

**INSTITUTO FEDERAL
DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA**
Minas Gerais
Campus Bambuí

SÉRGIO AUGUSTO ALVES RODRIGUES BARBOSA

**USO DA ANÁLISE MULTICRITÉRIO NA DEFINIÇÃO DE ÁREAS
POTENCIAIS PARA A IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO: Estudo de
caso da cidade de Santo Antônio do Monte – MG**

BAMBUÍ – MINAS GERAIS

2018



SÉRGIO AUGUSTO ALVES RODRIGUES BARBOSA

**USO DA ANÁLISE MULTICRITÉRIO NA DEFINIÇÃO DE ÁREAS
POTENCIAIS PARA A IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO: Estudo de
caso da cidade de Santo Antônio do Monte – MG**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - IFMG, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental.

Área de concentração: Ciências Ambientais
Linha de Pesquisa: Planejamento e Gestão Ambiental
Orientador: Dr. Hygor Aristides Victor Rossoni
Coorientador: Dr. Carlos Fernando Lemos

BAMBUÍ – MINAS GERAIS

2018



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE MINAS GERAIS

Avenida Professor Mário Werneck, nº. 2590, Bairro Burity, Belo Horizonte, CEP 30575-180,
Estado de Minas Gerais



FICHA DE APROVAÇÃO

Dissertação de Mestrado, intitulada “USO DA ANÁLISE MULTICRITÉRIO NA DEFINIÇÃO DE ÁREAS POTENCIAIS PARA A IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO: Estudo de Caso da Cidade de Santo Antônio do Monte - MG”, de autoria do mestrando em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental **Sérgio Augusto Alves Rodrigues Barbosa**, aprovada pela Banca Examinadora de Defesa, em 18/05/2018, com a média de pontuação de 7,93.

Título do Trabalho – houve alteração () Sim (X) Não

Se sim, qual o título _____

BambuÍ (MG), 18 de maio de 2018.

Hygor A. Victor Rossoni

Prof. Dr. Hygor Aristides Victor Rossoni – Orientador (UFV/Florestal)

Carlos Fernando Lemos

Prof. Dr. Carlos Fernando Lemos – (UFV/Florestal)

Maurício da Aparecida Santana

Prof. Dr. Maurício da Aparecida Santana – membro externo (UFV/Florestal)

Ricardo Sousa Cavalcanti

Prof. Dr. Ricardo Sousa Cavalcanti – (IFMG/BambuÍ)

Simone Magela Moreira

Profª. Dra. Simone Magela Moreira (IFMG/BambuÍ)

Subst. do Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do
IFMG – Campus Bambuí

B238u Barbosa, Sérgio Augusto Alves Rodrigues.

Uso da análise multicritério na definição de áreas potenciais para a implantação de aterro sanitário estudo de caso da cidade de Santo Antônio do Monte – MG. / Sérgio Augusto Alves Rodrigues Barbosa. – 2018.

162 f.; il.; color.

Orientador: Prof. Dr. Hygor Aristides Victor Rossoni.
Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG, Curso Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, 2018.

1. Aterro sanitário. 2. Análise multicritério. 3. SIG. 4. AHP. I. Rossoni, Hygor Aristides Victor. II. Título.

CDD 628.44564

DEDICATÓRIA

À minha amada e querida família, especialmente, à minha avó Lelis.

AGRADECIMENTOS

A Deus, ao único Deus, meu Salvador, seja a Glória pela elaboração desta dissertação.

A toda a minha família pelo apoio e exemplo de humildade, perseverança e fé.

À minha amada e querida Lorena por ter sido meu ponto de equilíbrio nos períodos de dificuldade e pelo amor incondicional. À Lara por ter me recebido com todo amor. A todos vocês que entenderam o período da minha ausência durante a realização desta árdua etapa de qualificação profissional.

Ao amigo e professor Hygor Aristides Victor Rossoni, pelo voto de confiança e pela ilibada orientação na elaboração desta dissertação. Ao professor Fernando Lemos pela estima coorientação.

Ao meu amigo e professor Geraldo Adriano pela honrosa correção da língua portuguesa, à professora Isabel C. Silva Arantes pela contribuição na normalização científica e ao especialista em geoprocessamento Jorge Santos.

À pastora Shirley por estar sempre em intercessão por minha vida e de minha família.

Ao Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – IFMG, *Campus Bambuí*, pela oportunidade de aperfeiçoamento profissional. Aos professores e funcionários deste Instituto que realmente é um ícone de boa qualidade em ensino e pesquisa da educação em Minas Gerais.

EPÍGRAFE

Eu sou a videira; vocês são os ramos. Se alguém permanecer em mim e eu nele, esse dará muito fruto; pois sem mim vocês não podem fazer coisa alguma (João 15:5).

RESUMO

Atualmente, a disposição final de resíduos sólidos urbanos tem sido pauta de discussões em municípios de pequeno porte, como meio de preservação do meio ambiente e da saúde pública. Todavia, essa preocupação se dava antigamente, apenas, sob a perspectiva da saúde pública, não havendo, assim, uma conexão entre a disposição dos resíduos urbanos com a preservação da qualidade do meio ambiente. Embora este assunto esteja em voga, os municípios continuam depositando seus RSU em lixões a céu aberto, como exemplo, o município de Santo Antônio do Monte – MG onde, apesar de empenhar esforços para regularizar tal situação, não possui recursos técnicos e econômicos que viabilizam a implantação das medidas necessárias para resolução deste problema. O presente trabalho teve por objetivo apresentar propostas que contribuam para a solução desse problema, através do levantamento de alternativas técnico-científicas para a localização da atividade de disposição final adequada, em que considera-se como método mais indicado para o caso da cidade de Santo Antônio do Monte – MG, o aterro sanitário. Para a tomada de decisão considerou o método de análise multicritério, juntamente com a técnica *Analytic Hierarchy Process* (AHP), ambos realizados em ambiente de Sistema de Informação Geográfica. Dessa forma, a dinâmica populacional e a geração de resíduos desta, foram projetados num horizonte de 20 anos, para que o dimensionamento do aterro atendesse a essa perspectiva. Por sua vez, o aterro sanitário foi projetado em seis maciços (formando degraus) e com área útil total de 5,25 hectares. Isto posto, construiu-se o cenário resultante da matriz AHP, o que identificou uma série de possibilidades, a partir das quais, constatou-se três alternativas locacionais que, frente aos múltiplos critérios dos meios físico, biótico, antrópico e legal adotados, resultaram em áreas com alta potencialidade para a instalação do aterro sanitário. Desse modo, o trabalho comparou as alternativas selecionadas entre si, levantando os principais aspectos e os potenciais impactos ambientais atinentes a cada alternativa proposta, para que a tomada de decisão acarrete o menor efeito adverso no meio ambiente. Nesse caso, foi selecionado a segunda alternativa, porquanto essa área apresentou menor impacto de significância, no qual destaca-se que, essa área encontra-se aproximadamente a 1 km do atual lixão.

PALAVRAS-CHAVES: Aterro Sanitário; Análise Multicritério; SIG; AHP.

ABSTRACT

Currently, one of the last residential resources has been discussed in small municipalities, as a means of preserving the environment and public health. However, consultation of health status in the past, only from the point of view of public health, there is therefore no need for communication between urban waste and preserving the quality of the environment. What is it that is in vogue, municipalities continue to deposit their URS in open dumps, as an example, the municipality of Santo Antônio do Monte - MG where, despite efforts to regularize the situation, do not have resources and that make possible the implementation of the necessary measures to solve this problem. The present work had the objective of presenting contributions to a process improvement model, at the same time as it considered the more detailed option for the case of the city of Santo Antônio do Monte - MG, the sanitary landfill. For a decision making, the multicriteria analysis method was considered, together with the Analytic Hierarchy Process (AHP), both performed in a Geographic System environment. Thus, a population dynamics and a generation of waste were forced over a 20-year horizon, so that the dimensioning of the landfill would meet this perspective. In turn, the aerodrome was designed in six massive (forming steps) and with a total useful area of 5.25 hectares. This, constructed according to the AHP matrix, which identified a series of possibilities, from which it was constituted by three locational alternatives, compared to the various candidates for physical, biotic, anthropic and legal rights adopted, resulted in areas with high potential for the installation of the landfill. In this way, the work compared as the alternatives exhibited among themselves, raising the strong feet and those that are being used to improve the quality of the environment. In this case, the second alternative was selected, in which this area is shown, less impact of significance, none of which, one area found is 1 km from the current dump.

KEYWORDS: Landfill; Multicriteria Analysis; GIS; AHP.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cenário das principais soluções adotadas para a destinação dos resíduos sólidos urbanos.....	24
Figura 2: Diagrama de interação para caracterização dos resíduos sólidos.....	29
Figura 3: Fluxograma para análise do ciclo de vida dos resíduos sólidos.....	31
Figura 4: Etapas e opções para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos.....	33
Figura 5: Método de área para construção de aterro sanitário.....	42
Figura 6: Método trincheira para construção aterro sanitário.....	42
Figura 7: Características legais e geográficas das APPs	55
Figura 8: Etapas do processo de AIA.	63
Figura 9: Mapa de localização da área de estudo	68
Figura 10: Composição gravimétrica dos RSU	69
Figura 11: Mapa localização parcial do lixão de Samonte	70
Figura 12: Vista em planta da proposta de projeto para o aterro sanitário.....	74
Figura 13: Mapa regional dos subdomínios hidrogeológicos.....	79
Figura 14: Mapa do modelo numérico de elevação do terreno	80
Figura 15: Mapa de recursos hídricos locais	82
Figura 16: Mapa pedológico em escala regional	84
Figura 17: Mapa regional de biomas	86
Figura 18: Imagem satelital do município Samonte	87
Figura 19: Mapa de área de segurança aeroportuária	89
Figura 20: Mapa de unidades de conservação e suas zonas amortecimento	90
Figura 21: Mapa de representação espacial dos núcleos populacionais.....	92
Figura 22: Mapa do sistema viário de Samonte	93
Figura 23: Fluxograma das etapas metodológicas.....	102
Figura 24: Desenho técnico da vista superior e perfil horizontal do aterro sanitário dimensionado.....	111
Figura 25: Mapa hidrológico reclassificado AHP	114
Figura 26: Mapa declividade reclassificado AHP	115
Figura 27: Mapa hidrográfico reclassificado AHP	116
Figura 28: Mapa pedológico reclassificado AHP	117
Figura 29: Mapa bioma reclassificado AHP.....	119
Figura 30: Mapa uso do solo reclassificado AHP	120

Figura 31: Mapa núcleos populacionais reclassificado AHP	121
Figura 32: Mapa das vias de acesso classificado AHP.....	123
Figura 33: Mapa ASA e seu núcleo interno classificado AHP.....	124
Figura 34: Mapa unidades de conservação reclassificado AHP	125
Figura 35: Mapa AHP interviriável do meio físico	127
Figura 36: Mapa AHP interviriável do meio biótico	128
Figura 37: Mapa AHP interviriável do meio antrópico	130
Figura 38: Mapa de cenários AHP	131
Figura 39: Mapa das áreas potencialmente aptas a localização do aterro sanitário	133
Figura 40: Mapa de alternativas locais identificadas	134
Figura 41: Identificação das alternativas selecionadas para a localização do aterro sanitário	135
Figura 42: Matriz de interação entre as etapas/processos e os elementos do meio – Alternativa 1	138
Figura 43: Matriz de interação entre as etapas/processos e os elementos do meio – Alternativa 2	141
Figura 44: Matriz de interação entre as etapas/processos e os elementos do meio – Alternativa 3	144

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Meio ambiente e a Ordem Constitucional Pré-Constituição de 1988	23
Tabela 2: Registro histórico requisitos legais aplicáveis ao gerenciamento de resíduos sólidos.....	26
Tabela 3: Periculosidade dos resíduos sólidos urbanos domiciliares	30
Tabela 4: Valores de densidade típicos para resíduos sólidos.....	34
Tabela 5: Critérios econômico-financeiros aplicáveis a locação de aterros sanitários... 54	
Tabela 6: Descrição dos métodos de projeção populacional utilizados	72
Tabela 7: Critérios técnico e científico estruturados	76
Tabela 8: Critérios hidrogeológicos	79
Tabela 9: Critérios de declividade	81
Tabela 10: Critério de distância dos recursos hídricos	83
Tabela 11: Critérios pedológicos	85
Tabela 12: Faixa de avaliação biomas	86
Tabela 13: Faixa de avaliação do uso e ocupação do solo	88
Tabela 14: Faixa de avaliação segurança aeroportuária	89
Tabela 15: Faixa de avaliação critério unidade conservação	91
Tabela 16: Núcleos populacionais de Samonte	91
Tabela 17: Faixa de avaliação da distância núcleos populacionais	92
Tabela 18: Faixa de avaliação das vias de acesso	94
Tabela 19: Escala de importância AHP	95
Tabela 20: Índice de inconsistência aleatória	97
Tabela 21: Principais etapas/processos da implantação e operação de aterro sanitário	100
Tabela 22: Faixa de escala dos valores de atributos.....	101
Tabela 23: Taxa crescimento populacional do município de Samonte	103
Tabela 24: Métodos de projeção populacional para o município de Samonte considerando o período de projeto do aterro sanitário utilizando a taxa de crescimento de 1,02 % a.a.	104
Tabela 25: Produção de resíduos sólidos urbanos em Samonte	106
Tabela 26: Parâmetros gerais do aterro sanitário.....	109
Tabela 27: Dimensões do aterro sanitário	110

Tabela 28: Localização geográfica das áreas selecionadas para localização do aterro sanitário	134
Tabela 29: Avaliação da significância dos impactos ambientais - Alternativa 1	139
Tabela 30: Avaliação da significância dos impactos ambientais - Alternativa 2	142
Tabela 31: Avaliação da significância dos impactos ambientais - Alternativa 3	145

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	18
1.1. Justificativas e relevância do estudo	19
2. OBJETIVOS	21
2.1. Geral	21
2.2. Específicos.....	21
3. REFERENCIAL TEÓRICO	22
3.1. A questão ambiental	22
3.2. Resíduos sólidos urbanos	24
3.2.1. Caracterização dos resíduos sólidos	27
3.2.2. Manejo dos resíduos sólidos urbanos	32
3.2.3. Reciclagem e recuperação de resíduos	35
3.2.4. Compostagem.....	37
3.2.5. Incineração	38
3.2.6. Disposição adequada em aterro sanitário	39
3.3. Aterros sanitários e metodologia para implantação	40
3.3.1. Tipos de aterros sanitários.....	41
3.3.2. Processos de decomposição dos resíduos em aterros	43
3.3.3. Condições gerais para projetos de aterros sanitários.....	45
3.3.4. Camadas de base do aterro sanitário	46
3.3.5. Produção e gerenciamento de lixiviado.....	47
3.3.6. Produção e gerenciamento de gases	48
3.3.7. Gerenciamento e monitoramento dos recursos hídricos.....	50
3.3.8. Gerenciamento e monitoramento de ruído	50
3.3.9. Gerenciamento e monitoramento de recalque	51
3.3.10. Condições gerais e atividades pós-encerramento	51

3.3.11. Áreas contaminadas.....	52
3.3.12. Recursos financeiros.....	53
3.4. Espaços territoriais de uso legalmente protegidos	54
3.4.1. Áreas de preservação permanente - APP	55
3.4.2. Reserva florestal legal	56
3.4.3. Unidades de conservação	57
3.4.4. Área de segurança aeroportuária	58
3.5. Análise Multicritério com <i>Analytic Hierarchy Process</i>	59
3.6. Licenciamento ambiental	60
3.6.1. Avaliação de impacto ambiental	62
3.6.2. Estudo de impacto ambiental	64
3.6.3. Identificação, previsão e avaliação dos impactos ambientais	65
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	67
4.1. Características e tipologia de pesquisa.....	67
4.2. Características da área de estudo.....	67
4.3. Características para o dimensionamento do aterro sanitário	71
4.3.1. Projeção populacional	71
4.3.2. Projeção da produção de resíduos sólidos	72
4.3.3. Dimensionamento do aterro sanitário.....	73
4.4. Características da análise multicritério.....	75
4.4.1. Base de dados geográficos	76
4.4.2. Estruturação dos critérios e seus atributos	77
4.4.3. Meio físico.....	77
4.4.4. Meio biótico	85
4.4.5. Meio antrópico	91
4.4.6. Análise multicritério segundo técnica <i>Analytic Hierarchy Process</i>	94
4.4.7. Modelagem de dados geográficos	97

4.5.	Avaliação de impacto ambiental	100
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	103
5.1.	Dimensionamento básico do aterro sanitário	103
5.1.1.	Projeção populacional	103
5.1.2.	Produção de resíduos sólidos urbano	105
5.1.3.	Dimensionamento da infraestrutura do aterro sanitário	107
5.2.	Aplicação do método multicritério com técnica AHP	112
5.3.	Análise intravariável.....	112
5.3.1.	Análise hidrogeológica.....	113
5.3.2.	Análise geomorfológica	115
5.3.3.	Análise recursos hídricos.....	116
5.3.4.	Análise pedológica	117
5.3.5.	Análise bioma.....	118
5.3.6.	Análise do uso e ocupação do solo.....	119
5.3.7.	Análise núcleos populacionais	121
5.3.8.	Análise sistema viário	122
5.3.9.	Análise área segurança aeroportuária.....	123
5.3.10.	Análise Unidade Conservação.....	125
5.4.	Análise intervariável.....	126
5.4.1.	Análise critérios do meio físico.....	126
5.4.2.	Análise critérios meio biótico/legal.....	128
5.4.3.	Análise critérios meio antrópico.....	129
5.5.	Análises de cenários AHP	131
5.6.	Levantamento aspectos e potenciais impactos ambientais.....	136
5.6.1.	Análise da primeira alternativa locacional	136
5.6.2.	Análise da segunda alternativa locacional.....	139
5.6.3.	Análise da terceira alternativa locacional.....	142

5.6.4. Seleção alternativa locacional	146
6. CONCLUSÃO.....	147
7. REFERENCIAL BIBLOGRÁFICO.....	150
APÊNDICE 1 – DIMENSIONAMENTO ATERO SANITÁRIO	158
APÊNDICE 2 – MATRIZES AHP INTRAVARIÁVEL.....	159
APÊNDICE 3 – MATRIZES AHP INTETRVARIÁVEL.....	163
APÊNDICE 4 – MATRIZ AHP CENÁRIO	164

1. INTRODUÇÃO

As questões e problemáticas atinentes ao meio ambiente têm sido pauta de discussões em diferentes áreas do conhecimento. Diversos debates são travados no intuito de estabelecer possíveis soluções para os desequilíbrios e impactos ambientais decorrentes de uma sociedade contemporânea.

Alguns desses debates, lamentavelmente, ainda são comuns em muitos municípios mineiros, porquanto originam os depósitos de resíduos sólidos urbanos (RSU) a céu-aberto. Essas disposições provocam múltiplos impactos que vão desde a saúde-pública até o meio ambiente.

Essa prática de lançar e amontoar os resíduos no solo, sofreu incipiente progresso e quase nenhuma evolução quando comparado com a composição/constituição física, química e biológica dos resíduos. As intervenções na saúde-pública, associadas à disposição incorreta dos resíduos, datam do período pré-industrial, quando os resíduos sólidos gerados eram tão-somente lançados nas ruas e becos para servir de alimento para animais domésticos. Nesse período, foram iniciadas ações para a coleta e transporte desses resíduos para locais distantes com a finalidade de reutilizá-los como alimento para animais em fazendas, queimá-los para aquecimento de água ou descartá-los em terrenos alagadiços (MIHELIC; ZIMMERMAN, 2012).

Atualmente, a disposição final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos urbanos pode ser realizada a partir de diversas maneiras/técnicas, de modo que as principais incidem na compostagem, reciclagem, incineração e aterro sanitário. Em geral, essas técnicas são utilizadas, conjunta ou isoladamente, para a disposição e tratamento dos RSU.

Cumprir-se que o aterro sanitário foi referendado e recomendado pela Lei Federal 12.305/2010, porquanto este visa garantir a proteção da saúde pública e do meio ambiente. Para isso, esse método dispõe de um amplo arcabouço normativo que determina os elementos mínimos exigíveis para o projeto de aterro sanitário.

Esses métodos de disposição final de resíduos, não podem ser aleatórios e arbitrariamente instalados num dado local, visto que alguns dos impactos ambientais são intrínsecos a localização destes. Nesse caso, a concepção da localidade favorável à instalação desses métodos, configuram a primeira e mais significativa diretriz na

prevenção dos impactos ambientais adversos e na melhoria contínua da qualidade ambiental.

Desse modo, a presente dissertação objetiva determinar alternativas técnicas e locais para a instalação de um aterro sanitário no município de Santo Antônio do Monte, Minas Gerais, porque este é um *locos* de estudo interessante para esta pesquisa, haja vista que essa cidade carece de infraestrutura adequada para a disposição final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos urbanos.

A questão da localização do aterro é uma decisão estratégica, tendo em vista que requer uma avaliação por profissionais habilitados. Para isso, foi utilizado o método de análise multicritério com a técnica *Analytic Hierarchy Process* (AHP) visando identificar as áreas favoráveis a implementação do aterro sanitário do município de Samonte.

Considera-se que a escolha criteriosa da área e técnica utilizada para a implantação desse aterro sanitário, torna-se fundamental para garantir a eficiência e eficácia do projeto, bem como o gerenciamento dos aspectos e dos potenciais impactos ambientais resultantes das fases de instalação e operação do aterro sanitário.

1.1. Justificativas e relevância do estudo

A problemática da destinação correta dos resíduos sólidos é uma discussão mais que emergente na atualidade, haja vista os diversos desequilíbrios causados em termos ambientais pelas mais variadas áreas do Brasil. Portanto, trazer essa discussão, à tona, justifica-se pelas contribuições teórico-empíricas para se ajuizar caminhos alternativos, uma vez que essa discussão tem forte apelo social, econômico e político.

Dessa forma, ações determinantes foram estabelecidas pela Lei Federal 12.305/2010 para que os municípios extinguissem os lixões do país, substituindo estes por aterros sanitários, além da implantação da reutilização, reciclagem e compostagem. Essa Lei estabeleceu o prazo de quatro anos para que as cidades acabassem com seus lixões. Apesar disto, esse prazo findou na data de 02 de agosto de 2014, porém, esse prazo foi prorrogado porque significativa parcela dos municípios não conseguiu fechar seus lixões, tampouco ajustar suas atividades de manejo dos resíduos sólidos.

É de observar que o Projeto de Lei Federal nº 2.289/2015, reestruturou o prazo para que os municípios adequem suas condutas a Lei 12.305/2010. Sendo assim, foi

considerado a prerrogativa populacional de cada localidade para fixar os prazos, de um modo que as regiões metropolitanas estão condicionadas até 31 de julho de 2018. Igualmente, municípios com população superior a cem mil habitantes, esse prazo finda em 31 de julho de 2019, enquanto que municípios com população entre cinquenta e cem mil habitantes, têm até 31 de julho de 2020. Por fim, os municípios com população inferior a cinquenta mil habitantes o prazo esgota em 31 de julho de 2021.

O panorama da destinação e disposição final adequada dos resíduos sólidos urbanos, no estado de Minas Gerais, pode ser considerado precário, porquanto de um total de 853 municípios, somente 200 (23,45%) possuem aterros sanitários, ou seja, 76,55% das cidades mineiras depositam irregularmente RSU. Além disto, ressalva que exclusivamente 134 desses aterros, estão adequadamente regularizados, ou seja, possuem licença ambiental vigente (FEAM, 2016).

Ocorre que muitos municípios mineiros ainda dispõem seus resíduos em lixões a céu-aberto, decorrente numa gama de problemas ambientais e sociais, como é o caso de Santo Antônio do Monte. Dessa forma, a partir de uma avaliação geoespacial dos municípios que estão em desconformidade com a Lei 12.305/2010, determinou-se aqueles que possuem mais proximidade com o Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) – *Campus Bambuí*. Além do mais, notadamente, foi considerada a vontade política dos gestores públicos em extinguir o lixão e instalar um aterro sanitário municipal. Considera-se que a escolha do município de Santo Antônio do Monte foi uma vontade pessoal e técnica.

Ademais, a realização desta pesquisa permitiu um engajamento do pesquisador com a temática, somando conhecimentos e habilidades que contribuíram para o seu desenvolvimento sócio-profissional.

A apresentação do conteúdo desta dissertação segue a formatação clássica, encontrando-se dividida em sete capítulos, sendo o primeiro a presente introdução. O segundo expõe o objetivo desta dissertação. O terceiro apresenta o referencial teórico que embasou o estudo. O quarto descreve os procedimentos metodológicos. O quinto focaliza os resultados e discussões encontrados por meio da pesquisa. O sexto sintetiza as considerações e conclusões finais do estudo, e o sétimo apresenta as referências utilizadas.

2. OBJETIVOS

Este item destina-se à apresentação dos objetivos delineadores para este estudo, subdivididos em objetivo geral e objetivos específicos.

2.1. Geral

Determinar por meio da análise de multicritérios, alternativas técnicas e locacionais para a implantação de um aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos no Município de Santo Antônio do Monte – MG.

2.2. Específicos

- ✓ Desenvolver o dimensionamento básico para o aterro sanitário, com o intuito de apontar os principais requisitos referentes à delimitação da área necessária para sua implantação.
- ✓ Realizar a modelagem geográfica de dados através do Modelo de Análise Multicritério, utilizando a técnica AHP (*Analytic Hierarchy Process*), a partir dos critérios ambientais, antrópicos e legais como suporte ao mapeamento de áreas favoráveis à implantação de um aterro sanitário.
- ✓ Levantar os principais aspectos e os potenciais impactos ambientais decorrentes das fases de implantação e de operação do aterro sanitário, atestando sua localização, concepção e viabilidade ambiental.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta as discussões teóricas mais representativas sobre o gerenciamento dos resíduos sólidos e seus impactos ambientais. Para tanto, debate-se sobre a questão ambiental, a caracterização dos resíduos, os aterros sanitários, os espaços de uso restrito, o licenciamento ambiental e os sistemas de informações geográficas.

3.1. A questão ambiental

A preocupação com o meio ambiente sadio e condicionador da qualidade de vida, está presente desde os tempos mais remotos, ainda que de forma rudimentar. A primeira ordenação legitimada e outorgada por Lei para o meio ambiente é datada no ano 1828, quando foi atribuído às Câmaras Municipais o dever de disciplinar condutas civis, por meio de posturas. Estas determinavam diretrizes gerais sobre a limpeza de quaisquer construções em benefício comum dos habitantes, depósitos de imundícies e outros materiais que pudessem alterar e corromper a salubridade da atmosfera (ANTUNES, 2013).

O ápice legislativo para a garantia da proteção da qualidade ambiental está insculpido diretamente na Lei Fundamental. Assim sendo, o marco Constitucional na tutela das questões ambientais está fixado conforme dispõe o artigo 225 da Constituição Federal de 1988 que determina:

“Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (BRASIL, 1988, art. 225).

Nessa discussão, Milaré (2015) adverte que apesar dessa Constituição abordar a temática ambiental, as constituições precedentes a esta, jamais se preocuparam específica e globalmente com a proteção do meio ambiente. Na Tabela 1, apresenta-se as Constituições anteriores a de 1988, o respectivo período de vigência e respectivas questões ambientais disciplinadas.

Tabela 1: Meio ambiente e a Ordem Constitucional Pré-Constituição de 1988

Constituição	Dispositivos	Período	Questões Ambientais
1824	Art. 179, n. XXIV	Império	"Não fez qualquer referência à matéria, apenas cuidando da proibição de indústrias contrárias à saúde do cidadão".
1891	Art. 34, n.29	Republicano	"Atribui competência legislativa à União para legislar sobre as suas minas e terras".
1934	Art. 5.º, XIX, j	Republicano	"Conferiu à União competência em matéria de riquezas do subsolo, mineração, águas, florestas, caça, pesca e sua exploração".
	Art. 10, III e 148		"Dispensou proteção às belezas naturais, ao patrimônio histórico, artístico e cultural".
	Art. 16, XIV		"Incluiu entre as competências de a União legislar sobre minas, águas, florestas, caça, pesca e sua exploração".
1937	Art. 18, <i>a e e</i>	Republicano	"Tratou da proteção das plantas e rebanhos contra moléstias e agentes nocivos".
	Art. 134		"Proteção dos monumentos históricos, artísticos e naturais, bem como das paisagens e locais especialmente dotados pela natureza".
1946	Art. 175	Republicano	"Defesa do patrimônio histórico, cultural e paisagístico, conservou como competência de a União legislar sobre normas gerais da defesa da saúde, das riquezas do subsolo, das águas, florestas, caça e pesca".
1967	Art. 8.º, XVII, h	Republicano	"Atribuição da União legislar sobre normas gerais de defesa da saúde, sobre jazidas, florestas, caça, pesca e águas".
	Art. 172		"Proteção do patrimônio histórico, cultural e paisagístico"
1969	Art. 172	Junta Militar à	"Lei regulará mediante prévio levantamento ecológico, o aproveitamento agrícola de terras sujeitas a intempéries e calamidades".
	Art. 180	Constituição	"Defesa do patrimônio histórico, cultural e paisagístico".

Fonte: Adaptado de Milaré, (2015).

Conforme Tabela 1, percebe-se que a preocupação ambiental estava voltada em proteger a saúde pública e, por isso, não havia dispositivos explícitos para aprofundar na temática do meio ambiente natural. É de observar também que os dispositivos Constitucionais foram evoluindo, tornando-se, protagonistas na afirmação do direito ao meio ambiente como de interesse difuso, não restringindo apenas um indivíduo, mas um conjunto de indivíduos indeterminados ou indetermináveis (MACHADO, 2013).

Apesar disto, as soluções para extinguir os impactos ambientais negativos decorrentes de ações antrópicas não acompanharam a evolução legislativa, uma vez que o método mais antigo adotado pelo homem para livrar-se dos materiais inservíveis e/ou

obsoletos resultantes de suas atividades consiste em lixões, os quais são caracterizados pela aleatória e arbitrariedade na localização, na instalação e na operação do mesmo (JARAMILLO, 2003).

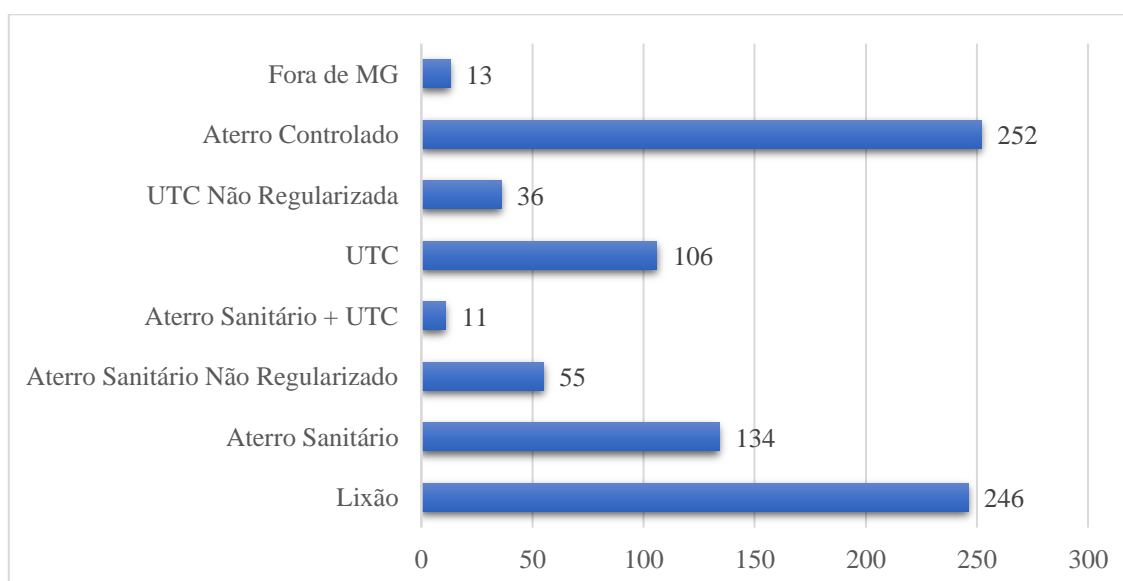
Nesse contexto, ainda que incipiente, os resíduos sólidos começaram a ser depositados em projetos de engenharia, em que estes foram denominados aterros sanitários. Estes contemplam técnicas avançadas e sofisticadas para dimensioná-los, porquanto objetivam prevenir e mitigar os impactos ambientais negativos advindos desses projetos (MIHELICIC; ZIMMERMAN, 2012).

Desse modo, o panorama das principais soluções utilizadas para a destinação dos RSU nos municípios mineiros, encontram-se apresentadas a seguir.

3.2. Resíduos sólidos urbanos

O cenário no estado de Minas Gerais, no que tange à problemática dos resíduos sólidos, pode ser caracterizado pelo déficit nos serviços, infraestrutura e instalações operacionais de saneamento básico, em especial à destinação e disposição final dos resíduos sólidos. Nesse caso, o panorama das principais soluções adotadas em Minas Gerais, para a destinação dos resíduos sólidos urbanos, encontra-se apresentada na Figura 1.

Figura 1: Cenário das principais soluções adotadas para a destinação dos resíduos sólidos urbanos



Fonte: FEAM (2016).

Com base na Figura 1, as principais soluções adotadas consistem em depositar os resíduos a céu-aberto, ou seja, em lixão ou aterro controlado. Ainda que, em âmbito estadual, os municípios tenham adotados práticas de triagem e compostagem (UTC – Unidade de triagem e compostagem), estas consideram, tão-somente, os resíduos potencialmente recicláveis e reutilizáveis, sendo os rejeitos depositados a céu-aberto.

Os anseios sociais e a imperiosa imprescindibilidade em adequar o saneamento básico, resultou no sancionamento da Lei 11.445/2007, sendo esta reconhecida como marco regulatório para legislar sobre a temática do saneamento básico. Essa Lei dispôs sobre as diretrizes nacionais aplicáveis ao setor de saneamento básico, a qual abrange atividades sistemáticas e contínuas de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água, de esgotamento sanitário, de manejo dos resíduos sólidos e de drenagem e manejo das águas pluviais (BRASIL, 2007).

Diante dessa situação, ainda que oportuno, a Lei 12.305/2010, instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) visando corroborar a temática dos resíduos. Essa Lei preencheu a lacuna do arcabouço legal, no qual objetiva proteger a saúde pública e a qualidade ambiental, reafirmando a gestão adequada dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

O histórico normativo e legal que disciplina a gestão dos resíduos sólidos, anterior às Leis, é considerado inexistente ou inoperante. No entanto, vislumbra-se um amplo e vasto antecedente normativo para tal disciplina, como, por exemplo, a Portaria do Ministério do Interior 53/1979 que proibia a disposição final de resíduos sólidos em “lixão”, o que caracterizava esta disposição como sendo “forma arcaica e prática condenável de disposição final, sendo os resíduos lançados ao solo, em área a tal destinada, sem qualquer estudo prévio, monitoramento ou tratamento” (MILARÉ, 2015, p.1203). Desse modo, para integrar e difundir o histórico normativo atinente à temática dos resíduos sólidos, a Tabela 2, ilustra estes dispositivos legais anteriores aos marcos regulatórios.

Tabela 2: Registro histórico requisitos legais aplicáveis ao gerenciamento de resíduos sólidos

Ano	Número	Ato normativo	Órgão competente	Aspectos legais
1979	53	Portaria	Ministério do Interior	Estabelece normas aos projetos específicos de tratamento e disposição final de resíduos sólidos, bem como a fiscalização de sua implantação, operação e manutenção
1981	19	Portaria Conjunta	MINTER/MIC/MME	Proíbe em todo o território nacional a implantação de processos que tenham como finalidade principal a produção de bifenilas policloradas – PCBS
1983	1	Instrução Normativa	SEMA/STC/CRS	Disciplina as condições a serem observadas no manuseio, armazenamento e transporte de bifenilas policloradas – PCBS
1988	6	Resolução	CONAMA	Dispõe sobre o licenciamento de obras de resíduos industriais perigosos
1991	2	Resolução	CONAMA	Dispõe sobre o destino final de cargas deterioradas, contaminadas, fora de especificação ou abandonadas
1993	5	Resolução	CONAMA	Dispõe sobre o gerenciamento de resíduos sólidos oriundos de serviços de saúde, portos e aeroportos, bem como de terminais ferroviários e rodoviários
1999	263	Resolução	CONAMA	Estabelece normas de licenciamento para coprocessamento de resíduos em fornos de produção de clínquer
2002	313	Resolução	CONAMA	Dispõe sobre o inventário nacional de resíduos sólidos industriais.
2002	307	Resolução	CONAMA	Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para gestão de resíduos da construção civil
2002	316	Resolução	CONAMA	Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos
2005	358	Resolução	CONAMA	Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências.
2005	361	Resolução	CONAMA	Dispõe sobre o gerenciamento, reciclagem, descarte, disposição, combustão, industrialização e comercialização de óleos lubrificantes usados ou contaminados
2008	404	Resolução	CONAMA	Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos
2009	416	Resolução	CONAMA	Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, e dá outras providências.

Fonte: Adaptado de Milaré (2015).

Com base na Tabela 2, considera-se que a legislação aplicável ao gerenciamento dos RSU é ampla e remota. Para Milaré (2015, p.172), não basta dispor exclusivamente da legislação, pois essa torna-se tautológica. Por isso, far-se-á, imprescindível que

“autoridades responsáveis se lancem ao trabalho de tirar essas regras do limbo da teoria para a existência efetiva da vida real”, de tal modo que o grave problema ambiental dos “brasileiros é o desrespeito generalizado, impunido ou impunível à legislação vigente”. Este ilustre autor assevera que “é preciso, numa palavra, ultrapassar a ineficaz retórica ecológica – tão inócua quanto aborrecida – e chegar a ações concretas em favor do ambiente e da vida”, destarte para nova modalidade de poluição, “a poluição regulamentar”.

Dessa forma, a PNRS (Lei 12.305/2010) institui instrumentos, objetivos, metas e princípios para ratificar o amplo e remoto arcabouço legal aplicável ao gerenciamento dos resíduos sólidos. Essa estruturação é louvável, pois condiciona orientação hábil e segura para a interpretação do texto legal, visto que afirma: (i) ação conjunta e não separadamente com configuração antagônica; (ii) defesa ambiental antes de ser legal é uma tarefa ética; (iii) análise conjunta dos múltiplos fatores bem como avaliação simultânea do meio ambiente, social, cultural, econômico, tecnológico e saúde pública (MACHADO, 2013, p. 633).

Assim sendo, a Lei 12.305/2010 é clara ao repudiar a destinação e disposição de resíduos/rejeitos a céu-aberto e, por isso, determina como sendo proibido a prática/ação de lançar resíduos sólidos ou rejeitos em:

[...] I - lançamento em praias, no mar ou em quaisquer corpos hídricos; II - lançamento in natura a céu aberto, excetuados os resíduos de mineração; III - queima a céu aberto ou em recipientes, instalações e equipamentos não licenciados para essa finalidade; IV - outras formas vedadas pelo poder público (BRASIL, 2010, art.47).

Do mesmo modo, esta Lei continua regulamentando que em aterros sanitários estão proibidas as seguintes atividades/modalidades: “I - utilização dos rejeitos dispostos como alimentação; II - catação [...]; III - criação de animais domésticos; IV - fixação de habitações temporárias ou permanentes; V - outras atividades vedadas pelo poder público” (BRASIL, 2010, art.48).

3.2.1. Caracterização dos resíduos sólidos

Os bens materiais provenientes de residências ou indústrias (atividades, produtos ou serviços), quando não atendem aos uso e gozo dos usuários geradores, são considerados lixo. Por sua vez, devido aos múltiplos, complexos e imperiosos geradores,

esses lixos incluem: (a) plástico e papel gerado em residências; (b) cinzas produzidas na indústria; (c) restos alimentícios, folhas e grama cortado de jardins; (d) entulho de construção; (e) seringas e outros itens gerados em hospitais (MIHELICIC; ZIMMERMAN, 2012).

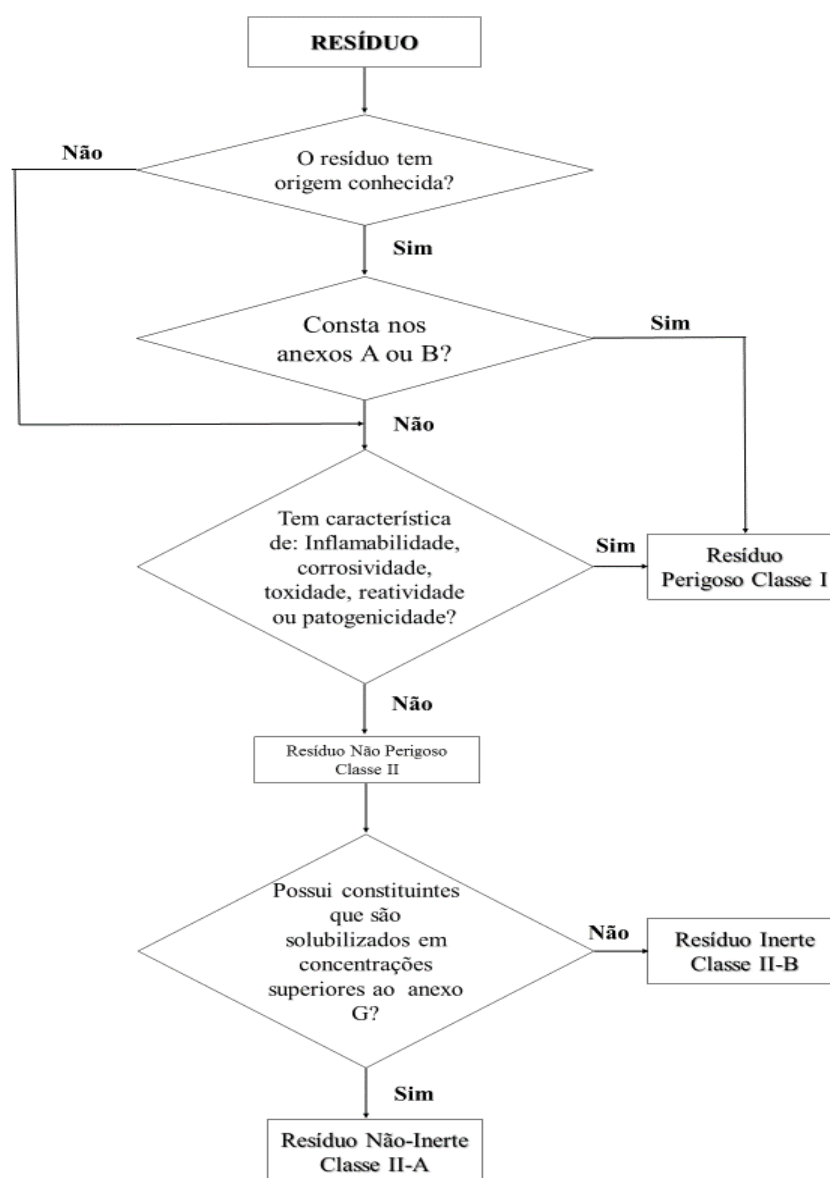
Nesse caso, para a caracterização dos resíduos sólidos, aplicar-se-á, as diretrizes legais estabelecidas na Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010) e nas normas regulatórias da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Complementam Mihelcic e Zimmerman (2012) que a caracterização dos resíduos sólidos consiste em identificar a fonte geradora, pois a composição dos resíduos é relativa a esta.

