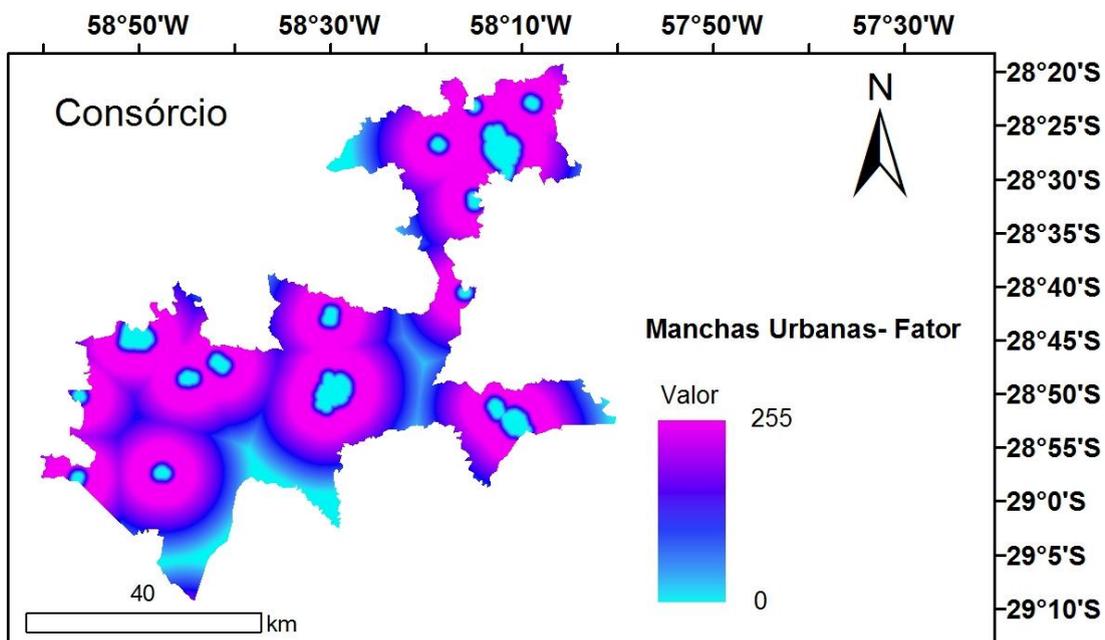
(fonte: Autora)

Figura 32 - Mapa Restritivo de Manchas Urbanas - Consórcio



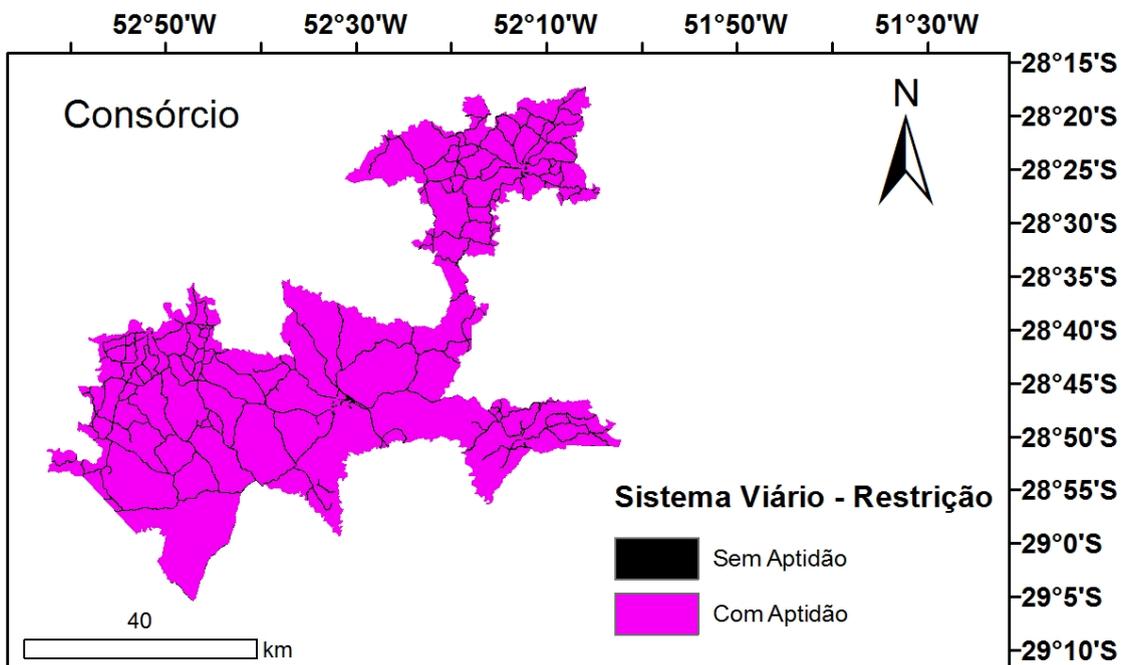
(fonte: Autora)

Figura 33 - Mapa do Fator Manchas Urbanas- Consórcio



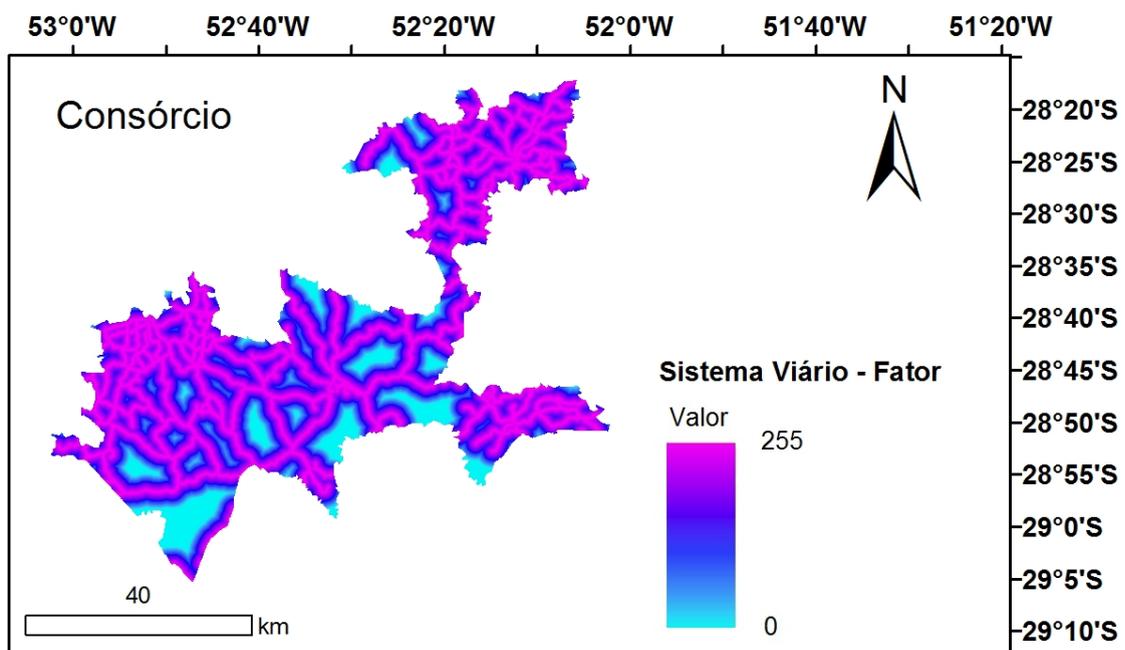
(fonte: Autora)

Figura 34 - Mapa Restritivo Sistema Viário - Consórcio



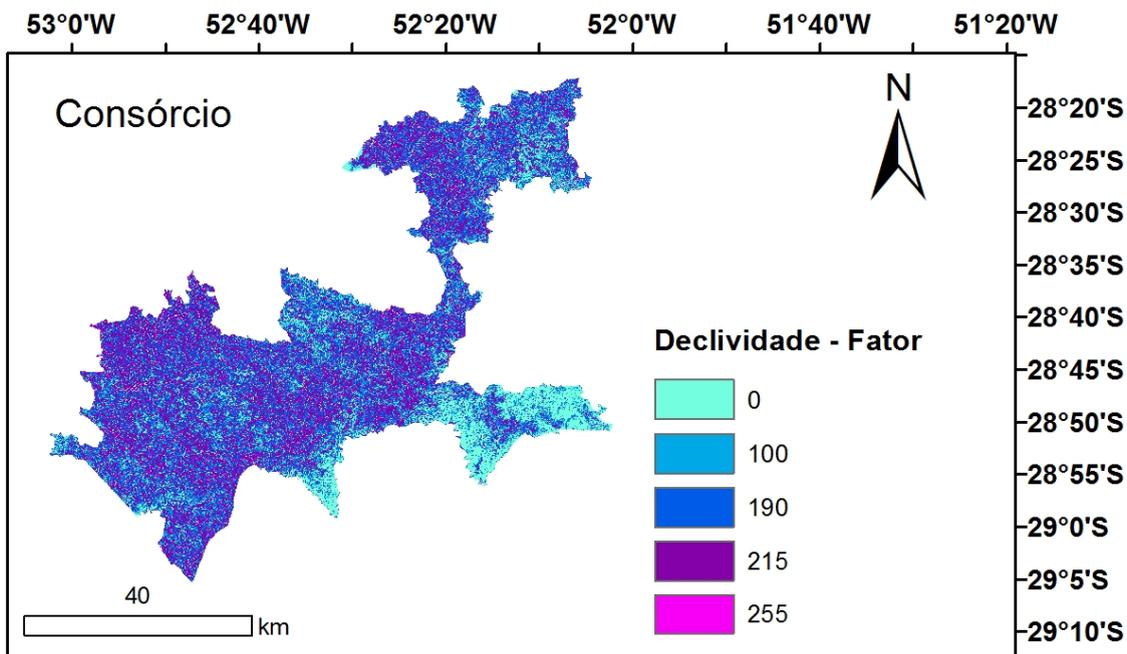
(fonte: Autora)