A Norma Brasileira Recursal (NBR) nº 10.004/2004 da ABNT, estabelece a base metodológica para a classificação dos resíduos. Para isso, torna-se imprescindível, a identificação do processo ou da atividade que lhes deu origem, visando identificar sua constituição ou composição. Por conseguinte, procede-se com a análise comparativa entre os constituintes/substâncias detectados nos resíduos e com aquelas pré-fixadas pela Norma.

Deste modo, a NBR 10.004/2004, classificou os resíduos sólidos como sendo: Resíduos classe I (Perigosos) e Resíduos classe II (Não Perigosos). Os resíduos classe-II, estão subdivididos em outras duas classes, sendo estas: i. resíduos classe II-A – Não Inertes; e ii. resíduos classe II-B – Inertes.

Sendo assim, na Figura 2 encontra-se apresentado o diagrama de interação utilizado para classificar os resíduos sólidos, segundo estabelecido pela ABNT.

Figura 2: Diagrama de interação para caracterização dos resíduos sólidos



Fonte: ABNT (2004).

Ao aplicar o diagrama para caracterização dos resíduos estabelecer-se-á, sua classificação conforme sua composição/constituição para fins de gerenciamento destes. De modo semelhante, a Lei 12.305/2010, tipifica onze fontes geradoras de resíduos sólidos, conforme as seguintes origens: (a) domiciliares; (b) limpeza urbana; (c) resíduos sólidos urbanos; (d) estabelecimentos comerciais; (e) saneamento básico; (f) industriais; (g) serviços de saúde; (h) construção civil; (i) agrossilvipastoris; (j) serviços de transporte; (k) mineração.

Além disso, esses resíduos sólidos podem ser categorizados como sendo perigosos e não perigosos, conforme o potencial de periculosidade desses, a saber:

[...] a) resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica; b) resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados na alínea “a” (BRASIL, 2010, art.13).

De acordo com Mihelcic e Zimmerman (2012), a geração de resíduos perigosos também está associada aos produtos domésticos de uso comuns – limpeza doméstica, produtos automotivos, suprimento e manutenção de casa. Na Tabela 3, encontra-se apresentado esses produtos perigosos, os quais são comumente encontrados em residências.

Tabela 3: Periculosidade dos resíduos sólidos urbanos domiciliares

Produtos de limpeza domésticos	
Produto	Característica
Limpadores de fornos	Corrosivo
Limpadores de ralos	Corrosivo
Ácidos de piscina, cloro	Corrosivo
Branqueador de cloro	Corrosivo
Produtos automotivos	
Óleo de motor	Inflamável
Descongelante	Tóxico
Baterias de carros	Corrosivo
Fluidos de transmissão e de freios	Inflamável
Herbicidas e inseticidas	Tóxico
Preservadores de madeira	Tóxico
Repelentes de pulgas e xampus	Tóxico
Repelentes de traça	Tóxico
Venenos de ratos e camundongos	Tóxico
Suprimentos de manutenção da casa e de hobbies	
Tintas com base de esmalte ou óleo	Inflamável
Solventes de tinta e thinners	Inflamável

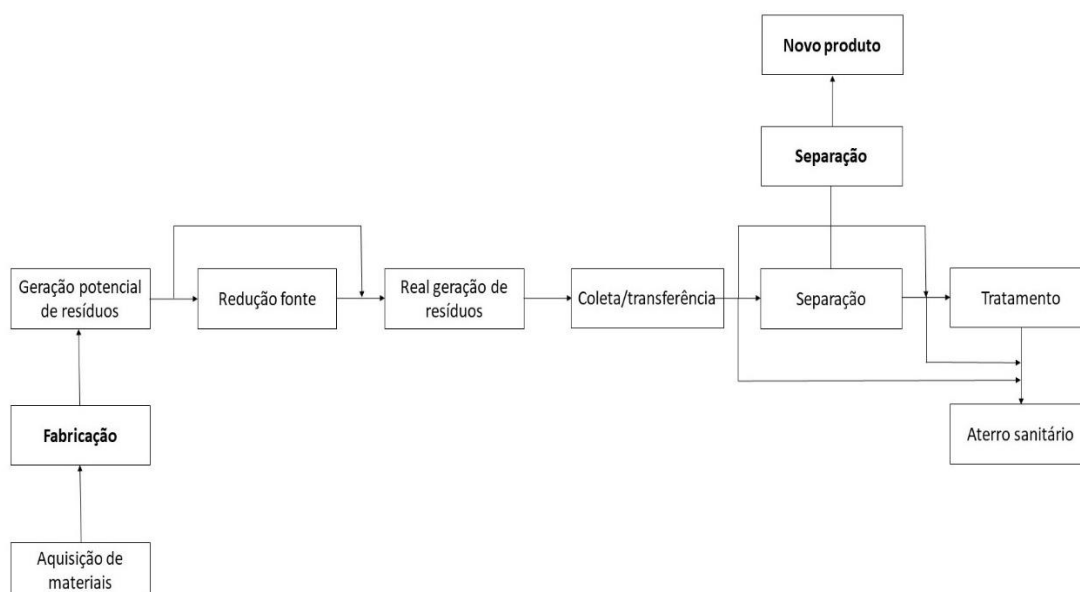
Fonte: Adaptado de Mihelcic e Zimmerman (2012).

Conforme disposto na Tabela 3, diversos produtos de uso e utilidade domiciliar apresentam potencial periculosidade. É de analisar também que a composição está associada a quantidade dos resíduos gerados. Nesse caso, o cidadão norte-americano, geram em média de 1,50 kg de resíduos por pessoa dia, enquanto que os brasileiros possuem uma taxa média de geração de RSU de aproximadamente 1,05 kg por pessoa dia (BRASIL, 2015).

Dessa forma, a composição dos resíduos é demasiadamente heterogênea, bem como a taxa de geração destes é inconstante, pois ambas alteram segundo os aspectos financeiros, geográficos e culturais. Por isso, o gerenciamento dos resíduos sólidos está caracterizado como tarefa complexa e heterogênea, haja vista que envolve o progresso cultural de cada país, região e bairro (MIHELICIC; ZIMMERMAN, 2012).

Para Barlaz *et al.* (1995) a Análise do Ciclo de Vida (ACV) dos resíduos sólidos é um instrumento aplicável ao adequado gerenciamento destes. Para tanto, esse instrumento consiste na análise do produto, processo ou serviço, através das fases de aquisição de matérias-primas até o processamento desses materiais. Assim sendo, torna-se possível analisar o desempenho ambiental por meio do fluxograma ilustrado na Figura 3.

Figura 3: Fluxograma para análise do ciclo de vida dos resíduos sólidos



Fonte: Barlaz *et al.* (1995).

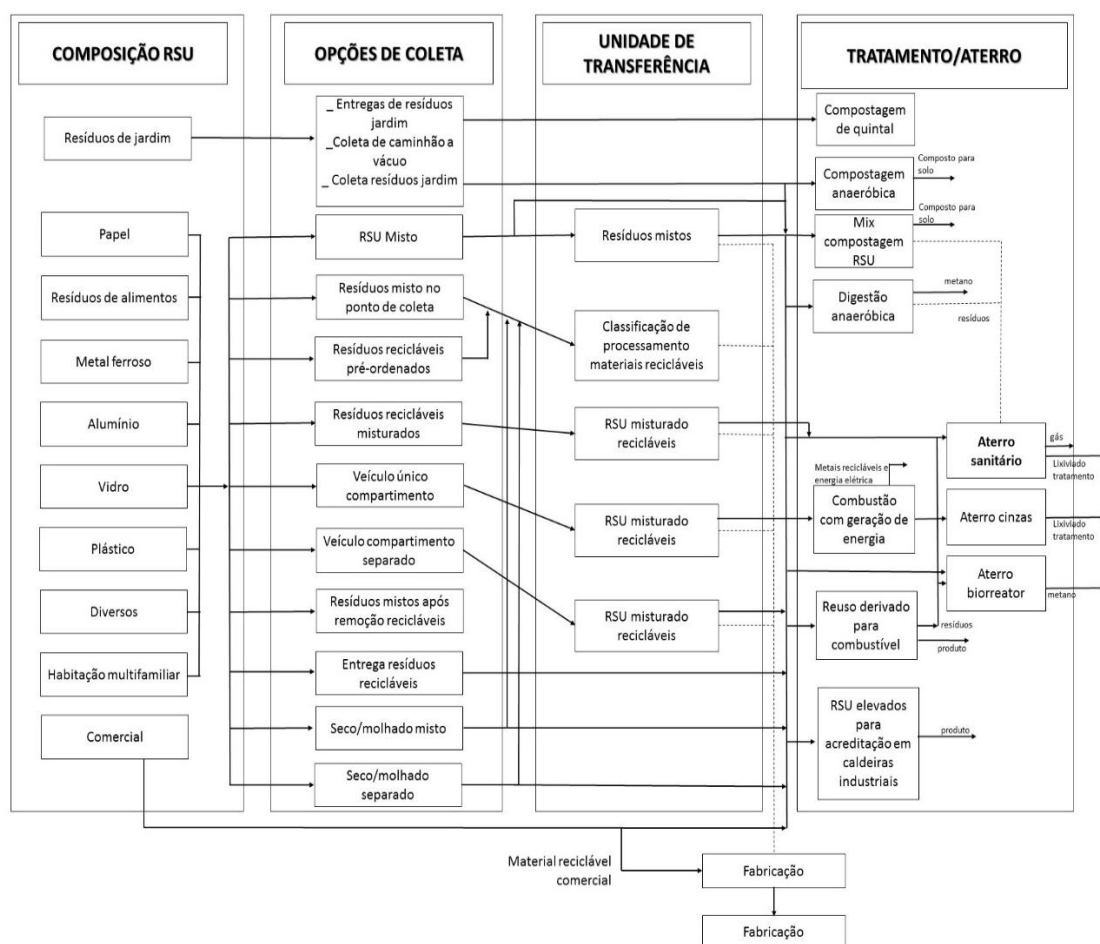
Com base na Figura 3, identifica-se, múltiplas etapas provenientes do ciclo de vida, notadamente, porque essa ACV abrange do “berço ao túmulo” os resíduos sólidos. De modo semelhante, pode-se acrescentar a esse ciclo, a participação da sociedade na gestão dos RSU. Considera-se que essa análise fundamenta o processo de manejo dos resíduos, conforme descrito no item seguinte.

3.2.2. Manejo dos resíduos sólidos urbanos

O processo de armazenar, coletar e transportar os RSU incide no manejo dos resíduos sólidos urbanos. Esse manejo consiste em coletá-los dos centros geradores e, em seguida, encaminhá-los para a destinação e a disposição final ambientalmente adequadas. A primeira etapa compreende em armazenar os resíduos (acondicionamento) de forma sanitária e adequada, sendo esta compatível com a quantidade e o tipo de resíduos, para a respectiva coleta. Por conseguinte, a etapa de coleta e transporte desses RSU, estes são destinados para as respectivas instalações operacionais de tratamento e disposição final (MONTEIRO *et al.*, 2001).

Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos – US EPA (2000), o gerenciamento dos RSU, apresenta etapas individualizadas, mas, interconectadas entre si, em que estas consideram: a) geração; b) segregação e coleta; c) transferência e separação; d) tratamento; e) aterro. Dessa forma, o dimensionamento dessas etapas, está condicionado as múltiplas combinações, de modo que na Figura 4, exemplifica-se as etapas de gestão, bem como as possíveis opções para manejo dos RSU.

Figura 4: Etapas e opções para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos



Fonte: Adaptado de US EPA (2000).

Conforme a Figura 4, o manejo dos RSU pode ser realizado em diversas situações que melhor adequem as peculiaridades locais, a saber: i) coleta pode ser realizada considerando vinte alternativas; ii) estações de transferência/transbordo estruturadas a partir de oito opções; iii) infraestrutura para recuperação dos resíduos projetadas cinco escolhas; iv) unidades de compostagem e de aterro em três alternativas.

Segundo Visilind e Morgan (2011), os métodos para a coleta dos RSU estão em constante otimização para garantir a redução dos encargos financeiros e para minimizar os riscos de acidentes. Esses autores, listam, dois dos principais métodos utilizados em Países Desenvolvidos para realizar a coleta dos resíduos: a) coleta com veículo equipado com elevador hidráulico que descarrega os resíduos em seu interior; b) sistema de coleta por tubos pneumáticos subterrâneos.

Para determinar essas etapas do manejo dos resíduos sólidos, alguns atributos peculiares devem ser considerados: I) regularidade da coleta para habituar os munícipes; II) frequência temporal da coleta seja minimizada; III) horário para reduzir custo e para otimizar a frota; IV) escolha de veículos para coleta – compactadores ou não-compactadores; V) roteirização da coleta (MONTEIRO *et al.*, 2001).

De acordo com Mihelcic e Zimmerman (2012), além da caracterização qualitativa e quantitativa dos RSU, o planejamento do manejo destes (coleta e transporte), condiciona ao dimensionamento das propriedades de densidade dos resíduos, haja vista que essa informação é cogente para identificar o volume mínimo necessário para coleta, transporte e disposição dos RSU. Sendo assim, a Tabela 4 representa a densidade típica para os diferentes tipos de resíduos considerando as múltiplas etapas do gerenciamento.

Tabela 4: Valores de densidade típicos para resíduos sólidos.

	Tipos de resíduos	Faixa de Densidade (Kg/m³)
RSU misturado	Solto	90 - 180
	Solto (países em desenvolvimento)	250 - 600
	Em caminhão compactador	300 - 420
	Depois da descarga de caminhão compactador	210 - 240
	Em aterro	480 - 770
	Em aterro (adensado)	700 - 1.100
	Rasgado	120 - 240
	Enfardado	480 - 710
Materiais recuperados (soltos)	Combustível em pó derivado de refugo	420 - 440
	Combustível derivado de refugo prensado	480 - 640
	Sucata de alumínio	220 - 260
	Sucata ferrosa	370 - 420
	Papelão	16 - 32
	Latas de alumínio	32 - 48
	Recipiente de plástico	32 - 48
	Papéis variados	48 - 64
	Jornal	80 - 110
	Resíduos de Jardim	64 - 80
	Borracha	210 - 260
	Garrafas de vidro	120 - 300
	Resíduos de comida	350 - 400
	Latas (não de alumínio)	64 - 80
	Latas de alumínio enfardadas	190 - 290
Materiais recuperados (comprimidos)	Latas ferrosas enfardadas	1.040 - 1.500
	Papelão enfardado	350 - 510
	Jornal enfardado	370 - 530
	Papel de alta qualidade enfardado	320 - 460
	Plástico PET enfardado	210 - 300
	Plástico PEAD enfardado	270 - 380

Fonte: Adaptado de Mihelcic; Zimmerman, (2012).

Na Tabela 4, constata-se que os resíduos e suas respectivas densidades são bastante alteráveis. Assim, o somatório das etapas de armazenamento, de coleta e de transporte estão caracterizadas, como sendo “responsáveis por 40% a 80% do custo total do gerenciamento dos resíduos sólidos”. Para dimensionar o planejamento do manejo dos RSU, considera-se imprescindível identificar: a) resíduos que serão coletados nas fontes geradoras; b) segregação dos resíduos sólidos; c) transporte direto para unidade de tratamento/disposição ou transferir primeiro os resíduos para veículos mais eficiente (MIHELIC; ZIMMERMAN, 2012, p.528).

De acordo com Visilind e Morgan (2011) no ano de 1736 o matemático suíço Leonard Euler (1707 – 1783), propôs estabelecer a otimização da rota para um desfile na cidade de Königsberg. Diante disso, esses autores argumentam que essa metodologia foi então denominada como Caminho de Euler, a qual objetiva auxiliar na criação de roteiros ótimos, para evitar o duplo caminhar pelas vias. Portanto, essa proposta metodológica de roteirização do percurso, consiste em caminhar entre as intersecções (nós das vias públicas), porém, esta somente poderá ser factível quando o número de elos que entra em todos os “nós”, for par.

3.2.3. Reciclagem e recuperação de resíduos

Considerando as etapas de gerenciamento dos RSU anteriormente citadas, Visilind e Morgan (2011) argumentam que a população urbana pode livrar-se dos seus bens materiais julgados indesejáveis, a partir de três alternativas: a) reutilização; b) reciclagem; c) descarte. Esses autores, reafirmam que cada alternativa deverá ser previamente escolhida segundo a constituição ou composição dos resíduos sólidos.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010), determinou como instrumento prioritário a coleta seletiva. Essa coleta visa implementar a logística reversa – reutilização e reciclagem, bem como a responsabilidade pelo ciclo de vida dos produtos. Dessa forma, incumbe ao município implementar a coleta seletiva, fomentando a participação de cooperativas ou associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda (BRASIL, 2010).

A coleta seletiva será estabelecida quando os consumidores/municípios estiverem mobilizados e sensibilizados para acondicionar e disponibilizar de forma adequada,

sanitária e diferenciada os RSU, conforme sua composição e/ou constituição (BRASIL, 2010).

Para otimizar a coleta seletiva, vários códigos de cores diferentes foram estabelecidos conforme as tipologias dos RSU. Essa classificação pode ser utilizada para identificar coletores e transportadores, além da publicidade em campanhas informativas sobre a coleta seletiva. Para isso, foram estabelecidos dez códigos de cores, todavia, apenas quatro códigos são comumente utilizados: 1) azul – papel/papelão; 2) vermelho – plásticos; 3) verde – vidros; 4) amarelo – metais (CONAMA, 2001).

Após o uso dos bens consumidos, estes quando aptos, devem ser destinados para a reutilização e a reciclagem. A reutilização consiste no “processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química”. Já a reciclagem abrange o “processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos” (BRASIL, 2010, art.3).

Para Visiling e Morgan (2011, p.333) o processo de reutilização pode ser compreendido, como sendo: “[...] um indivíduo usa os produtos novamente para a mesma finalidade ou os coloca para um segundo uso frequentemente criativo”. Dessa forma a reutilização amplia o ciclo de vida dos produtos e, conseqüentemente, reduz o volume de RSU a ser gerenciado. Igualmente, esses autores argumentam que a reciclagem envolve o processamento dos resíduos sólidos em novos produtos, sendo que nesse processo há a coleta e o transporte dos RSU para unidades centrais conhecidas como “instalação de recuperação de materiais – *material recovery facility*”.

Para estruturar as edificações/benfeitorias dessa unidade de triagem de materiais recicláveis, considera-se as seguintes variáveis nesse dimensionamento: a) seleção das alternativas – esteira de triagem ou silos/mesas de triagem; b) área estimada e equipamentos previstos; c) custos estimados. Em seguida, torna-se, necessário definir previamente o processo de trabalho – fluxograma do processo de atividades, sendo verificado e avaliado: I) organização desses espaços e o volume do galpão; II) comercialização/venda esperada; III) organização das equipes de trabalho (PINTO, 2008).

Desse modo, a reutilização e a reciclagem fomentadas através da coleta seletiva, resultam direta e indiretamente, na destinação final ambientalmente adequada de RSU,

haja vista que os resíduos potencialmente recicláveis/reutilizáveis serão triados e, por conseguinte, tão-somente, os rejeitos serão dispostos no Aterro Sanitário (BRASIL, 2010).

3.2.4. Compostagem

A compostagem consiste em outro método de reciclagem dos resíduos, porém, utiliza processo microbiológico para decompor resíduos biodegradáveis. Sendo assim, a compostagem compreende a transformação dos resíduos de jardim, restos de alimentos e outros tipos de resíduos, num material orgânico de modo que este pode ser utilizado para enriquecimento do solo (MILLER; SPOOLMAN, 2015).

De acordo com Braga *et al.* (2005), o processo de compostagem está fundamentado em técnicas remotas de agricultura, uma vez que os restos agrícolas eram transformados em condicionadores de solo. Desse modo, o processo consiste em degradar a matéria orgânica em condições aeróbias que podem ser divididas em duas fases: I) primeira fase termófila que decorre entre 2 a 4 semanas e em altas temperaturas – 70°C; II) segunda fase mesófila com temperatura próxima de 30°C e duração de aproximadamente 2 a 4 meses. O processo de decomposição, finda-se, quando a temperatura for constante a do ambiente externo.

Este processo normalmente é realizado em usinas de compostagem (ou pátio de compostagem), em que para isso, esse pátio deve conter os elementos mínimos para minimizar e/ou mitigar os riscos ambientais, sendo estes: a) impermeabilização mediante a pavimentação em concreto ou massa asfáltica; b) sistema de drenagem pluvial; c) permitir a incidência solar. Dessa forma, esse processo consiste na triagem, na deposição da matéria orgânica sobre o pátio formando leiras e no manejo da leira – controle da umidade, da temperatura, da aeração, dos nutrientes e do tamanho (FEAM, 2005).

O material resultante desse processo de compostagem é caracterizado como um composto maturado. Esse composto deve ser também manejado para garantir homogeneidade das partículas e estética agradável, por meio dos seguintes procedimentos: i) peneiramento; ii) estocagem; iii) coleta; iv) análise; v) utilização (FEAM, 2005).

A utilização/uso do composto maturado é recomendada para fins indiretos, isto é, secundários, como por exemplo: paisagismo, horto florestal e recuperação/restituição de áreas degradadas (FEAM, 2005).

3.2.5. Incineração

O processo de incineração versa em submeter os resíduos sólidos num processo de combustão, em que se utiliza o oxigênio em alta temperatura para reduzir os resíduos em cinzas e gases (BRAGA *et al.*, 2005).

De acordo com Mihelcic e Zimmerman (2012), há seis tipos de sistema de incineradores comumente utilizados, sendo estes: 1) queima não segregada: RSU são queimados; 2) modular: pequenos incineradores para resíduos específicos, por exemplo, resíduos de serviço de saúde; 3) combustível derivado de lixo: resíduos ricos em energia que podem ser separados de outros resíduos e posteriormente queimados em substituição aos combustíveis fósseis – biossólidos; 4) coincineração: resíduos específicos de pós-produção comercial/industrial, os quais podem ser queimados juntos com biossólidos; 5) resíduos perigosos: resíduos orgânicos perigosos são queimados para destruí-los – p.ex.: solventes e pesticidas; 6) fornos de cimenteiras: utilizações múltiplas dos RSU, especialmente pneus e óleos, durante a fabricação de cimento.

Para Baird e Cann (2011, p.742), os incinerados tipicamente utilizados para queima controlada dos RSU compreendem os de “um estágio de unidade de queima de massa” e o modelo mais moderno “modular de dois estágios”. Esses autores argumentam que o processo de funcionamento desses incinerados consistem:

[...] os resíduos são colocados em câmaras primárias e queimados a uma temperatura de aproximadamente 760°C. Os gases e as partículas, que resultam do primeiro estágio, são queimados mais eficientemente em temperaturas de 870°C na segunda câmara de combustão (BAIRD; CANN, 2011, p.743).

Para Mihelcic e Zimmerman (2012, p.537), o método mais utilizado para a incineração é o do tipo “queima não segregada (*mass-burn*)”. Dessa forma, o processo de incineração produz dois subprodutos sólidos: i) “as cinzas de fundo (*bottom ash*) [que correspondem] a fração não queimada dos resíduos”; ii) “as cinzas volantes (*fly ash*) [que se referem] a matéria particulada suspensa no ar de combustão e removida pelo equipamento de controle de poluição atmosférica”. Por isso, far-se-á, imprescindível que

os incinerados disponham de sistema de controle da poluição do ar, para reduzir “emissões de partículas, metais voláteis (como o mercúrio), óxidos nitrosos e produtos de combustão incompleta (como dioxinas)”.

Outrossim, Baird e Cann (2011), preceituam que a principal preocupação ambiental decorrente do uso/utilização de incineradores incide nos gases e materiais particulados gerados. Dessa forma, exigir-se-á que os incineradores implementem equipamentos para o controle da poluição, sendo estes:

[...] filtro de mangas, feito de tecido e usado para filtrar o material particulado, especialmente com diâmetro superior a $0,5 \mu\text{m}$, do efluente gasoso. [...] lavador de gases, que é uma corrente de líquidos ou sólidos que passa através de um fluxo de gás, removendo parte das partículas e gases. Se o fluxo sólido consiste de cal, gases ácidos como HCl e SO_2 são eficientemente removidos uma vez que eles são neutralizados pela cal formando sais. Metais pesados são também removidos em meio básico, já que formam hidróxidos insolúveis. Em algumas instalações modernas, óxidos de nitrogênio são removidos borrifando-se amônias e ureia nos gases quente de saída. [...] carvão ativado ou pó de carvão mineral é soprado nos gases de saída, os quais são em seguida filtrados pelos filtros de mangas; uma grande parte do conteúdo de dioxina, furano e mercúrio, contida nos gases da saída, é removida, uma vez que esses componentes são adsorvidos na superfície do carvão ativado ou carvão mineral (BAIRD; MORGAN, 2011, p.743).

Segundo Mihelcic e Zimmerman (2012, p.539), os dois fatores limitantes que versam na escolha dos sistemas de incineradores são: a) custos altos de construção e operação; b) complexidade, pois exige habilidade avançada na construção e operação. Sendo assim, por causa desses fatores “[...] os sistemas de incineração sejam mais utilizados nas regiões economicamente mais desenvolvidas do mundo”.

3.2.6. Disposição adequada em aterro sanitário

Os destinos dos resíduos sólidos urbanos apresentam múltiplas faces, desde o depósito a céu-aberto até a destinação correta em aterros sanitários. Ademais, estas descargas estão condicionadas às condutas e ações praticadas por particulares e/ou pelas prefeituras. Destarte para a Portaria do Ministério do Interior n° 53/1979 que proibia à contínua proliferação dos lixões em pequenos e médios municípios (MACHADO, 2013).

Dessa forma, a ABNT (1992) regulamentou essa técnica de aterro sanitário, a partir de princípios de engenharia para confinar os RSU no solo, sem provocar prejuízos à saúde, à segurança pública e ao meio ambiente.

A disposição de rejeito em aterro sanitário, está regulamentado pela Lei Federal 12.305/2010 que caracteriza essa disposição como sendo: “[...] disposição final ambientalmente adequada: distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos” (BRASIL, 2010, art.3, III).

Desse modo, a disposição final em aterro sanitário está regulamentada devendo esta observar as diretrizes fixadas pela Política Nacional de Resíduos, cessando toda ação e/ou omissão que cause interferências prejudiciais à saúde e à segurança dos munícipes. Outrossim, o gerenciamento do aterro, atenderá as técnicas mínimas específicas para projeto e operação deste (MACHADO, 2013).

3.3. Aterros sanitários e metodologia para implantação

Considerando as diretrizes legais e aplicáveis à disposição final adequada dos resíduos/rejeito urbanos, verifica-se que a implementação de aterro sanitário, far-se-á, impreterivelmente para a regularização dessa disposição. A ABNT (1992) caracteriza que esse método objetiva depositar/dispor os resíduos/rejeitos na menor área e volume permissível, sendo este recoberto com camada de solo ou material inerte ao final de cada jornada de trabalho.

Para Jaramillo (2003), o aterro sanitário é considerado uma técnica moderna e segura para a adequada deposição dos resíduos no solo, pois este é projetado e operado com elementos suficientes para não causar nenhum incômodo ou perigo para a saúde humana, bem como aos recursos naturais. É de observar também que a seleção do local adequado e o gerenciamento dos aspectos/impactos ambientais são elementos fundamentais para a efetividade deste.

De modo semelhante, Vesilind e Morgan (2011) argumentam que o projeto de aterro deve ser criteriosamente dimensionado, a partir do qual elementos para o controle da poluição devem estar claramente fixados no projeto.

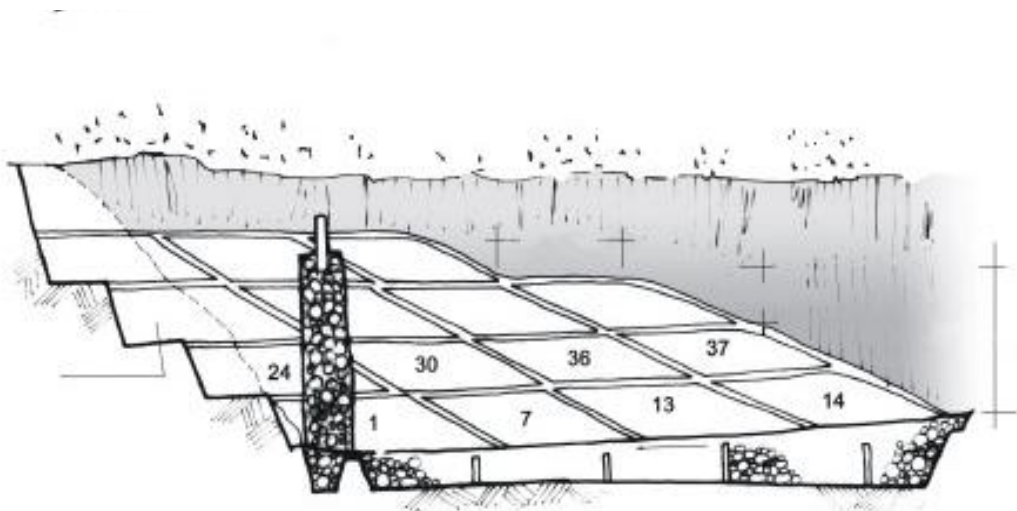
Dessa forma, a infraestrutura mínima dos aterros sanitários deverá estar devidamente consolidada e referenciada nos respectivos projetos. Para tanto, essa infraestrutura compreende o sistema de armazenamento e coleta de lixiviado, o manejo das águas pluviais, o monitoramento dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, o manejo do biogás e o nivelamento final do aterro (NSW EPA, 2015). Assim sendo, os principais tipos de aterro sanitário comumente projetados, encontram-se apresentados a seguir.

3.3.1. Tipos de aterros sanitários

No que se refere aos tipos de aterros sanitários, Mihelcic e Zimmerman (2012, p.539) elencam dois dos principais métodos construtivos para aterros: a) área ou superficial; b) terrenos de meia encosta formando vales. Os aterros do tipo de área/superficial são instalados numa superfície plana e desenvolvem-se verticalmente. Já os aterros de meia encosta consistem no preenchimento dos espaços vazios de encostas, depressões. Os autores ressaltam que “os aterros são instalações artificiais projetadas e operadas para conter resíduos sólidos em longo prazo”.

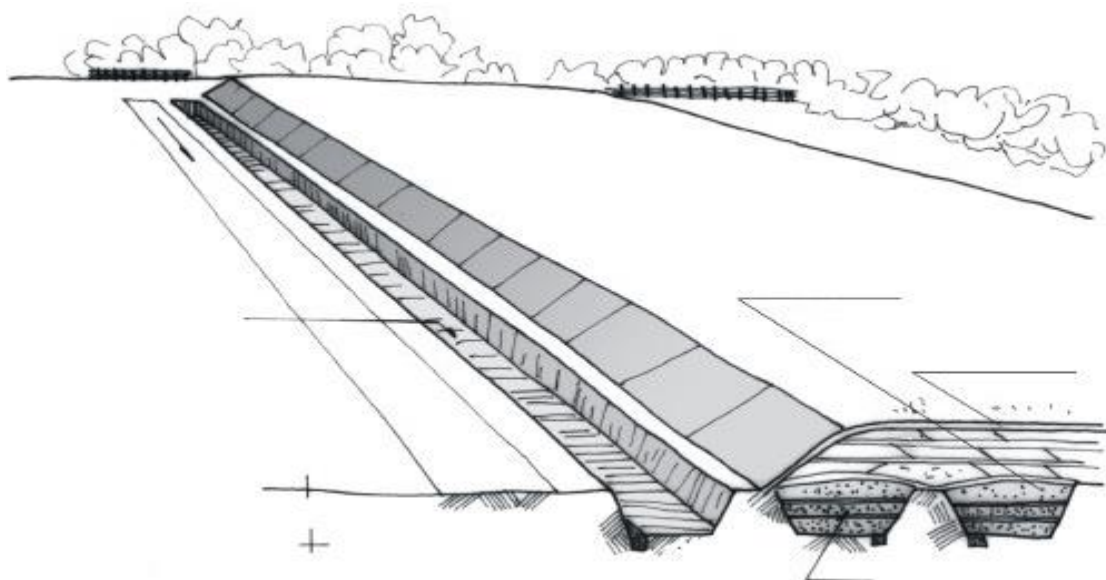
Do mesmo modo, Jaramillo (2003) considera que a metodologia para desenvolver projeto de aterro sanitário é determinada conforme a topografia do terreno, o tipo de solo e a profundidade do lençol freático, de modo que para isso, há dois métodos construtivos: i) método de trincheira – utilizado em regiões planas, na qual consiste no rebaixamento do nível do solo; ii) método de área – quando inviável dispor os resíduos em trincheiras, estes são depositados no solo formando camadas verticais, por meio do qual ambos os métodos podem ser combinados, quando factível e oportuno. A representação esquemática desses métodos ora citados encontra-se apresentada nas Figuras 5 e 6.

Figura 5: Método de área para construção de aterro sanitário



Fonte: Jaramillo (2003).

Figura 6: Método trincheira para construção de aterro sanitário



Fonte: Jaramillo (2003).

Conforme ilustrado nas Figuras 5 e 6 os aterros sanitários podem ser construídos a partir desses dois métodos construtivos. Nesse caso, a partir do método construtivo selecionado, deverá ser considerado o cálculo das células diárias para a deposição dos resíduos frente a geração diária de resíduos. Sendo assim, o preenchimento das células está condicionado a formulação da camada horizontal do conjunto de células diárias

“denominada lift”, de tal forma que o número de *lifts* estão intrínsecas a topografia e a vida útil do aterro (MIHELICIC; ZIMMERMAN, 2012, p.547).

Dessa forma, os resíduos/rejeitos são depositados no aterro formando as *lifts*, por meio do qual estes terão seu volume reduzido através de processos físicos, químicos e biológicos de decomposição desses resíduos (BRAGA *et al.*, 2005).

3.3.2. Processos de decomposição dos resíduos em aterros

O processo de decomposição dos resíduos/rejeitos em aterros sanitários ocorre a partir de múltiplas reações de ordem física, química e biológica. Nesse caso, as reações físicas consistem na compactação e na movimentação de gases e lixiviados. As reações químicas incidem na oxidação/redução e as reações biológicas são caracterizadas por microrganismos aeróbio e anaeróbico. Dessa forma, o comportamento do aterro sanitário assemelha-se a um reator anaeróbico de decomposição bioquímico em batelada que na ausência de oxigênio há geração de lixiviados e de gases (JARAMILLO, 2003).

O processo de decomposição em aterros sanitários acontece por estágios, sendo que nos primeiros estágios de decomposição “o oxigênio é consumido e o dióxido de carbono e ácidos orgânicos são produzidos”, em que estes produtos gerados diminuem o pH do lixiviado. Igualmente, há o aumento da demanda por oxigênio no lixiviado (Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO e Demanda Química de Oxigênio – DQO), além da “conversão da fração orgânica de uma fase particulada a uma dissolvida”. Sendo assim, nos estágios finais não haverá mais oxigênio, haja vista que o ambiente se tornou anaeróbico. Dessa forma, “os microrganismos convertem os ácidos orgânicos de alta DBO em gás metano”, de tal forma que “o lixiviado se torna menos concentrado à medida que os constituintes dissolvidos são convertidos à fase gasosa e os componentes rapidamente lixiviáveis do material residuário tornam-se menos prevalentes” (MIHELICIC; ZIMMERMAN, 2012, p.541).

De acordo com Baird e Cann (2011), o processo de decomposição dos resíduos/rejeitos em aterros sanitários, pode ser dividido em três etapas. Estas por sua vez, podem ocorrer simultaneamente quando o aterro ainda está recebendo resíduos. Nesse caso, a primeira etapa incide num curto processo aeróbico, pois ainda há oxigênio presente nos resíduos, de tal modo que ocorre o seguinte fenômeno:

[...] oxida os materiais orgânicos a CO_2 e água, com a liberação de calor. A temperatura interna pode atingir entre 70 e 80°C, uma vez que as reações são exotérmicas. O dióxido de carbono liberado da matéria orgânica torna o chorume ácido, dessa forma facilitando sua capacidade de lixiviar os metais presentes no lixo [...] (BAIRD; CANN, 2011, p.739).

Esses autores complementam que uma fração da matéria orgânica é parcialmente oxidada em aldeídos, cetonas e álcoois, proporcionando aos resíduos/rejeitos recém depositados no aterro um odor adocicado. A partir desse momento, inicia-se a segunda fase (anaeróbica), na qual observa-se o seguinte processo:

[...] fermentação ácida, gerando os gases amônia hidrogênio e dióxido de carbono e uma grande quantidade de compostos orgânicos parcialmente degradados, especialmente ácidos orgânicos. O pH do chorume nessa fase se encontra na faixa de 5,5 a 6,5 e é quimicamente agressivo. Outras substâncias orgânicas e inorgânicas se dissolvem nesse chorume em função de sua acidez. Novamente, o dióxido de carbono é liberado [...] (BAIRD; CANN, 2011, p.739).

É de observar que nessa segunda etapa, o chorume possui características que demandam elevada quantidade de oxigênio (DBO), concentração de metais. Ainda, o processo de decomposição anaeróbia irá produzir ácidos carboxílicos voláteis, ésteres e tioésteres pesados que conferem odor fétido (BAIRD; CANN, 2011). A terceira e última etapa incide no processo metanogênico (anaeróbico), no qual acontece o processo:

[...] metanogênico, aproximadamente seis meses a um ano após a cobertura e pode continuar por um período muito longo de tempo. O metabolismo das bactérias anaeróbias é muito lento para decompor os ácidos orgânicos e o hidrogênio que são produzidos na segunda fase. Como os ácidos são consumidos nesse processo, o pH aumenta para aproximadamente 7 ou 8 e o chorume torna-se menos reativo. Os principais produtos nesta fase são o dióxido de carbono e metano, CH_4 (BAIRD; CANN, 2011, p.740).

Essa terceira etapa resulta na produção de metano, em que esta pode permanecer por aproximadamente 10 a 20 anos. Em seguida a esse período haverá significativa taxa de redução na geração de CH_4 (BAIRD; CANN, 2011).

A US EPA (2000) argumenta que a análise do ciclo de vida de aterros sanitários decorre em três períodos, sendo estes categorizados: i) curto prazo de tempo – duração de vinte anos que corresponde ao período de decomposição ativa do aterro; ii) período intermediário de cem anos o qual considera aproximadamente a vida de uma dada

geração; iii) período de longa duração de até 500 anos que corresponde a um tempo indefinido referência, no ponto em que a emissão de um determinado fluxo ambiental terá provavelmente atingiu o seu rendimento teórico.

3.3.3. Condições gerais para projetos de aterros sanitários

Em aterros sanitários, critérios mínimos devem ser atendidos para projetar estes. Dessa forma, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1992), determina as condições exigíveis para elaborar projetos de aterros sanitários, as quais consideram: a) informações cadastrais do proponente e do responsável técnico; b) diagnóstico dos resíduos sólidos – origem, qualidade e quantidade diária e mensal, bem como frequência, horário para recebimento, massa específica e veículos transportadores; c) caracterização da alternativa locacional conforme o zoneamento ambiental e urbano, vias de acesso, vizinhança, economia de transporte e operacional, titularidade da área escolhida, infraestrutura urbana e bacia hidrográfica; d) descrição dos elementos do projeto; e) critérios operacionais; f) utilização futura da área.

Sendo assim, Jaramillo (2003) assegura que o aterro sanitário contenha as informações mínimas: i) população total, taxa crescimento e índice atendimento; ii) taxa geração, aumento anual e origem dos RSU; iii) dimensionamento do volume e da área para o aterro sanitário; iv) índice de varrição das vias públicas; v) atendimento ao setor privado; vi) gravimetria dos resíduos; vii) caracterização do meio físico – solo, coeficiente permeabilidade e profundidade do lençol freático; viii) condições climáticas – chuva, evaporação, temperatura e direção dos ventos; ix) normas e regulamentos aplicáveis em vigência.

Ao determinar as condições gerais para o projeto de aterro sanitário, a ABNT (1992), tipificou os elementos/infraestrutura para aterros sanitário, sendo estes requeridos para garantir à proteção e segurança da saúde pública e do meio ambiente, no quais aplicam-se: 1) manejo e drenagem de águas pluviais que tendem a fluir para os maciços e as precipitadas diretamente sobre estas áreas; 2) drenagem e remoção de percolato/lixiviado que incide em coletar e transportar esses líquidos para o tratamento; 3) tratamento de percolato/lixiviado para a adequabilidade destes aos padrões legais e regulamentares; 4) impermeabilização superior, bases e laterais do aterro; 5) drenagem dos gases – coleta, transporte e tratamento; 6) operação do aterro com demarcação e

isolamento dos acessos/área, preparação do local para à disposição dos resíduos sólidos, material de empréstimo para cobertura dos resíduos e controle tecnológico; 7) encerramento e uso futuro da área.

Considera-se, portanto que os elementos ora citados devem constar no projeto de aterro sanitário para que essa atividade não cause alterações adversas no meio (físico, biótico, antrópico) local.

3.3.4. Camadas de base do aterro sanitário

As camadas de base do aterro sanitário são compostas por material durável e impermeável, instalado na base e paredes das *lifts* do aterro sanitário visando evitar, reduzir e eliminar potenciais riscos de contaminação das águas superficiais e subterrâneas (NSW EPA, 2015, p.6). Mihelcic e Zimmerman (2012) complementam que essas barreiras também podem ser instaladas na parte superior do aterro (cobertura final).

Para escolher a geomembrana, considerações sobre as propriedades físicas (espessura, força, capacidade de resistência a tensão ou deformação e resistência a tração e perfuração) são imprescindíveis para garantir ótimo desempenho mecânico, durabilidade e resistência a degradação a longo prazo (VICTORIA EPA, 2015).

Essa camada pode ser constituída por material natural ou geossintético “*Geosynthetic Barriers-Clay* – camada de argila de bentonita”, no qual a condutividade hidráulica ótima para esta camada corresponde a $1 \times 10^{-9} \text{ m.s}^{-1}$. Dessa forma, a sub-base do aterro sanitário deve ser bem consolidada visando proporcionar uma plataforma rígida para a instalação da camada de argila compactada, bem como proteger a geomembrana contra tensões excessivas (VICTORIA EPA, 2015, p.20). Para tanto, a NSW EPA (2015, p.6) recomenda que os projetos de sistema de lixiviados incluam uma sub-base compactada de 200 mm de argila (natural ou geossintética) e com uma condutividade hidráulica $1.10^{-8} \text{ m.s}^{-1}$, de modo que sobre esta será instalada uma camada de geomembrana com no mínimo 2 mm de espessura e fabricada em PEAD (polietileno de alta densidade) revestindo a base e a lateral da célula.

Para proteger a geomembrana contra forças externas (físicas) causadas por equipamentos ou materiais sobrejacentes, julga-se necessário revesti-la com material fabricado em polipropileno, nesse caso o geotêxtil. Este está composto por filamentos poliméricos, fibras ou fios feitos principalmente nas folhas de tecido ou não-tecido têxtil,

haja vista que estas são flexíveis e permeáveis. A função do geotêxtil consiste em proteger a integridade das geomembranas minimizando os riscos de ruptura ou punção durante a operacionalidade do aterro sanitário (NSW EPA, 2015).

No dimensionamento e instalação das camadas ora citadas, estabelecer-se-á, prévio planejamento para o layout da base do aterro sanitário, considerando: a) minimizar a solda; b) instalar em caráter contínuo; c) sobrepor folhas de geomembrana em 125 mm. Posteriormente, essas camadas devem ser ligadas através de soldagem, de modo que esta pode ser realizada por meio de método térmico (cunha soldadura, ar quente ou extrusão) ou de método químico (solventes). O método comumente utilizado “welding de dupla fusão”, consiste em soldar a geomembrana através da solda de cunho quente produzindo duas costuras paralelas com um canal de ar (5 mm). Ressalva-se que para garantir a qualidade e efetividade da solda é necessário realizar os seguintes testes: i) ensaio destrutivo para avaliar a força e integridade da solda; ii) ensaio não-destrutivo para verificar se é contínua a solda e não há vazamentos – ar pressurizado (VICTORIA EPA, 2015).

3.3.5. Produção e gerenciamento de lixiviado

Devido a produção de lixiviado no aterro sanitário, atividade e infraestrutura para gerenciar este são imprescindíveis. Assim sendo, os elementos mínimos exigíveis para o gerenciamento do lixiviado: a) conjunto de mecanismos para coleta, remoção e tratamento dos líquidos; b) instalação de poços de monitoramento – poços testemunhas, para verificar a integridade das águas subterrâneas; c) instalação de revestimentos na lateral e base do aterro sanitário (BAIRD; CANN, 2011).

Para coletar o líquido lixiviado, instala-se camada de material drenante e tubagem de coleção. A estruturação desse sistema de drenagem pode ser composta por cascalho com granulometria entre 20 mm e 40 mm e não-reativo quando as condições forem ácidas, ou seja, quimicamente resistentes ao lixiviado, teor de carbonato deverá ser inferior a 8,5% em massa e a condutividade hidráulica maior que $1.10^{-3} \text{ m.s}^{-1}$ (NSW EPA, 2015).

Dessa forma, a disposição desse sistema na base do aterro sanitário observará: I) intervalo de no máximo de 25 metros com declividade de 1% longitudinal e 3% transversal para evitar o acúmulo de lixiviado, sendo este não-superior a 300 mm; II) tubos fabricados em polietileno de alta densidade e perfurados para facilitar o fluxo de

lixiviado; III) camada de geotêxtil (não-tecido) para proteger o sistema de drenagem, bem como funcionar como filtro (NSW EPA, 2015, p.9; VICTORIA EPA, 2015).

A geração de Líquidos lixiviados pode ser determinada considerando a precipitação incidente na área do aterro, a filtração superficial, subterrânea e evapotranspiração e a umidade natural dos resíduos/rejeitos (JARAMILLO, 2003). De modo semelhante, Baird e Cann (2011) argumentam sobre a composição/constituição do lixiviado produzido em aterros sanitários, a qual normalmente está composta:

[...] (i) ácidos orgânicos voláteis, como ácido acético e vários ácidos graxos de cadeia longa; (b) bactérias; (c) metais pesados, normalmente em baixas concentrações (principalmente chumbo e cádmio); (d) sais de íons orgânicos comuns, como Ca^{2+} ; (e) micropoluentes presentes no chorume, como tolueno e diclorometano (BAIRD; CANN, 2011, p.739).

O lixiviado por apresentar características similares as águas residuárias e, por isso, o tratamento deste, pode ser realizado considerando as opções comumente utilizadas para tratar esgotos domésticos: i) transportado através de tubulação ou caminhão-tanque, para estação de tratamento de esgoto; ii) tratamento do lixiviado no local e em seguida a disposição no solo ou na água; iii) tratamento parcial no local e depois transportá-lo para uma estação de tratamento de esgoto (MIHELICIC; ZIMMERMAN, 2012).

Assim sendo, os componentes desse processo de tratamento do lixiviado podem ser via degradação aeróbia e, em alguns casos, pode ser utilizado método de oxidação avançado com aplicação de ozônio (BAIRD; CANN, 2011). Ademais a eliminação do lixiviado após o tratamento poderá ser realizado: a) interna ou externa ao tratamento; b) evaporação; c) irrigação; d) disposição *off-site*; e) reinjeção na célula de resíduos; (f) biorreator (NSW EPA, 2015, p.14).

3.3.6. Produção e gerenciamento de gases

A produção de gás de aterro sanitário pode ser considerada como oportunidade ou problema, porém, há cinco razões para caracterizar essa geração como um problema ambiental: 1) gás explosivo quando misturado com o oxigênio; 2) prejuízos a saúde dos trabalhadores do local; 3) geração de odores; 4) provoca o deslocamento de oxigênio do solo, interferindo na flora; 5) emissão de gás metano para atmosfera (MIHELICIC; ZIMMERMAN, 2012).

Dessa forma, mecanismos para controlar a emissão, a migração e a acumulação dos gases gerados no aterro sanitário, requer infraestrutura mínima para conter, coletar e tratar estes. Para isso, instala-se sistema de extração de gases da massa de resíduos, no qual este pode ser passivos (gravitacional) ou ativos (forçado). De modo geral, esses sistemas devem ser instalados progressivamente e acompanhando a vida útil do aterro, ou seja, após a conclusão das respectivas células. Destarte que esse sistema deve suportar as forças criadas, bem como a drenagem de gás ótima de $1.10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$ (NSW EPA, 2015, p.31).

O aproveitamento energético dos gases gerados no aterro sanitário está condicionado ao volume de gás produzido. Logo, a recuperação energética ou *trated by flaring*, requer a utilização de equipamentos do tipo *flare*. Nesse caso, deverá ser observado o “tempo de residência do gás maior que 0,6 segundos, temperatura de combustão maior 780°C e eficiência de destruição maior que 98%”. Para o tratamento dos gases gerados em aterros de pequeno porte ou volume inferior a $100 \text{ m}^3/\text{hora}$, pode ser utilizado sistema de o tratamento biológico com oxidação térmica, por meio do qual o gás passa através de um biofiltro. Os tipos de sistemas de gás microbiológico compreendem os “*biofilters, biocovers e biowindows*”. Esses sistemas oxidam o material para fins de sustentar o crescimento de bactérias metanogênicas, de modo que estas usam o oxigênio para converter o metano em dióxido de carbono, água e energia (NSW EPA, 2015, p.36)

O estado de equilíbrio de produção de gás metano é aproximadamente “[...] 1 ou 2 anos até 2 a 20 anos”, porém, haverá alguns casos em que as condições biológicas do aterro não sejam favoráveis, porquanto a presença de compostos químicos inibidores e/ou a infiltração de oxigênio devido a falha na cobertura, não haverá o processo da produção de gás metano (MIHELIC; ZIMMERMAN, 2012, p.541).

Desse modo, o monitoramento de gases gerados em aterros sanitários, versa em avaliar os níveis de gás na superfície e subsuperfície. Para isso, a investigação de superfície consiste em avaliar se o nível liminar de gás (5 cm acima da superfície do aterro, com espaçamento de 25 metros) está em conformidade com os padrões estabelecidos. Para o monitoramento subsuperficial do gás de aterro, requer a locação da rede de poços de gases, em que a variável determinística para o dimensionamento dessa rede está condicionada a grandeza das células (perímetro), bem como o menor caminho de resistência que o gás encontrará. Com isso, os poços devem ter espaços reduzidos para detectar qualquer migração *off-site* para potenciais receptores, além disso, a profundidade

desses poços deve considerar a cobertura final das células, além de possuir selo e válvula na parte superior destes para fins de monitoramento (NSW EPA, 2015).

3.3.7. Gerenciamento e monitoramento dos recursos hídricos

O gerenciamento das águas pluviais em aterro sanitário compreende a instalação de drenos para a interceptação direta das águas pluviais. Esses drenos formam um sistema, em que este é dimensionado a partir do evento hidrológico num intervalo de ocorrência entre 1 a 100 anos. Assim sendo, os fatores complementares ao dimensionamento desse sistema incidem nos aspectos topográficos e pontos de descarga das águas pluviais drenadas (VICTORIA EPA, 2015).

O monitoramento dos recursos hídricos superficiais objetiva verificar e avaliar, se o aterro sanitário está causando impacto ambiental nos corpos d'água. Para isso, estabelece a localização dos pontos de monitoramento e de coleta, com base na proximidade do aterro com os recursos hídricos (FEAM, 2006).

Para monitorar as águas subterrâneas, torna-se necessário realizar a locação de pontos sendo estes em número suficiente para detectar qualquer tipo de alteração adversa na qualidade destas. Sendo assim, para a normatização desse procedimento, foi determinado as seguintes diretrizes para amostragem: 1) remoção de toda e qualquer água estagnada nos poços; 2) medição do nível d'água nos poços; 3) medição da vazão e direção da água; 4) indicação da dispersão quando houve a migração de lixiviado. Por fim, o dispositivo e o método utilizados devem causar o mínimo de alterações físicas e químicas na água, além de que este monitoramento deverá ser sistemático e contínuo (NSW EPA, 2015).

3.3.8. Gerenciamento e monitoramento de ruído

Os ruídos podem intervir negativamente na amenidade das comunidades locais adjacentes ao aterro sanitário, haja vista a movimentação intensa de veículos que provocam a geração de ruído, poeira e sujeira. Dessa forma, o gerenciamento desse ruído/poeira requer o estabelecimento de diretrizes gerais para o tráfego dos veículos, limitando a velocidade das vias de acesso, reduzindo as horas de operação e garantindo vias ótimas para o tráfego de veículos (VICTORIA EPA, 2015).

3.3.9. Gerenciamento e monitoramento de recalque

Devido as reações que ocorrem no interior do aterro sanitário para a decomposição dos resíduos/rejeitos, torna-se imprescindível o gerenciamento geotécnico deste, visando analisar o comportamento/transformação dos resíduos (FEAM, 2005).

Nesse caso, a atividade reológica de inchamento e/ou murchamento dos resíduos/rejeitos depositados no aterro, podem ser compreendidas através do modelo de bolhas. Esse modelo consiste em avaliar se a movimentação e pressão interior dos gases e a pressão externa podem causar desequilíbrio nos resíduos (BISHOP; MORGENSTERN, 1960).

Dessa forma, para avaliar a estabilidade dos maciços são utilizados marcos superficiais fixos irremovíveis e piezômetros. Com base no levantamento topográfico desses marcos identifica-se os deslocamentos horizontais e verticais (recalques) destes. Já os piezômetros identificam o nível de pressão no interior da massa dos resíduos (FEAM, 2005).

Esse gerenciamento deverá ocorrer durante a operação e pós-operação do aterro sanitário, uma vez a ausência deste, pode aumentar drasticamente a pressão interna na massa dos resíduos sólidos causando a instabilidade do aterro/maciço (BISHOP; MORGENSTERN, 1960; FEAM, 2005).

3.3.10. Condições gerais e atividades pós-encerramento

As atividades para o encerramento do aterro sanitário, iniciam-se quando este não possui capacidade para receber resíduos/rejeitos porquanto o término de sua vida útil. Para isso, deverá ser elaborado plano de encerramento contendo os procedimentos para o monitoramento posterior ao fechamento do aterro. Assim sendo, esse plano deverá ser implementado num período máximo de doze (ABNT, 1997).

Primeiramente, realiza-se o nivelamento final através da formação da seguinte camada: i) camada de solo com espessura maior que 300 mm; ii) camada de argila compactada com espessura maior que 600 mm de espessura ou camada composta por geomembrana de PEAD de 2 mm; iii) camada para revegetação com espessura de 1.000

mm. Após a conclusão dessa camada, instala-se um sistema para a drenagem de águas pluviais (NSW EPA, 2015, p.55).

Dessa forma, outras atividades também estão arroladas nos cuidados posteriores ao encerramento das atividades operacionais do aterro sanitário, de um modo que estas compreendem a manutenção da cobertura, o sistema de coleta e tratamento do lixiviado, o sistema de extração de gás de aterro e o monitoramento da qualidade das águas superficial e subterrânea. Considera-se, portanto que a gestão dos cuidados posteriores abrange um período de 30 anos (VICTORIA EPA, 2015).

Para atestar que a conclusão/encerramento do aterro sanitário não é potencialmente poluidora ou lesiva, deve ser emitido certificado atestando que as ações do plano de encerramento foram cumpridas e efetivas. Nesse caso, para chancelar esse Certificado deverá ser observado: 1) os níveis de metano e de dióxido de carbono – “ $\text{CH}_4 < 1\%$ em volume e $\text{CO}_2 < 1,5\%$ em volume no período de 24 meses”; 2) a taxa de geração de lixiviado – “volume de lixiviado é insignificante”; 3) fechamento das células – “nivelamento final e revegetação estão estáveis”; 4) manejo da água pluvial – “sólidos em suspensão na água pluvial menor que 50 mg/L”. Esse certificado deve ser “emitido após 30 anos pós-encerramento” do aterro sanitário, afirmando que a “gestão ambiental, [far-se-á] desnecessária” (NSW EPA, 2015, p.60).

3.3.11. Áreas contaminadas

A disposição regular e/ou irregular de resíduos/rejeitos e de outras substâncias, podem causar a contaminação do solo e da água (BRASIL, 2010). Para isso, deverá ser analisado a atividade/empreendimento desenvolvida no passado e os seus potenciais efeitos de contaminação (SÃO PAULO, 2009).

As áreas contaminadas passíveis de remediação estão tipicamente localizadas em terrenos de depósito de resíduos sólidos, de indústrias e de postos de gasolina. Nesse caso, a desativação de atividades potencialmente geradores de contaminação (lixão) deverá ser realizada com prévia comunicação junto ao órgão ambiental competente, informando essa ação, na qual deverá ser apresentado plano de desativação (MACHADO, 2013).

Para isso, realiza-se análise duas investigações – preliminar e confirmatória, visando identificar a extensão integral da poluição e do risco desta para a saúde pública e o meio ambiente. A partir destas investigações, procede-se o processo de remediação das

áreas contaminadas, de acordo com um conjunto de ações objetivando eliminar ou reduzir os riscos em níveis aceitáveis para o uso declarado do solo (SÃO PAULO, 2009, art. 3º, XVIII).

Dessa forma, os três principais métodos disponíveis para remediação de áreas contaminadas consistem: i) contenção ou imobilização; ii) mobilização; iii) destruição. Essas metodologias podem ser aplicadas “in situ” ou “ex situ”, sendo a primeira considerada a melhor opção (BAIRD; CANN, 2011, p.769).

Considera que a área estará remediada quando atender ao uso declarado, ou seja, o atendimento aos padrões aceitáveis de risco para determinado uso do solo, conforme aptidão para saúde humana, além das diretrizes legais do município para uso e ocupação do solo (MACHADO, 2013). Portanto, para a reclassificação da área como sendo remediada para o uso declarado, far-se-á, nova avaliação de risco conforme o uso pretendido e que deverá ser deferido pelo órgão ambiental competente (SÃO PAULO, 2009).

3.3.12. Recursos financeiros

Os recursos financeiros necessários para a implementação de aterros sanitários estão divididos em etapas sequenciais e concatenadas, sendo essas: construção, construção de células, operação e fechamento. Isto posto, esses encargos financeiros serão computados de acordo com o tamanho do aterro, bem como a taxa de geração de resíduos sólidos (US EPA, 2000).

Dessa forma, Monteiro *et al.* (2001) mencionam sobre os critérios econômicos e financeiros que devem ser considerados no cômputo da seleção da melhor área possível para instalação e operação de aterros sanitários. Assim sendo, a ponderação destes encontra-se na Tabela 5.

Tabela 5: Critérios econômico-financeiros aplicáveis a locação de aterros sanitários

Critérios	Observações
Distância ao centro geométrico de coleta	É desejável que o percurso de ida (ou de volta) que os veículos de coleta fazem até o aterro, através das ruas e estradas existentes, seja o menor possível, com vistas a reduzir o seu desgaste e o custo de transporte dos RSU
Custo de aquisição do terreno	Se o terreno não for de propriedade da prefeitura, deverá estar, preferencialmente, em área rural, uma vez que o seu custo de aquisição será menor do que o de terrenos situados em áreas industriais.
Custo de investimento em construção e infraestrutura	É importante que a área escolhida disponha de infraestrutura completa, reduzindo gastos de investimento com abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto, drenagem de águas pluviais, distribuição de energia elétrica e telefonia.
Custos com a manutenção do sistema de drenagem	A área escolhida deve ter um relevo suave, de modo a minimizar a erosão do solo e reduzir os gastos com a limpeza e manutenção dos componentes do sistema de drenagem

Fonte: Adaptado de Monteiro *et al.*, (2001).

Com base na Tabela 5, Jaramillo (2003, p.155) complementa que um “excelente projeto não é suficiente, tem que haver vontade político-administrativo para alocar recursos financeiros necessários para que o projeto seja executado corretamente”. Sendo assim, a construção deve seguir um procedimento metodológico fixado para a instalação das células e do aterro sanitário.

3.4. Espaços territoriais de uso legalmente protegidos

Ao tutelar a garantia das presentes e futuras gerações em usufruírem da sadia qualidade do meio ambiente, incumbiu ao Poder Público definir os espaços territoriais e os seus componentes naturais a serem especialmente protegidos (BRASIL, 1988, art.225). Tocchetto *et al.* (2014) consideram que a alteração e a supressão destes espaços estão vedadas, exceto, quando previsto em Lei, desde que seja respeitado e preservado seus atributos naturais.

Dessa forma, foram elencadas quatro áreas de uso restrito aplicáveis a localização do aterro sanitário: a) áreas de preservação permanente – APP; b) reservas florestais legais; c) unidades de conservação; d) área de segurança aeroportuária.

3.4.1. Áreas de preservação permanente - APP

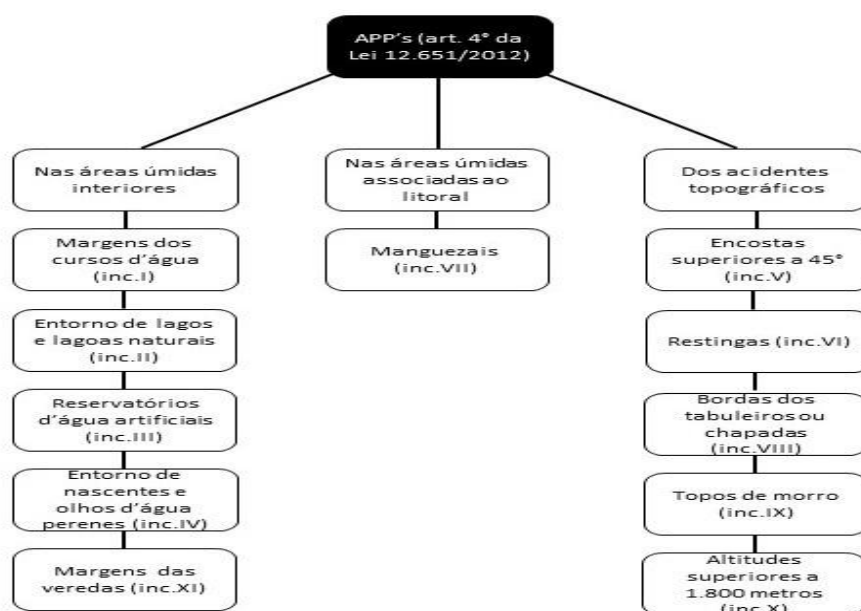
A Lei Estadual Florestal 20.922/2013, delibera sobre as Áreas de Preservação Permanente (APP), em zonas rurais ou urbanas que para os efeitos legais é conceituada como sendo:

[...] área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (MINAS GERAIS, 2013, art.8º).

De acordo com Machado (2013), a APP possui cinco características intrínsecas, sendo essas: a) considerada uma área e não uma floresta; b) não é qualquer área, mas sim uma área protegida; c) protegida em caráter permanente, ou seja, não episódica, descontínua, temporária ou com interrupções; d) possui funções ambientais específicas e diferenciadas; e) supressão de vegetação na APP condiciona o proprietário à recomposição.

Milaré (2015) salienta que as APP podem ser categorizadas em três grandes grupos, a saber: i) áreas úmidas interiores – protetora das águas; ii) áreas úmidas associadas ao litoral – protetora de determinado ecossistema; iii) acidentes topográficos – protetora de montanhas, conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7: Características legais e geográficas das APPs



Fonte: Adaptado de Milaré (2015).

Com base na Figura 7, verifica-se que as APP são aplicáveis as áreas sujeitas a ação das águas, bem como as áreas com topografia/declividade acidentada. Assim sendo, considera as APP como um critério legal para análise locacional de aterro sanitário.

3.4.2. Reserva florestal legal

A Lei Federal 12.651/2012 regulamenta as normas gerais para as florestas brasileira, de tal modo Machado (2013, p.866) preconiza que há dois fundamentos estabelecidos pela Lei Florestal: 1) “proteção e uso sustentável das florestas e demais formas de vegetação nativa em harmonia com a promoção do desenvolvimento econômico”; 2) “as florestas são bens de interesse comum a todos os habitantes do País”.

Segundo a Lei Florestal Estadual 20.922/2013 as propriedades rurais devem manter área com cobertura vegetal nativa, sem prejuízos das diretrizes aplicáveis a APP. Essa área está definida como sendo reserva florestal legal e delimitada como:

[...] área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, delimitada nos termos desta Lei, com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa (MINAS GERAIS, 2013, art. 24).

O Código Florestal do Estado de Minas Gerais (2013, art.25), preconiza que o disposto, aplicar-se-á, a todo o imóvel rural, o qual sustentará percentual mínimo de 20% (vinte por cento) de remanescente de vegetação nativa, de modo que esse percentual considera como prerrogativa a área total da propriedade rural. Isto posto, a Lei Florestal 20.922/2013, determina e caracteriza os empreendimentos e/ou as atividades que não estão sujeitos a constituição da reserva florestal legal, sendo esses:

[...] I - os empreendimentos de abastecimento público de água, tratamento de esgoto, **disposição adequada de resíduos sólidos urbanos** e aquicultura em tanque-rede; II - as áreas adquiridas, desapropriadas e objetos de servidão, por detentor de concessão, permissão ou autorização para exploração de potencial de energia, nas quais funcionem empreendimentos de geração de energia elétrica, subestações, linhas de transmissão e de distribuição de energia elétrica; III - as áreas utilizadas para infraestrutura pública, tais como de transporte, de educação e de saúde (Minas Gerais, 2013, art.25, grifo nosso).

Portanto, o imóvel rural objeto da implementação da atividade de disposição final dos resíduos sólidos urbanos – aterros sanitários, independe da constituição de área a título de reserva legal conforme supracitado.

3.4.3. Unidades de conservação

As Unidades de Conservação inserem-se no conceito de áreas legalmente protegidas. Assim, a Lei 9.985/2000, regulamenta os fundamentos constitucionais aplicáveis aos recursos naturais, bem como institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. De tal forma, entende-se por Unidade de Conservação:

[...] espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção (BRASIL, 2000, art.2, I).

A Lei 9.985/2000, dividiu as unidades de conservação em dois grupo, com características específicas de manejo, sendo esses: (i) Unidades de Proteção Integral – Estação Ecológica, Reserva Biológica, Parque Nacional, Monumento Natural, Refúgio da Vida Silvestre; (ii) Unidades de uso Sustentável – Área de Proteção Ambiental, Área de Relevante Interesse Ecológico, Florestal Nacional, Reserva Extrativista, Reserva de Fauna, Reserva de Desenvolvimento Sustentável, Reserva Particular do Patrimônio Natural (BRASIL, 2000).

Com fundamento no EIA/RIMA o órgão ambiental competente determina a compensação ambiental, cujo fator gerador dessa compensação, considera-se os impactos ambientais significativos. Logo, o percentual aplicável e a metodologia de cálculo, foram fixados pelo art.36 da Lei 9985/2000 (MILARÉ, 2015).

Segundo Antunes (2013), a medida da compensação ambiental é imprescindível para determinar o grau da intervenção ambiental (reparáveis, mitigáveis e compensáveis), além de delimitar os danos aos recursos naturais. Assim sendo, as medidas compensatórias são exigíveis quando os danos estão caracterizados como não reparáveis e mitigáveis. Dessa forma, essa medida compensatória será cabível após a concessão da licença de instalação, pois esta autoriza o início da instalação da atividade/empreendimento.

A Lei 9985/2000, dispõe que no processo de licenciamento ambiental de atividades/empreendimentos de significativo impacto ambiental, compete ao órgão ambiental com base no EIA/RIMA determinar o montante de recursos a ser destinado pelo empreendedor para fins de apoiar a implantação e a manutenção de Unidade de Conservação do grupo de proteção integral. Ressalta que a valoração/compensação monetária dos recursos não poderá ser inferior 0,5% (meio por cento) dos custos totais previstos para a implementação da atividade/empreendimento.

3.4.4. Área de segurança aeroportuária

A promoção da segurança aeroportuária objetiva regulamentar o uso do espaço aéreo, paralelamente, com a utilização do solo. O espaço aéreo é um recurso limitado e com regras administrativas para garantir o interesse público, a promoção do uso eficiente e a segurança das aeronaves (COMANDO DA AERONÁUTICA, 2015).

O Comando da Aeronáutica (2015) elenca as atividades que direta ou indiretamente, possam causar perigo para a segurança do espaço aéreo, devido as peculiaridades inerentes a estas. Assim sendo, as atividades que comportam esse perigo, podem ser categorizadas: a) atrativos para fauna; b) armazene ou produza material explosivo ou inflamável; c) cause reflexos, irradiações, fumaça ou emanações.

Dessa forma, foi instituído a Área de Segurança Aeroportuária (ASA) e seu núcleo interior, ambas visam garantir a inexistência de atrativos na parcela do espaço aéreo aproveitado pelas aeronaves para efetuarem a decolagem, a subida inicial, a aproximação final e o pouso. A ASA é definida a partir do centro geométrico da maior pista do aeródromo com 20 km, enquanto que o núcleo interno possui raio de nove quilômetros do centro da pista (BRASIL, 2012).

De acordo com o Comando da Aeronáutica (2015), os objetos que afetem adversamente a segurança ou a regularidade das situações aéreas devem ser avaliados segundo o respectivo prejuízo operacional. Desse modo, o uso, parcelamento e aproveitamento do solo na ASA estão restritos e condicionados ao cumprimento das exigências específicas da segurança operacional para a aviação e meio ambiente. Sendo assim, os aterros sanitários e os vazadouros de resíduos sólidos, foram classificados como potenciais atrativos para a fauna, haja vista que promovem a atração de espécimes de aves (BRASIL, 2012).

3.5. Análise Multicritério com *Analytic Hierarchy Process*

De acordo com Longley *et al.* (2013) um Sistema de Informação Geográfica (SIG) é considerado uma ciência para a resolução de problemas geográficos complexos, uma vez que ferramentas computacionais são utilizadas para armazenar grande quantidade de dados com a finalidade de processar operações analíticas e de automatizar o processo de geração de mapas.

Os SIG possuem capacidade analítica para processamento computadorizado, matemático e gráfico, a partir de um conjunto de operações com banco de dados geográficos. Assim sendo, ao organizar um dado geográfico físico (mundo real) em ambiente SIG, torna-se possível manipular e transformar esse dado em informações geográficas que impliquem no processo de tomada de decisão (SADASIVUNI *et al.*, 2009).

Desse modo, o SIG tem sido amplamente estruturado para processos de decisões, porquanto múltiplas variáveis, fases distintas e fontes diversas, podem ser consideradas para determinar soluções acuradas visando solucionar vultosos problemas geográficos (LONGLEY *et al.*, 2013).

Sánchez (2013) considera que a tomada de decisão pode ser organizada a partir do método de Análise Multicritérios, tendo em vista que este permite formular múltiplas alternativas a partir de critérios e etapas distintas. Esse método incide em uma análise de agregação para ponderar vantagens e desvantagens, conforme as principais opções elencadas.

Sendo assim, a formulação das alternativas consiste em evitar, reduzir, corrigir ou compensar impactos ambientais adversos decorrentes de um dado objetivo específico, em que avalia e compara-se um conjunto de possibilidades, conforme múltiplas variáveis que tendem a influenciar na decisão. Com isso, os SIG podem ser estruturados para essa análise com múltiplos critérios, visando representar espacialmente os cenários cujos valores são atribuídos por diferentes interessados (SÁNCHEZ, 2013).

Ainda que, consciente ou inconscientemente, reunimos informações para tomar uma decisão, em que essa seara de informações se tornou atualmente uma ciência matemática, porquanto que esta formaliza o pensamento que usamos para desenvolvermos a melhor decisão, de tal modo que esta apresente transparência,

representatividade e reprodutibilidade em todo o seu processo de formulação (SAATY, 2008).

No método de análise multicritério é possível minimizar a subjetividade resultante das decisões humanas, através da aplicação de regras matemáticas nos processos de atribuição de notas as variáveis. Nesse caso, considera-se, duas técnicas aplicáveis a *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e o Sistema de Informações Geográficas (SIG), de um modo estas geram produtos de alta qualidade na tomada de decisões (SAATY, 2008).

A teoria do AHP foi desenvolvida por Saaty (1971-1975) para a tomada de decisão em análises de multicritérios, no qual esse processo emprega matemática para analisar a decisão e para fundamentar as prioridades de várias alternativas, considerando escalas de proporção de comparações pareadas em discretas e contínuas (SADASIVUNI *et al.*, 2009).

O AHP apresenta um conjunto de procedimentos para atribuir valores as variáveis e para selecionar os pesos globais atribuindo mais ou menos importância a cada camada que tende a um resultado (SADASIVUNI *et al.*, 2009).

De acordo com Saaty (2008) a tomada de decisão requer uma organização para estruturar as prioridades, conforme as seguintes etapas: a) definir o problema e determinar o tipo de conhecimento; b) estruturar uma hierarquia do topo/objetivo para os níveis intermediário e baixo; c) construir um conjunto de matrizes de comparação – par-a-par; d) utilizar prioridades obtidas das comparações para pesar as prioridades no nível abaixo. Sendo assim, o método AHP proporciona uma base estrutural para quantificar e comparar variáveis visando gerar cenários/alternativas num processo de decisão.

3.6. Licenciamento ambiental

O processo de licenciamento ambiental incide na submissão de determinadas atividades ou empreendimentos a aprovação do Estado, uma vez que impôs a este, o dever de defender e preservar a qualidade ambiental para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 1988). Para a determinação da tipológica das atividades/empreendimentos passíveis do licenciamento ambiental considera: a) utilização direta dos recursos naturais; b) alteração adversa dos recursos naturais; c) ofereçam risco potencial para o equilíbrio ambiental (TRENNEPOHL, 2016).

Dessa forma, o licenciamento ambiental versa no “procedimento administrativo destinado a licenciar atividades ou empreendimentos utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental” (BRASIL, 2011, art.2º, I). Assim sendo, o licenciamento ambiental visa certificar atividades/empreendimentos utilizadores da atmosfera, águas interiores, superficiais e subterrâneas, estuários, mar territorial, solo, subsolo e elementos da biosfera, a partir de princípios legalidade, razoabilidade, proporcionalidade, além de ampla defesa, contraditório e interesse público (MACHADO, 2013).

A Lei Federal 6938/1981 estabeleceu os padrões de qualidade ambiental para regular a qualidade e o uso dos recursos naturais, haja vista a faculdade das atividades/empreendimentos utilizarem ambiciosamente e exorbitantemente os recursos naturais após obterem a autorização ambiental. Apesar desses padrões, estes devem ser verificados e avaliados segundo a capacidade de suporte do meio receptor, pois independentemente da concentração da nova fonte poluidora, se esta causar alteração nos padrões ambientais fixados, a atividade e/ou empreendimento deverá ser indeferida. Contudo, no caso de atividade/empreendimento não atender aos padrões ambientais, poderá ser solicitado sistema de controle da poluição mais eficiente (MACHADO, 2013).

A responsabilidade para instituir normas e critérios para o licenciamento ambiental de atividades e/ou empreendimentos, efetivos ou potencialmente lesivos, sujeita ao Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, mediante diligência do IBAMA. Logo, aos Estados compete o cumprimento das diretrizes e critérios supra referendados, sendo de competência do IBAMA a respectiva supervisão (BRASIL, 1981).

Várias foram as modalidades de licenças ambientais estabelecidas para a operação, instalação e construção de atividades/empreendimentos. Assim sendo, a Resolução 237/1997 do CONAMA incumbiu ao Poder Público, no âmbito de sua competência de controle, expedir as seguintes licenças:

[...] I - Licença Prévia (LP) - concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação; II - Licença de Instalação (LI) - autoriza a instalação do empreendimento ou atividade de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes, da qual constituem motivo determinante; III - Licença de Operação (LO) - autoriza a operação da atividade ou

empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental e condicionantes determinados para a operação (BRASIL, 1997, art.8º).

A gênese do licenciamento ambiental está fundamentada no princípio da prevenção da degradação do meio ambiente, de tal modo que a implementação de atividades e/ou empreendimentos devem atender a esse crivo, não desfragmentando a lógica, uma vez que ao fragmentar o licenciamento é subtrair-lhe sua própria força. Dessa forma, “não se licencia máquina por máquina, unidade por unidade separadamente”, pois caso o licenciamento seja fracionado este perderá o sentido e a dimensão real do projeto e, indubitavelmente, representará “metodologia ineficiente, imprecisa, desfiguradora da realidade, e até imoral” (MACHADO, 2013, p.342),

É de observar também que a Resolução 237/1997 do CONAMA, fixou que a atividade de “tratamento e destinação de resíduos sólidos urbanos, inclusive aqueles provenientes de fossas”, está sujeita ao processo de licenciamento ambiental, uma vez que essa tipologia está caracterizada como sendo de significativo impacto ambiental.

Dessa forma, o controle administrativo da construção, instalação e funcionamento de atividades/empreendimentos, utilizadores ou lesivos ao meio ambiente, deve ser realizado por meio dos estudos ambientais (MUKAI, 2016).

3.6.1. Avaliação de impacto ambiental

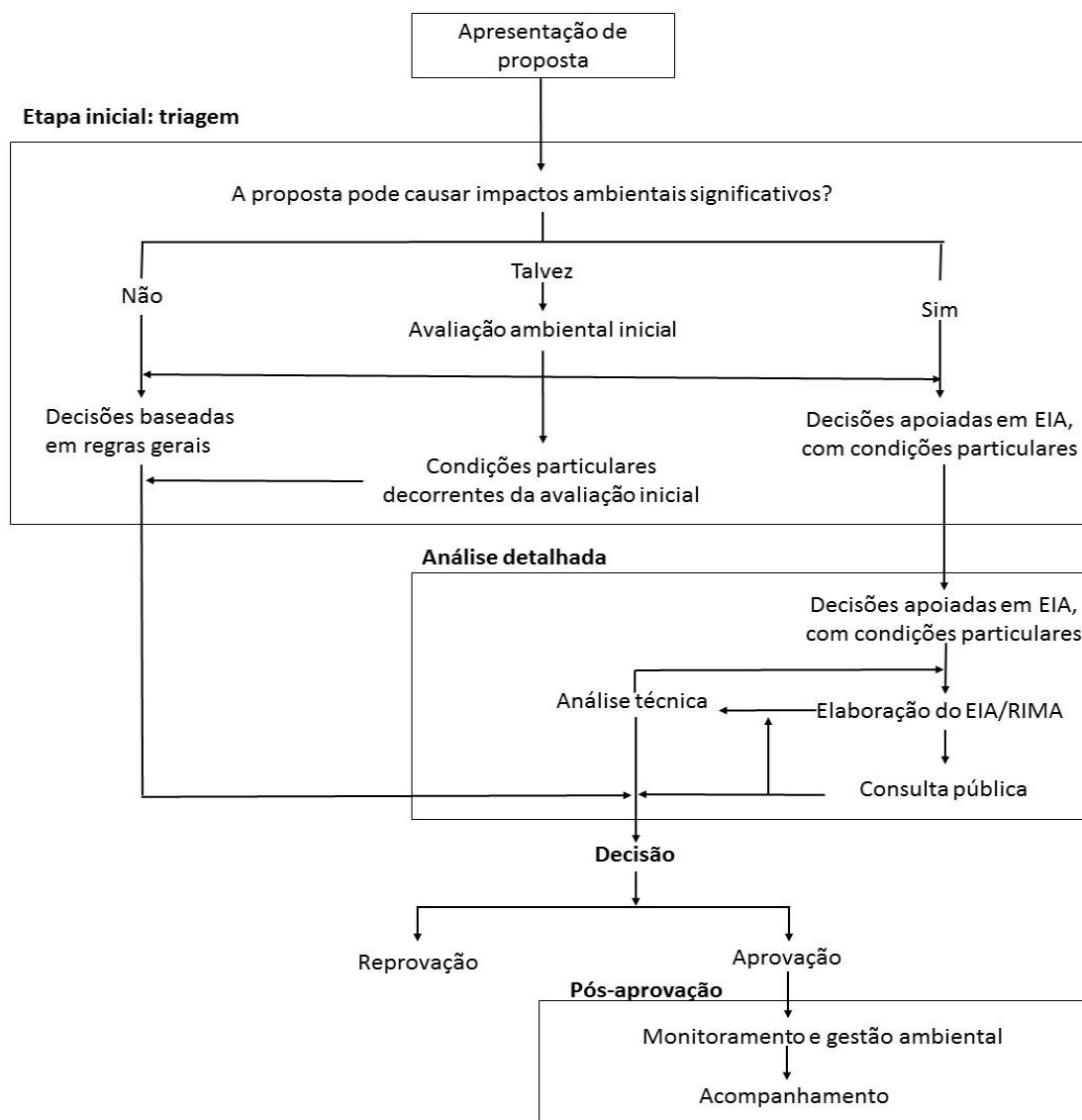
A obrigatoriedade em submeter projetos, atividades ou serviços ao processo de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA), começou a ser sistematizado nos Estados Unidos em decorrência da vigência da Lei que institui a *National Environmental Policy Act* – NEPA, que entrou em vigor no dia primeiro de janeiro de 1970. Com isso, as tomadas de decisão que cause prejuízos ao meio ambiente, deve ser previamente submetida ao rito processual estabelecido pela Lei (SÁNCHEZ, 2013).

A AIA dispõe de implicações e influências reais na tomada de decisões, porquanto interpreta quantitativa e qualitativamente as mudanças no meio, possibilitando selecionar a melhor alternativa técnica locacional, reformular projetos com as peculiaridades locais e inviabilizar projetos (SANTOS, 2004).

O rito do processo de AIA pode ser entendido em três etapas, sendo estas individualizadas e concatenadas: a) etapa inicial; b) etapa de análise detalhada; c) etapa

pós-decisão, no caso de deferimento do projeto. Na Figura 8, encontra-se apresentado o fluxograma para esse processo de AIA.

Figura 8: Etapas do processo de AIA.



Fonte: SÁNCHEZ (2013).

O sistema Francês de AIA, pode ser considerado uma referência no contexto Internacional, pois estabelece que toda obra/projeto está sujeita a AIA. Para isso, foram constituídos três instrumentos diferentes para a AIA: i) mininotícia aplicado quando os impactos ambientais são irrelevantes e estão associados a obras de pequeno porte; ii) notícia de impactos quando a atividade está dispensada da realização de estudos ambientais; iii) estudo de impacto para obras de grande porte (ANTUNES, 2013).

3.6.2. Estudo de impacto ambiental

O estudo de impacto ambiental (EIA) e o relatório de impacto do meio ambiente (RIMA) apresentam um corolário de informações sobre a atividade/empreendimento para nortear a tomada de decisão do órgão ambiental competente (TRENNEPOHL, 2016). Para validar esse EIA os requisitos legais de ordem técnica, formal e material devem estar devidamente preenchidos ficando condicionado a aprovação desses estudos, sem que esta, não poderão ser instalados (ANTUNES, 2013).

Para isso, a Resolução CONAMA 01/1986, estabeleceu lista positiva que arrola dezesseis empreendimentos/atividades que estão obrigatoriamente sujeitos a elaborar e aprovar os EIA/RIMA, conforme descrito a seguir:

[...] I - Estradas de rodagem com duas ou mais faixas de rolamento; II - Ferrovias; III - Portos e terminais de minério, petróleo e produtos químicos; IV - Aeroportos, conforme definidos pelo inciso 1, artigo 48, do Decreto-Lei nº 32, de 18.11.66; V - Oleodutos, gasodutos, minerodutos, troncos coletores e emissários de esgotos sanitários; VI - Linhas de transmissão de energia elétrica, acima de 230KV; VII - Obras hidráulicas para exploração de recursos hídricos, tais como: barragem para fins hidrelétricos, acima de 10MW, de saneamento ou de irrigação, abertura de canais para navegação, drenagem e irrigação, retificação de cursos d'água, abertura de barras e embocaduras, transposição de bacias, diques; VIII - Extração de combustível fóssil (petróleo, xisto, carvão); IX - Extração de minério, inclusive os da classe II, definidas no Código de Mineração; **X - Aterros sanitários, processamento e destino final de resíduos tóxicos ou perigosos**; XI - Usinas de geração de eletricidade, qualquer que seja a fonte de energia primária, acima de 10MW; XII - Complexo e unidades industriais e agro-industriais (petroquímicos, siderúrgicos, cloroquímicos, destilarias de álcool, hulha, extração e cultivo de recursos hídricos); XIII - Distritos industriais e zonas estritamente industriais - ZEI; XIV - Exploração econômica de madeira ou de lenha, em áreas acima de 100 hectares ou menores, quando atingir áreas significativas em termos percentuais ou de importância do ponto de vista ambiental; XV - Projetos urbanísticos, acima de 100ha ou em áreas consideradas de relevante interesse ambiental a critério da SEMA e dos órgãos municipais e estaduais competentes; XVI - Qualquer atividade que utilize carvão vegetal, em quantidade superior a dez toneladas por dia (CONAMA, 1986, art.2º, grifo nosso).