Figura 35 - Mapa do Fator Sistema Viário - Consórcio



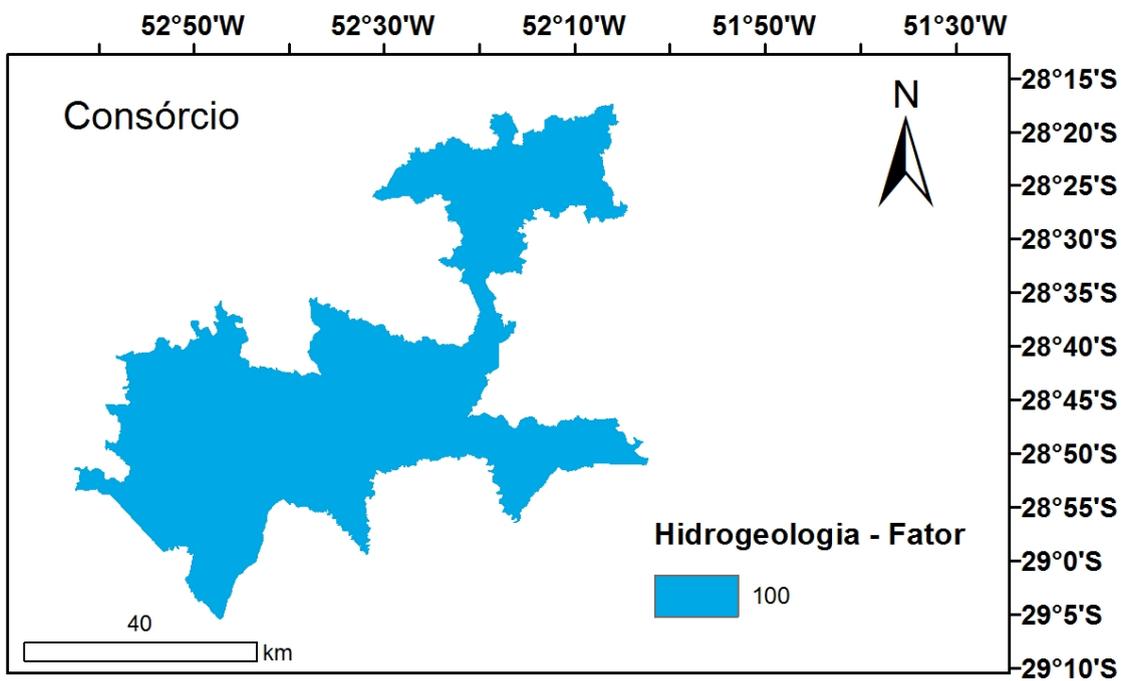
(fonte: Autora)

Figura 36 - Mapa do Fator Declividade - Consórcio



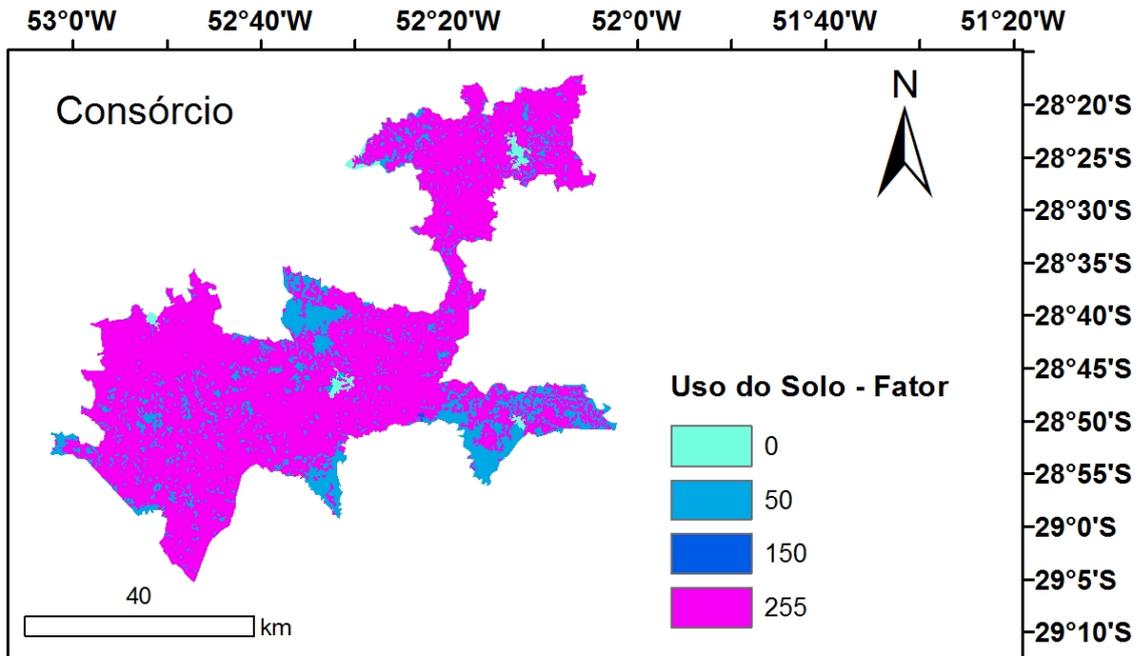
(fonte: Autora)

Figura 37 - Mapa do Fator Hidrogeologia - Consórcio



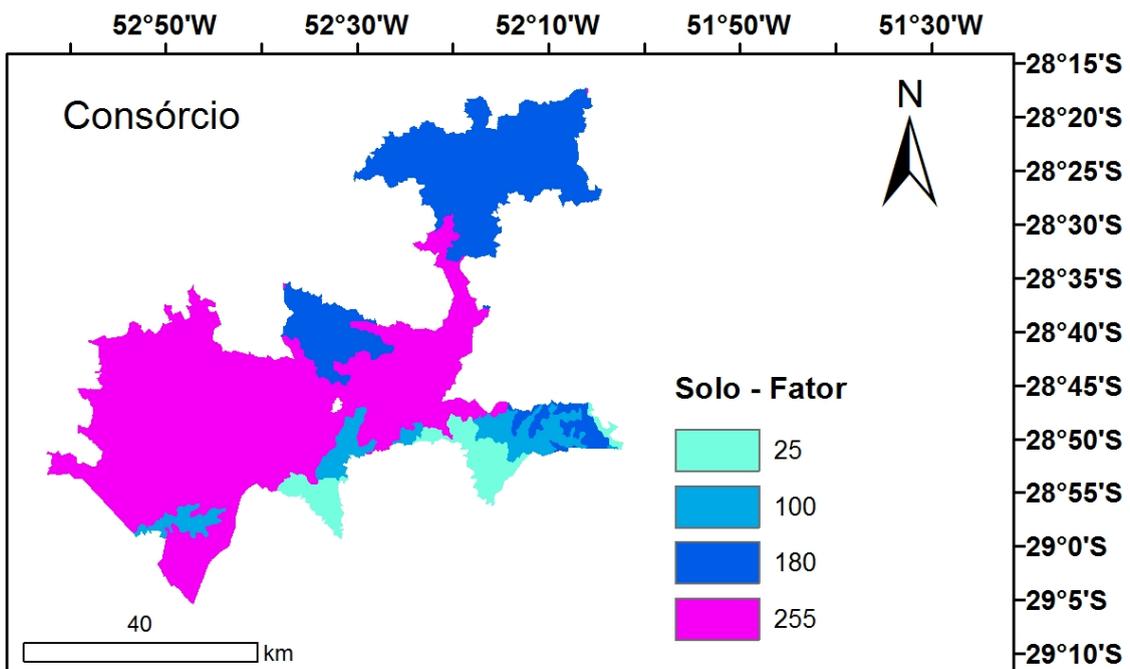
(fonte: Autora)