Sendo assim, os aterros sanitários foram arrolados nessa lista e, por isso, estão sujeitos a elaboração/aprovação do EIA/RIMA. Nesse caso, a compreensão da situação atual concernente aos principais processos e componentes do meio ambiente físico, biótico e socioeconômico e de suas interações constituem a base do Estudo de Impacto Ambiental (EIA). Esse estudo de base resulta no diagnóstico ambiental, no qual este

dispõe de informações fundamentais e necessárias para identificação, previsão, avaliação dos aspectos e impactos ambientais inerentes ao projeto (SÁNCHEZ, 2013).

Os requerimentos de licenciamento ambiental em quaisquer de suas modalidades, a renovação e a respectiva concessão devem ser publicadas no Diário Oficial da União ou do Estado, bem como em periódico de grande circulação local, no prazo de até trinta dias corridos e subsequentes a data do requerimento e/ou da concessão da licença ambiental (BRASIL, 1986).

As audiências públicas são prerrogativas nos processos de EIA/RIMA, pois objetivam garantir o controle social das comunidades locais potencialmente afetadas pela atividade/empreendimento. Essas audiências podem ser convocadas por intermédio: a) via ofício do Ministério Público; b) por convocação cinquenta cidadãos. As audiências públicas são realizadas pelo órgão licenciador, porém este não está obrigado a realizá-las, mas, tão-somente dar publicidade abrindo prazo de no mínimo quarenta e cinco dias para que os interessados requisitem a *public hearing*. Salienta-se que a audiência pública indis põe de caráter decisório, mas, sim de natureza consultiva, tendo em vista que a audiência é um Ato Oficial e, portanto, deve considerar seus resultados na tomada de decisão pelo órgão licenciante (ANTUNES, 2013).

3.6.3. Identificação, previsão e avaliação dos impactos ambientais

A formulação de situações hipotéticas advindas de um empreendimento/atividade, configura a base para estruturar e organizar o EIA. Projetos antrópicos, individuais ou coletivos, exercidos num determinado local, causam alterações nos meios físicos, bióticos e antrópicos. Desse modo, exige-se uma coerência e integração nesse processo para fornecer informações eficazes e plausíveis dentro da temática em estudo (SÁNCHEZ, 2013).

A primeira etapa desse processo consiste em identificar os impactos ambientais e os agentes causadores, de modo a induzir e/ou deduzir as alterações e consequências no meio ambiente. Nesse caso, uma das metodologias comumente utilizadas são as matrizes, haja vista que estas evidenciam as interações entre a atividade/empreendimento e os elementos ambientais (SANTOS, 2004).

Após a identificação dos impactos ambientais, realiza-se a previsão das alterações, repercussões e significância/importância das modificações nos processos físicos,

biológicos, socioeconômico e cultural, decorrentes da intervenção de um projeto/atividade (FORNASARI FILHO *et al.*, 1972).

Essa fase de previsão ainda fornece elementos informativos sobre: i) intensidade ou magnitude dos impactos ambientais; ii) duração ou distribuição temporal dos impactos ambientais; iii) distribuição espacial ou área de influência (SÁNCHEZ, 2013).

Para prever os impactos ambientais, dispõe-se de uma infinidade de ferramentas e procedimentos passíveis de utilização, no qual cada metodologia foi propositadamente cunhada para múltiplas áreas científicas buscando antecipar as variações dos fenômenos que estudam. Assim sendo, cinco métodos preditivos utilizados em EIA: 1) modelos matemáticos; 2) comparação e extrapolação; 3) experimentos de laboratório e de campo; 4) simulação e modelos análogos físico/digital; 5) julgamento de especialistas (SÁNCHEZ, 2013).

A terceira e última etapa incide em avaliar qualitativamente a importância dos impactos ambientais identificados e previstos (SANTOS, 2004). Nesse caso, os critérios de importância estão listados na Resolução 01/1986 do CONAMA, a qual considera os seguintes atributos: i) impacto ambiental benéfico e adverso; ii) impacto ambiental direto e indireto; iii) impacto ambiental imediato, a médio ou a longo prazo; iv) impacto ambiental temporário ou permanente; v) impacto ambiental reversível ou irreversível; vi) propriedade cumulativa ou sinérgica do impacto ambiental; vii) distribuição dos ônus e bônus socioeconômicos.

Para a avaliação da importância dos impactos ambientais, pode ser aplicado as seguintes metodologias: 1) combinação de atributos; 2) ponderação de atributos; 3) análise multicritérios. De um modo geral, essas metodologias objetivam: a) interpretar o significado dos impactos; b) facilitar a comparação de alternativas; c) determinar a necessidade de medidas mitigadoras e compensatórias para os impactos adversos e valorar os impactos benéficos; d) determinar a modificação ou alteração do projeto, quando os impactos ambientais forem inaceitáveis (SÁNCHEZ, 2013, p.323).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Este item se destina a apresentação dos procedimentos metodológicos seguidos no desenvolvimento desta dissertação. Para tanto, são apresentados a caracterização e tipologia da pesquisa, a descrição do objeto de análise e os procedimentos de coleta e tratamento dos dados

4.1. Características e tipologia de pesquisa

A presente pesquisa consiste num estudo quantitativo, uma vez que se pretende analisar a viabilidade locacional de um aterro sanitário no município de Santo Antônio do Monte – MG, bem como, pretende-se que sejam delineados os principais aspectos e os potenciais impactos ambientais decorrentes das fases de implantação e operação. Para tanto, foram quantificados os critérios relativos aos seguintes recursos: hidrogeológico, geomorfológico, pedológico e hídrico, além da caracterização das áreas legalmente protegidas, do bioma, do uso e ocupação do solo, dos núcleos populacionais e das vias de acesso.

Em termos de caracterização, trata-se de um estudo descritivo, pois o enfoque é na descrição dos mecanismos de análise. Consiste ainda num recorte de estudo de caso, haja vista que foi estudada o caso específico do município de Santo Antônio do Monte – MG e suas peculiares características.

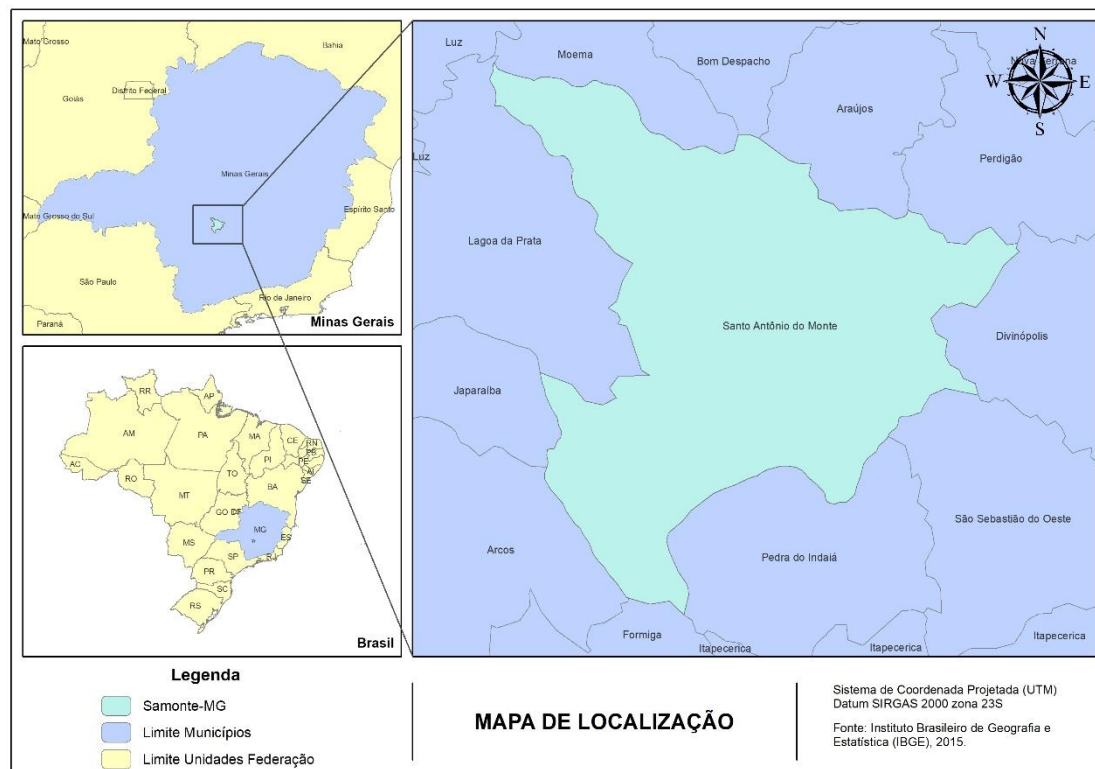
4.2. Características da área de estudo

Para a presente pesquisa foi escolhido como objeto de estudo o município de Santo Antônio do Monte (Samonte), localizado na região Sudeste do Estado de Minas Gerais, estando compreendido na mesorregião do Centro-Oeste e na Microrregião de Divinópolis. Essa cidade possui área territorial de aproximadamente 1.125,78 km², sendo esta limítrofe aos municípios: Moema, Bom Despacho, Araújos, Perdigão, Arcos, Formiga, Pedra do Indaiá, Divinópolis, São Sebastião do Oeste, Lagoa da Prata e Japaraíba, conforme representado na Figura 9 (IBGE, 2010).

A cidade fica a 194 km da capital do estado, Belo Horizonte. Além disso, a principal atividade econômica está vinculada à produção de fogos de artifício e, paralelamente a

esta atividade industrial, o setor agropecuário contribui significativamente para o desenvolvimento local (IBGE, 2010).

Figura 9: Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Adaptado de IBGE (2015).

De acordo com os dados censitários do ano de 2010, o município de Samonte apresenta população de 25.989 habitantes e totalizando uma densidade demográfica de 23,07 hab./km² (IBGE, 2010). Essa população está distribuída e organizada em vinte e sete bairros, seis localidades rurais e um distrito (SAMONTE, 2012).

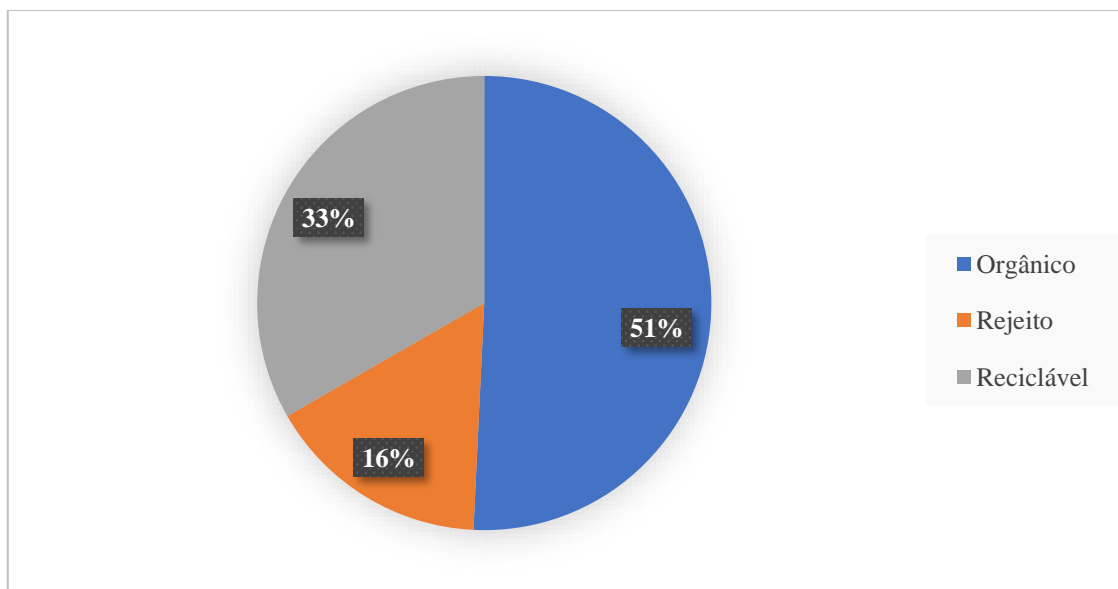
Por sua vez, esses municípios produzem em média 14,5 toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) diariamente. Dessa forma, compete ao município de Samonte disponibilizar e prestar o serviço público de limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos. Esse serviço está parcialmente acessível a todos os domicílios ocupados (provisão universal), por outro lado, apenas 40% dessa municipalidade está sendo atendida com a coleta seletiva (SAMONTE, 2012).

Em geral, a coleta dos RSU em Samonte está sendo realizada diariamente, salvo aos domingos. Isto posto, observa-se que esta foi organizada em dias alternados e por tipo de resíduos (úmido e seco). Os resíduos coletados diariamente estão sendo transportados

por meio de veículos do tipo baú (coleta seletiva) e compactador (coleta convencional) até o respectivo destino destes (SAMONTE, 2012).

Os RSU gerados nessa municipalidade podem ser compreendidos a partir de três grupos, de acordo com sua composição/constituição. Nesse caso, temos os resíduos recicláveis, orgânicos e rejeitos, segundo representado na Figura 10.

Figura 10: Composição gravimétrica dos RSU



Fonte: Adaptado de SAMONTE, 2017.

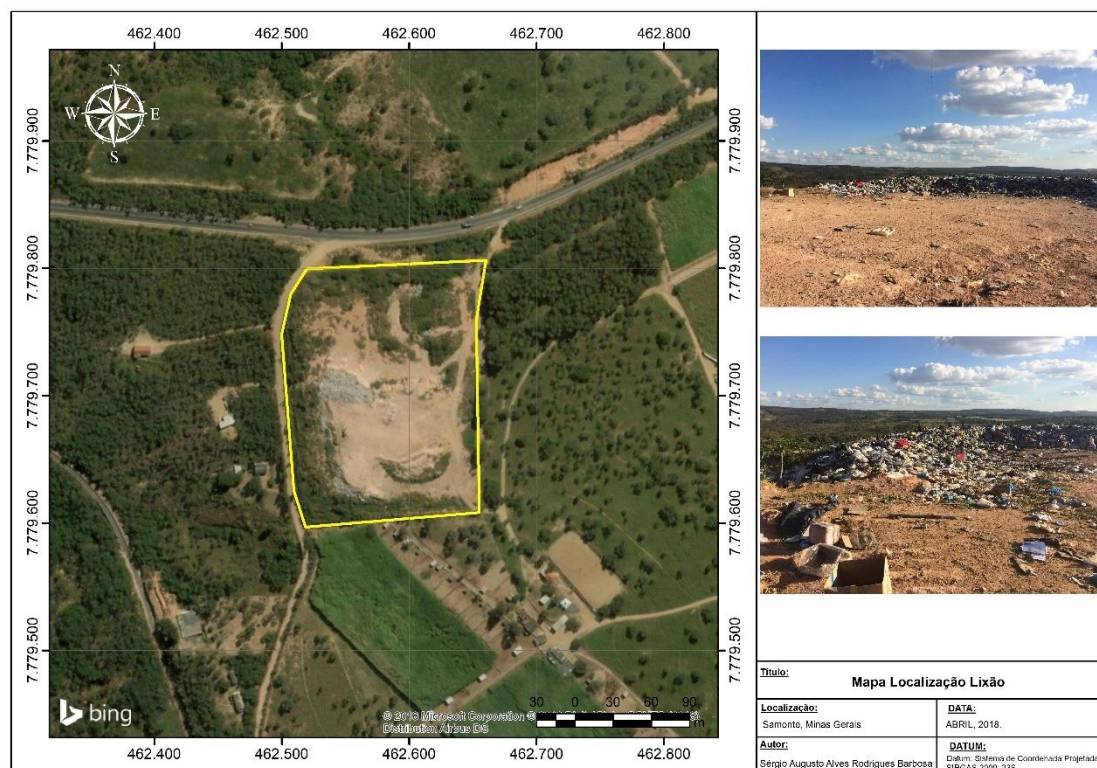
De acordo com a Figura 10, observa-se que a composição dos RSU desse município compreende 51% (6.552,7 kg/dia) orgânico, 33% (4.240,0 kg/dia) reciclável e 16% (2.055,8 kg/dia) rejeito. Assim sendo, esses resíduos são destinados em pequena parcela para a reciclagem (recuperação) e o restante depositado no lixão a céu-aberto.

O processo de recuperação dos resíduos está sendo realizado através do programa de coleta seletiva, no qual este está implementado em 40% dos domicílios. É de observar também que apesar de 16% dos RSU serem potencialmente recicláveis, apenas 3,82% (490,81 kg/dia) deste estão sendo recuperados. A coleta seletiva é realizada pela Associação de Catadores de Materiais Recicláveis de Santo Antônio do Monte, sendo esta composta atualmente por dez integrantes (SAMONTE, 2012).

A disposição final dos resíduos/rejeitos gerados nesse município, incide em depositá-los a céu-aberto (lixão). Essa prática vem sendo adotado desde os últimos de 20 anos (1997 – 2017), de modo que mais de 200.000 toneladas de resíduos/rejeitos foram

depositadas nesse lixão (SAMONTE, 2012). De um modo geral, materializa-se que diversas atividades irregulares estão sendo desenvolvidas nesse local: acesso irregular, catação, lixo expostos, chorume a céu-aberto e proximidade residências, conforme perspectiva ilustrada na Figura 11.

Figura 11: Mapa localização parcial do lixão de Samonte



Fonte: Autor, 2018.

Na Figura 11, verifica-se que esse lixão está localizado no imóvel rural denominado Bom Sucesso no município de Samonte, no qual essa propriedade rural possui área total de aproximadamente 3,00 ha (três hectares). O centroide geográfico desse imóvel localiza-se aproximadamente na intersecção do Sistema de Coordenadas Geográficas (DATUM WGS1984): Latitude: 20°4'45.49"S e Longitude: 45°21'28.63"O. O acesso ao lixão, far-se-á, saindo do município de Samonte-MG, na direção noroeste pela Rodovia MG-429, sendo a distância entre o lixão e a sede do município de 7,5 km (SAMONTE, 2017).

Do mesmo modo, constata-se que a área do lixão está localizada próxima a remanescente com cobertura vegetal nativa (fisionomia de cerrado) e a residências rurais.

Além disso, o lixão está delimitado, ainda que precariamente, com dispositivos fixos (cerca alambrado).

As despesas correntes e anuais do município provenientes do serviço público de limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos são de aproximadamente R\$ 620.000,00. Para isso, é cobrado dos domicílios taxa específica desse serviço, através do Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU), em que essa taxa possui variação conforme a área construída do imóvel urbano. No ano de 2014, o município arrecadou com essa taxa, aproximadamente R\$ 24.946,36, no qual percebe-se um déficit anual de quase R\$ 600 mil na gestão dos RSUs. Além disso, cabe destacar que a inadimplência média está em torno de 20% no pagamento do IPTU (SAMONTE, 2017).

Para atender a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010), torna-se necessária a desativação do lixão e, por conseguinte, a instalação do aterro sanitário, mas, para isso, exige-se a avaliação da adequabilidade de um local apto aos critérios legais e regulamentares vigentes. Dessa forma, o município de Samonte possui até 31.07.2021 para regularizar a disposição final dos RSU, sendo que ao término desse prazo o lixão deverá estar extinguido, caso contrário estará sujeito a penalizações.

Portanto, a partir desse momento, propõe-se uma análise de multicritérios para a definição do local para a instalação do aterro sanitário de Santo Antônio do Monte, reconhecendo a importância da avaliação das opções locais sob um enfoque sistêmico e integrado.

4.3. Características para o dimensionamento do aterro sanitário

4.3.1. Projeção populacional

Para determinar a localização do aterro sanitário, verifica-se como pré-requisito o conhecimento da população que será atendida pelo aterro, bem como sua tendência em evoluir numa escala espaço-temporal. Nesse caso, a estimativa da projeção populacional ao longo do tempo, observará o horizonte final do planejamento do aterro, em que considera uma vida útil de no mínimo 20 anos, porquanto a Lei 12.305/2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos) estabeleceu também este horizonte para o planejamento da gestão dos RSU.

Dessa forma, serão utilizados os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (BGE), referentes aos levantamentos censitários correspondentes aos anos de

1991, 2000 e 2010. Para isso, serão adotados os modelos de crescimento aritmético, geométrico e mínimo-quadrado, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6: Descrição dos métodos de projeção populacional utilizados

Método	Descrição	Fórmula de projeção
Projeção aritmética	Crescimento populacional segundo uma taxa constante. Método utilizado para estimativas de menor prazo. O ajuste da curva pode ser também feito por análise da regressão.	$P_t = P_0 + K_a \cdot (t - t_0)$
Projeção geométrica	Crescimento populacional função da população existente a cada instante. Utilizado para estimativas de menor prazo. O ajuste da curva pode ser também feito por análise da regressão.	$P_t = P_0 \cdot e^{K_g \cdot (t - t_0)}$
Projeção mínimos-quadrados	Estudo dos valores máximos e mínimos de funções reais. Mais precisamente, na determinação do(s) ponto(s) mínimo(s) de uma função que representa o desvio estimado na busca pelo ajuste.	$Y = aX^3 + bX^2 + cX + d$

P_0, P_1, P_2 : populações nos anos t_0, t_1, t_2 ; P_t : população estimada no ano t (hab); K_a, K_g, K_d : coeficientes
 Y : população; X : ano; a, b, c, d : parâmetros da função.

Fonte: Adaptado de Von SPERLING (2014).

De acordo com a Tabela 6, esses métodos serão aplicados mediante análise estatística de regressão com o auxílio de programa computacional, por meio de planilhas eletrônicas no Excel – ferramenta Solver (Von SPERLING, 2014).

4.3.2. Projeção da produção de resíduos sólidos

Ao dimensionar a projeção populacional para o município de Samonte, tornar-se-á, cabível determinar a taxa da geração de RSU desses municípios, considerando o horizonte mínimo de produção de 20 anos. Com isso, utiliza-se a taxa *per capita* da geração de resíduos para essa municipalidade, de um modo que cada indivíduo produz aproximadamente 0,520 kg/dia (SAMONTE, 2017).

Desse modo, estima-se, primeiramente a taxa atual da geração de RSU segundo proposto por Chernicharo *et al.* (2008), através da Equação 1:

$$G_0 = P_0 \times Gp_0 \times C_0 \quad (1)$$

De modo semelhante, esses autores complementam que a estimativa para a projeção futura da taxa de geração dos RSU, pode ser verificada, por meio da Equação 2:

$$G_t = \{P_0 \times (1 + y_p)^t\} \times \{Gp_0 \times (1 + y_{per})^t\} \times \{C_t\} \quad (2)$$

Em que: G_t representa a geração futura de resíduos, após t anos (kg/d); G_0 indica a geração atual de resíduos (kg/d); P_0 é referente a população atual total do município (hab.); Gp_0 denota a geração per capita atual (kg/hab.d); C_0 compreende a cobertura atual da coleta ou nível de atendimento dos serviços de coleta (%); C_t apresenta o nível de cobertura da coleta no tempo t considerado (%); y_p configura a taxa de crescimento populacional (% a.a.); y_{per} indica a taxa de incremento anual da geração *per capita* (% a.a.); e t diagnostica o tempo considerado (anos).

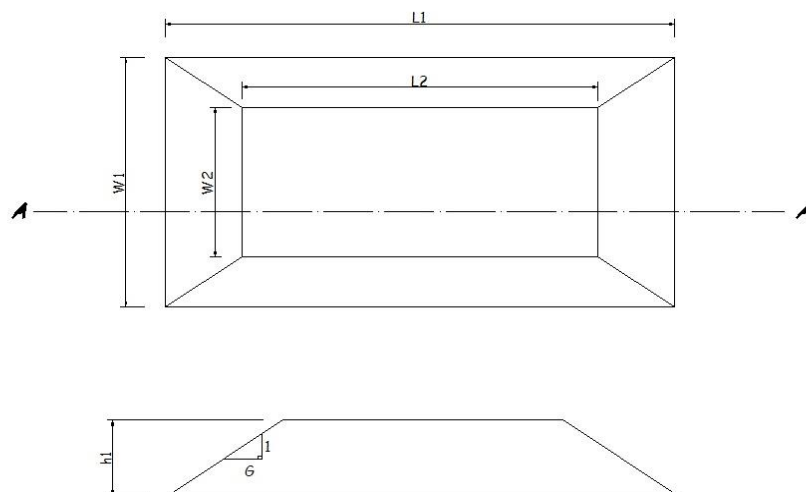
4.3.3. Dimensionamento do aterro sanitário

O dimensionamento da área útil para o aterro sanitário é um dos critérios mínimos exigíveis para a avaliação da adequabilidade de um local. Sendo assim, ponderam-se as informações decorrentes das etapas anteriores – projeção populacional e geração de resíduos, além da vida útil (20 anos) e a jornada de trabalho (seis dias semanais) do aterro sanitário.

Os resíduos sólidos computados para esse dimensionamento, advêm basicamente de domicílios, de estabelecimentos comerciais e da limpeza urbana. Além disso, considera-se que esses RSU apresentam composição/constituição que podem ser reutilizadas ou descartadas.

Para o dimensionamento do aterro sanitário, propõe-se que este apresente uma geometria retangular, formando uma pirâmide truncada com base retangular (MIHELIC; ZIMMERMAN, 2012). Entretanto, dependendo da topografia do terreno, este poderá ser de três tipos (área, trincheira e/ou encosta). Na Figura 12, encontra-se apresentada a proposta geométrica para o dimensionamento do aterro, indicando as variáveis das Equações 3 a 6.

Figura 12: Vista em planta da proposta de projeto para o aterro sanitário



Em que: L_1 : Comprimento base (pé); L_2 : Comprimento superior (crista); W_1 : Largura base (pé); W_2 : Largura superior (crista); h : Altura total.

Fonte: Adaptado de MIHELICIC; ZIMMERMAN, (2012).

Dessa forma, aplicam-se os valores pertinentes para as dimensões do maciço do aterro, sendo necessário determinar a declividade (G), por meio da Equação 3 (MIHELICIC; ZIMMERMAN, 2012).

$$G = (0,5 \times [L_1 - L_2]/h) \quad (3)$$

Igualmente, Mihelcic e Zimmerman (2012) determinam que, para calcular o volume dessa pirâmide, esta pode ser determinada utilizando a Equação 4.

$$V = \frac{h}{3} \times \left\{ L_1 \times W_1 [(L_1 - 2Gh)(W_1 - 2Gh)] + \sqrt{L_1 \times W_1 (L_1 \times 2Gh)(W_1 - 2Gh)} \right\} \quad (4)$$

De acordo com a Equação 4, observa-se que esta dispõe do volume de material de cobertura. Sendo assim, a espessura comum (T) da camada de cobertura diária com solo é de 200 mm (FEAM, 2006). Dessa forma, o volume diário de cobertura com solo

(V_s) exigível está relacionado com o volume de resíduo/rejeito compactado (V_r), de acordo com a Equação 5 (MIHELICIC; ZIMMERMAN, 2012).

$$\frac{V_s}{V_r} = \left[\left(1 + \frac{T}{H}\right) \times \left(1 + \frac{G \times T}{L}\right) \times \left(1 + \frac{G \times T}{W}\right) \right] - 1 \quad (5)$$

Por fim, o volume diário dos resíduos/rejeitos dispostos no Aterro Sanitário será obtido por meio da Equação 6 (MIHELICIC; ZIMMERMAN, 2012):

$$V_r = H \times L \times W \quad (6)$$

Em que: W é a largura; L é o comprimento; H é a altura, ambos se referem à frente de trabalho de aterramento.

4.4. Características da análise multicritério

A seleção das alternativas técnico-locacionais para a implementação do aterro sanitário, considera uma grande variedade de critérios/dados para formalizar o processo decisório. Sendo assim, para identificar as áreas aptas a instalação do aterro, considera o método de análise multicriterial.

Essa análise envolve uma série de etapas sequenciais, de modo que estas estão divididas em quatro fases: I) estruturação do banco de dados cartográficos; II) organização das variáveis e seus atributos; III) construção do modelo *Analytic Hierarchy Process* – AHP; IV) modelagem dos dados geográficos.

Dessa forma, a organização da análise multicritério envolve determinar prioridades para a tomada de decisão, analisando as alternativas em relação aos critérios envolvidos no processo decisório. Portanto, considera-se uma abordagem integrada e holística para estruturar o banco de dados geoespaciais, de acordo com os critérios pertencentes a cada categoria/meio para habilitar áreas favoráveis a implementação de um aterro sanitário no município de Samonte.

4.4.1. Base de dados geográficos

A estruturação do banco de dados geográficos dessa dissertação consiste numa finalidade precípua de coletar dados de entrada, provenientes de múltiplas naturezas e fontes diferentes, para caracterizar a dinâmica do espaço territorial do município de Samonte.

Dessa forma, utilizou-se dados de fontes primárias e secundárias visando organizar a base de dados do modelo *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Para a criação desse banco de dados geográficos, estruturou-se os critérios mínimos exigíveis para a caracterização de áreas aptas à implementação do aterro sanitário, considerando os elementos dos meios físico, biótico e antrópico, bem como os critérios legais vigentes (restrições e regulamentações).

Na Tabela 7, encontram-se apresentados os critérios técnicos e científicos aplicáveis à definição do local mais favorável para implantação do aterro sanitário.

Tabela 7: Critérios técnico e científico estruturados

Meio	Critério	Subcritério
Físico	Hidrogeológico	Potencial hídrico
	Geomorfológico	Declividade
	Hidrológico	Distância de recursos hídricos
	Pedológico	Influência lençol freático
Biótico	Flora	Bioma
Antrópico	Socioeconômico	Uso e ocupação do solo
	Sistema viário	Distância das vias
	Núcleos populacionais	Distância centros urbanos
Aspectos legais	Áreas legalmente protegidas	Área de Segurança Aeroportuária
		Unidade de Conservação

Fonte: Adaptado de Monteiro *et al.* (2001); Chernicharo *et al.* (2008); Castilho Junior (2003).

Sendo assim, as bases cartográficas foram obtidas em formatos de dados geográficos tabulares, vetoriais e matriciais. Primeiramente, os dados tabulares e em documentos de texto, foram convertidos em formato vetorial ESRI (.shp) e, por conseguinte, transformados em formato matricial com a utilização dos programas ArcGIS 10.4.1 e QGIS 2.18.16.

Dessa forma, determina-se que a área de estudo está condicionada ao limite geopolítico do município de Samonte, a partir do qual as bases de dados geográficos,

também, atenderão a esse limite. O conjunto de dados vetoriais e matriciais, foram indexados segundo o sistema de coordenadas projetadas – Universal Transversa de Mercator (UTM) e com o DATUM SIRGAS 2000 – zona 23S.

4.4.2. Estruturação dos critérios e seus atributos

Para implementar aterros sanitários, há exigências legais relativas a sua localização. Essas exigências foram fixadas para priorizar áreas aptas à instalação desses aterros. Sendo assim, os critérios legais adotados para esta dissertação consideram as características dos meios físico, biótico, antrópico, além dos aspectos legais segundo as peculiaridades do município de Samonte.

Dessa forma, os critérios selecionados para avaliar a adequabilidade de áreas favoráveis a instalação do aterro, referenciam-se a partir da literatura consolidada de Chernicharo *et al.* (2008), de Castilhos Junior (2003), de Calijuri, Melo e Lorentz (2002), além de normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT 13.896/1997; 8419/1997).

De modo semelhante, esses autores atribuíram um conjunto de valores/notas aos critérios selecionados segundo sua relevância, de um modo que essas notas variam de 0 a 5, sendo que os valores elevados representam que o critério é o mais favorável, enquanto que valores baixos significam que a condição é inviável para a implantação do aterro sanitário.

É de observar também que a caracterização dos critérios técnicos e científicos adotados para esta dissertação, consideraram as peculiaridades do município de Samonte, conforme apresentadas a seguir.

4.4.3. Meio físico

4.4.3.1. Características hidrogeológicas

De acordo com a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2007), os domínios hidrogeológicos estão caracterizados a partir do agrupamento das unidades geológicas que armazenam e transmitem águas subterrâneas, de um modo que esses domínios foram organizados em subdomínios, conforme suas potencialidades hidrogeológicas.

Sendo assim, as unidades geológicas, em escala regional, ao município de Samonte, caracterizam-se, por blocos de rocha da idade paleo e mesoarquiana (>2.500 Ma), do complexo Divinópolis, dos Depósitos aluvionares, do complexo Coberturas detrito-lateríticas ferruginosas e do complexo Paraopeba.

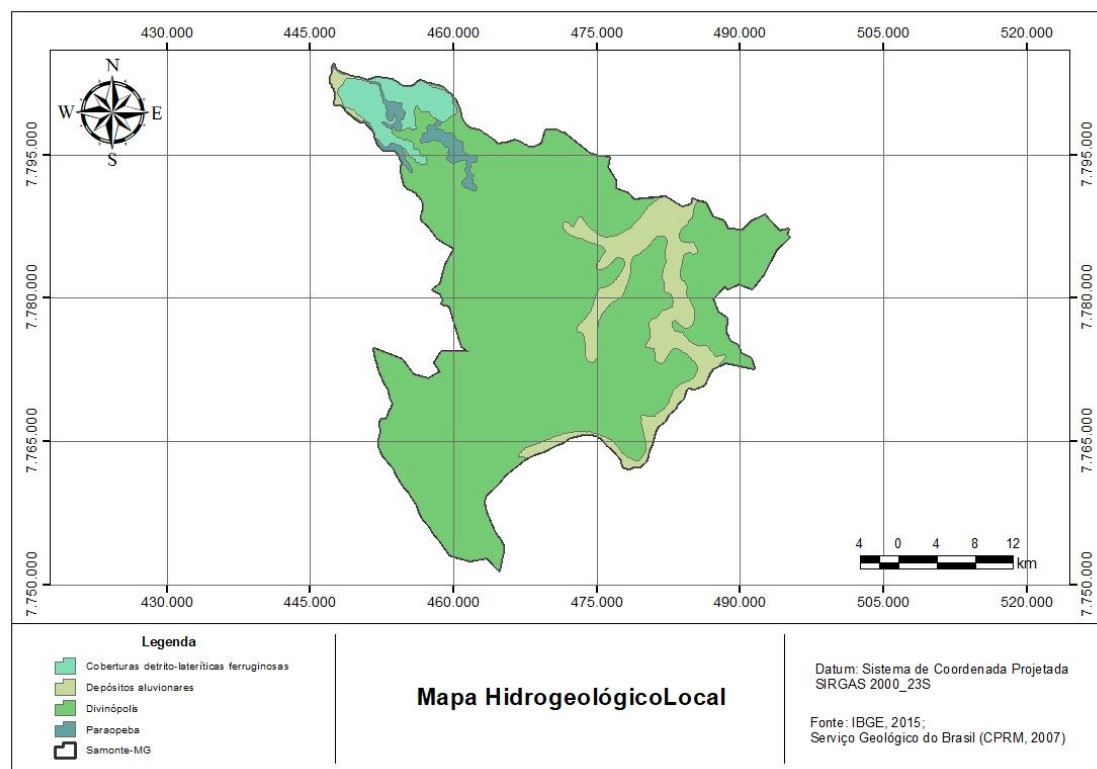
O complexo Divinópolis pertence ao subdomínio hidrogeológico cristalino (ou aquífero fissural) com litótipos (granito, granodiorito) sob a forma de grandes e extensos corpos maciços. A porosidade primária desse subdomínio é baixa, em que há ocorrência de água subterrânea está condicionada a porosidade secundária – fraturas e fendas formando reservatórios pequenos, descontínuos e aleatórios (CPRM, 2007).

Os depósitos aluvionares (areia, cascalho) são formados pelo subdomínio hidrogeológico com formações Cenozóicas. Esse subdomínio apresenta um aquífero poroso (porosidade primária), porquanto sua ocorrência em terrenos arenosos com alta permeabilidade. Da mesma forma, o complexo com Coberturas detrito-lateríticas ferruginosas (aglomerado, areia, argila, laterita), também, pertence ao subdomínio com formações Cenozóicas (CPRM, 2007).

O complexo Paraopeba (arcóseo, argilito, calcarenito, dolomito, folhelho, marga, ritmito, siltito) está constituído pelo subdomínio hidrogeológico Poroso/Fissural. Dessa forma, os pacotes sedimentares conferem a esse subdomínio um comportamento de aquífero granular com porosidade primária (baixa/média), além de um comportamento fissural acentuado – porosidade secundária de fendas e fraturas (CPRM, 2007).

Sendo assim, na Figura 13, encontram-se apresentados, em escala regional, os subdomínios hidrogeológicos pertencentes ao município de Samonte.

Figura 13: Mapa regional dos subdomínios hidrogeológicos



Fonte: Adaptado de CPRM (2007).

Conforme a Figura 13, essas unidades geológicas foram organizadas a partir do seu potencial hídrico (hidrogeológico), de tal modo que uma unidade geológica com potencialidade hídrica é, opostamente, apta à instalação de um aterro sanitário (CASTILHOS JUNIOR, 2003). Desse modo, avalia-se esse critério para a locação de áreas favoráveis à instalação do aterro, conforme demonstrado na Tabela 8.

Tabela 8: Critérios hidrogeológicos

Critério	Faixa de avaliação	Nota
Hidrogeologia	Alto potencial hídrico (Aluvionar; Cobertura Detrítico)	0
	Médio potencial hídrico (Paraopeba)	3
	Baixo potencial hídrico (Divinópolis)	4

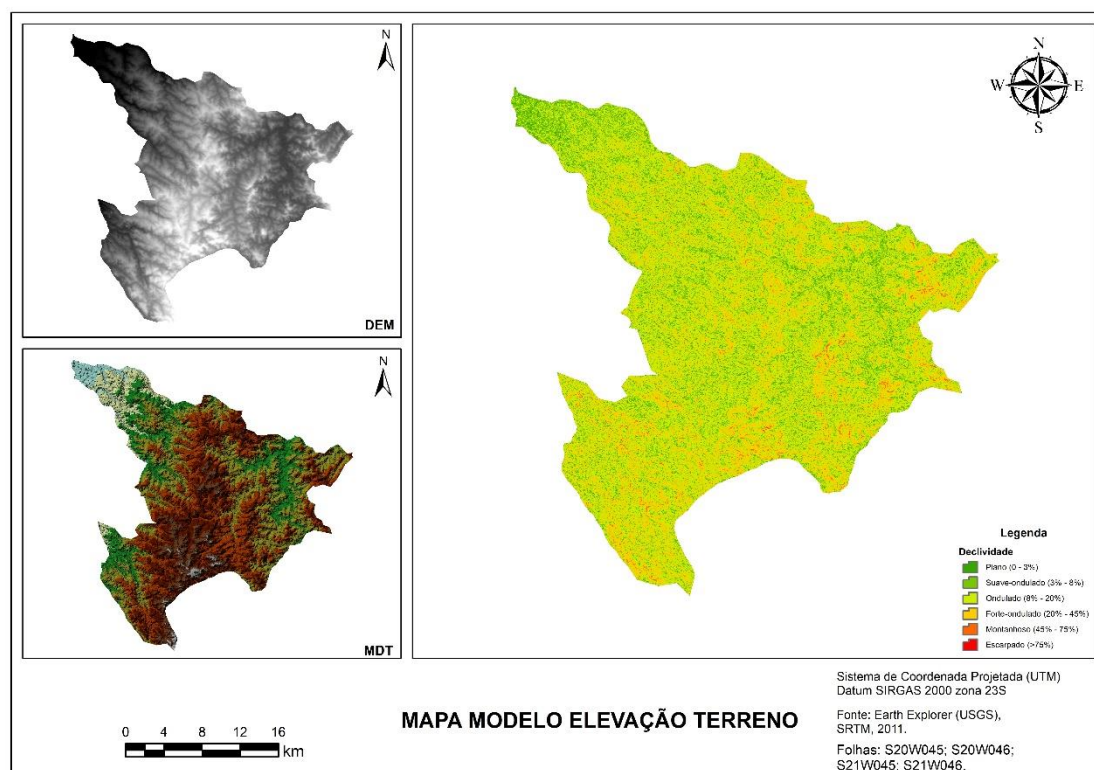
Fonte: Adaptado de Castilhos Junior, (2003); CPRM (2007).

4.4.3.2. Características geomorfológicas

Para modelar as informações geomorfológicas que representam a superfície do terreno do município de Samonte, empregou-se o método da Rede de Triângulos Irregulares (TIN – *Triangulated Irregular Network*) com o critério de *Delaunay* para maximização dos ângulos mínimos de cada triângulo (LONGLEY *et al.*, 2013). Essas características geomorfológicas estão expressas por unidades espaciais, a partir da compilação e interpolação dos dados de altitude provenientes das Cartas Topográficas do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM, 2011).

De acordo com essas Cartas Topográficas (Folhas n° S20W040; S20W046; S21W045; S21W046), determinou-se o Modelo Digital do Terreno (MDT) e a declividade em porcentagem – classe de declividade proposta pela Embrapa (1979), conforme apresentado na Figura 14.

Figura 14: Mapa do modelo numérico de elevação do terreno



Fonte: Adaptado de SRTM (2011).

Com base na Figura 14, as informações altimétricas relacionadas com a superfície do terreno de Samonte, compreendem aos desnivelamentos totais que apresentam as seguintes amplitudes topográficas: 660m (mínima), 848m (média) e 1.120m (máxima).

De modo semelhante, as classes de declives congêneres às inclinações da superfície do terreno, apresentam em geral declividades heterogêneas, no qual o gradiente da inclinação (declive) dominante está compreendido entre o intervalo de 3% - 75%. Segundo a Embrapa (1979), considera-se que esse intervalo está enquadrado na classe de relevo como sendo suave-ondulado a escarpado.

De acordo com a NBR 13.896 (ABNT, 1997), os aspectos topográficos são determinantes na escolha da localização do aterro sanitário, de um modo que esta recomenda uma declividade superior a 1% e inferior a 30%. Chernicharo *et al.*, (2008) asseguram que esse critério é um fator limitativo para a disposição dos resíduos, além de minimizar o transporte de material/solo até o local.

Dessa forma, esses autores tipificam uma faixa para a avaliação da declividade, conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9: Critérios de declividade

Critério	Faixa de avaliação	Nota
Geomorfológico	Declividade Alta: > 30%	1
	Declividade Média: 20 - 30%	2
	Declividade Baixa: 10 - 19,9%	3
	Declividade Muito baixa: 3 - 9,9%	4
	Declividade Plana: < 3%	5

Fonte: Adaptado de Chernicharo *et al.*, (2008).