Figura 38- Mapa do Fator Uso do Solo - Consórcio



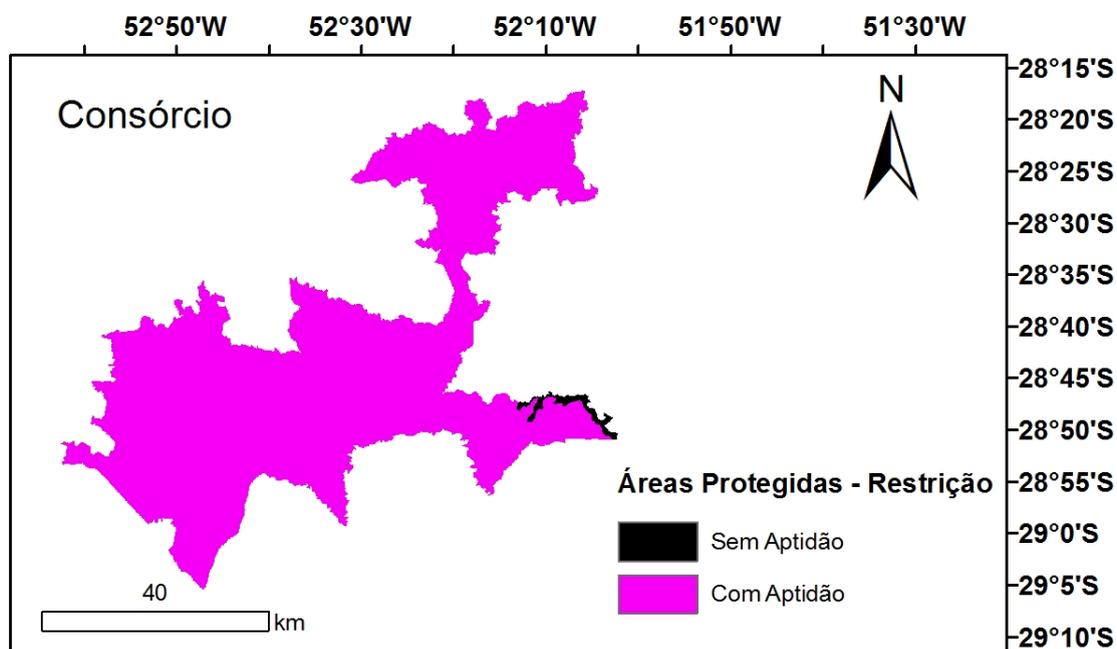
(fonte: Autora)

Figura 39 - Mapa do Fator Solo - Consórcio



(fonte: Autora)

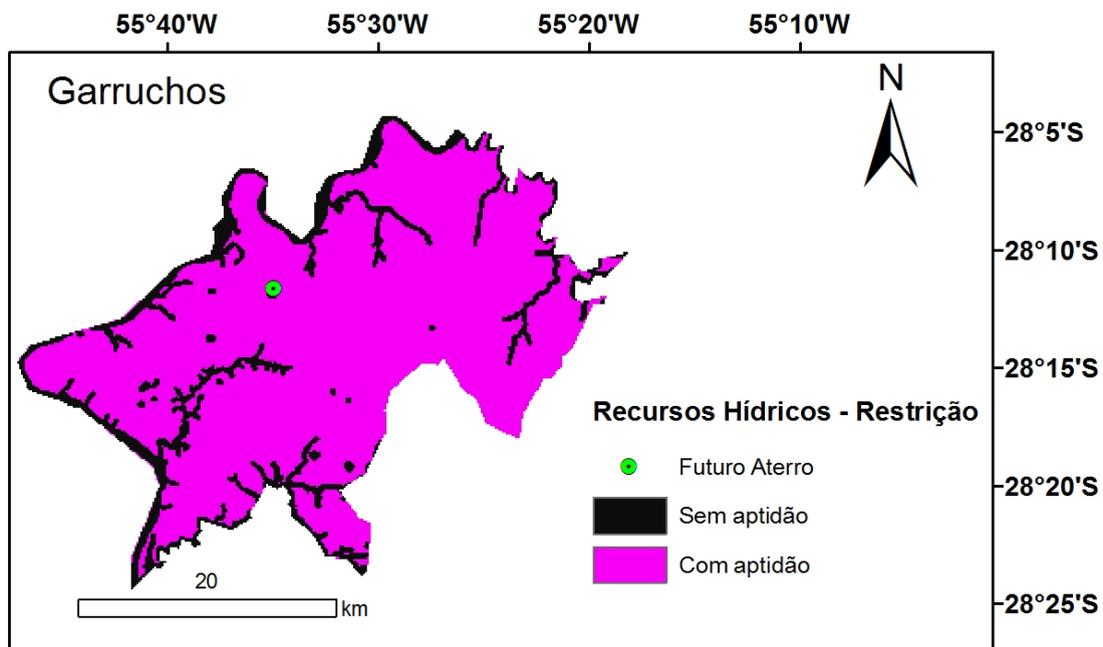
Figura 40 - Mapa de Restrição de Áreas Protegidas - Consórcio