4.4.3.3. Características hidrográficas

O município de Samonte está localizado na Bacia Federal do Rio São Francisco e nas Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) do Rio Pará (SF-2) e dos Afluentes do Alto São Francisco (SF-1). Logo a disponibilidade de água superficial nessa rede é considerada como alta, porém a vulnerabilidade da hidrografia local está classificada como sendo média (SISEMA, 2018).

A bacia do Rio Pará compreende uma área total de drenagem de aproximadamente 12.233km², de modo que os principais cursos d'água que constituem essa hidrográfica compreendem os ribeirões Guandu e Diamante, ambos afluentes direto do rio Lambari, sendo esses tributários do Rio Pará (ANA, 2009).

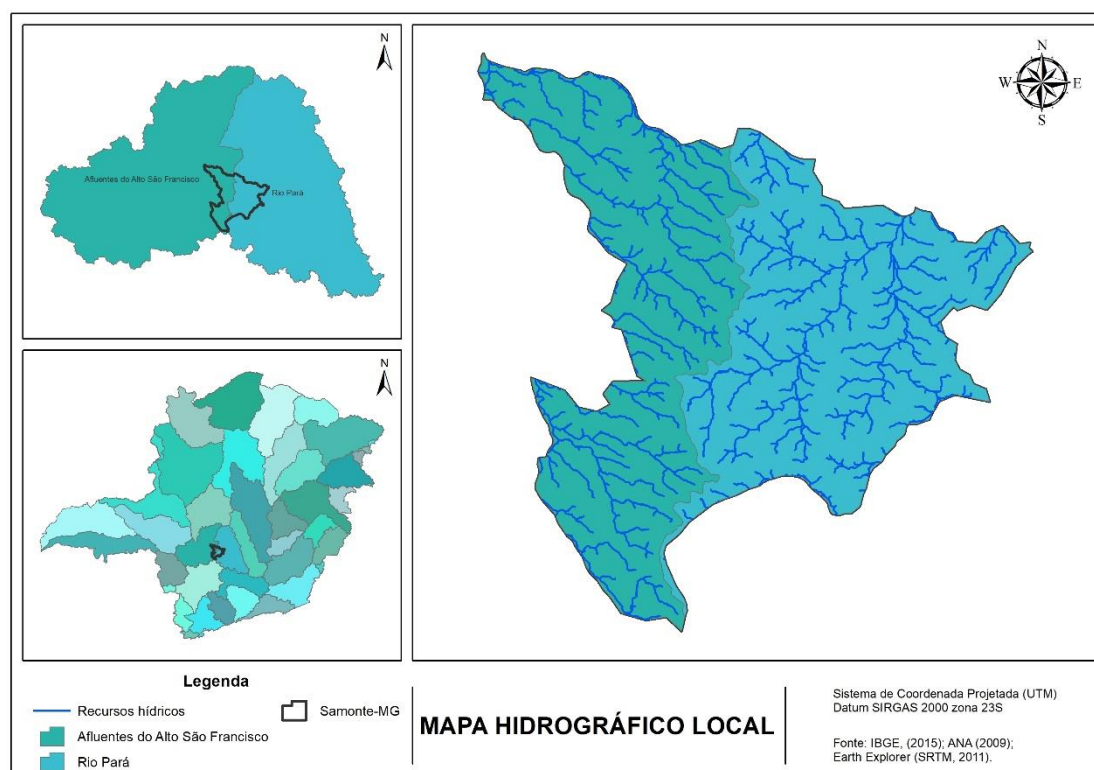
A bacia dos Afluentes do Alto São Francisco incide numa extensão total em torno de 14.155km², no qual os principais corpos d'água que compõem essa hidrografia são o

Córrego Fundo, o Rio Santana e o Ribeirão Santo Antônio, todos afluentes do Rio São Francisco (ANA, 2009).

Para delimitar e calcular a rede drenagem e a microbacia hidrográfica do município de Samonte, considerou-se os dados de altitude provenientes das Cartas Topográficas do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM, 2011). Sendo assim, foi utilizado o Método D8 (Método das Oito Possíveis Direções de Fluxo) com o algoritmo de *Jenson e Domingue*. Essa metodologia considera uma das oito direções possíveis de escoamento da água sobre uma superfície (Modelo Digital de Elevação), assumindo que a água escoará de uma célula qualquer para outra de suas oito células vizinhas, escoando na direção mais acentuada (LONGLEY *et al.*, 2013).

Na Figura 15, encontra-se apresentada a modelagem dos recursos hídricos de Samonte, juntamente com suas respectivas bacias hidrográficas.

Figura 15: Mapa de recursos hídricos locais



Fonte: Adaptado de IBGE (2015); ANA (2009); SRTM (2011).

De acordo com a Figura 15, a determinação da adequabilidade locacional do aterro sanitário está condicionada à influência deste na qualidade e uso das águas superficiais.

Isto posto, considera-se que a distância mínima entre o aterro sanitário e os recursos hídricos seja de 200 m, de um modo que a faixa para a avaliação desse critério esteja condicionada a análise baseada na distância, conforme apresentado na Tabela 10 (CHERNICHARO *et al.*, 2008).

Tabela 10: Critério de distância dos recursos hídricos

Critério	Faixa de avaliação	Nota
Recursos hídricos	Distância: < 200 metros	0
	Distância: 200 - 499 metros	3
	Distância: 500 - 1000 metros	4
	Distância: > 1000 metros	5

Fonte: Adaptado de Chernicharo *et al.*, (2008).

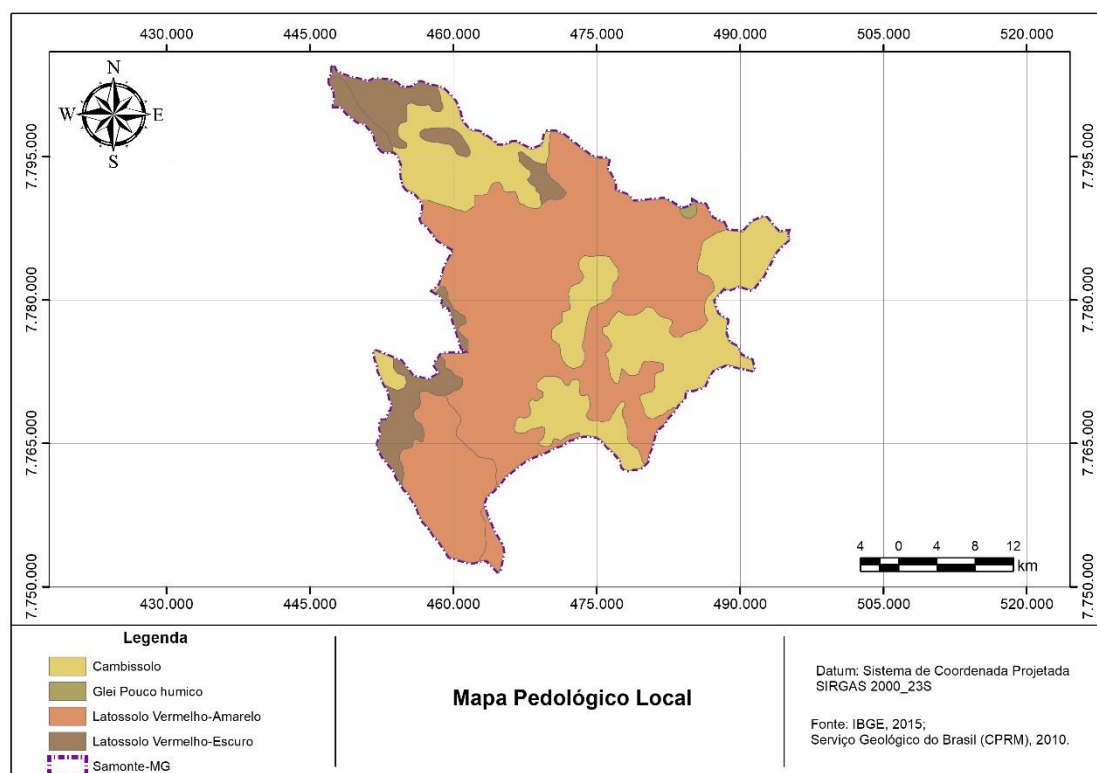
4.4.3.4. Características pedológicas

Para reconhecer a dinâmica da unidade pedológica em escala regional, foi empregado o mapeamento pedológico organizado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). Para tanto, utiliza-se o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) para fins de interpretação técnica dos solos ora identificados.

De acordo com o SiBCS, a organização do solo no município de Samonte está compreendida a partir da formação de um mosaico com perfis tipificados como sendo: Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (moderadamente argiloso/cascalhento), Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, Cambissolo Alico, Glei Pouco-Húmico distrófico.

Assim, na Figura 16, encontra-se apresentada a distribuição pedológica em escala regional do município de Samonte-MG.

Figura 16: Mapa pedológico em escala regional



Fonte: Adaptado de CPRM (2007).

Conforme a Figura 16, esses solos podem ser tipificados em função dos seus atributos estruturais e funcionais, de modo que a descrição destes se encontra apresentada a seguir.

O Cambissolo possui as seguintes propriedades: a) solos minerais, não-hidromórficos e pouco-profundos; b) discreta variação de textura; c) quantidade elevadas de minerais primários facilmente intemperizáveis; d) pequenos fragmentos de rocha; e) utilizados para pastagem (com restrições) e reflorestamento; f) baixa influência do lençol freático (LEPSCH, 2011).

O tipo de solo Glei Pouco-Húmico apresenta alguns atributos estruturais e funcionais marcantes: i) constituído por material predominantemente mineral; ii) características hidromórficas; iii) alta influência do lençol freático e do recurso hídrico; iv) limitações para o uso agrícola; v) importante para a conservação dos recursos hídricos (LEPSCH, 2011).

Os Latossolos são relativamente uniformes em todo o perfil, sendo que seus atributos estruturais e funcionais, consistem: I) solos minerais, não-hidromórficos e profundos; II) alta friabilidade e permeabilidade; III) alta preferência para atividade de engenharia – aterros sanitários, estações de tratamento de esgoto; IV) aptos para conservação da biodiversidade; V) alta permeabilidade devido à grande espaço poroso; VI) mediana influência do lençol freático (LEPSCH, 2011).

A seleção de áreas aptas para à implementação do aterro sanitário requer uma análise pedológica para verificar a potencialidade de infiltração de líquidos no solo, de modo que essa condutividade hidráulica condicionará o processo de infiltração destes nos solos. Dessa forma, elencam-se as principais faixas de avaliação para esse critério, bem como estabelece nota para estes, considerando o potencial/influência do lençol freático sobre esses solos.

Na Tabela 11, encontram-se apresentadas as características a serem consideradas para avaliar esse critério pedológico na análise de multicritérios.

Tabela 11: Critérios pedológicos

Critério	Faixa de avaliação	Nota
Pedológico	Influência lençol freático: alta	1
	Influência lençol freático: média	2
	Influência lençol freático: baixa	4

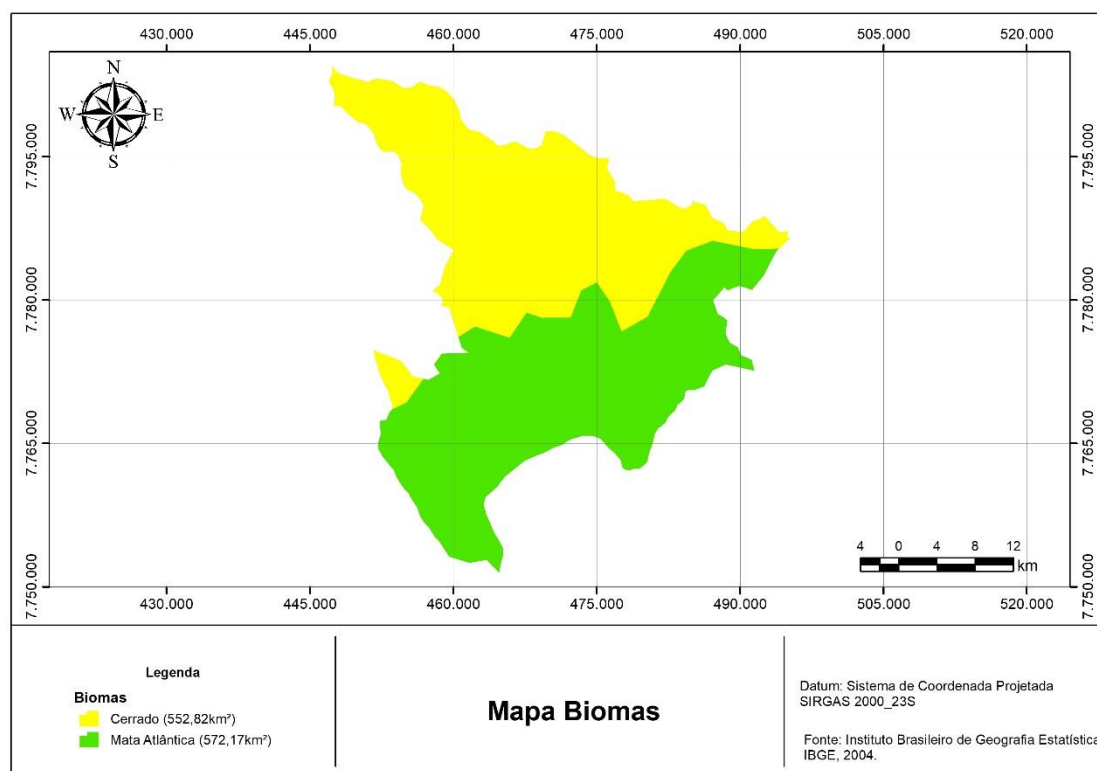
Fonte: Adaptado de Castilho Junior (2003); Autor (2018).

4.4.4. Meio biótico

4.4.4.1. Características biomas

O município de Samonte está inserido numa área de transição entre os biomas Cerrado e Mata Atlântica, de modo que esses ambientes abrigam grande variedade de vegetação, bem como critérios legais de conservação. Sendo assim, esses biomas estão homoganeamente distribuídos no espaço territorial desse município, de modo que estes apresentam as grandezas geográficas de 572,17km² Mata Atlântica e 552,82km² Cerrado, conforme apresentado na Figura 17.

Figura 17: Mapa regional de biomas



Fonte: Adaptado de IBGE (2004).

Com base na Figura 17, identifica-se que esses biomas são considerados *hotspots* da biodiversidade mundial, no qual ambos sofreram alterações antrópicas (MMA, 2018). Dessa forma, as formações desses biomas dispõem de proteção legal através do Código Florestal (Lei Estadual 20.922/2013), mas o bioma Mata Atlântica é regulamentado por legislação específica (Lei Federal 11.428/2006) que garantiu proteção a esse bioma.

Sendo assim, organizou-se as faixas de avaliação para esse critério, conforme diretrizes legais fixadas para esses biomas. Na Tabela 12, apresentam-se as características consideradas na avaliação desse critério na análise de multicritérios.

Tabela 12: Faixa de avaliação biomas

Critério	Faixa de avaliação	Nota
Bioma	Cerrado	1
	Mata Atlântica	0

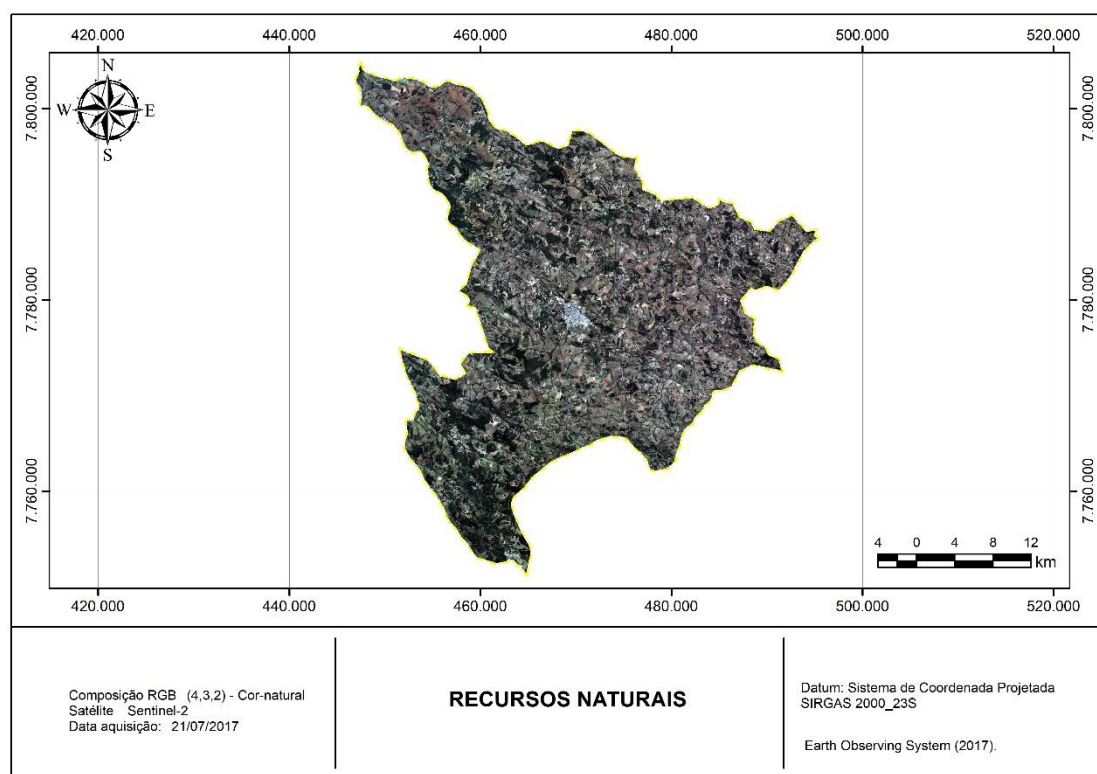
Fonte: Autor (2018).

4.4.4.2. Características do uso e ocupação do solo

A dinâmica do uso e ocupação do solo condiciona a viabilidade locacional para à instalação do aterro sanitário, de modo que esta pode ser compreendida a partir de imagens satelitais. Essas imagens permitem verificar, avaliar e dimensionar o uso e a ocupação do solo da superfície terrestre, conforme suas respectivas finalidades (FLORENZANO, 2011).

Dessa forma, utiliza-se imagem satelital do banco de dados do Sistema de Observação da Terra (*Earth Observing System – EOS*) da NASA. Esse sistema dispõe de uma série de satélites artificiais, sendo que para este estudo, capturou-se os dados do sensor/satélite Sentinel-2, conforme apresentado na Figura 18.

Figura 18: Imagem satelital do município Samonte



Fonte: Adaptado de SENTINEL-2 (2017).

De acordo com a Figura 18, verifica-se que o uso e a ocupação do solo nesse município incidem nos elementos chave (classes de interesse): corpos d'água, área urbana, cobertura vegetal nativa, atividades agrossilvipastoris e solo exposto.

Sendo assim, as características da dinâmica do uso e ocupação do solo de Samonte a serem consideradas na seleção das áreas aptas para implementação do aterro sanitário, encontram-se apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13: Faixa de avaliação do uso e ocupação do solo

Critério	Faixa de avaliação	Nota
Uso e ocupação do solo	Água (recurso hídrico)	0
	Área urbanizada	1
	Área vegetação nativa	2
	Área agrossilvipastoril	4
	Área solo exposto	5

Fonte: Autor (2018).

4.4.4.3. Características áreas legalmente protegidas

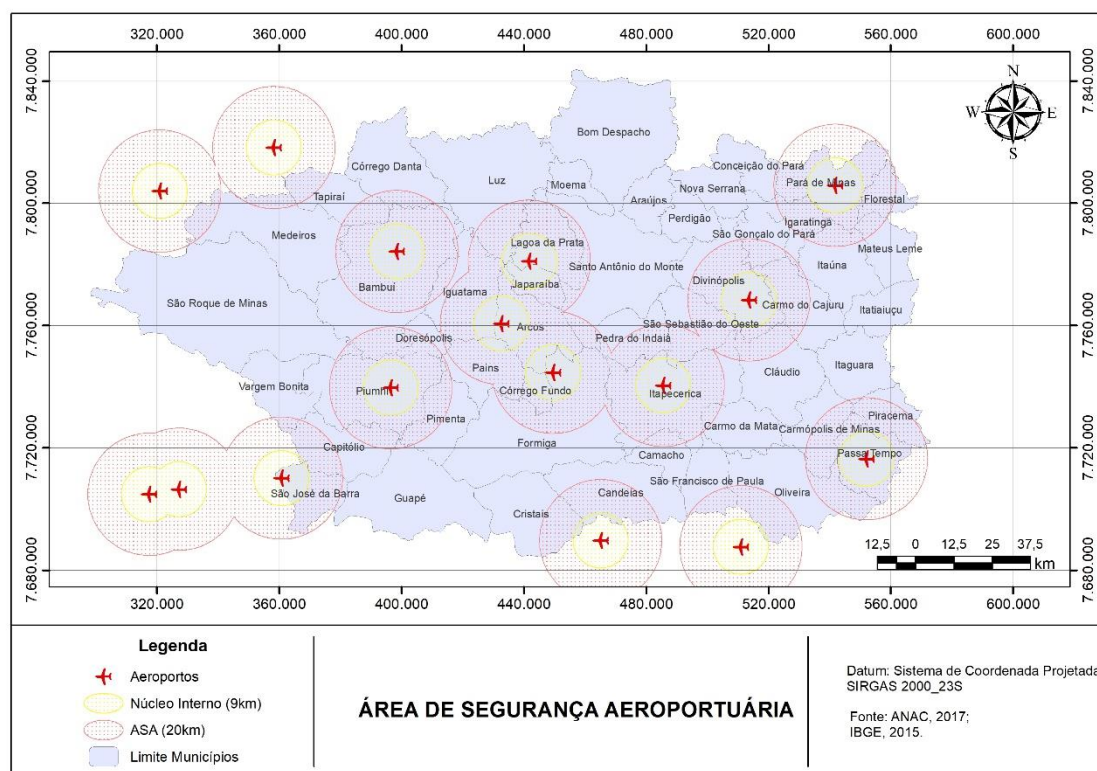
Considerando o regime jurídico aplicável a segurança aeroportuária, a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), estabeleceu lista cadastral como os aeródromos públicos e privados.

De acordo com esse inventário da ANAC, verifica-se que o município de Samonte indispôs do cadastro de aeródromos no seu território. No entanto, municípios vizinhos apresentam o registro de aeródromos, sendo esses: Lagoa da Prata, Arcos e Divinópolis.

O Comando da Aeronáutica, através da Lei Federal 12.725/2012, fixou a Área de Segurança Aeroportuária (ASA) e seu núcleo interno, de modo que estas consistem em raios de 20 km e 9 km, respectivamente, medidos a partir do centro geométrico da maior pista do aeródromo.

Sendo assim, a representação espacial dessas áreas legalmente protegidas (ASA e núcleo interno), encontram-se apresentadas na Figura 19.

Figura 19: Mapa de área de segurança aeroportuária



Fonte: Adaptado de IBGE (2015); ANAC (2017).

Sendo assim, aterros sanitários são considerados atrativos para aves e, por isso, essa característica deve ser avaliada na seleção de áreas aptas para instalação deste. Para tanto, estabeleceu-se uma faixa de avaliação para esse critério, a partir do qual esta foi ponderada segundo análise baseada na distância, em que quanto mais afastado, melhor o potencial para implementar o aterro e, conseqüentemente, minimizar os riscos de causar acidentes aeroportuários.

Na Tabela 14, encontram-se apresentadas as características aplicáveis a esse critério legal.

Tabela 14: Faixa de avaliação segurança aeroportuária

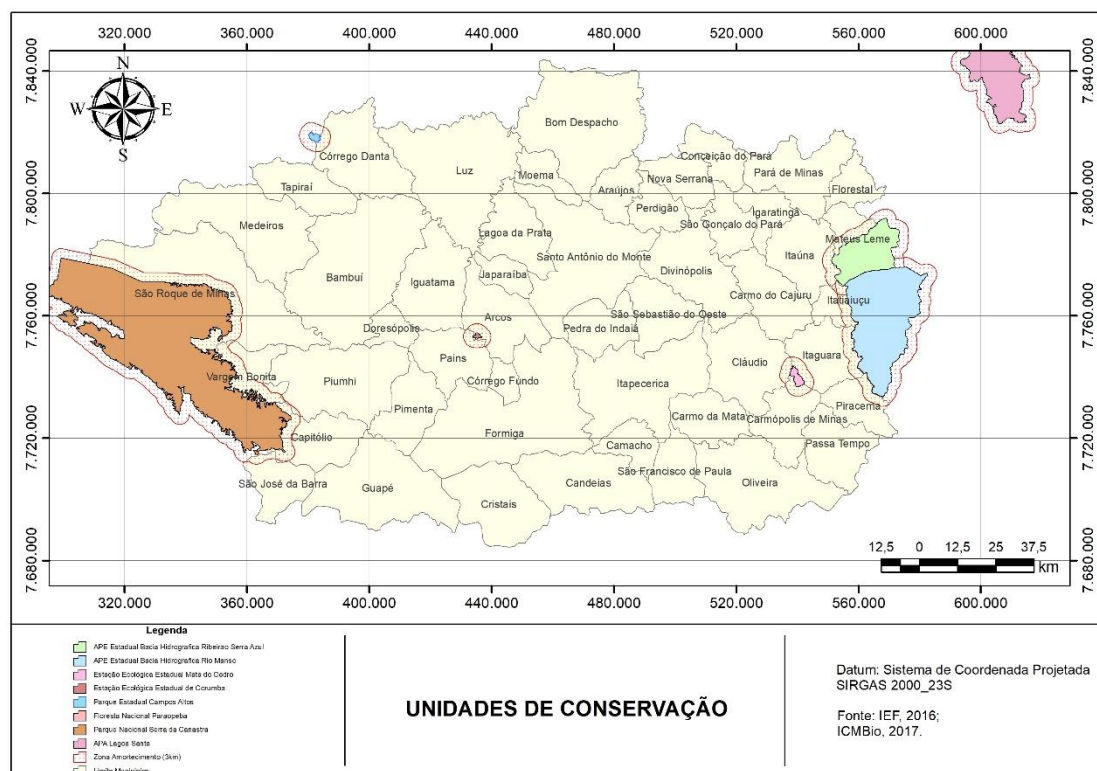
Critério	Faixa de avaliação	Nota
Área de Segurança Aeroportuária	< 9 km	0
	9 – 20 km	2
	> 20 km	5

Fonte: Autor (2018).

As Unidades de Conservação da Natureza (UC), também, estão incluídas como sendo área legalmente protegida. Desse modo, para determinar as UCs inseridas/contidas no município de Samonte, realizou-se uma análise espacial, a partir dos dados geostatísticos disponibilizados pelos órgãos ambientais competentes (Instituto Estadual de Florestas – IEF e Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio). Além do mais, considera-se nessa análise, a zona de amortecimento das UCs, sendo esta de, no mínimo, três quilômetros (CONAMA, 2010).

Assim sendo, na Figura 20 encontram-se apresentadas as Unidades de Conservação e suas respectivas zonas de amortecimento (ZA).

Figura 20: Mapa de unidades de conservação e suas zonas amortecimento



Fonte: Adaptado de IEF (2016); ICMBio (2017).

De acordo com a Figura 20, identifica-se que o município de Samonte não possui Unidade de Conservação e/ou zona de amortecimento pertencente ao espaço territorial desta. No entanto, verificou-se as unidades que apresentam maior proximidade com esse município: i) Estação Ecológica de Corumbá em Arcos – 19 km; ii) Parque Serra da Canastra em São Roque de Minas – 87 km; iii) Estação Ecológica Mata do Cedro em Carmópolis de Minas – 60 km.

Dessa forma, determina-se uma faixa para avaliar esse critério, de modo que quanto mais afastado da unidade, melhor o potencial locacional para o aterro sanitário. Na Tabela 15, encontram-se apresentadas as características aplicáveis a esse critério legal.

Tabela 15: Faixa de avaliação critério unidade conservação

Critério	Faixa de avaliação	Nota
Unidade de Conservação (Estadual e Federal) e zona de amortecimento	UC	0
	ZA < 3 km	1
	ZA >3 km	5

Fonte: Autor (2018).

4.4.5. Meio antrópico

4.4.5.1. Características da distância centro urbano

O espaço urbano do município de Samonte está delineado a partir de um conjunto de infraestrutura específico de uma área urbanizada. Além disso, essa municipalidade apresenta pequenos núcleos populacionais distribuídos nesse espaço territorial, conforme apresentado na Tabela 16.

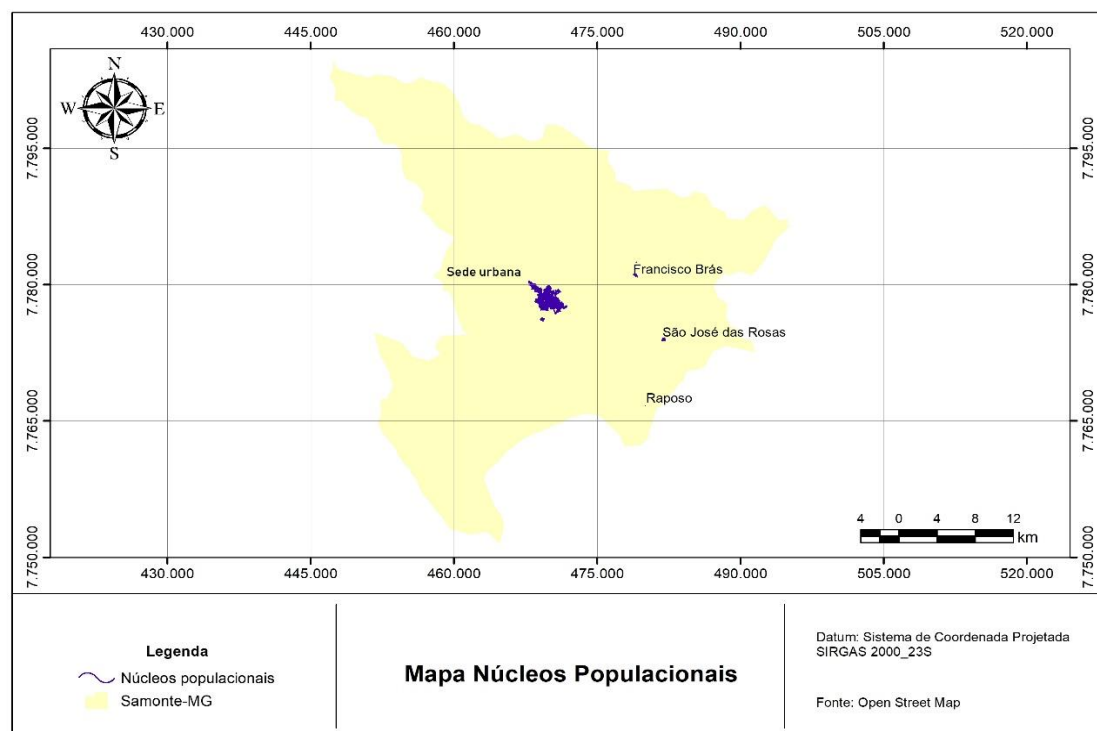
Tabela 16: Núcleos populacionais de Samonte

Localidade	População (hab.)	Distância sede administrativa (km)	Pavimentação
Sede urbana administrativa	24.079	-	Sim
Distrito São José dos Rosas	800	15	Sim
Zona rural Francisco Brás	200	15	Sim
Zona rural Raposo	50	18	Sim

Fonte: Autor (2018).

De acordo com a Tabela 16, realizou-se o dimensionamento desses núcleos populacionais visando a representação espacial destes, conforme apresentados na Figura 21.

Figura 21: Mapa de representação espacial dos núcleos populacionais



Fonte: Adaptado de OGC (2018).

Conforme a NBR 8.419 (ABNT, 1992), deve ser avaliada a distância entre o limite do aterro sanitário e dos núcleos populacionais. Entretanto, dois fatores opostos influenciam nessa questão, ou seja, proximidade com a população causará incômodos e por outro lado distância longínqua encarecerá o serviço de transporte.

Sendo assim, a ponderação dessa faixa de avaliação está condicionada a análise baseada na distância, segundo se encontra apresentado na Tabela 17.

Tabela 17: Faixa de avaliação da distância núcleos populacionais

Critério	Faixa de avaliação	Nota
Distância de núcleos populacionais	100 - 250 m	1
	250 - 500 m	2
	500 - 1000 m	3
	1000 - 2000 m	4
	> 2000m e ≤15000m	5
	> 15000 m	4

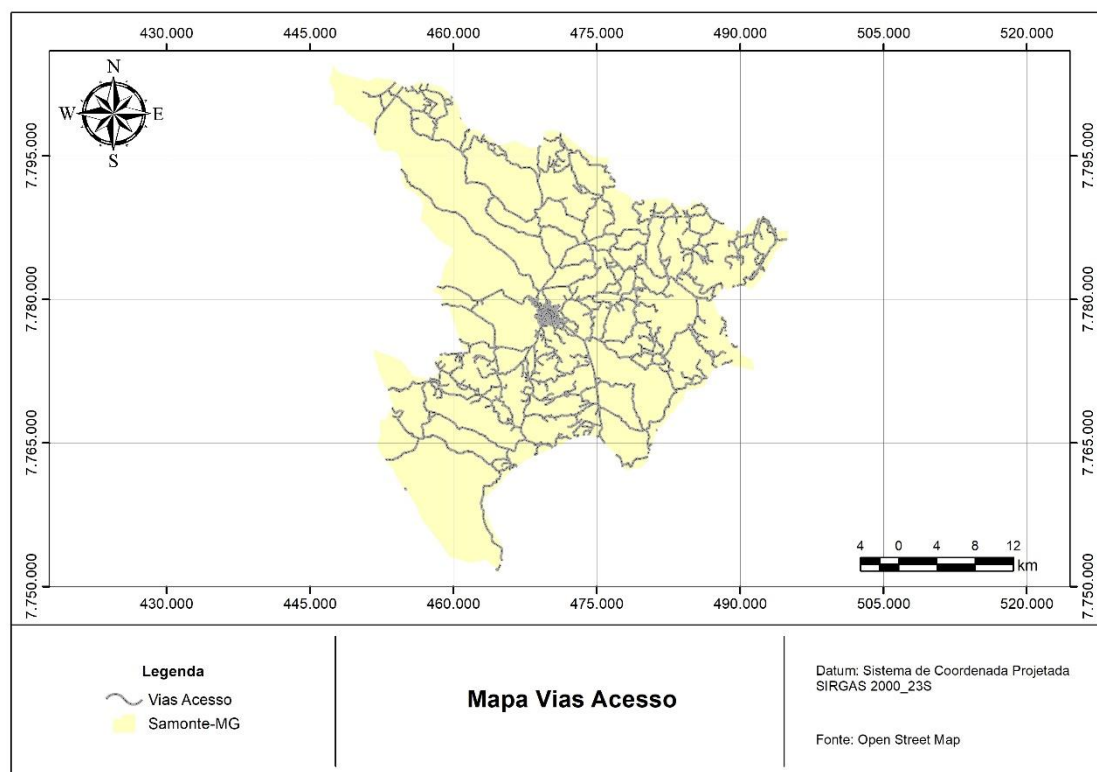
Fonte: Adaptado de Castilhos Junior, (2003).

4.4.5.2. Características sistema viário

A malha viária do município de Samonte está composta por rodovias estaduais e municipais, de modo que as principais rodovias são MG-164, 170, 252 e 429, além da estrada municipal Presidente Trancredo Neves.

Dessa forma, utilizou-se arquivo vetorial disponibilizado no banco de dados da *Open Geospatial Consortium* (OGC, 2018), contendo a representação espacial do sistema rodoviário pertencente a esse município, como exposto na Figura 22.

Figura 22: Mapa do sistema viário de Samonte



Fonte: Adaptado de OGC (2018).

Segundo Chernicharo *et al.* (2008), os sistemas viários são considerados como um critério para selecionar áreas para suscetíveis à instalação de aterro sanitário. Para isso, esses autores ponderam uma faixa de avaliação medindo a partir do eixo das vias de acesso.

Na Tabela 18, encontra-se apresentada a faixa de avaliação aplicada para esse critério, sendo essa faixa ponderada a partir da análise baseada na distância.

Tabela 18: Faixa de avaliação das vias de acesso

Critério	Faixa de avaliação	Nota
Distância das vias	< 100	0
	100 - 499 m	3
	500 - 1000 m	4
	> 1000 m	5

Fonte: Adaptado de Chernicharo *et al.*, (2008).

4.4.6. Análise multicritério segundo técnica Analytic Hierarchy Process

A tomada de decisão para o mapeamento da alternativa técnica locacional para implementar o aterro sanitário está condicionada a avaliação de múltiplos critérios nesse processo decisório. Dessa forma, o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) foi adaptado para fornecer suporte na tomada de decisão visando identificar e selecionar as áreas aptas a instalação do aterro sanitário no município de Samonte.

O método AHP foi escolhido dentre uma série de metodologias de análise multicritério, porquanto essa AHP possibilita integrar vários critérios representados em mapas e estruturar hierarquicamente os objetivos e compará-los em diversos níveis, além de ser recomendado pela *Environmental Protection Agency* (EPA) para selecionar áreas aptas a localização de aterros sanitários (MARQUES, 2002).

Dessa forma, o método AHP consiste em realizar comparações pareadas (*pairwise comparison*), utilizando uma escala com números inteiros que indicam quantas vezes um elemento/variável é mais importante e/ou dominante sobre o outro elemento. Para isso, o objetivo/problema é organizado em uma estrutura hierárquica, de um modo que no topo está disposto o objetivo, sendo nos níveis inferiores homogeneizados os atributos/critérios que condicionam para a tomada de decisão (SAATY, 1987).

A construção da matriz AHP corresponde aos critérios/elementos que representam as relações (linha/coluna) entre os pesos atribuídos a cada critério. Assim, a escala atinente ao grau de importância aplicável aos critérios/prioridades, foi estabelecido por Saaty em 1987 e encontra-se descrita na Tabela 19.

Tabela 19: Escala de importância AHP

Peso	Grau de Importância	Descrição
1	Igual importância	Dois atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Moderada importância de um elemento sobre o outro	A experiência e a opinião favorecem um elemento sobre o outro
5	Forte importância de um elemento sobre o outro	Um elemento é fortemente favorecido
7	Importância muito forte de um elemento sobre o outro	Uma atividade é fortemente favorecida e seu domínio demonstrado na prática
9	Extrema importância de um elemento sobre o outro	A evidência que favorece uma atividade sobre outra é a mais alta ordem possível de afirmação
2,4,6,8	Valores intermediários entre julgamentos adjacentes	Consenso entre julgamentos
Recíproco		Se uma variável tem um requisito acima dos que lhe são atribuídos, quando comparado com um segundo requisito, o segundo tem valor recíproco, quando comparado com o primeiro.

Fonte: SAATY (1987).

Dessa forma, a matriz de decisão será construída adotando a escala de Saaty (1987) e os critérios ora descritos, os quais foram comparados par-a-par de acordo com a importância/relevância de cada critério. Assim, essa matriz realiza a soma dos valores de cada coluna, como apresentado na Equação 7 (SADASIVUNI *et al.*, 2009).

$$C_{i,j} = \sum_{i=1}^n C_{i,j} \quad (7)$$

Em seguida, divide-se cada elemento constante da matriz pela soma total das colunas, de tal modo que esta resulte em uma matriz de pares normalizadas, conforme Equação 8 (SADASIVUNI *et al.*, 2009).

$$\begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & X_{13} \\ X_{21} & X_{22} & X_{23} \\ X_{31} & X_{32} & X_{33} \end{bmatrix} \quad X_{i,j} = \frac{C_{i,j}}{\sum_{i=1}^n C_{i,j}} \quad (8)$$

Nesta etapa, divide-se a soma da coluna da matriz normaliza pelo número de critérios empregados (n), visando gerar uma matriz pondera de acordo com a Equação 9 (SADASIVUNI *et al.*, 2009).

$$\begin{bmatrix} W_{11} \\ W_{12} \\ W_{13} \end{bmatrix} \quad W_{i,j} = \frac{\sum_{i=1}^n X_{i,j}}{n} \quad (9)$$

Dessa forma, verifica-se, inicialmente se o somatório das notas resultantes do processo da AHP é igual a 1. Por conseguinte, determina-se o *Consistency Ratio* (Cr), o qual se o $Cr < 0,10$ certifica que há consistência no processo, caso contrário, a relação é inconsistente e o cálculo deverá ser revisto até que haja uma consistência adequada. O vetor de consistência pode ser calculado conforme a Equação 10 (SADASIVUNI *et at.*, 2009).

$$\begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} W_{11} \\ W_{12} \\ W_{13} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Cv_{11} \\ Cv_{12} \\ Cv_{13} \end{bmatrix} \quad (10)$$

O cálculo do vetor de consistência é determinado dividindo o peso obtido através da soma ponderada dos vetores adquirido por meio do peso do critério da Equação 12 (SADASIVUNI *et at.*, 2009).

$$Cv_{11} = \frac{1}{W_{11}} (C_{11}W_{11} + C_{12}W_{21} + C_{13}W_{31}) \quad (11)$$

$$Cv_{21} = \frac{1}{W_{21}} (C_{21}W_{11} + C_{22}W_{21} + C_{23}W_{31}) \quad (12)$$

$$Cv_{31} = \frac{1}{W_{31}} (C_{31}W_{11} + C_{32}W_{21} + C_{33}W_{31}) \quad (13)$$

Após calcular o vetor de consistência, determina-se a sua média em expressão lambda (λ). Logo, procede-se com o cálculo do *Consistency Index* (IC), também baseado em lambda (λ), de modo que este fornece uma medida do desvio de consistência. Assim, o cálculo do IC fundamenta-se na observação de λ e no número de critério analisados (n), de acordo com a Equação 14 (SADASIVUNI *et at.*, 2009).

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (14)$$

Por fim, o Cr é calculado considerando o CI encontrado, dividindo-o pelo Índice de Inconsistência Aleatório (RI), conforme apresentado na Tabela 20 e na Equação 15 (SADASIVUNI *et al.*, 2009).

Tabela 20: Índice de inconsistência aleatória

Índice de Inconsistência Aleatória (RI) para $N = 10$										
N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,46	1,49

Fonte: SAATY (1987).

$$Cr = \frac{CI}{RI} \quad (15)$$

Depois de classificar a matriz em pares, os pesos do vetor são gerados usando as equações como descritas nessa seção. Assim sendo, as matrizes serão criadas para cada critério/subcritério listado neste estudo conforme os seus atributos.

4.4.7. Modelagem de dados geográficos

4.4.7.1. Regras de decisão

A construção dos modelos de dados geográficos em SIG considera o método da AHP proposto, de um modo que esse processo incide em operações hierarquizadas e sequenciais para gerar novos dados matriciais, em que estes resultem em superfícies de esforço (intravariável), esforço acumulado (intervariável) e cenários, conforme os critérios selecionados e pertencentes a cada categoria/meio.