(fonte: Autora)

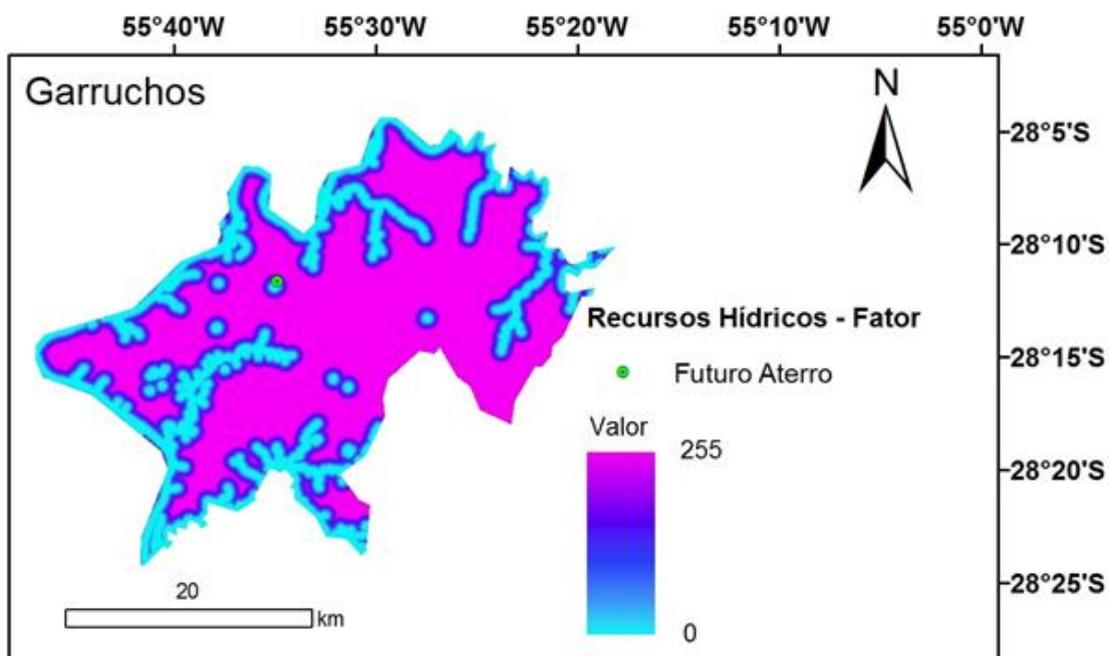
**ANEXO C – Mapas de Restrições e de Fatores do município de
Garruchos**

Figura 41 - Mapa Restritivo de Recursos Hídricos- Garruchos



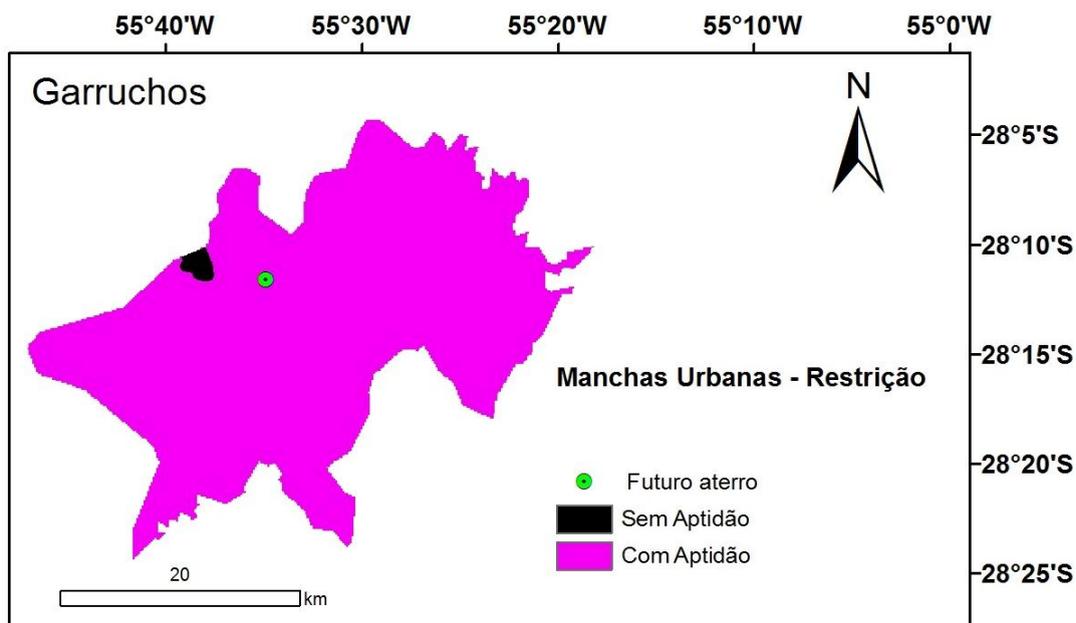
(fonte: Autora)