De acordo com os critérios elencados no item 4.4.2 (Tabela 7), o processo de reclassificação segundo o método da AHP, foi realizado em três etapas visando construir as matrizes pareadas concernente a cada nível hierárquico, proporcionando, selecionar as áreas favoráveis à implementação do aterro sanitário,

Na primeira etapa desse processo, realiza-se a análise de cada critério (intravariável), comparando-os par-a-par, relativamente a sua importância na forma de uma razão. Esse processo, será aplicado em todos os critérios pertencentes aos seus respectivos meios/categorias (intravariável). Os resultados das matrizes dessa etapa, serão

reclassificados no software QGIS 2.18.16 visando representar espacialmente estes, através de um novo dado/base raster.

Na segunda etapa, aplica-se o processo da AHP considerando os resultados da etapa anterior (intravariável), de modo que esses critérios serão comparados em pares respeitando cada categoria/meio pertencente. Assim sendo, os resultados dessas categorias, também, serão reclassificados no software QGIS 2.18.16 para gerar um novo dado/base raster contendo a representação espacial (mapa esforço acumulado).

A terceira etapa, destina-se a diagnosticar as áreas potenciais à localização do aterro sanitário, a partir do qual considera os resultados dos meios/categorias (intervariável). Nesse caso, compara-se par-a-par os resultados da etapa anterior (superfícies de esforço acumulado), em que o resultado dessa matriz será reclassificado no software QGIS 2.18.16 para produzir o cenário contendo as áreas favoráveis e desfavoráveis frente ao objetivo proposto.

Considera-se que a metodologia proposta para a tomada de decisão com base na análise multicritério e na técnica AHP, permitirá um número de possibilidades locais para o aterro sanitário, vislumbrando um processo de tomada de decisão mais acertado.

4.4.7.2. Modelagem dos dados

A modelagem dos dados geográficos foi aplicada em todos os critérios estabelecidos no item 4.4.2 (Tabela 7), bem como nos resultados das etapas intravariáveis, intervariáveis e cenários. Assim sendo, para a implementação desse modelo, adota-se os seguintes processos: i) rasterização automática e matriz de distância; ii) classificação supervisionada; iii) reclassificação; iv) álgebra de mapas; v) filtro modelador.

Em ambiente SIG, o processo de modelagem/comparação de múltiplos critérios (base de dados heterogêneas) requer prévia homogeneização destes. Para isso, esses dados devem estar padronizados em formato matricial e em codificação binária (variáveis binárias – 0 ou 1), porquanto o processo de combinação frente aos diferentes critérios utilizados (LONGLEY *et al.*, 2013).

Dessa forma, o processo de rasterização consiste em uma interpolação espacial que visa transformar cada conjunto de dados vetoriais em dados matriciais. Nesse caso,

utiliza-se, ferramentas/geoalgoritmos (GDAL – converter vetor para raster) do software QGIS 2.18.16.

A matriz de distância permite calcular faixas de distância considerando um dado raster. Essa operação constrói um ou mais novos objetos, identificando áreas que estão a uma dada distância dos objetos originais, a partir da classificação das células segundo sua localização dentro ou fora da faixa de distância (LONGLEY *et al.*, 2013). Por sua vez, a ferramenta de proximidade (*Distância raster*) do software QGIS 2.18.16 foi adotada para essa função.

O processo de reclassificação dos dados geográficos consiste em gerar uma superfície de esforço (cálculo entre as variáveis de mesmo conjunto) segundo o resultado do método AHP. Para isso, aplica-se a ferramenta/geoalgoritmo GDAL *reclassify values (simple)* do software QGIS 2.18.16 para proceder com essa reclassificação.

A classificação supervisionada, baseia-se no processamento digital da imagem, de tal modo que esse produza uma cartografia temática e representativa da superfície terrestre do município de Samonte. Para isso, utiliza-se o método de classificação supervisionada com algoritmo – método da máxima verossimilhança (FLORENZANO, 2011). Em seguida, aplica-se, o pós-processamento para remover pixels isoladas, através da ferramenta *Classification Sieve* do QGIS 2.18.16.

A álgebra de mapas permite realizar operações locais – cálculos com base em valores dos pixels da camada e compará-los com outras camadas/critérios (LONGLEY *et al.*, 2013). Nesse contexto, após gerar as superfícies de esforços acumulados, aplica-se a álgebra de mapas para criar os cenários de cada categoria (meios) considerando as notas obtidas pela AHP. Para tanto, utiliza-se a ferramenta de geoprocessamento *calculate map* para gerar um mapa base categorizado com as respectivas superfícies de esforço.

Para identificar as áreas classificadas como de alta aptidão para a localização do aterro sanitário, utiliza-se um fluxo de trabalho (*workflow*) no QGIS 2.18.16, no qual compreende o seguinte fluxo: 1) transformar o raster em pontos; 2) definir uma query para pesquisar um intervalo de valor dos pontos; 3) cruzar esse resultado com as grades; 4) transformar o resultado do cruzamento em raster e em polígono com dimensão padronizada de 200 m x 300 m.

4.5. Avaliação de impacto ambiental

Após a definição das potenciais alternativas locais para a implementação do aterro sanitário através da análise de multicritério com a técnica da AHP, formula-se os principais aspectos e os potenciais impactos ambientais que, diretamente, são advindos da instalação e operação do aterro sanitário.

Para a previsão das potenciais modificações ambientais resultantes da localização do aterro sanitário, considerou o procedimento analítico (item 4.4.2), uma vez que este identificou os principais elementos dos meios físico, biótico e antrópico.

Apoiando-se na literatura técnica especializada de Fornasari Filho *et al.* (1972) e de Sánchez (2013), procurou-se estruturar as principais etapas/processos características da implantação e operação do aterro sanitário, conforme encontra-se apresentado na Tabela 21.

Tabela 21: Principais etapas/processos da implantação e operação de aterro sanitário

Fase	Processo	Atividades
IMPLANTAÇÃO	Movimentação de solo	Remoção cobertura vegetal Escavação e nivelamento do terreno para preparação das células Preparação de vias de acesso escavações para sistemas de drenagem (água, gases, lixiviado)
	Construção de equipamentos e infraestrutura	Construção de guaritas, escritórios e demais instalações
	Instalação de obras drenagem águas pluviais	Implantação do sistema provisório de drenagem águas pluviais
	Instalação de obras drenagem e tratamento lixiviado	Implantação do sistema de drenagem do lixiviado Implantação do sistema de tratamento lixiviado
	Instalação de obras de drenagem de gases	Implantação do sistema de drenagem de gases (drenos verticais)
	Tratamento do base e laterais do aterro	Preparação e impermeabilização da base e laterais
	Atividades preparatórias	Desapropriação e indenização Circulação de caminhões pelas vias de acesso
OPERAÇÃO	Construção das células de rejeito	Recebimento e pesagem de caminhões Descarga e compactação do rejeito
	Extração de material de empréstimo	Desmonte, remoção e transporte de solo
	Execução da drenagem de líquidos lixiviados	Condução de lixiviado através de canalizações Interligação do sistema de drenagem lixiviado
	Execução drenagem definitiva gases	Condução de gases através de dutos verticais (interligados ao sistema de drenagem lixiviado) Queima do gás ou captação e aproveitamento
	Execução drenagem de águas pluviais definitivas	Implantação de canaletas, escadas d'água, dissipadores de energia para condução da água pluvial para fora da área do aterro
	Tratamento do líquido percolado	Sistema implementado (nesse caso, lagoas anaeróbia e facultativa) Lançamento do líquido tratado no meio externo
	Atividades funcionais	Conservação e manutenção de áreas verdes Monitoramento ambiental

Fonte: Adaptado de Fornasari Filho *et al.* (1972) e de Sánchez (2013).

Desse modo, para identificar estas prováveis alterações sobre os recursos naturais, formula-se, os impactos demonstráveis e originários do aterro sanitário. Sendo assim, utiliza-se, o método de Matriz de Interação de Impacto Ambiental para identificar esses impactos. Para determinar a importância dos potenciais impactos ambientais provenientes desse aterro, considera-se os seguintes atributos: i) distribuição das alterações no tempo e no espaço; ii) magnitude das alterações; iii) reversibilidade; iv) probabilidade de ocorrência; v) enquadramento legal (SÁNCHEZ, 2013), conforme encontra-se apresentado na Tabela 22.

Tabela 22: Faixa de escala dos valores de atributos

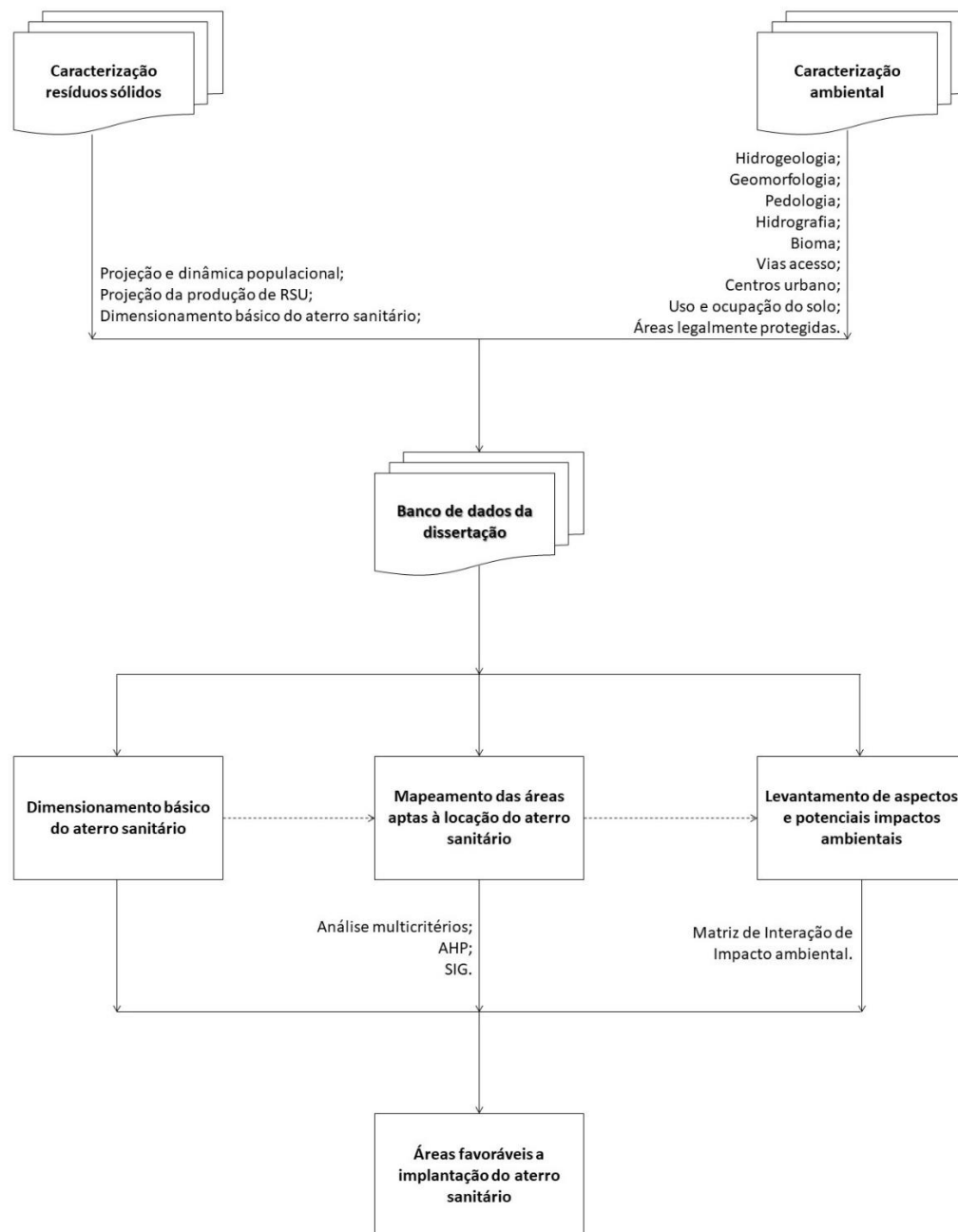
	Pesos:		Variáveis atributos	
Magnitude = 5	Pequena = 1	Média = 2	Grande = 3	Muito Grande = 4
Reversibilidade = 5	Reversível = 1		Irreversível = 2	
Probabilidade ocorrência = 2	Muito baixa = 1	Baixa = 2	Alta = 3	Certa = 5
Enquadramento legal = 3	Não há = 0	Política organizacional = 2	Projeto de norma legal = 4	Norma legal = 5

Fonte: Adaptado de Sánchez (2013).

Com base na Tabela 22, adotou-se a metodológica da Ponderação de Atributos. O arranjo dos atributos, estão descritos a partir de uma escala numérica, no qual cada atributo terá um peso, de modo que a significância de cada impacto é resultante da soma ponderada. Dessa forma, determina-se uma escala para a interpretação qualitativa da significância dos potenciais impactos ambientais – Pequena (12 a 28), Média (29 a 44) e Grande (45 a 60) (SÁNCHEZ, 2013).

Dessa forma, a sequência metodológica proposta para esta dissertação objetiva o uso da análise multicritério para a determinação de áreas potenciais à localização do aterro sanitário para o município de Santo Antônio do Monte – MG, conforme apresentada na Figura 23.

Figura 23: Fluxograma das etapas metodológicas



Fonte: Autor (2018).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo encontram-se apresentados os resultados e as discussões dessa dissertação, a partir do qual dimensionou-se o projeto básico do aterro sanitário, vislumbrando identificar as áreas potenciais para a implantação desse aterro para o município de Samonte-MG, a partir da análise de multicritério com a técnica da AHP.

Uma vez analisado as alternativas potencialmente favoráveis para a localização do aterro, realizou-se o levantamento dos principais aspectos e dos potenciais impactos ambientais resultantes da instalação e operação desse aterro sanitário.

5.1. Dimensionamento básico do aterro sanitário

5.1.1. Projeção populacional

Esse estudo populacional considerou os modelos estatísticos de crescimento segundo os critérios de cálculos apresentados no item 4.3 da seção materiais e métodos.

A partir dos dados censitários do IBGE, determinou-se a taxa de crescimento para a população total e urbana de Samonte, conforme Tabela 23.

Tabela 23: Taxa crescimento populacional do município de Samonte

Ano	População Total (hab)	Taxa de Cresc. Pop. Total (% a.a)	População Urbana (hab)	População Urbana (%)	Taxa de Cresc. Pop. Urbana (% a.a)
1991	17979	---	13322	74,10%	---
2000	23473	3,01%	19037	81,10%	4,05%
2010	25975	1,02%	22193	85,44%	1,55%

Fonte: Autor (2018).

Com base nos dados apresentados na Tabela 23, identifica-se que estes tendem ao crescimento da população de Samonte, de tal modo que a taxa de crescimento é de aproximadamente 1,02% ao ano (2000 – 2010). Considera-se, essa taxa plausível, porquanto ao reapplicar esse método para municípios limítrofes, como por exemplo o município de Arcos-MG, essa taxa está em torno de 1,14% ao ano (a.a.).

A dinâmica populacional para o município de Samonte, foi projetada tendo como base os valores constantes da Tabela 23, bem como um horizonte de 20 anos de operação do aterro sanitário, em que esse resultado encontra-se apresentado na Tabela 24.

Tabela 24: Métodos de projeção populacional para o município de Samonte considerando o período de projeto do aterro sanitário utilizando a taxa de crescimento de 1,02 % a.a.

ANO	PROJEÇÃO POPULACIONAL					
	Aritmético		Geométrico		Min-quadrados	
	Total (hab)	Urbana (hab)	Total (hab)	Urbana (hab)	Total (hab)	Urbana (hab)
2017	27726	24402	27883	24709	31090	21940
2018	27977	24718	28167	25091	31714	22414
2019	28227	25033	28454	25478	32337	22887
2020	28477	25349	28744	25872	32961	23360
2021	28727	25665	29036	26272	33585	23834
2022	28977	25980	29332	26678	34208	24307
2023	29228	26296	29630	27091	34832	24780
2024	29478	26611	29932	27509	35455	25254
2025	29728	26927	30237	27935	36079	25727
2026	29978	27243	30545	28366	36703	26201
2027	30228	27558	30856	28805	37326	26674
2028	30479	27874	31170	29250	37950	27147
2029	30729	28189	31487	29702	38574	27621
2030	30979	28505	31807	30161	39197	28094
2031	31229	28821	32131	30628	39821	28567
2032	31479	29136	32458	31101	40444	29041
2033	31730	29452	32789	31582	41068	29514
2034	31980	29767	33123	32070	41692	29987
2035	32230	30083	33460	32566	42315	30461
2036	32480	30399	33800	33069	42939	30934
2037	32730	30714	34144	33580	43563	31408
2038	32981	31030	34483	33802	44186	31881

Fonte: Autor (2018).

De acordo com os resultados da Tabela 24, percebe-se que o comportamento populacional urbano que melhor se adaptou com a dinâmica de Samonte foi o modelo geométrico, porquanto a estimativa realizada pelo IBGE para o ano de 2017 (2018), apontou para esse município um total de 28.115 pessoas, de modo que esse modelo estimou um total de 27.883 habitantes.

O modelo aritmético conseguiu valores ligeiramente próximos ao do modelo escolhido, mas, inferior quando comparado com a projeção do IBGE. Já o modelo dos mínimos-quadrados resultou em valores elevados ao compara-lo com os demais, visto

que este superestimou a projeção populacional. Dessa forma, o modelo de projeção populacional escolhido e que será utilizado nos cálculos para o dimensionamento do aterro sanitário compreende o geométrico.

5.1.2. Produção de resíduos sólidos urbano

A quantificação dos resíduos sólidos urbanos (RSU) produzidos no município de Samonte é parte fundamental para o dimensionamento básico do aterro sanitário. Sendo assim, a estimativa de RSU gerados anualmente, considerou as seguintes variáveis: taxas crescimento de geração RSU, materiais reciclados e compostados, além do índice de atendimento da populacional.

Segundo o Panorama de Resíduos Sólidos do Brasil publicado pela Abrelpe (2016; 2017), o aumento anual da taxa de RSU no estado de Minas Gerais entre os anos 2015 e 2016, foi de 1,33% a.a. Logo, adotou-se essa taxa de incremento para os RSU gerados em âmbito local, porquanto esse município dispõe de tal registro.

A taxa de materiais reciclados para o município de Samonte, está em torno de 3,82% do total dos RSU gerados. Essa percentagem, refere-se ao ano de 2017, tendo em vista à ausência do registro histórico para esse percentual. Além do mais, constatou que esse município não dispõe de um processo de compostagem (SAMONTE, 2017).

De acordo com a realidade de municípios próximos a Samonte e, também, da experiência da presente dissertação, propôs, estimativas graduais e progressivas para haja uma proporcionalidade e razoabilidade no panorama dos RSU em âmbito local, de modo que este possua um crescimento de 0,5% ao ano para os materiais recicláveis e de 0,5% a cada quatro anos para os materiais compostados.

Na Tabela 25, encontra-se apresentado a estimativa do comportamento na geração de RSU desta municipalidade, considerando o período de projeto de 20 anos.

Tabela 25: Produção de resíduos sólidos urbanos em Samonte

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Ano	População urbana total (hab)	Geração per capita RSU (kg/hab/dia)	Taxa reciclagem (%)	Taxa compostagem (kg/dia)	Índice atendimento (%)	Geração RSU (kg/dia)	Geração rejeito a ser aterrado (kg/dia)
2017	24709	0,520	3,82	0,00	100,00	12848,5	12357,7
2018	25091	0,527	3,84	0,00	100,00	13220,6	12713,1
2019	25478	0,534	3,86	0,00	100,00	13603,5	13078,7
2020	25872	0,541	3,88	0,50	100,00	13997,5	13384,8
2021	26272	0,548	3,90	0,50	100,00	14402,9	13769,6
2022	26678	0,556	3,92	0,50	100,00	14820,1	14165,6
2023	27091	0,563	3,94	0,50	100,00	15249,3	14572,9
2024	27509	0,570	3,96	1,00	100,00	15691,0	14913,4
2025	27935	0,578	3,98	1,00	100,00	16145,4	15342,1
2026	28366	0,586	4,00	1,00	100,00	16613,1	15783,2
2027	28805	0,593	4,02	1,00	100,00	17094,2	16236,9
2028	29250	0,601	4,04	1,50	100,00	17589,3	16615,7
2029	29702	0,609	4,06	1,50	100,00	18098,8	17093,3
2030	30161	0,617	4,08	1,50	100,00	18623,0	17584,6
2031	30628	0,626	4,10	1,50	100,00	19162,3	18090,0
2032	31101	0,634	4,12	2,00	100,00	19717,3	18511,3
2033	31582	0,642	4,14	2,00	100,00	20288,4	19043,3
2034	32070	0,651	4,16	2,00	100,00	20876,0	19590,5
2035	32566	0,660	4,18	2,00	100,00	21480,7	20153,4
2036	33069	0,668	4,20	2,50	100,00	22102,8	20622,0
2037	33580	0,677	4,22	2,50	100,00	22743,0	21214,5
2038	33802	0,686	4,24	2,50	100,00	23197,8	21633,8
Média	29151	0,60	4,03	1,25	100,00	17616,6	16658

Fonte: Autor (2018).

Os valores iniciais (0,520 kg/hab/dia) e médio (0,600 kg/hab/dia) constantes da Tabela 25 coluna (3), estimados para a geração *per capita* de RSU estão ligeiramente inferiores ao encontrado em municípios de pequeno porte (de até 30 mil habitantes), pois segundo publicação da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA, 2017), esse resultado está em torno de 0,800 kg/hab/dia.

A taxa média de reciclagem (4,03%) e compostagem (1,25%), ambas encontradas na Tabela 25 colunas 4 e 5, apresentam uma plausibilidade nesses valores estimados, notadamente, quando comparado com outro município com características semelhante a este, nesse caso município de Arcos-MG que apresenta ampla bagagem em programa de coleta seletiva e, com isso, apresenta um índice em torno de 7,0% de reciclagem dos RSU gerados em âmbito local (ARCOS, 2015).

Constata-se um crescimento significativo na geração diária de RSU em âmbito local, tendo em vista que no início do plano há uma geração de 12.848,5 kg e no final de 23.197,8kg, ou seja, haverá um aumento em torno de 10.349 kg de resíduos (Tabela 25 coluna 7). Apesar disto, esse acréscimo será amortizado com a ampliação da taxa de reciclagem e compostagem, pois estas decorrem na redução dos rejeitos a serem depositados diariamente no aterro sanitário e, assim, otimizando a vida útil do aterro sanitário.

Dessa forma, a estimativa de rejeitos a serem dispostos no aterro sanitário, advém da diferença entre os RSU e os materiais reciclados e compostados. Assim sendo, o valor médio anual dos rejeitos a serem depositados diariamente no aterro durante o período de 20 anos (vida útil) deste, está em torno de 16,658 toneladas métricas (t) (Tabela 25, coluna8).

5.1.3. Dimensionamento da infraestrutura do aterro sanitário

Para dimensionar a área útil do aterro sanitário e da infraestrutura a este associado, considerou o método construtivo como sendo de área/superficial e que este será implementado em um terreno com superfície que apresente declividade plana, conforme critérios descritos no item 4.3.3 (materiais e métodos).

As dimensões para a base do aterro sanitário foram determinadas a partir de tentativas lógicas e concatenadas, de modo que essa apresente uma geometria formando uma pirâmide truncada com base retangular.

Dessa forma, adotou-se que a base do aterro sanitário possua 250 m comprimento (Tabela 26 coluna 2) e 150 m largura (Tabela 26 coluna 3), sendo que a altura máxima para cada maciço será de três metros (Tabela 26 coluna 4), salvo a camada/cobertura final. Do mesmo modo, foram considerados que o aterro funcionará seis dias por semana (Tabela 26 coluna 12), de tal modo que serão dispostos uma média diária de 16,658 toneladas de rejeito (Tabela 26 coluna 7).

Em geral, os parâmetros adotados para determinar o tamanho útil exigível para o aterro sanitário de Samonte, encontram-se recomendados na literatura técnica (JARAMILLO, 2003; MIHELICIC; ZIMMERMAN, 2012) e nas normas de ABNT (ABNT, 1992; ABNT, 1997), conforme apresentado na Tabela 26.

Outros critérios adotados que foram utilizados para o dimensionamento básico desse aterro, compreendem: i) cobertura diária com solo (T) sendo essa de 0,2 m (Tabela 26 coluna 8); ii) altura da célula diária (H) de 1,5 m (Tabela 26 coluna 5); iii) comprimento da célula (W) 8 m (Tabela 26 coluna 9); iv) declive (G) de 3 (Tabela 26 coluna 6); v) densidade do rejeito compactado $0,480 \text{ t/m}^3$ (Tabela 26 coluna 11).

Tabela 26: Parâmetros gerais do aterro sanitário

PARÂMETROS GERAIS											
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Maciço	Comprimento (m)	Largura (m)	Altura total (m)	Altura célula (m)	Declive (G)	Geração rejeito (t/dia)	Cobertura diária (m)	Comprimento célula (m)	Largura Célula (m)	Densidade rejeito aterro (t/m³)	Jornada trabalho (dias)
1	250	150	3	1,5	3	16,658	0,2	8	3	0,480	6
2	230	130	3	1,5	3	16,658	0,2	8	3	0,480	6
3	210	110	3	1,5	3	16,658	0,2	8	3	0,480	6
4	190	90	3	1,5	3	16,658	0,2	8	3	0,480	6
5	170	70	3	1,5	3	16,658	0,2	8	3	0,480	6
6	150	50	3	1,5	3	16,658	0,2	8	3	0,480	6

Fonte: Autor (2018).

Considera-se que o aterro sanitário está composto por seis estruturas/maciços (Tabela 26 coluna 1), cada qual sobreposto ao anterior.

Assim sendo, o volume de rejeitos (V_r) dispostos no aterro sanitário, foi calculado a partir da geração total de rejeitos (Tabela 26 coluna 7) e a densidade desses compactados no aterro (Tabela 26 coluna 11), de modo que estima o valor do V_r como sendo de 0,347 t/m³ (Tabela 27 coluna 2).

A largura da célula foi dimensionada considerando os parâmetros de volume rejeitos (Tabela 27 coluna 2), de comprimento da célula (Tabela 26 coluna 2) e de altura da célula, no qual essa resultou em três metros de largura (Tabela 27 coluna 4).

O volume total de uma célula diária ($V_{célula}$) é de 51,1 m³, sendo que este foi determinado conforme fórmula exposta no item 4.3.3 da seção material e método. Logo, o volume total das células anual, foi determinado considerando os dias da jornada de trabalho por 365 dias, no qual esse volume consiste em 15.972,4 m³.

Desse modo, o volume total do aterro sanitário, encontra-se apresentado na Tabela 27.

Tabela 27: Dimensões do aterro sanitário

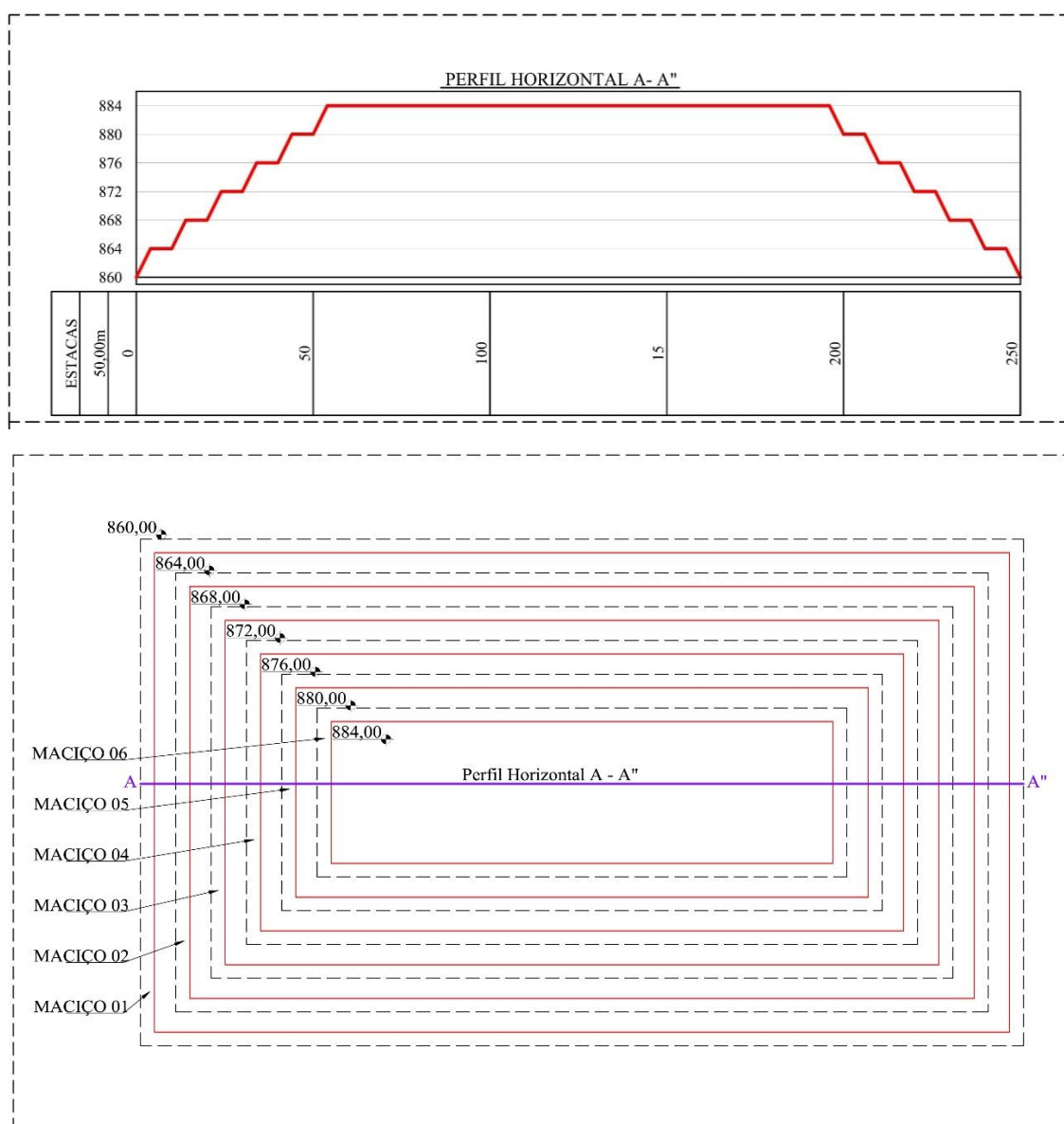
DIMENSÕES ATERRO SANITÁRIO						
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Maciço	Volume rejeito (t/m³)	Volume maciço (m³)	Largura célula (m)	Volume célula diária (m³)	Volume célula ano (m³)	Vida útil (anos)
1	0,347	102012,1	3	51,1	15972,4	6,4
2	0,347	80288,8	3	51,1	15972,4	5
3	0,347	60964	3	51,1	15972,4	3,8
4	0,347	44036,2	3	51,1	15972,4	2,8
5	0,347	29502,3	3	51,1	15972,4	1,8
6	0,347	17352,5	3	51,1	15972,4	1,1
Volume total		334.155,9	-	-	-	20,9

Fonte: Autor (2018).

Dessa forma, o volume total para os maciços compreende em 334.155,9 m³ (Tabela 27 coluna 3), de um modo que para preencher todo esse volume serão necessários 20,9 anos (Tabela 27 coluna 7), ou seja, esse aterro sanitário está dimensionado para operar por um período mínimo 20 anos.

Considerando as dimensões do primeiro maciço base (Tabela 26 coluna 2 e 3), pondera-se que a área útil requerida para a implementação do aterro sanitário é de aproximadamente 3,75 hectares (ou 37.500 m²). Sendo assim, a representação geométrica desse aterro sanitário, encontra-se tecnicamente desenhada conforme Figura 24.

Figura 24: Desenho técnico da vista superior e perfil horizontal do aterro sanitário dimensionado



Fonte: Autor (2018).

Conforme ilustrado na Figura 24, identificou-se a área útil e a geometria do aterro sanitário. Apesar disto, complementarmente há um conjunto de infraestrutura associada ao aterro, no qual esta compreende vias de acesso interno, sistema de tratamento de lixiviado, usina de reciclagem e de compostagem e escritório.

Dessa forma, considera-se que essa infraestrutura acrescenta em média 40% da área útil para o aterro e, portanto, a área total necessária para implementar e operar o aterro sanitário e as infraestruturas associadas a este, incide em 5,25 hectares de acordo com o apresentado no Apêndice 1.

5.2. Aplicação do método multicritério com técnica AHP

O enfoque analítico do item 4.4.2, refere-se a organização dos principais critérios do meio que subsidiam o conhecimento necessário sobre a dinâmica do espaço territorial do município de Samonte. A partir desses critérios, descreve-se o enfoque sistêmico de suas integrações, de acordo com a proposta metodológica da *Analytic Hierarchy Process* (AHP), para construir as matrizes pareadas das intravariáveis, das interváveis e dos cenários.

Santos (2004) pondera que a tomada de decisão a partir de uma análise multicritério permite maximizar os resultados do objetivo proposto. Essa autora, complementa que a adoção de Sistema de Informações Geográficas (SIG) condiciona um bom suporte à tomada de decisões que envolva múltiplas alternativas, de um modo que estas possam ser repetidas.

5.3. Análise intravariável

A análise intravariável considera que os critérios selecionados (item 4.4.2), apresentam padrões de distribuições territoriais e, que estes, estão condicionados aos resultados da AHP. Esse método comparou todos esses critérios a fim de obter a importância relativa de um critério em relação ao outro, no qual o comportamento espacial advindo dessa hierarquização encontra-se representado em mapas.

Dessa forma, esses critérios técnicos e científicos foram comparados par-a-par conforme metodologia AHP e o grau de importância destes (escala de importância relativa), a partir da literatura consolidada de Chernicharo *et al.* (2008), de Castilhos

Junior (2003) e de Calijuri, Melo, Lorentz (2002), além de normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT 13.896/1997; 8419/1997) e da experiência dessa dissertação. Após essa normalização hierárquica, foram calculados os pesos relativos a cada critério, no qual esses pesos correspondem aos autovalores das matrizes. Sendo assim, as matrizes resultantes da aplicação desse método, encontram-se apresentas no Apêndice 2.

De acordo com o Apêndice 2, foram construídas 10 matrizes. Desse modo, verifica-se que os pesos resultantes dessas matrizes AHP, apresentam similaridade com as faixas de avaliação correspondente a cada critério, sendo estas solidamente ligadas entre si, porquanto a possibilidade de resposta frente a cada critério e característica julgado como adequado ou inadequado, para localização do aterro sanitário.

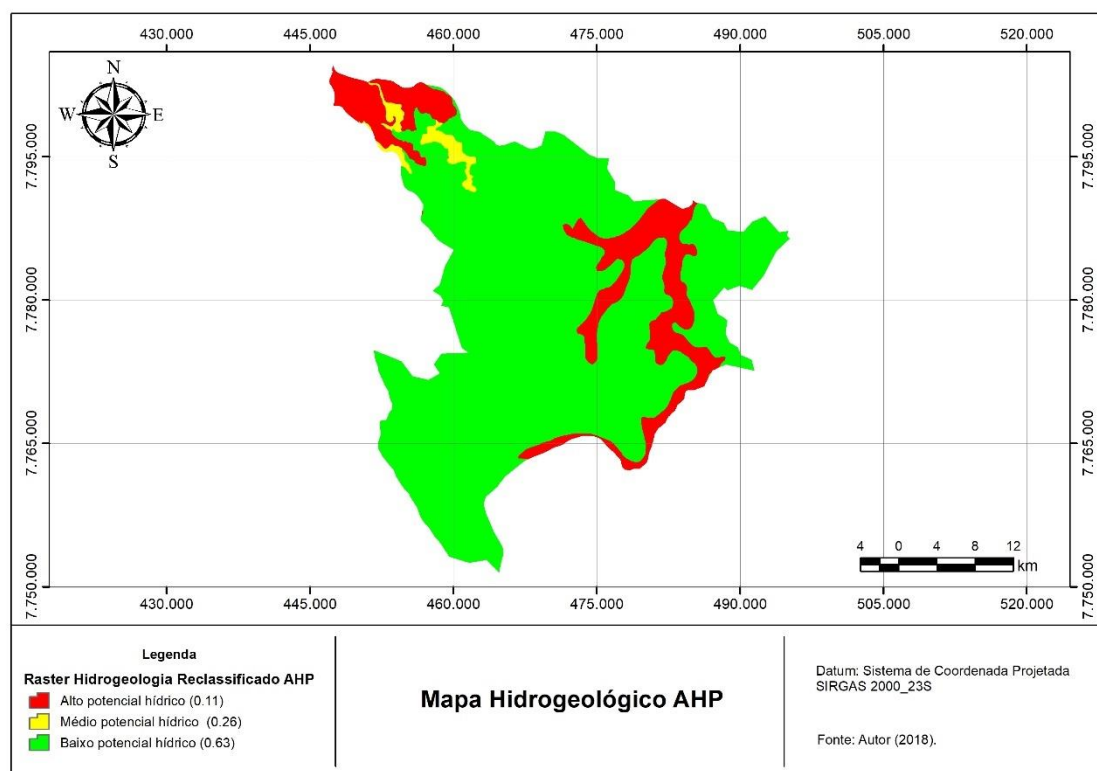
Marques (2002) considera que o método AHP proporciona uma análise multidisciplinar para identificar áreas aptas à localização de aterro sanitário, visto que minimiza a subjetividade dessa análise, porquanto fundamentada na AHP. Essa autora utilizou, tão-somente, critérios do meio físico (geológico-geotécnico) para o seu mapeamento. Nunes (2002) por sua vez, também, abordou somente critérios do meio físico (geomorfológicos, morfoestruturais, hidrogeológicos, pedológicos e climáticos).

5.3.1. Análise hidrogeológica

Considerando as características hidrogeológicas do município de Samonte, constrói-se a matriz da AHP para esse critério (apêndice 2 A), conforme as faixas de avaliação (alto, médio e baixo) pré-estabelecidas.

O resultado/peso dessa matriz foi reclassificado conforme descrito no item 4.4.6, de um modo que a representação espacial dessa informação, encontra-se apresentado na Figura 25.

Figura 25: Mapa hidrológico reclassificado AHP



Fonte: Autor (2018).

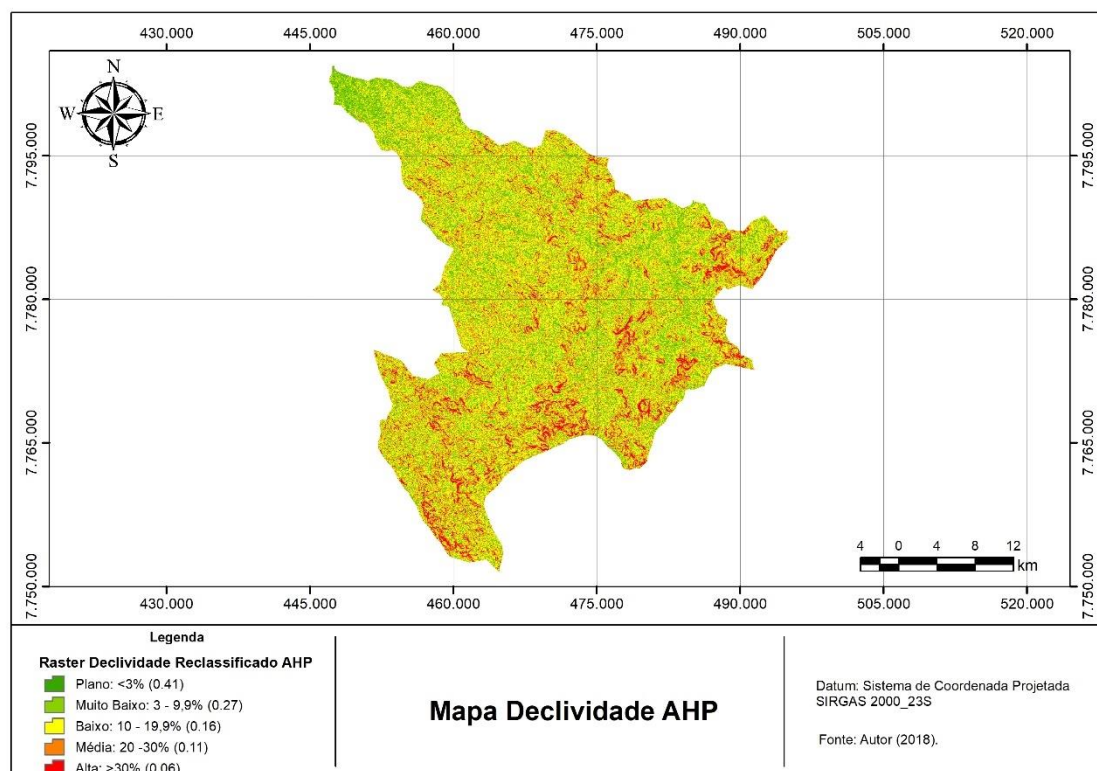
De acordo com a Figura 25, verifica-se que as classes/faixas variam de baixo a alto conforme o seu potencial hidrogeológico. As áreas classificadas com de baixo potencial hídrico, compreendem o complexo Divinópolis, sendo este considerado relevante para locação do aterro sanitário, ao passo que os complexos Aluvionar e Detrítico são áreas com alto potencial hídrico e, por isso, são inversamente proporcionais para receber um aterro.

Segundo Waquill *et al.* (1998), as características hidrogeológicas favoráveis à localização de aterros sanitários, compreendem áreas que possuem baixo potencial hidrogeológico. De modo semelhante, Castilho Junior (2003) argumenta que o levantamento desse critério, influência na definição do projeto de sistema de contenção dos líquidos lixiviados, porquanto o risco de contaminação devido a um eventual vazamento e, conseqüentemente, infiltração no solo.

5.3.2. Análise geomorfológica

As características geomorfológicas da superfície territorial de Samonte, são consideradas heterogêneas, de um modo que estas apresentam relevo suave-ondulado a escarpado. Dessa forma, aplicou-se a matriz da AHP (apêndice 2 B) para esse critério, no qual o resultado/peso dessa matriz encontra-se reclassificado e apresentado conforme Figura 26.

Figura 26: Mapa declividade reclassificado AHP



Fonte: Autor (2018).

Conforme visualizado na Figura 26, constata-se que as classes/faixas de declividade se alteram de muito baixo a alto, conforme o gradiente da inclinação (declive). Por sua vez, áreas planas são classificadas com alta aptidão, enquanto que áreas com declividade acidentada/alta, não são apropriadas para implementação do aterro sanitário em função de características construtivas e de preservação do solo.