Figura 42 - Mapa do Fator Recursos Hídricos - Garruchos



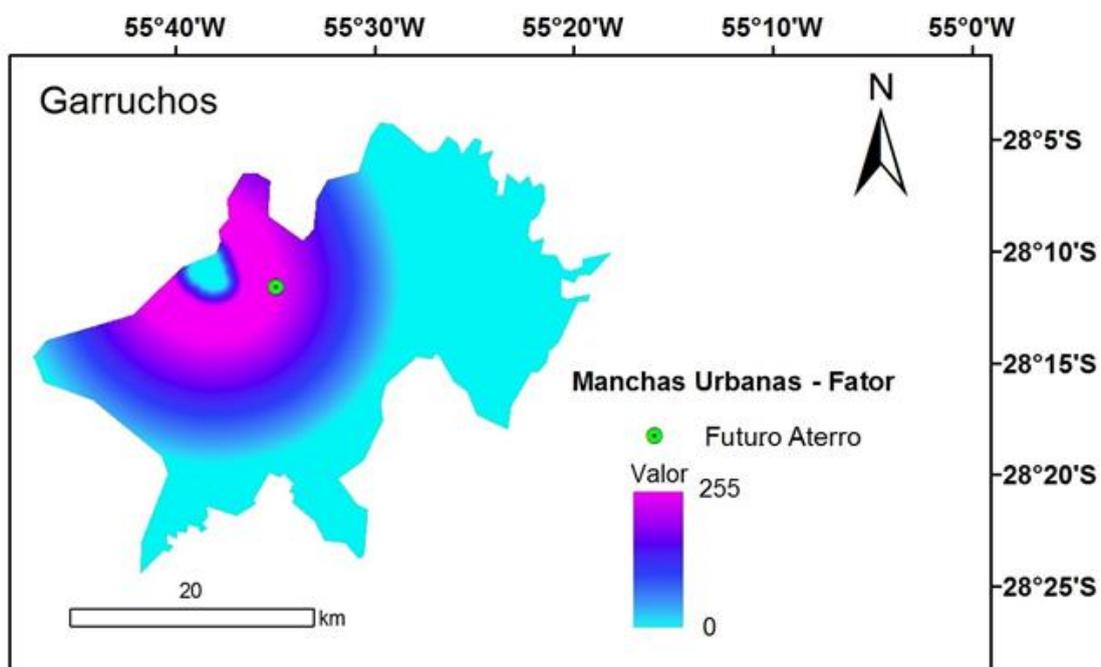
(fonte: Autora)

Figura 43 - Mapa Restritivo de Manchas Urbanas -Garruchos



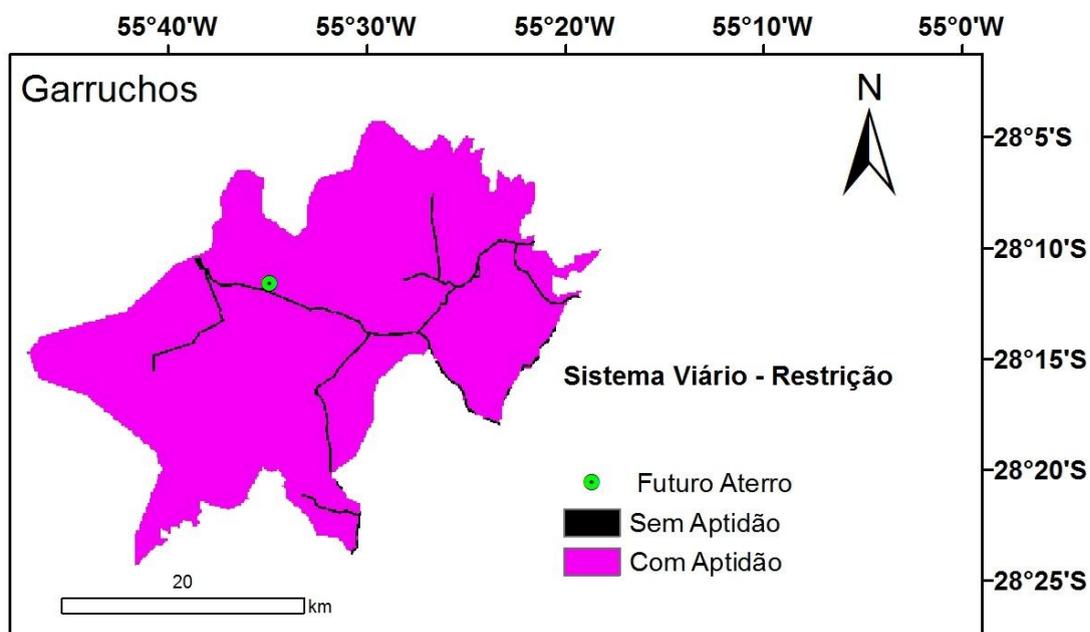
(fonte: Autora)

Figura 44 - Mapa do Fator Manchas Urbanas - Garruchos



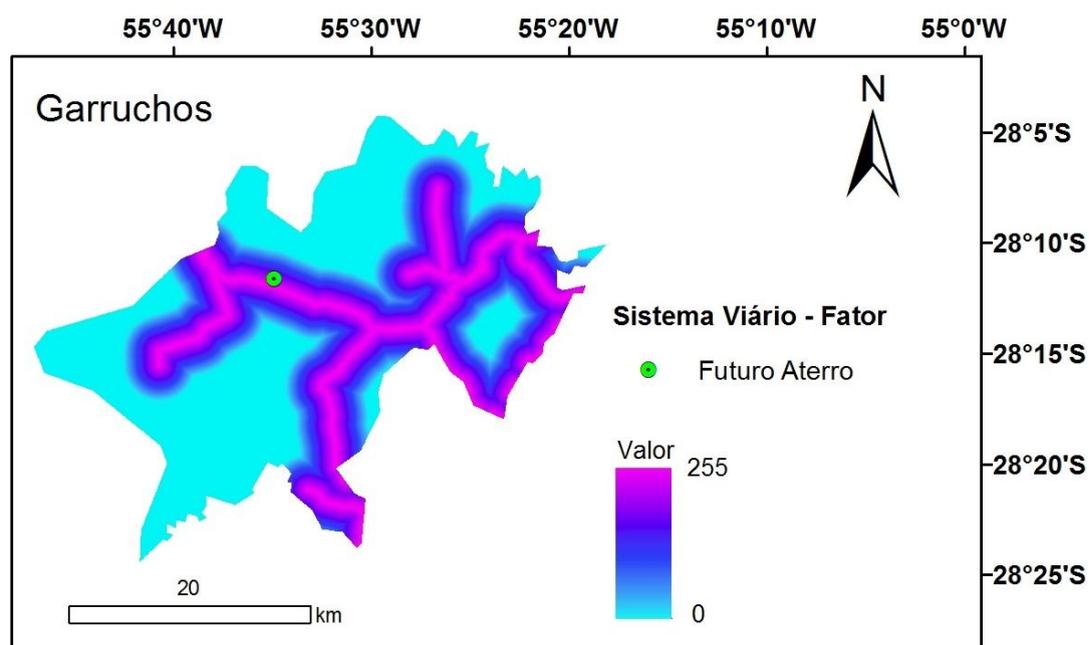
(fonte: Autora)

Figura 45 - Mapa Restritivo do Sistema Viário



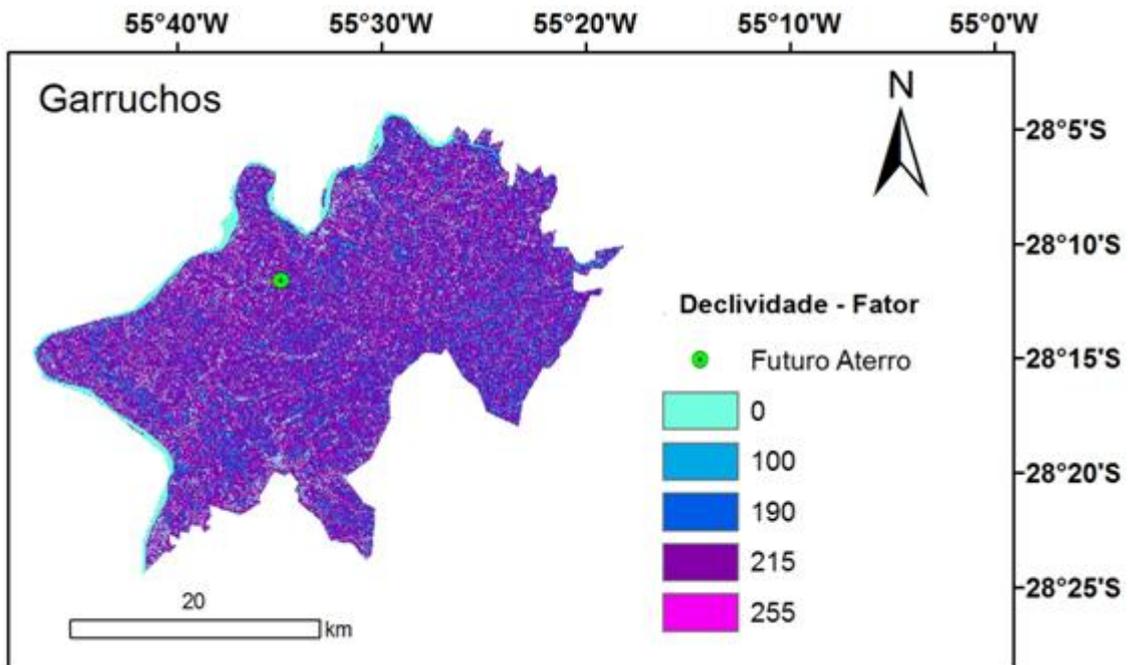
(fonte: Autora)

Figura 46 - Mapa do Fator Sistema Viário



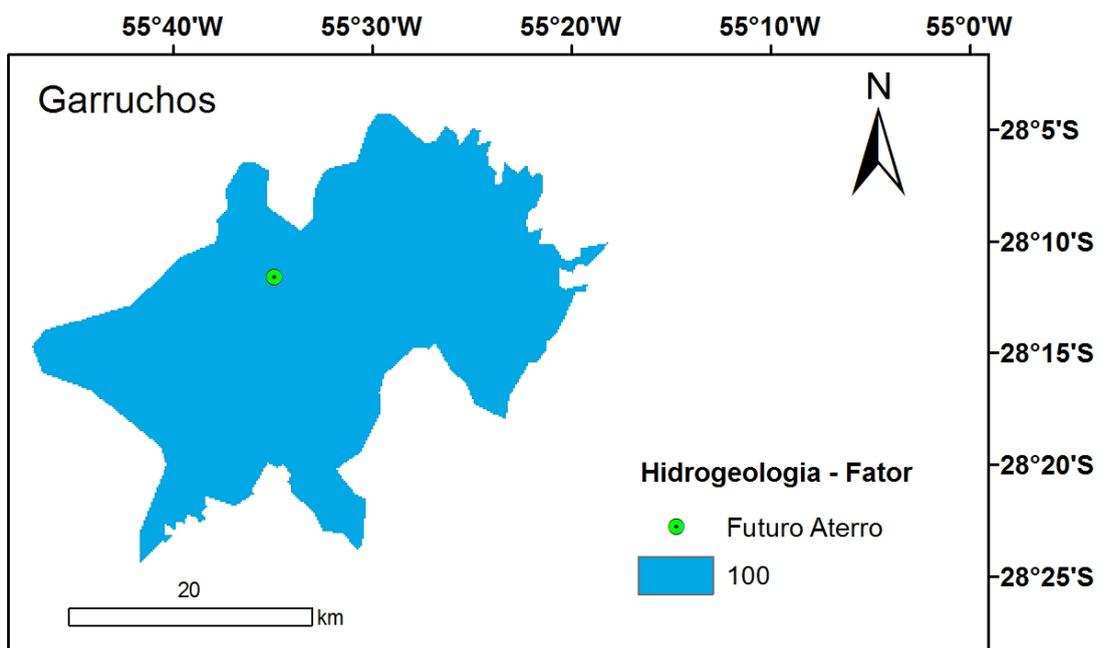
(fonte: Autora)