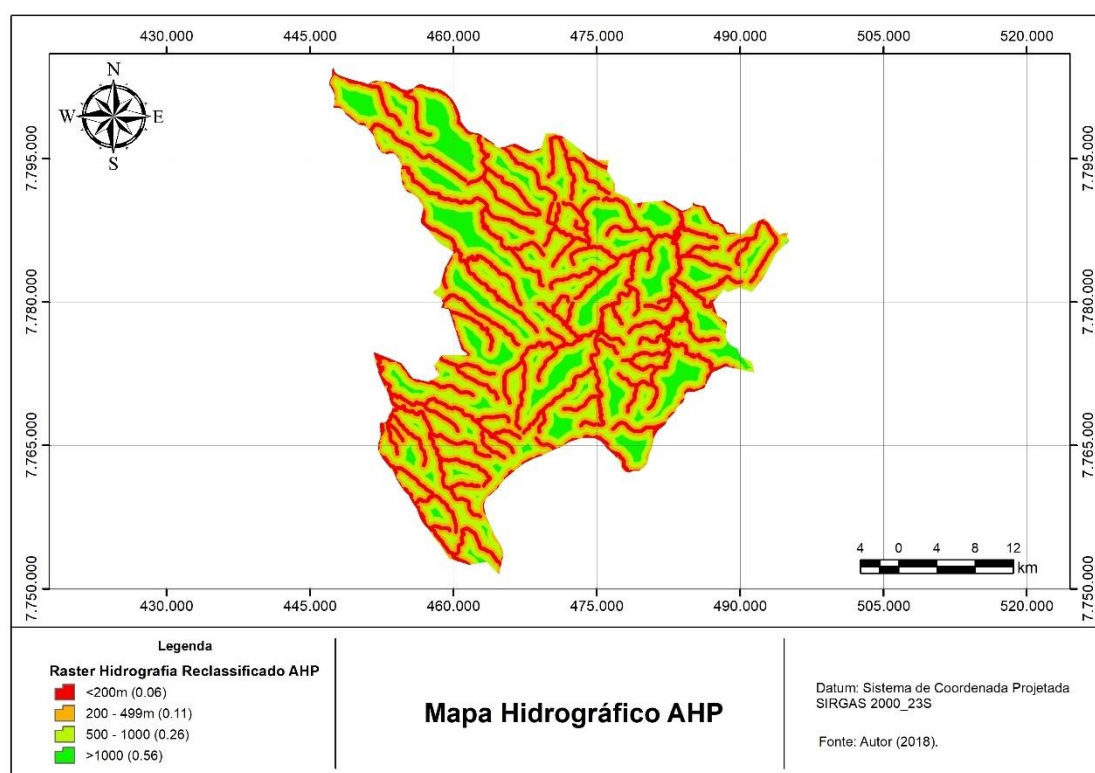
Para Waquill *et al.* (1998) a construção de aterros sanitários deve considerar terrenos com declividade suave a moderada. De modo semelhante, Marques (2002) pondera que a declividade favorável está compreendida entre 5 – 10%, sendo que declives

menores que 2% aumentam a infiltração das águas pluviais e maiores que 10% são suscetíveis a erosão.

5.3.3. Análise recursos hídricos

Os recursos hídricos superficiais do município de Samonte foram considerados como sendo um critério que influencia a tarefa de selecionar uma dentre várias alternativas locais para o aterro sanitário. Para tanto, realizou-se a reclassificação desse critério, a partir do resultado/peso da AHP para este (apêndice 2 C), na qual a representação espacial desse resultado encontra-se apresentada na Figura 27.

Figura 27: Mapa hidrográfico reclassificado AHP



Fonte: Autor (2018).

De acordo com a Figura 27, identifica-se que as classes/faixas de distanciamento dos recursos hídricos estão compreendidas entre superiores a 1.000 m e inferiores a 200m. Por isso, atribuiu-se importância muito forte entre essas faixas, de tal modo que distâncias menores que 200 m dos cursos d'água foram consideradas inadequadas, tendo em vista que aterros sanitários são considerados como fontes potencialmente poluidoras,

porquanto a composição do lixiviado apresenta alta carga orgânica (DBO/DQO). Já distâncias maiores que 1.000 m são adequadas para instalar o aterro sanitário, uma vez que esta minimiza impactos ambientais sobre qualidade e uso dos corpos d'água.

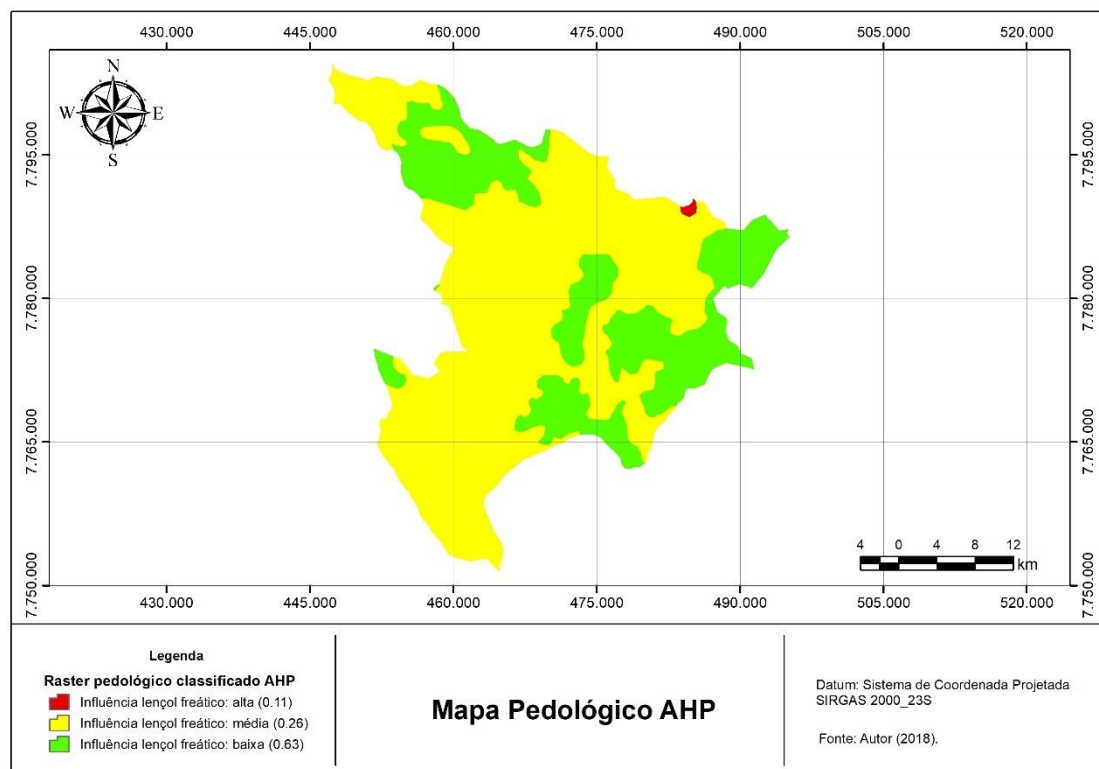
Para Marques (2002) e Waquill *et al.* (1998) a localização entre aterros sanitários e recursos hídricos, deve considerar distâncias superiores a 200 m para evitar contaminações diretas dos cursos hídricos.

5.3.4. Análise pedológica

A organização pedológica do município de Samonte incide num mosaico composto por diversos tipos de solos. Nesse caso, considerou o potencial (alta, média, baixa) de influência do lençol freático sobre esses solos para gerar a matriz da AHP (apêndice 2 D).

Sendo assim, na Figura 28, encontra-se apresentado a reclassificação desse critério, segundo resultado/peso da AHP.

Figura 28: Mapa pedológico reclassificado AHP



Fonte: Autor (2018).

Conforme apresentado na Figura 28, constata-se que as classes/faixas de aptidão alteram de alta a baixa segundo o grau de importância do lençol freático nos solos. Dessa forma, considera-se que os solos do tipo Glei Pouco-húmico possuem alta influência do lençol freático e, por isso, são considerados inadequados para locação do aterro, porquanto podem ser intervindos, no caso de possíveis infiltrações de líquidos lixiviados/chorume.

Enquanto isso, solos do tipo Cambissolo apresentam baixa influência do lençol freático e, conseqüentemente, são considerados adequados (forte importância), pois tais riscos ora descritos podem ser minimizados.

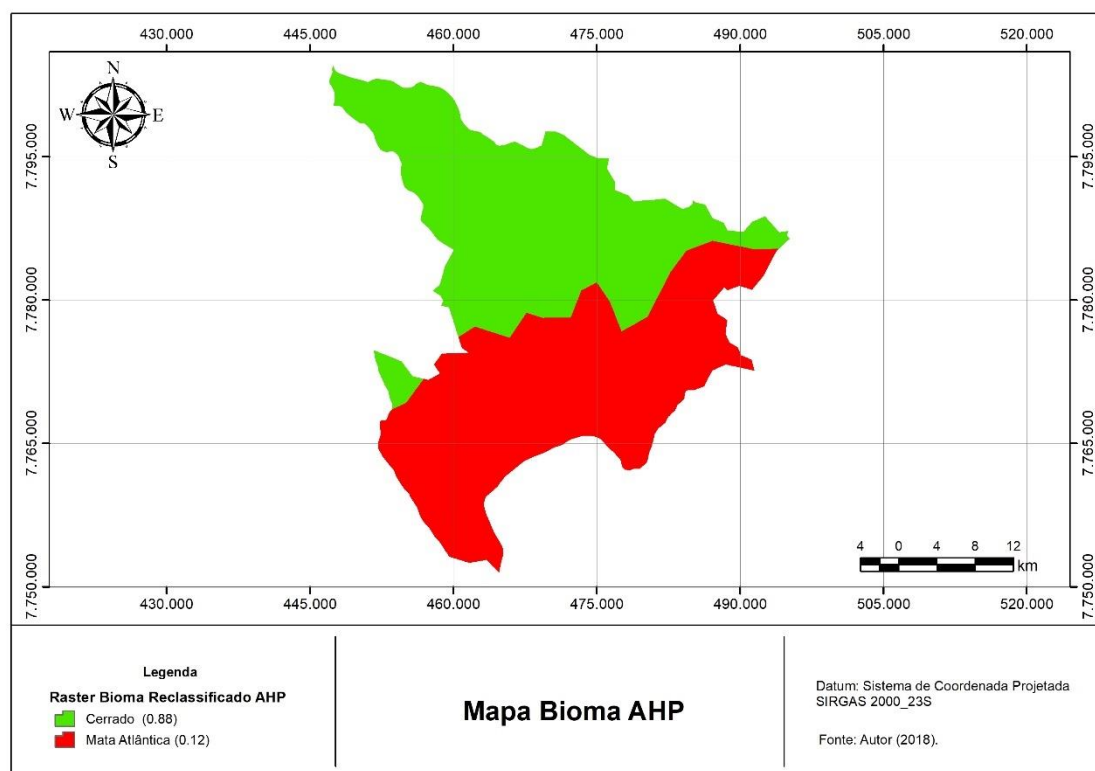
Para Castilhos Junior (2003) e Waquill *et al.* (1998), as características pedológicas adequadas à localização de aterros sanitário devem reunir um conjunto de informações (espessura do solo horizonte B, condutividade hidráulica do solo e profundidade do lençol freático).

5.3.5. Análise bioma

O município de Samonte pertence a dois biomas (Cerrado e Mata Atlântica), ambos dotados de proteção legal, mas, notadamente, o bioma Mata Atlântica. Isto posto, aplicou-se o processo de reclassificação de acordo com resultado/peso da matriz AHP para esse critério (apêndice 2 E).

Assim sendo, na Figura 29 encontra-se representado espacialmente essas informações decorrentes da matriz AHP.

Figura 29: Mapa bioma reclassificado AHP



Fonte: Autor (2018).

De acordo com a Figura 29, identifica-se que as classes/faixas de aptidão para esse critério, considerou que o bioma Cerrado possui importância muito forte sobre o bioma Mata Atlântica, no que se refere a instalação de um aterro sanitário.

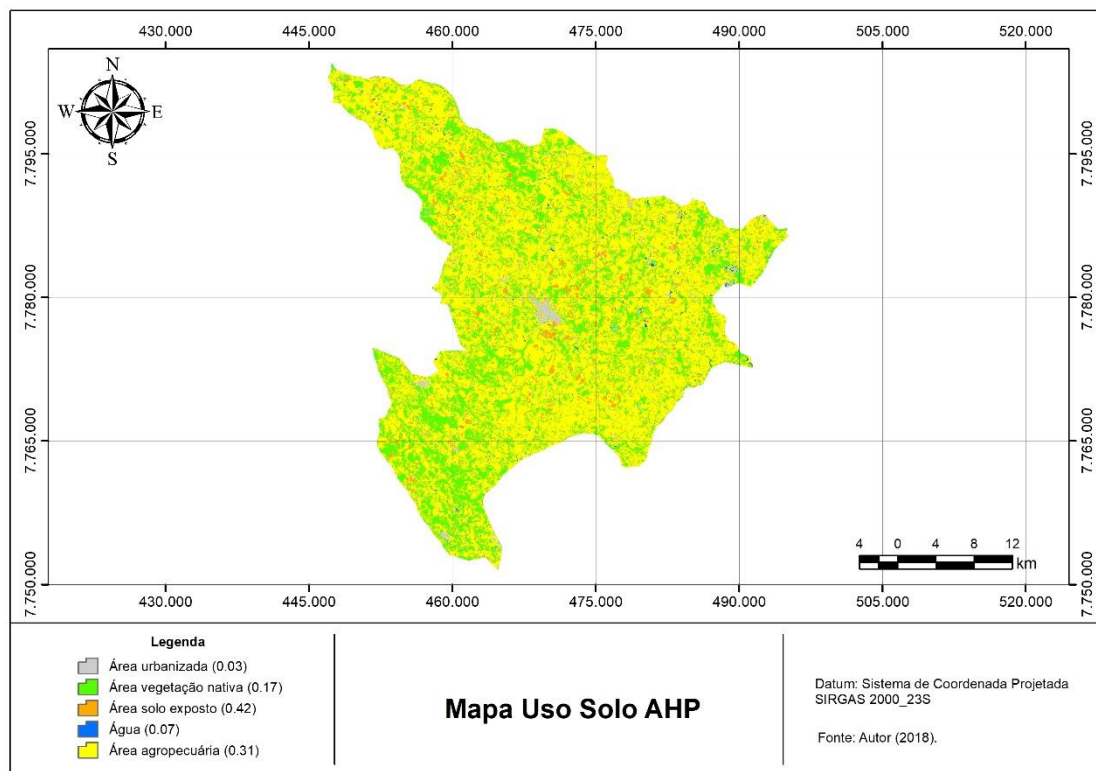
Desse modo, as áreas pertencentes ao bioma Mata Atlântica estão sujeitas Lei 11.428/2006 e, por isso, no caso de haver a necessidade do corte, da supressão e da exploração da vegetação nativa poderá surgir atrasos, empecilhos e dificuldades para a implementação do aterro sanitário (BRASIL, 2006). Assim sendo, considera esse bioma como sendo de baixa aptidão. Já a parcela concernente ao bioma Cerrado apresenta alta aptidão à instalação do aterro sanitário, porquanto dispõe de regime jurídico específico de proteção.

5.3.6. Análise do uso e ocupação do solo

A dinâmica do uso e ocupação do solo no município de Samonte, pode ser compreendida a partir de cinco classes: área urbana, área agrossilvipastoril (áreas

agrícolas e pastoril), área com cobertura vegetal nativa, área com solo exposto e corpos d'água. Para essas classes, aplicou-se o método da matriz AHP (apêndice 2 F), no qual o resultado/peso desse método para esse critério, encontra-se reclassificado na Figura 30.

Figura 30: Mapa uso do solo reclassificado AHP



Fonte: Autor (2018).

Conforme Figura 30, observa-se que as classes/faixas de aptidão exibiram distribuição heterogênea pelo espaço territorial desse município, a partir do qual estas retratam os diversos usos/ocupações do solo.

Desse modo, considerou que áreas urbanizadas e corpos d'água são inaptos, tendo em vista potenciais conflitos de deslocamento involuntário e relocação populacional, além da utilização hídrica. Por sua vez, áreas com vegetação nativa apresentam baixa aptidão, pois no caso de haver supressão desta, far-se-á, cabível obter prévia autorização junto ao órgão ambiental competente.

Já áreas ocupadas por atividades agropastoris apresentam mediana aptidão, uma vez que poderá haver possibilidades conflitantes entre o uso atual do solo e o uso pretendido. Por fim, áreas com solo exposto apresentam alta aptidão para local o aterro sanitário, haja

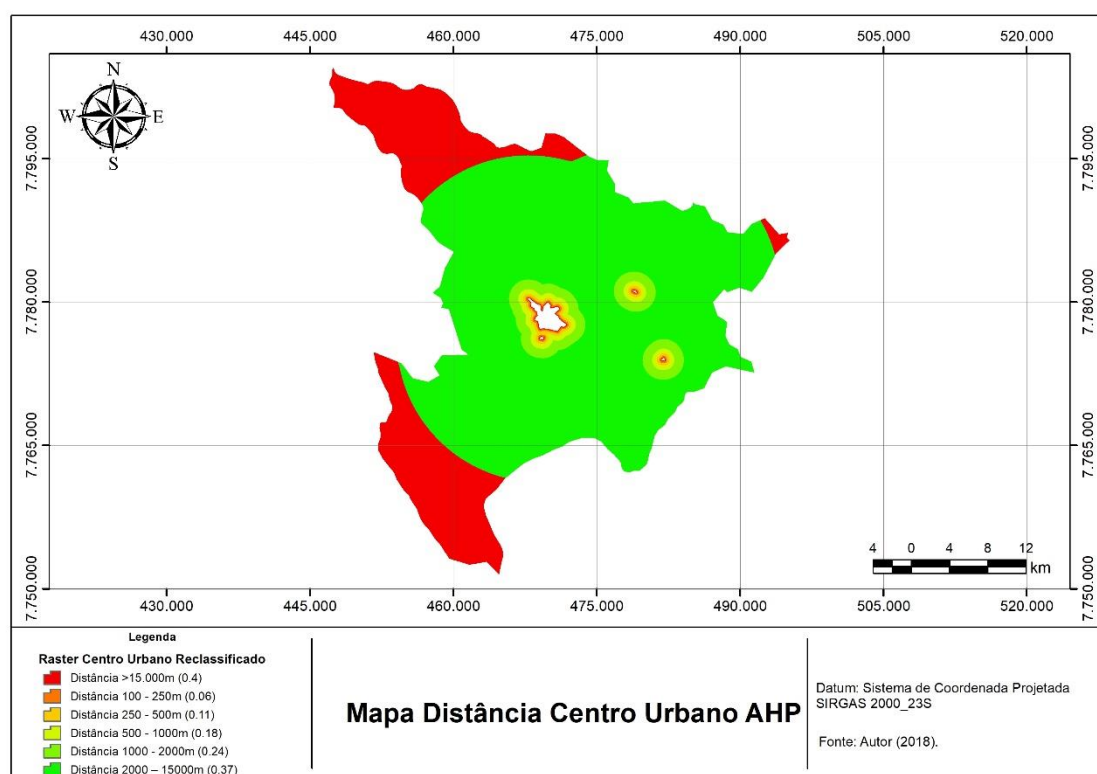
vista que atividades como supressão vegetação, relocação populacional e outras não sejam aplicáveis a esta.

5.3.7. Análise núcleos populacionais

Os núcleos urbanos pertencentes ao município de Samonte, compreendem a sede urbana, distrito e comunidades rurais. Sendo assim, a matriz da AHP (apêndice 2 G) para esse critério considerou o distanciamento desses núcleos para obter uma escala de distância.

O resultado/peso da matriz AHP para esse critério foi reclassificado, de um modo que a representação espacial dessa informação encontra-se apresentado na Figura 31.

Figura 31: Mapa núcleos populacionais reclassificado AHP



Fonte: Autor (2018).

De acordo com a Figura 31, verifica-se que as classes/faixas de aptidão referente ao distanciamento dos núcleos populacionais variam de inferiores a 100 m e de superiores a 2.000 m.

Nesse caso, considera-se que distâncias próximas (100 – 250 m) dos centros urbanos, não seja aceitável pela população, ao passo que áreas distantes (>15 km) desses centros encarecerá o transporte de resíduos/rejeito para o aterro. Logo, foi considerado uma distância favorável a locação do aterro sanitário como sendo de 2 km a 15 km dos núcleos populacionais.

Waquill *et al.* (1998) consideram que a localização do aterro deve preferencialmente estar a uma distância superior a 2 km, para que haja menores prejuízos a comunidade.

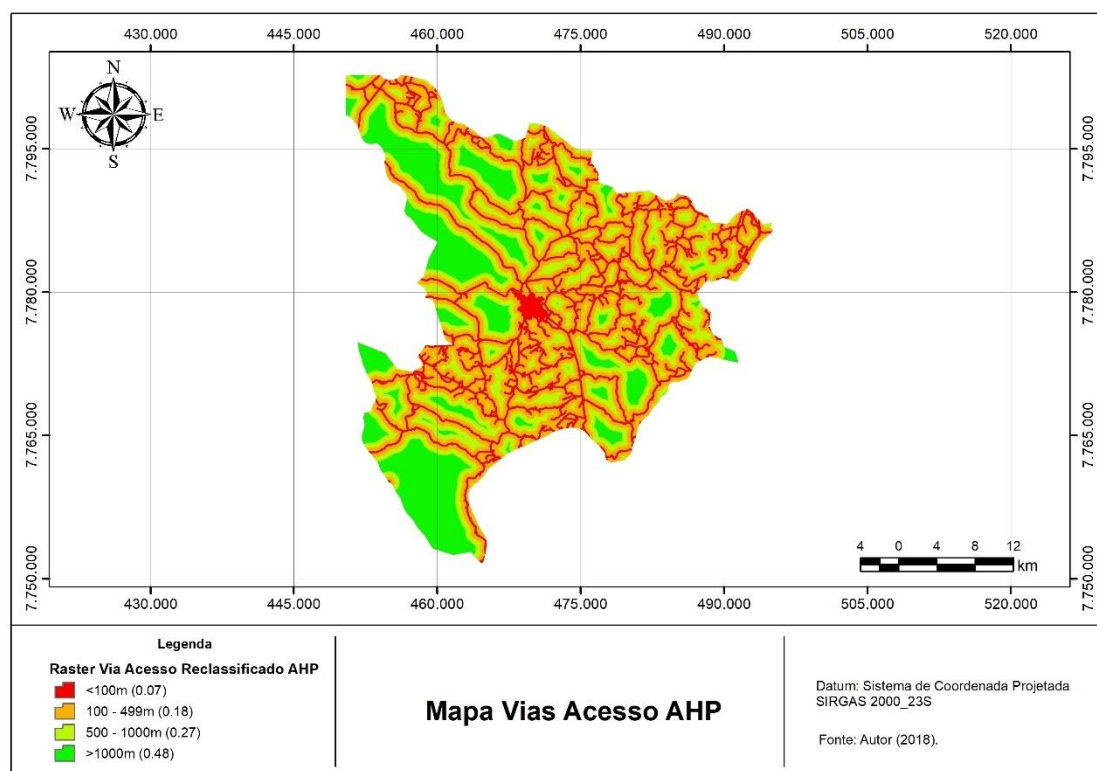
Considera-se que a proximidade do aterro sanitário frente aos núcleos populacionais, pode acarretar situações conflitantes, uma vez que há o risco da proliferação de vetores, além da dispersão de ruídos, de material particulado e de gases junto a esses núcleos.

5.3.8. Análise sistema viário

O sistema viário contido/inserido no município de Samonte, apresenta distribuição uniforme pelo seu território. Sendo assim, a matriz da AHP (apêndice 2 H) para esse critério considerou o distanciamento destes para fins de comparação.

Assim, na Figura 32, encontra-se apresentado a reclassificação desse critério conforme o resultado/peso da AHP.

Figura 32: Mapa das vias de acesso classificado AHP



Fonte: Autor (2018).

Segundo Figura 32, constata-se as classes/faixas de aptidão alteram entre distâncias inferiores a 100 m e superiores a 1.000 m das vias de acesso. Sendo assim, considera-se que a faixa de distância menor que 100 m seja inadequada, ao passo que a distância maior que 1.000 m seja adequada para a implementação do aterro sanitário.

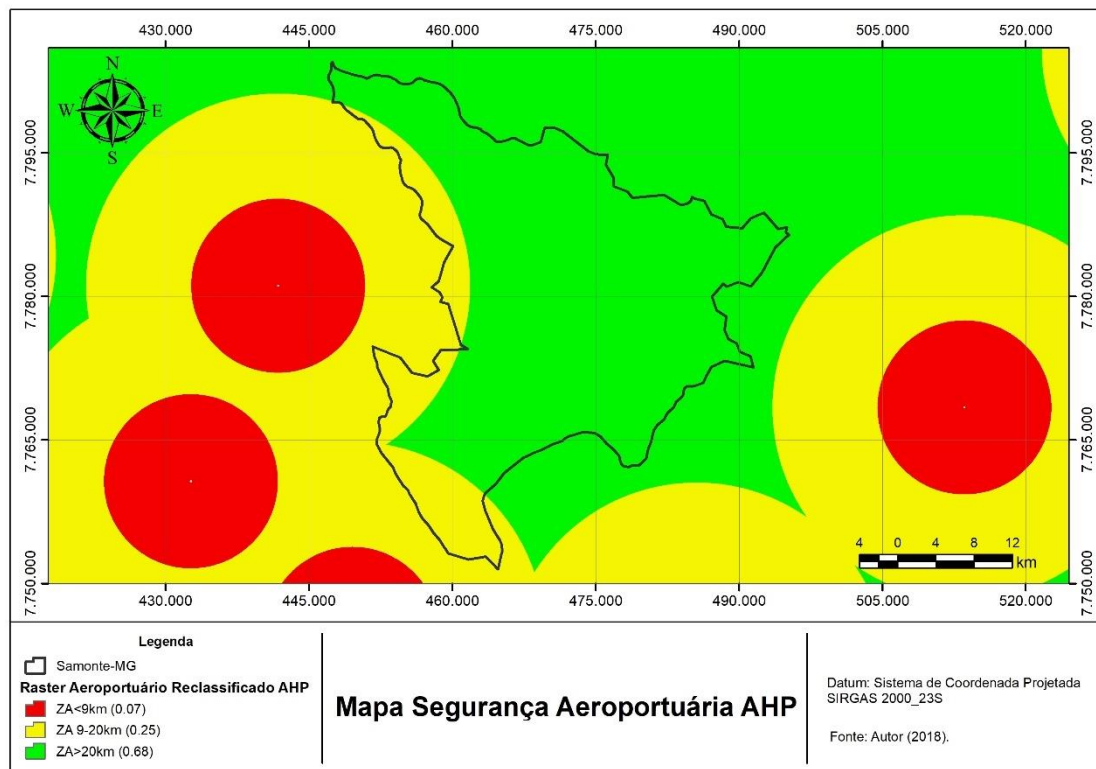
Castilho Junior (2003) argumenta que a localização de aterros próximos as vias de acesso, tendem a diretamente causar impactos ambientais (ruído, odor, paisagem). Marques (2002) complementa que a proximidade de aterro sanitário com as vias intensifica o fluxo de trânsito e de resíduos espalhados nestas, todavia, ressalta que é conveniente que o local do aterro possua acesso em bom estado de conservação para evitar novas vias de ligação.

5.3.9. Análise área segurança aeroportuária

De acordo com a tutela jurídica da Área de Segurança Aeroportuária (ASA) e seu núcleo interno, estruturou-se a matriz AHP para esse critério (apêndice 2 I), a partir de

faixas de distanciamento desta. O resultado/peso dessa matriz foi reclassificado e este encontra-se apresentado na Figura 33.

Figura 33: Mapa ASA e seu núcleo interno classificado AHP



Fonte: Autor (2018).

De acordo com a Figura 33, identifica-se que as classes/faixas de aptidão consideraram o distanciamento dos aeródromos como sendo inferiores a 9 km, de 9 km a 20 km e superiores a 20 km.

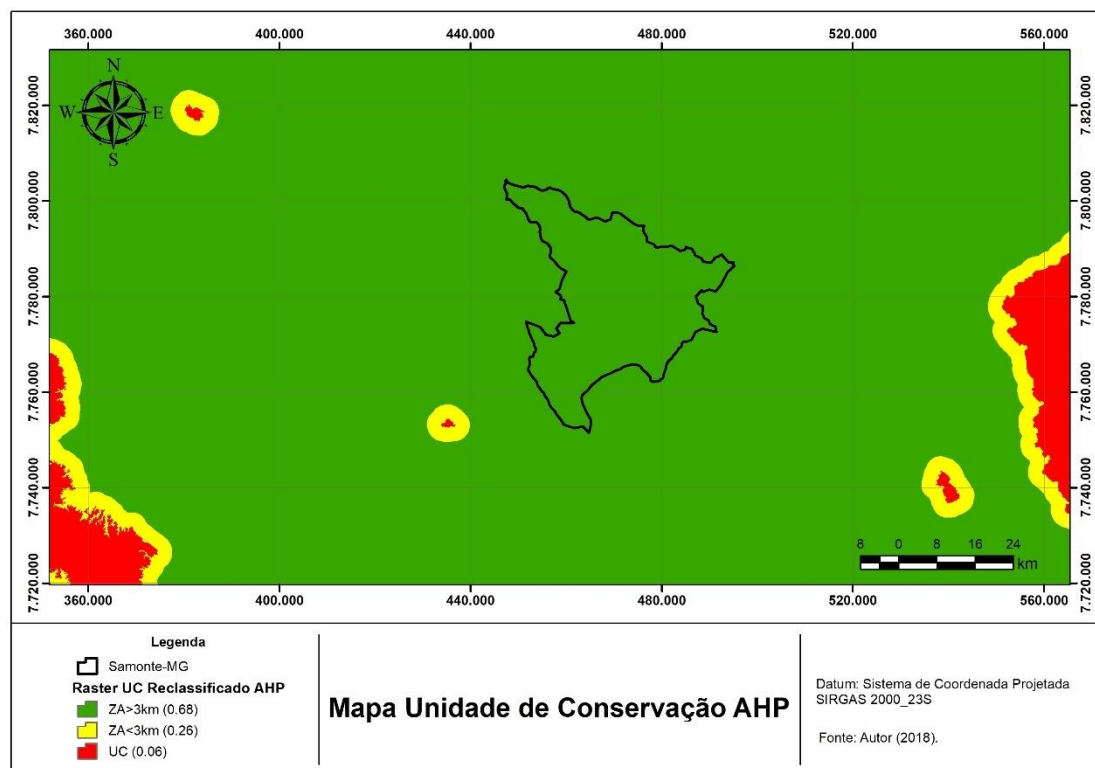
Sendo assim, considera-se que distâncias superiores a 20 km foram ponderadas como desejáveis (alta aptidão), ao passo que distâncias menores que 9 km, foram consideradas como indesejadas (baixa aptidão).

Nesse caso, a localização de aterros sanitários na ASA (distância inferior a 20 km), está condicionada a apresentação de Projeto de Objeto (OPEA) visando subsidiar anuência do Comando da Aeronáutica (COMAER/DECEA). Enquanto isso, distâncias maiores que 20 km, estão dispensadas em obter esta anuência (COMAER, 2015).

5.3.10. Análise Unidade Conservação

As Unidade de Conservação, também, estão incluídas no rol de áreas legalmente protegidas. Dessa forma, aplicou-se para esse critério a matriz da AHP (apêndice 2 J), de um modo que os valores resultantes/peso dessa matriz, foram reclassificados e apresentados na Figura 34.

Figura 34: Mapa unidades de conservação reclassificado AHP



Fonte: Autor (2018).

Com base na Figura 34, verifica-se as classes/faixas aptidão variam entre distâncias menores que 3 km e maiores que 3 km das Unidades de Conservação. Essas foram ponderadas considerando que distâncias superiores a 3 km das UC como sendo fortemente favorecida do que distâncias inferiores a esta.

Desse modo, considera-se que distâncias inferiores a 3 km apresentam baixa aptidão, uma vez que estarão sujeitas a anuência do órgão gestor da UC, ao passo que distâncias superiores a 3km indispõe dessa anuência e, por isso, possuem alta aptidão (BRASIL, 2000).

5.4. Análise intervariável

A análise intervariável consiste em reagrupar os resultados da etapa anterior (itens 5.3.1 a 5.3.10) de acordo com sua categoria/meio pertencente. Sendo assim, essa estruturação baseia-se no método AHP, a partir do qual matrizes de comparações par-a-par desses critérios são geradas visando determinar a importância relativa de um critério em relação ao outro.

Essa análise permite reconhecer as relações entre o reagrupamento dos critérios dos meios físico, biótico e antrópico, além dos critérios legais, conforme o grau de importância destes. Isto posto, calculou-se os pesos atinentes a cada critério, no qual estes correspondem aos autovalores das matrizes. Desse modo, o agrupamento dos critérios conforme descrito, encontra-se apresentado no Apêndice 3.

De acordo com o Apêndice 3, foram construídas três matrizes, por meio do qual verifica-se que o conjunto de critérios pertencentes a cada categoria/meio, em geral são relativamente homogêneos, mas, há claras distinções entre as categorias/meios.

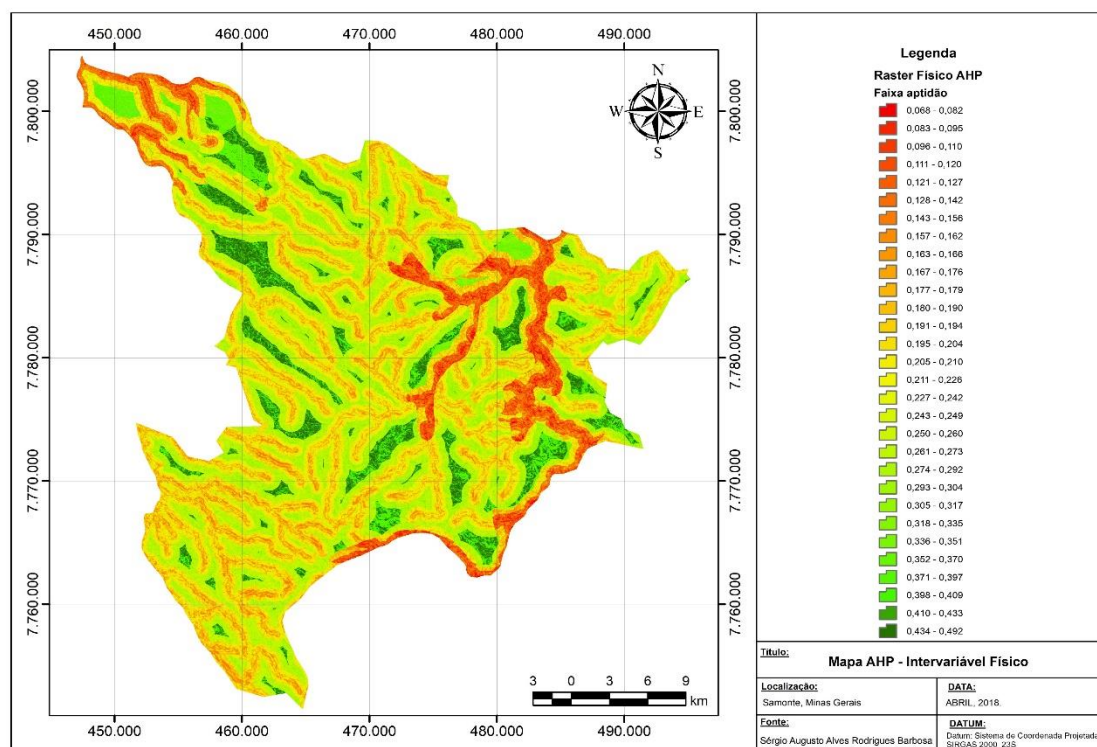
5.4.1. Análise critérios do meio físico

A matriz formada exclusivamente pelos critérios do meio físico (hidrológico, geomorfológico, hidrogeológico e pedológico), apresentou uma correspondência entre esses critérios, porquanto resultou numa ordem hierárquica preferencial, ou seja, ordenou os critérios em função da potencialidade e fragilidade destes (apêndice 3 A).

Assim sendo, o critério hidrológico (distância recursos hídricos) está no topo, seguido pelos critérios geomorfológicos (declividade), hidrogeológico (potencial hídrico) e pedológico (influência lençol freático).

Após a reclassificação desses critérios através da matriz da AHP, o resultado dessa matriz foi reclassificado, conforme encontra-se apresentado na Figura 35.

Figura 35: Mapa AHP intervariável do meio físico



Fonte: Autor (2018).

Ao analisar a Figura 35, constata uma relação ambiental e espacial entre o reagrupamento desses critérios. Nesse caso, o resultado dessa análise intervariável do meio físico corresponde aos critérios adotados.

Por sua vez, a reclassificação espacial dos valores resultantes da matriz da AHP, foi organizada em classes, a partir do qual possibilita identificar várias alternativas segundo sua aptidão e/ou inaptidão. Essas faixas foram estruturadas e organizadas hierarquicamente em 30 classes com intervalos naturais, de um modo que, essas classes de aptidão do meio físico variam entre 0,068 - 0,082 a 0,434 - 0,492.

Dessa forma, considerou-se que as faixas de valores inferiores a 0,204 apresentam baixa capacidade/suporte, ao passo que as faixas de valores superiores a 0,398 possuem alta capacidade para a localização do aterro sanitário.

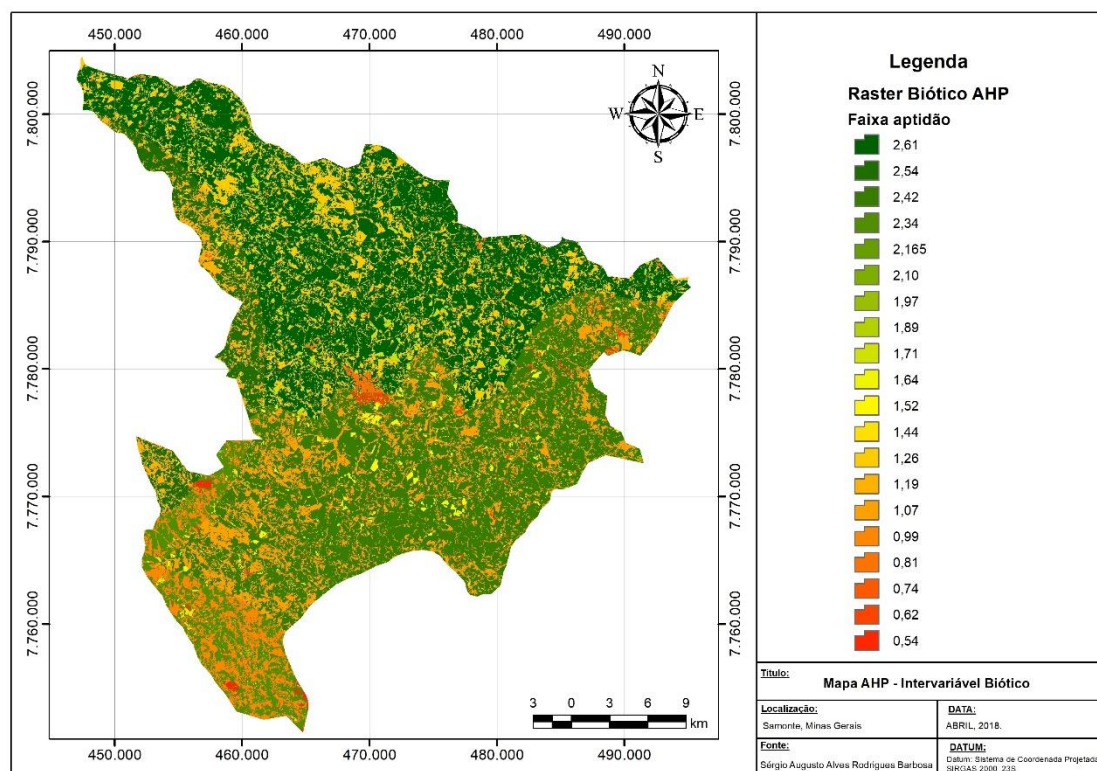
5.4.2. Análise critérios meio biótico/legal

O meio/categoria biótico foi reestruturado para análise e homogeneização deste. Para isso, considerou-se o agrupamento dos critérios uso e ocupação do solo, bioma, ASA e UC, porquanto a similaridade entre estes.

Desse modo, esses critérios foram ordenados segundo suas potencialidades/fragilidades (escala de importância relativa), a partir do qual hierarquizou o critério uso do solo no topo e, posteriormente, os critérios bioma, ASA e UC (apêndice 3 B).

Assim sendo, a reclassificação desses critérios por meio da matriz da AHP, encontra-se apresentado na Figura 36.

Figura 36: Mapa AHP interviriável do meio biótico



Fonte: Autor (2018).

De acordo com a Figura 36, identifica-se uma heterogeneidade ambiental e espacial entre os critérios desse meio/categoria, tendo em vista que a multiplicidade/ramificações do critério uso e ocupação do solo. Apesar dessa heterogeneidade, o resultado dessa

análise intravariável do meio biótico/legal apresentou correspondência aos critérios utilizados.

Os valores resultantes da matriz da AHP foram organizados em faixas de aptidão, de um modo que estes indicam as diversas possibilidades de preferência das áreas. Nesse caso, estas estão organizadas de maneira hierárquica em 20 faixas, no qual sua aptidão varia entre 0,54 a 2,61.