Figura 47 - Mapa do Fator Declividade- Garruchos



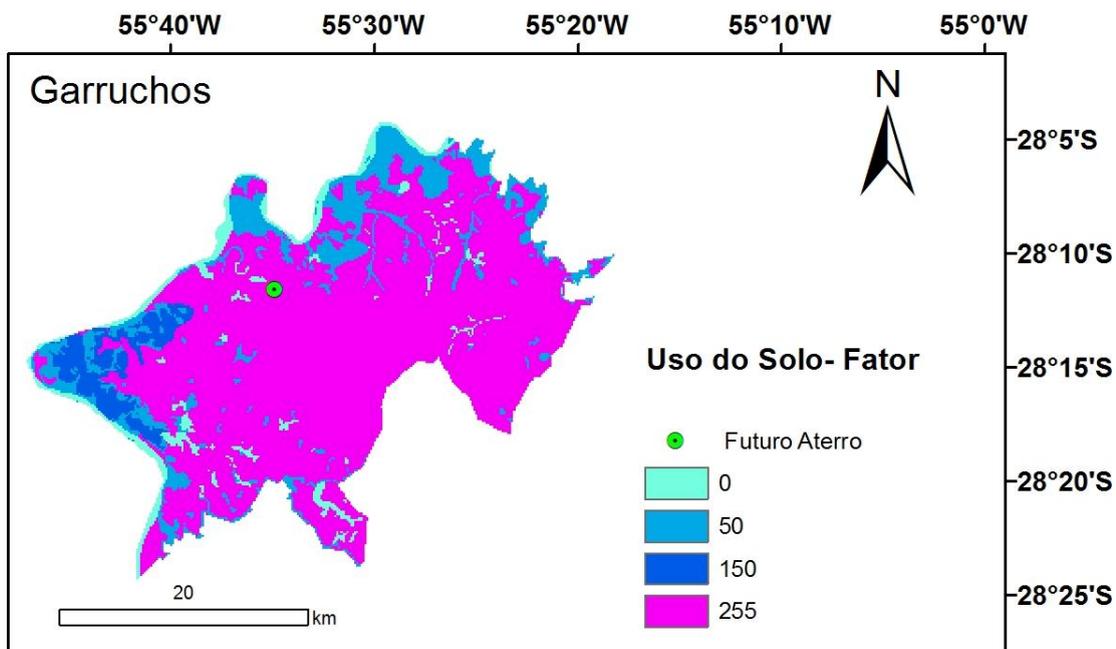
(fonte: Autora)

Figura 48 - Mapa do Fator Hidrogeologia - Garruchos



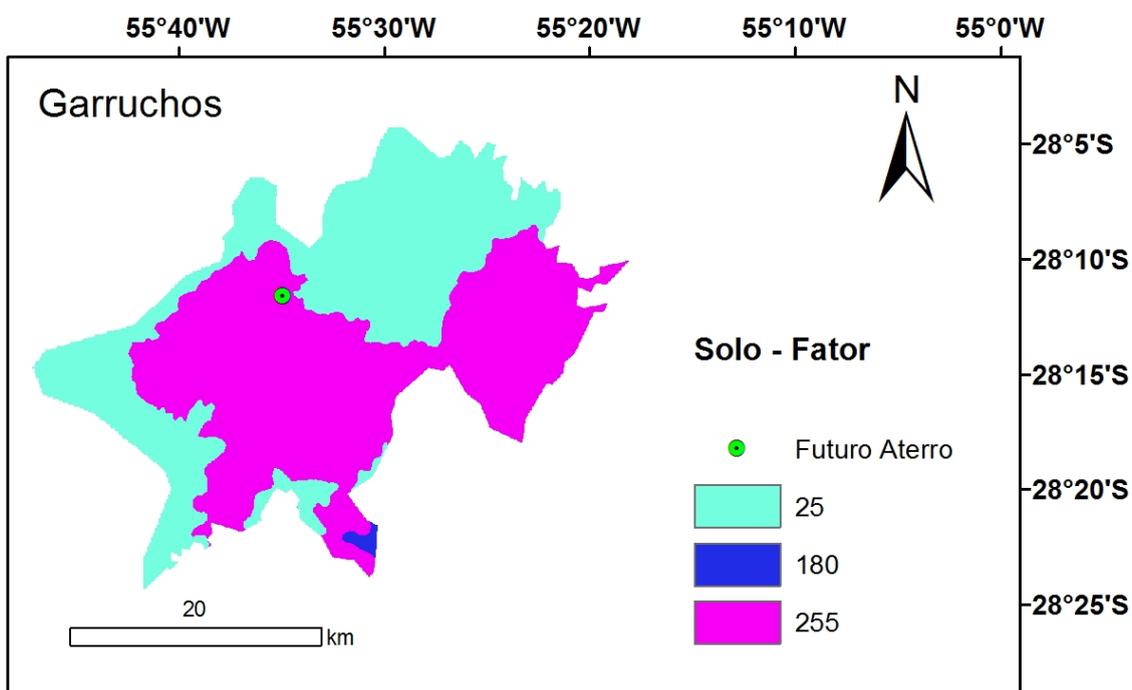
(fonte: Autora)

Figura 49 - Mapa do Fator Uso do Solo - Garruchos



(fonte: Autora)

Figura 50 - Mapa do Fator Solo - Garruchos



(fonte: Autora)