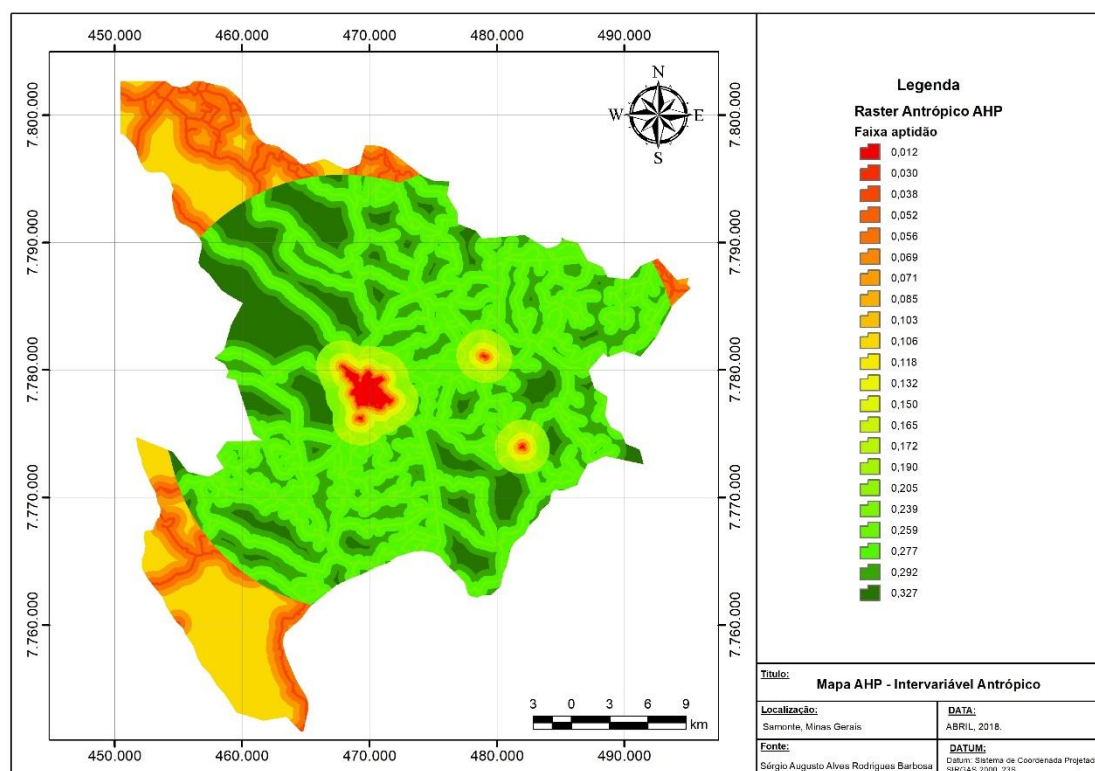
Sendo assim, estabeleceu-se um limiar entre essas faixas de aptidão, de modo que os valores inferiores a 1,65 consideram que a área apresenta baixa capacidade para locação do aterro sanitário, enquanto que valores superiores a 2,35 são classificados como de alta capacidade.

5.4.3. Análise critérios meio antrópico

Os critérios do meio antrópico (núcleos populacionais e sistemas viários), apresentaram, notadamente, correspondência ambiental e espacial. Esses critérios foram reclassificados de acordo com matriz da AHP (apêndice 3 C) e considerando uma ordem de prioridade (escala de importância) organizada no topo pelo critério núcleos populacionais e, em seguida, pelo sistema viário.

Sendo assim, o resultado dessa matriz, encontra-se apresentado espacialmente na Figura 37.

Figura 37: Mapa AHP intervariável do meio antrópico



Fonte: Autor (2018).

Conforme apresentado na Figura 37, identifica-se uma homogeneidade entre os valores resultante da matriz AHP, especialmente, quando representado a relação ambiental e espacial entre os critérios dessa análise intravariável do meio antrópico.

As faixas de aptidão para esse critério, correspondem aos valores resultantes da reclassificação da matriz AHP, em que estas exibem as possíveis alternativas locais para o aterro sanitário. Dessa forma, essas faixas estão estruturadas hierarquicamente em 22 faixas, variando entre 0,012 a 0,327.

Nesse caso, estabeleceu-se um limiar para essa faixa de aptidão, sendo que os valores menores que 0,120 foram considerados como de baixa aptidão, ao passo que os valores maiores que 0,260 estão classificados como favoráveis à locação do aterro sanitário.

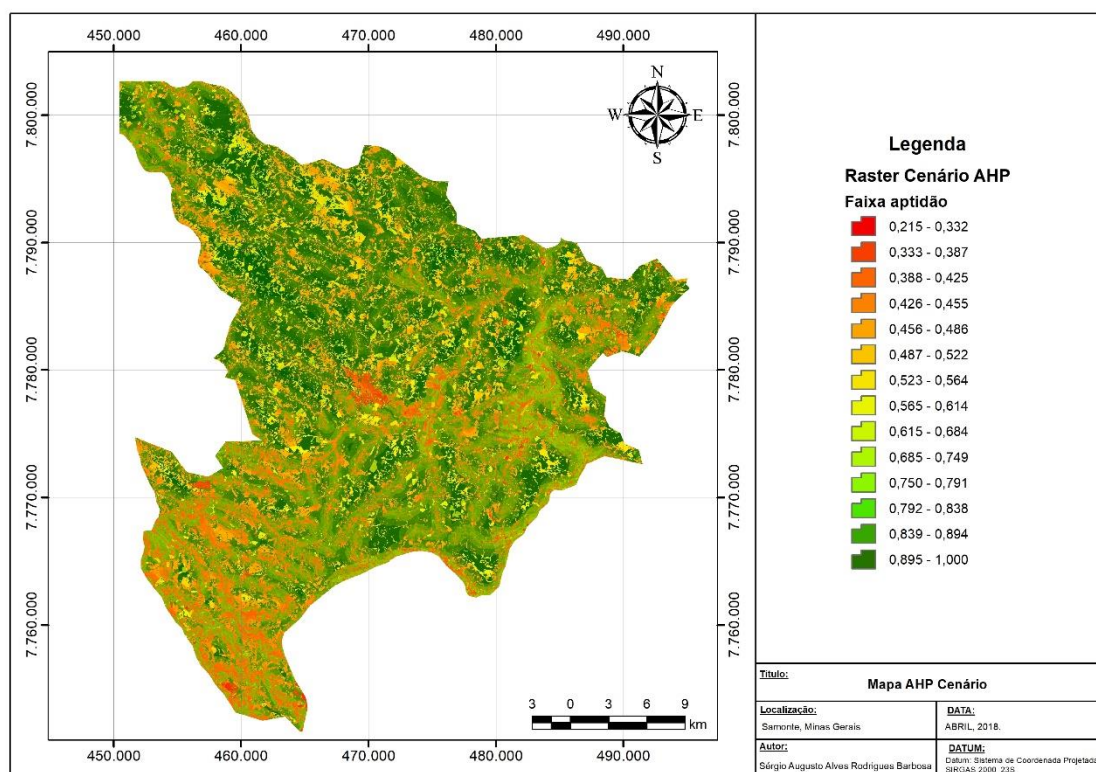
5.5. Análises de cenários AHP

O objetivo central dessa dissertação refere-se ao mapeamento de áreas favoráveis para implementar um aterro sanitário no município de Samonte. Dessa forma, as alternativas que tratam dessa solução foram diagnosticadas a partir de um conjunto de múltiplas possibilidades e critérios, de acordo com os requisitos mínimos exigíveis e a disponibilidade de banco de dados.

Sendo assim, realizou-se a análise do agrupamento dos resultados da etapa anterior (intervariável), a partir da comparação par-a-par das categorias/meios, conforme o grau de importância destes. Dessa forma, a matriz resultante da aplicação desse método, encontra-se apresentada no Apêndice 4.

De acordo com o Apêndice 4, os valores resultantes dessa matriz AHP, construíram os cenários identificando as faixas de aptidão (favorável ou desfavorável) para a localização do aterro sanitário. Isto posto, a reclassificação da matriz AHP desse cenário, encontra-se apresentado na Figura 38.

Figura 38: Mapa de cenários AHP



Fonte: Autor (2018).

A partir da análise da Figura 38, constata-se que o cenário resultante dessa matriz AHP conseguiu investigar uma série de possibilidades frente a múltiplos critérios e prioridades, sintetizando e ordenadamente os resultados da etapa anterior (intervariável) para gerar esse cenário final.

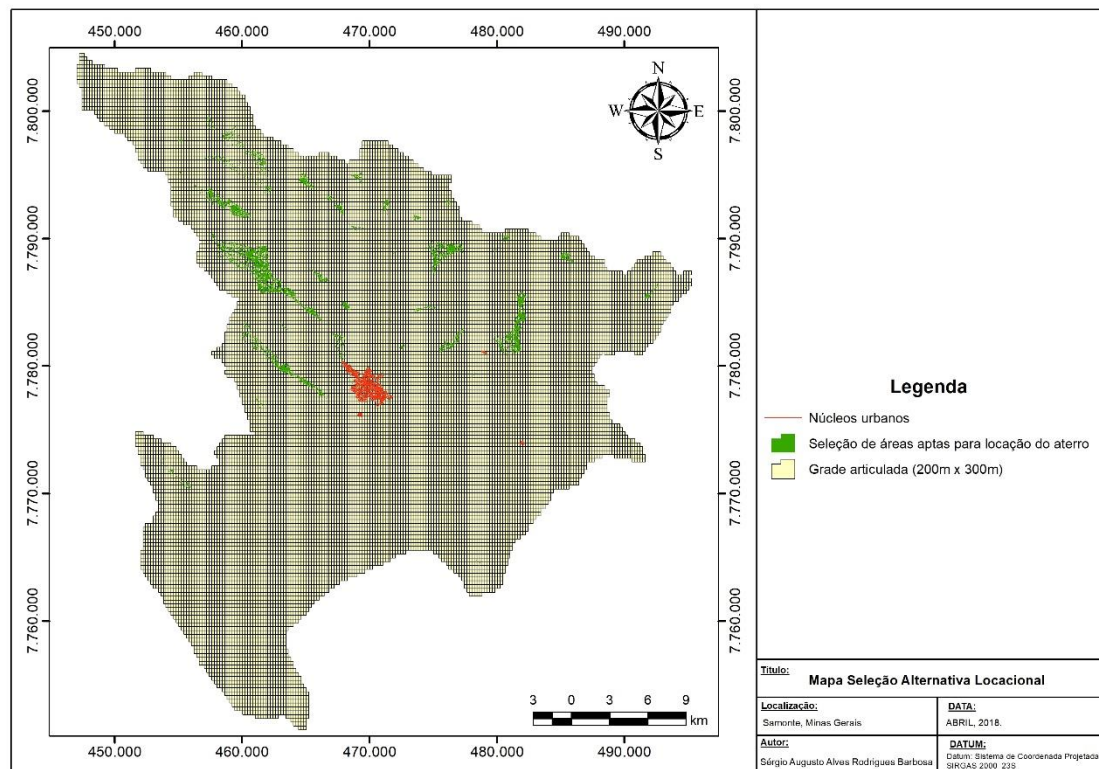
Desse modo, as faixas de aptidão determinadas para esse cenário, foram organizadas em classes de valores conforme suas aptidões/inaptidões. Logo, essas faixas foram estruturadas e organizadas de maneira hierárquica em 14 classes com intervalos naturais. Nesse caso, as classes de aptidão para esse cenário variam entre 0,215 - 0,332 a 0,895 - 1,000.

Considera-se que as faixas de valores inferiores a 0,520 apresentam baixa capacidade para a localização do aterro sanitário, enquanto que valores maiores que 0,838 possuem alta aptidão para implementar o aterro.

De acordo com as áreas classificadas como sendo de alto potencial à locação do aterro sanitário, realizou-se o seccionamento destas a partir de uma grade articulada (200m x 300 m), conforme a área mínima dimensionada para o aterro sanitário (5,25 ha).

Dessa forma, foi possível levantar as alternativas com base no cenário da AHP e no tamanho do aterro, de um modo que estas encontram-se apresentadas na Figura 39.

Figura 39: Mapa das áreas potencialmente aptas a localização do aterro sanitário



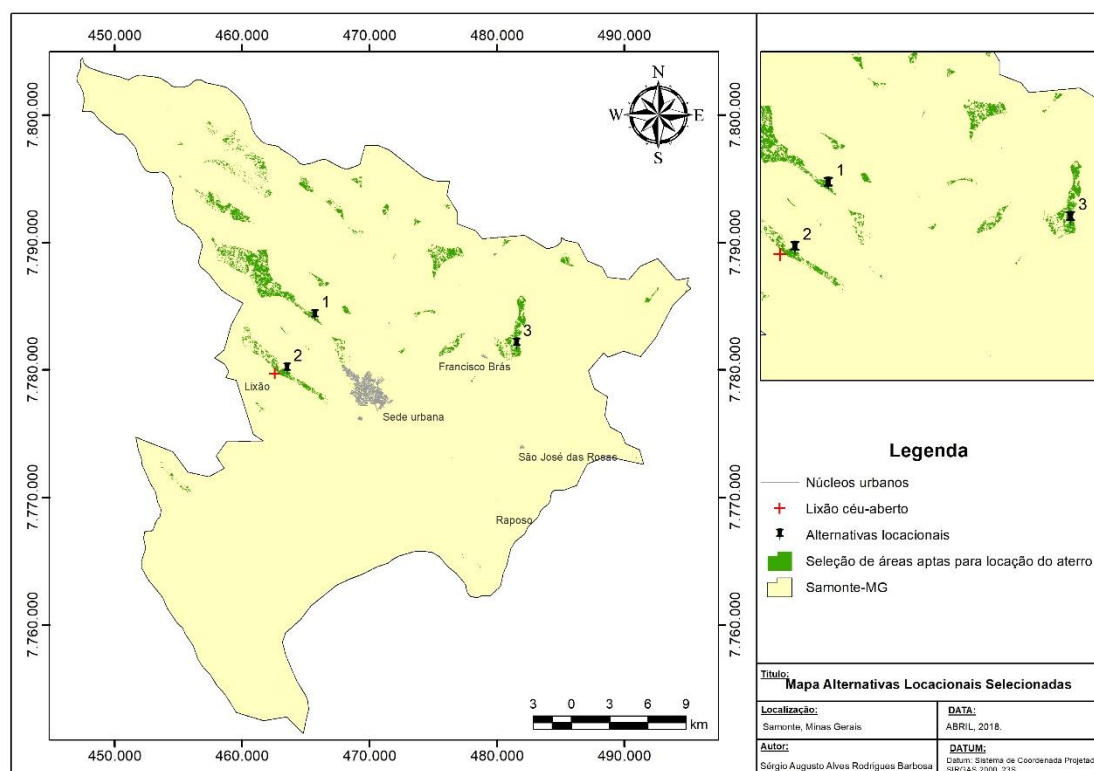
Fonte: Autor (2018).

De acordo com a Figura 39, verifica-se que um conjunto de alternativas locais foram potencialmente elencadas, em que estas correspondem a uma grandeza total de 19,65 km² (1,74%). No entanto, ao ponderar essa área com totalidade territorial do município (1.125,78 km²), considera-se que, tão-somente, uma pequena parcela de Samonte apresenta viabilidade para solucionar o problema proposto nessa dissertação.

Ao analisar sistematicamente as áreas ora identificadas, observa-se que estas estão distribuídas espacialmente em fragmentos descontínuos e, por isso, muitas dessas áreas não possuem área suficiente para instalar o aterro sanitário conforme o tamanho dimensionado para este (5,25 ha).

Para isso, otimiza-se esse processo de tomada de decisão a partir de um filtro que maximize as áreas com maior aptidão/pontuação em relação a dimensão requerida. Assim sendo, na Figura 40, encontra-se apresentado as áreas selecionadas para a localização do aterro sanitário.

Figura 40: Mapa de alternativas locais identificadas



Fonte: Autor (2018).

Com base na Figura 40, foi identificado três alternativas locais que frente aos múltiplos critérios adotados, resultaram em áreas com alta possibilidade para a instalação do aterro sanitário. Observa-se, ainda a relação espacial dessas áreas com o atual lixão a céu-aberto e os núcleos populacionais de Samonte, conforme encontra-se apresentado na Tabela 28.

Tabela 28: Localização geográfica das áreas selecionadas para localização do aterro sanitário

Alternativas	Coordenadas Projetadas		Distância do lixão (km)	Distância dos núcleos urbanos (km)
	Longitude (E)	Latitude (S)		
1	465724,2294	7784308,413	5,57	4,48
2	463537,5838	7780099,753	1,03	4,28
3	481545,3545	7782058,413	19,1	2,7

Fonte: Autor (2018).

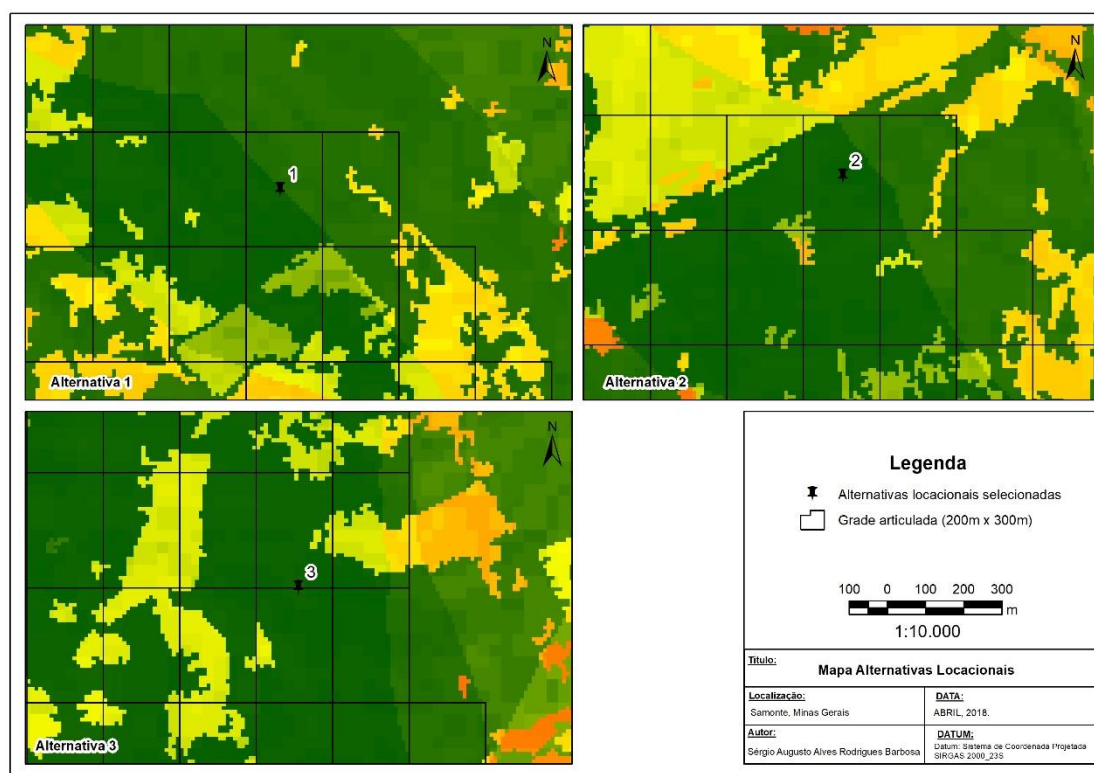
De acordo com a Tabela 28, constata-se que o atual lixão apresenta maior proximidade com as alternativas 1 e 2, nitidamente, com a segunda alternativa. Já o

distanciamento entre essas alternativas e os núcleos populacionais, foi verificado que estas apresentam uma distância satisfatória quando ponderado com os critérios ora estabelecidos (item 5.3.7).

Considerando a proximidade entre essas alternativas e o lixão, verifica-se que, independentemente desta, o lixão está contido/inserido numa área com baixo potencial (faixa de valor – 0,413) para este tipo de atividade.

Dessa forma, analisou-se as três alternativas locais identificadas com base no cenário resultante da matriz AHP, conforme encontra-se apresentado na Figura 41.

Figura 41: Identificação das alternativas selecionadas para a localização do aterro sanitário



Fonte: Autor (2018).

Conforme a Figura 41, pode-se reafirmar que para a resolução do problema central desta dissertação, há três alternativas que melhor atendem aos critérios fixados – faixa de avaliação, bem como dispõem de áreas homogêneas e suficientes para a implementação do aterro sanitário.

Nesse caso, a matriz AHP atribuiu para a primeira alternativa valor de 0,970, sendo esta factível a localização do aterro. Já a segunda alternativa locacional selecionada, o

valor atribuído conforme a AHP consiste em 0,995. Por fim a terceira alternativa identificada, apresentou um valor atribuído a partir do resultado da matriz AHP como sendo de 0,970.

Considera-se que as alternativas locais ora identificadas, ainda que, selecionadas a partir de uma rigorosa análise de múltiplos critérios, requerem uma análise comparativa entre si, para que os principais aspectos e os potenciais impactos ambientais decorrentes da tomada de decisão causem o menor efeito adverso no meio ambiente.

5.6. Levantamento aspectos e potenciais impactos ambientais

Na etapa anterior, identificou-se as três principais alternativas locais que expressam, notadamente, as áreas aptas à locação do aterro sanitário. Desse modo, realizou-se o levantamento dos aspectos e impactos ambientais (LAIA) que diretamente são resultantes da instalação e operação do aterro sanitário nessas áreas, ordenando-as, hierarquicamente segundo o potencial de aptidão de cada alternativa.

Sendo assim, construiu-se as matrizes de interação visando identificar os aspectos ambientais (AA) e os potenciais impactos ambientais (IA) congêneres a cada alternativa local. Nessas matrizes, os AA e IA, estão organizados conforme as etapas/processos do aterro e, juntamente, com os critérios/elementos dos meios físicos, bióticos e antrópicos.

5.6.1. Análise da primeira alternativa local

A primeira alternativa selecionada, está localizada na região noroeste da sede urbana de Santo Antônio do Monte, de um modo que esta está inversamente situada ao manancial de abastecimento e captação de água para o consumo humano desse município. Apesar disto, esta está relativamente próxima ao atual lixão a céu-aberto.

Em geral, essa alternativa está compreendida no complexo Divinópolis (subdomínio hidrogeológico cristalino), sendo este favorável (baixo potencial hídrico) para a instalação do aterro. De modo semelhante, a característica pedológica para essa alternativa incide em um perfil tipificado como sendo Latossolo, o qual por sua vez, possui média influência do lençol freático. A superfície do terreno apresenta declividade homogênea, sendo esta compreendida no intervalo de 3 - 9,9% (muito Baixo). Por fim,

os recursos hídricos estão localizados a uma distância maior que 1.000 m da alternativa em análise.

Essa alternativa está inserida no bioma Cerrado, no qual o uso/ocupação do solo consiste em fins agropecuários (pastagem). Entretanto, verifica-se, quantidade significativa de indivíduos arbóreos nativos distribuídos homoganeamente nessa área. No que se refere a desapropriação desta área, verifica-se que essa está contida apenas uma propriedade rural.

Ao ponderar o distanciamento entre os centros urbanos e essa alternativa, identifica-se que esta está localizada numa distância média de 5,57 km da sede urbana do município. Já a distância entre área supra e as vias de acesso é de aproximadamente 150 m, no qual considera esse distanciamento como sendo de baixa/média aptidão.

Considera-se que a alternativa em exame, não está localizada em zona de amortecimento de Unidade de Conservação, bem como não está intervindo na Área de Segurança Aeroportuária (ASA).

Dessa forma, aplicou-se o método proposto para levantar os AA e IA atinentes a locação do aterro sanitário nessa área, sendo que na Figura 42, encontra-se apresentado a matriz resultante dessa alternativa.

Figura 42: Matriz de interação entre as etapas/processos e os elementos do meio – Alternativa 1

IMPLANTAÇÃO						OPERAÇÃO						Aspecto ambiental		
Movimentação de solo	Construção de equipamentos infraestrutura	Instalação de obras drenagem águas pluviais	Instalação de obras drenagem e tratamento lixiviado	Instalação de obras de drenagem gases	Tratamento do base e laterais aterro	Atividades preparatórias	Construção das células de rejeito	Extração de material de empréstimo	Execução da drenagem de líquidos lixiviados	Execução drenagem definitiva gases	Execução drenagem de águas pluviais definitivas	Tratamento do líquido percolado	Atividades funcionais	Aspectos
														Alteração das características do solo
														Alteração da topografia local
														Intensificação da erosão pela água
														Carreamento de sedimentos para os corpos d'água
														Dispersão de biogás e material particulado
														Aumento do escoamento das águas pluviais
														Alteração da movimentação das águas superficiais e subsuperficiais
														Risco de instabilidade no talude do aterro
														Dispersão de vetores
														Emissão de ruídos e vibrações
														Dispersão de chumbo/lixiviado
														Perda de vegetação nativa
														Fragmentação vegetação nativa
														Eutrofização de corpos d'água
														Deslocamento involuntário
														Modificação das formas de uso/ocupação do solo
														Aumento do tráfego de veículos

Fonte: Autor (2018).

Com base na Figura 42, verifica-se que grande parte dos AA ocorrerão no meio físico, e precisamente, na fase de implementação do aterro, sendo que a duração destes está restrita a fase de instalação. Na etapa de funcionamento os AA, também, poderão suceder nos elementos do meio físico, todavia estes estão limitados a operação do aterro sanitário.

A partir dos principais aspectos ambientais ora identificados, ponderou-se os potenciais impactos ambientais intrínsecos a locação do aterro sanitário nessa primeira alternativa, conforme apresentado na Tabela 29.

Tabela 29: Avaliação da significância dos impactos ambientais - Alternativa 1

Potencial impacto	Magnitude	Reversibilidade	Probabilidade Ocorrência	Enquadramento Legal	Significância (soma ponderada)
Alteração da qualidade das águas superficiais e subterrâneas	2 * 5	1 * 5	3 * 2	5 * 3	36
Alteração da qualidade do ar	1 * 5	1 * 5	3 * 2	5 * 3	31
Alteração da qualidade do solo	1 * 5	1 * 5	3 * 2	5 * 3	31
Supressão da vegetação nativa	2 * 5	2 * 5	5 * 2	5 * 3	45
Criação de ambiente antrópico	2 * 5	2 * 5	3 * 2	0 * 3	26
Proliferação de vetores	1 * 5	1 * 5	3 * 2	0 * 3	16
Redução da disponibilidade recursos naturais	2 * 5	2 * 5	3 * 2	5 * 3	41
Impacto visual e estético	1 * 5	2 * 5	5 * 2	5 * 3	40
Desconforto ambiental (incômodo e desconforto)	1 * 5	1 * 5	3 * 2	5 * 3	31
Risco a saúde	1 * 5	1 * 5	3 * 2	5 * 3	31
Aumento do custo de transporte	3 * 5	1 * 5	5 * 2	2 * 3	36
Limitações das opções de uso do solo	2 * 5	2 * 5	5 * 2	5 * 3	45
MÉDIA					34,0

Fonte: Autor (2018).

De acordo com a Tabela 29, identificou-se 12 potenciais impactos ambientais, os quais são intrínsecos da locação do aterro sanitário nessa primeira alternativa, de um modo que estes foram classificados segundo o nível de importância como sendo de magnitude média (Escala de Significância = 34,0).

5.6.2. Análise da segunda alternativa locacional

A segunda alternativa selecionada, está localizada a oeste da sede urbana de Samonte e, opostamente, situada ao manancial do Ribeirão Guandu (manancial de captação de água para abastecimento doméstico). Do mesmo modo, constata-se que essa alternativa está próxima a área do lixão, entretanto, não há nenhuma similaridade entre

essas áreas, uma vez que a área do atual lixão incide em um terreno inapto (faixa de valor – 0,413).

Essa segunda alternativa, está compreendida no complexo Divinópolis (subdomínio hidrogeológico cristalino), no qual este apresenta baixo potencial hídrico, ou seja, favorável a locação do aterro. Essa alternativa incide em um solo do tipo Latossolo, em que este apresenta média influência do lençol freático.

A declividade dessa alternativa é heterogênea, uma vez que essa está compreendida no intervalo de 10 - 19,9% (Baixo). Já os recursos hídricos estão situados a uma distância superior a 1.000 m dessa alternativa proposta.

Essa alternativa pertence ao bioma Cerrado, sendo que o uso/ocupação do solo está compreendido como sendo agropecuários (vegetação gramínea). De modo semelhante, constatou-se, incipientes indivíduos arbóreos nativos de pequeno porte inseridos aleatório e arbitrariamente na área de interesse. Nessa alternativa, não foi possível constatar há necessidade de desapropriação.

A sede urbana do município de Samonte, está a uma distância em torno de 4,5 km dessa segunda alternativa e, uma proximidade baixa/média das vias de acesso, visto que o distanciamento seja de aproximadamente 150 m dessas vias.

A alternativa em exame, não está localizada em zona de amortecimento de Unidade de Conservação da Natureza, além de que, não está intervindo na Área de Segurança Aeroportuária (ASA).

Desse modo, ponderou-se a metodologia proposta visando levantar os AA e IA provenientes da locação do aterro sanitário nessa área, no qual apresenta-se na Figura 43 a matriz resultante dessa segunda alternativa.

Tabela 30: Avaliação da significância dos impactos ambientais - Alternativa 2

Potencial impacto	Magnitude	Reversibilidade	Probabilidade de Ocorrência	Enquadramento Legal	Significância (soma ponderada)
Alteração da qualidade das águas superficiais e subterrâneas	2 * 5	1 * 5	3 * 2	5 * 3	36
Alteração da qualidade do ar	1 * 5	1 * 5	3 * 2	5 * 3	31
Alteração da qualidade do solo	1 * 5	1 * 5	3 * 2	5 * 3	31
Criação de novo ambiente	1 * 5	2 * 5	3 * 2	0 * 3	21
Proliferação de vetores	1 * 5	1 * 5	3 * 2	0 * 3	16
Impacto visual e estético	1 * 5	2 * 5	5 * 2	5 * 3	40
Desconforto ambiental (incômodo e desconforto)	1 * 5	1 * 5	3 * 2	5 * 3	31
Risco a saúde	1 * 5	1 * 5	3 * 2	5 * 3	31
Aumento do custo de transporte	2 * 5	1 * 5	5 * 2	2 * 3	31
Limitações das opções de uso do solo	2 * 5	2 * 5	5 * 2	5 * 3	45
MÉDIA					31,0

Fonte: Autor (2018).

Com base na Tabela 30, constatou-se 10 potenciais impactos ambientais, em que estes estão intrínsecos da localização do aterro sanitário nessa segunda alternativa. Assim sendo, estes foram classificados de acordo com o seu nível de importância incidindo em uma magnitude média (Escala de Significância = 31,0).

5.6.3. Análise da terceira alternativa locacional

A terceira alternativa escolhida, está localizada na região nordeste da sede urbana de Santo Antônio do Monte, de tal modo que esta está inversamente situada ao manancial de abastecimento de água para o consumo humano (Ribeirão Guandu) desse município,

bem como, também da área do atual lixão a céu-aberto. No entanto, ressalta que esta está distante do centro urbano de Samonte, mas, próxima a comunidade Francisco Brás.

Essa terceira alternativa, pertence ao complexo Divinópolis (subdomínio hidrogeológico cristalino), sendo este favorável (baixo potencial hídrico) para a instalação do aterro. Todavia, destaca-se a proximidade dessa alternativa com os depósitos aluvionares (formações Cenozóicas), de um modo que este é inversamente proporcional em receber um aterro, porquanto o alto potencial hídrico.

A característica pedológica para essa alternativa incide em um perfil tipificado como sendo Latossolo – média influência do lençol freático. A superfície do terreno apresenta em geral declividade heterogênea e compreendida no intervalo de 10 - 19,9% (Baixo). Os recursos hídricos estão localizados a uma distância maior que 1.000 m da alternativa em análise.

De um modo geral, essa alternativa está inserida no bioma Cerrado, contudo, este pode ser caracterizado como ecótono (transição), haja vista a proximidade com o bioma Mata Atlântica. Por sua vez, o uso/ocupação do solo consiste em fins agropecuários (pastagem) e com parcela de cobertura vegetal nativa. Essa cobertura consiste em indivíduos arbóreos nativos distribuídos homoganeamente por esta área. No que se refere a desapropriação desta área, verifica-se que essa está contida em duas propriedades rurais.

Ao ponderar o distanciamento entre os centros urbanos com essa alternativa, identifica-se que esta está localizada a uma distância média de 2,7 km da comunidade rural Francisco Brás e 10 km da sede urbana do município. Já a distância entre essa área e as vias de acesso é de aproximadamente 200 m.

Considera-se que a alternativa em exame, não está localizada em zona de amortecimento de Unidade de Conservação da Natureza, assim como, não está intervindo na Área de Segurança Aeroportuária (ASA).

Desse modo, ponderou-se a metodologia proposta visando levantar os aspectos (AA) e impactos (IA) provenientes da locação do aterro sanitário nessa área, conforme matriz apresentada na Figura 44.

Tabela 31: Avaliação da significância dos impactos ambientais - Alternativa 3

Potencial impacto	Magnitude	Reversibilidade	Probabilidade de Ocorrência	Enquadramento Legal	Significância (soma ponderada)
Alteração da qualidade das águas superficiais e subterrâneas	2 * 5	1 * 5	5 * 2	5 * 3	40
Alteração da qualidade do ar	1 * 5	1 * 5	3 * 2	5 * 3	31
Alteração da qualidade do solo	1 * 5	1 * 5	3 * 2	5 * 3	31
Supressão da vegetação nativa	2 * 5	2 * 5	5 * 2	5 * 3	45
Criação de novo ambiente	2 * 5	2 * 5	3 * 2	0 * 3	26
Proliferação de vetores	1 * 5	1 * 5	3 * 2	0 * 3	16
Redução da disponibilidade recursos naturais	2 * 5	2 * 5	3 * 2	5 * 3	41
Impacto visual e estético	1 * 5	2 * 5	5 * 2	5 * 3	40
Desconforto ambiental (incômodo e desconforto)	1 * 5	1 * 5	3 * 2	5 * 3	31
Risco a saúde	1 * 5	1 * 5	3 * 2	5 * 3	31
Alteração desfavorável na biodiversidade	2 * 5	2 * 5	5 * 2	5 * 3	45
Aumento do custo de transporte	3 * 5	1 * 5	5 * 2	2 * 3	36
Limitações das opções de uso do solo	2 * 5	2 * 5	5 * 2	5 * 3	45
MÉDIA					35,2

Fonte: Autor (2018).

De acordo com a Tabela 31, constatou-se 13 potenciais impactos ambientais, decorrentes da localização do aterro sanitário nessa terceira alternativa. Estes estão classificados com base no seu nível de importância e resultando numa magnitude média (Escala de Significância = 35,2).

5.6.4. Seleção alternativa locacional

Considera-se que a localização do aterro sanitário nessas três alternativas elencadas, apresentaram discretas variações entre os principais aspectos ambientais levantados destas. Igualmente, o nível de importância dos potenciais impactos ambientais entre essas áreas propostas, resultaram, também em pequenas variações na escala de significância utilizada, porquanto todas as alternativas foram consideradas como de média magnitude. Ainda que, pequena diferença, julga-se, estes valores como sendo relevantes quando comparados entre si.

Embora a terceira alternativa esteja contida/inserida em uma localidade favorável, alguns critérios (hidrogeológico, bioma, distância centro urbano e uso do solo) próximos/contíguos a essa alternativa são inaptos e, por isso, classificam essa alternativa como desfavorável quando comparado com as demais.

A primeira alternativa se encontra localizada em uma área desejável, todavia a necessidade de realizar a supressão de indivíduos arbóreos nativos contidos nesta, pode ser considerado uma tarefa trabalhosa e morosa. Além disso, seus potenciais impactos ambientais foram considerados como de maior magnitude, quando comparado com a segunda alternativa.

Dessa forma, considera-se que a segunda alternativa seja mais favorável e satisfatória para a localização do aterro sanitário, uma vez que o resultado da escala de significância foi o menor entre as alternativas listadas. De modo semelhante, identificou-se que a mudança no uso/ocupação do solo nessa região haverá menos conflitos, devido à proximidade com o atual lixão a céu-aberto do município.

6. CONCLUSÃO

A presente dissertação teve a acuidade de selecionar, uma dentre as várias propostas, àquela que resultou como sendo de aplicação mais favorável para a implantação do aterro sanitário do município de Santo Antônio do Monte – Minas Gerais.

Considerando o amplo e vasto arcabouço legislativo, normativo e científico aplicável a localização, instalação, operação e desativação de aterro sanitário, foi possível sintetizar e estruturar este no referencial bibliográfico deste trabalho.

A finalidade precípua desta dissertação, foi determinar alternativas locacionais para o aterro sanitário de Samonte. Entretanto, para diagnosticar tais áreas, considerou, imprescindível o dimensionamento básico do aterro sanitário. Para isso, foi determinado a dinâmica populacional dessa cidade até o ano de 2038 (20 anos), utilizando o modelo de projeção geométrico, porquanto este melhor adaptou a realidade local. Em seguida, quantificou-se os resíduos sólidos urbanos (RSU) gerados por essa população, com base num horizonte de 20 anos. Sendo assim, foi identificado que a geração de RSU tende a acompanhar o crescimento populacional, de modo que a geração média diária de resíduos nesse período seja de aproximadamente 17,616 toneladas.

Apesar desse crescimento na geração de RSU, verificou-se uma amortização deste, porquanto as taxas de reciclagem (4,03%) e compostagem (1,25%), reduzirá e aproveitará esses resíduos. Com isso, foi quantificado a geração diária de rejeitos/resíduos que serão depositados no aterro sanitário, sendo esta em média de 16,658 toneladas.

De acordo com essas informações, foi dimensionado o aterro sanitário, através do método construtivo de área/superficial. Esse aterro está composto por seis estruturas/maciços, cada qual sobreposto ao anterior (formando de degraus), de um modo que a área útil total necessária para implementar e operar esse aterro e sua infraestrutura, compreende numa grandeza geográfica de 5,25 hectares.

Dessa forma, estruturou-se, banco de dados dos elementos dos meios físico, biótico e antrópico e dos aspectos legais. Segundo esse banco de dados, foi aplicado o método de análise multicritério com a técnica da *Analytic Hierarch Process* (AHP) em ambiente SIG empregando as plataformas QGIS e ArcGIS. Essas plataformas, foram indispensáveis para o processamento desses dados, pois possibilitou a coleta, a visualização e a análise das informações auferidas para o suporte na tomada de decisão.

A análise multicritério com a técnica AHP apresentou alto grau de confiabilidade para subsidiar as potenciais alternativas locais do aterro, pois a partir da área territorial de Samonte (1.125,78 km²), identificou-se que 1,74% (19,65 km²) da área total desse município apresenta viabilidade para solucionar essa questão, porém, destaca-se que muitas dessas áreas inventariadas não possuem área/tamanho suficiente para instalar o aterro sanitário segundo o tamanho dimensionado para este.

Conforme os múltiplos critérios utilizados e exigência de área útil, foram detectadas três alternativas locais com alta possibilidade para a instalação do aterro. Desse modo, levantou-se os principais aspectos e os potenciais impactos ambientais dessas áreas, de um modo que estes apresentaram pequenas variações entre si. Do mesmo modo, foi avaliado os potenciais impactos ambientais, em que estes também resultaram em pequenas variações na escala de significância utilizada, sendo que estes considerados de média magnitude.

Dessa forma, selecionou-se a segunda alternativa para a implementação do aterro sanitário, porquanto esta foi considerada mais favorável/apta com base na análise multicritério e AHP, bem como os impactos ambientais resultam em modificações inferiores as demais alternativas listadas. Em geral, as principais características dessa alternativa elencada compreendem: i) hidrogeologia com baixo potencial hídrico; ii) pedologia com média influência do lençol freático; iii) geomorfologia com declividade baixa – relevo suave-ondulado; iv) hidrologia com corpos d'água localizados a distância superior a 1.000 m; v) bioma cerrado; vi) centros urbanos e vias acesso distância média; vii) área de segurança aeroportuária e unidade de conservação distanciamento alto. Outrossim, ressalva a proximidade desta com o atual lixão.

Comparando os trabalhos de Marques (2002), Nunes (2002), Waquil *et al.* (1998), com a presente dissertação, esta destaca-se pela abordagem ampla e holística dos elementos dos meios físico, biótico, antrópico e legal, dos critérios técnicos de dimensionamento do aterro e do levantamento dos principais aspectos e potenciais impactos ambientais da instalação/operação do aterro na alternativa elencada.

A presente dissertação pretende, não orientar apenas os gestores municipais da cidade de Santo Antônio do Monte – MG, mas, também àqueles que realmente pretendam executar projetos para destinar corretamente os resíduos/rejeitos gerados em âmbito local.

Portanto, considera-se que a segunda alternativa proposta tende para solucionar o problema existente de localização do aterro sanitário, atendendo de maneira rigorosa e satisfatória o objetivo desta dissertação. Logo, o presente trabalho não esgota o assunto aqui destacado, mas, sim contribui para o uso dessas informações para a viabilização de aterros sanitários nas pequenas cidades, preocupando-se que o aspecto ambiental e de saúde pública, visto os impactos que estes produzem no meio social.

7. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). **Implementação do enquadramento em bacias hidrográficas no Brasil/Sistema nacional de informações sobre recursos hídricos – SNIRH no Brasil:** arquitetura computacional e sistêmica. Brasília: ANA, 2009. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/7504/implementacao-enquadramento-ag-superf-ana-2009.pdf>>. Acesso em: 28 nov.2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Aeródromos:** mapa de aeródromos do Brasil. Disponível em: <<http://www.anac.gov.br/assuntos/setor-regulado/aerodromos>>. Acesso em: 19 out.2017.

ANTUNES, Paulo de Bessa. **Direito ambiental.** 15.ed. São Paulo: Atlas, 2013.

ARCOS. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos. Disponível em: <<http://www.arcos.mg.gov.br/legislacao/tipo/pagina-1>>. Acesso em: 10 nov. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8.419:** Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1992.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.520:** informações e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama de resíduos sólidos no Brasil 2015.** ABRELPE, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama de resíduos sólidos no Brasil 2016.** ABRELPE, 2017.

BAIRD, C.; CANN, MICHAEL. **Química Ambiental.** 4.ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

BARLAZ, Morton A. et al. **Life-Cycle study of municipal solid waste management.** System description. USA: EPA, 1995.

BISHOP, A. W.; MORGENSTERN, N. **Stability coefficients for Earth Slopes:** Geothécniq. Disponível em: <<https://www.icevirtuallibrary.com/doi/pdf/10.1680/geot.1960.10.4.129>>. Acesso em: 10 out. 2017.

BRAGA, B. et al. **Introdução a Engenharia Ambiental.** 2.ed. São Paulo: Person Prentice Hall, 2005.

BRASIL. Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil,**

Brasília, DF, 20 dez. 1979. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/CCivil_03/leis/L6766.htm>. Acesso em: 25 out. 2016.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 04 out. 2016.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF em 19 jul. 2000. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm>. Acesso em: 21 out. 2016.

BRASIL. Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF em 26 dez. 2006. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/11428.htm>. Acesso em: 22. nov. 2016.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 05 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. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 8 jan. 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm>. Acesso em: 15 dez. 2016.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 3 out. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 07 dez. 2016.

BRASIL. Lei Complementar nº 140, de 08 de dezembro de 2011. Fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora; e altera a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 9 dez. 2011. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp140.htm>. Acesso em: 07 dez. 2016.

BRASIL. Decreto nº 7.217, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 22 jun. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7217.htm>. Acesso em: 22 out. 2016.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de

1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 28 mai. 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>. Acesso em: 2 out. 2016.

BRASIL. Lei nº 12.725, de 16 de outubro de 2012. Dispõe sobre o controle da fauna nas imediações de aeródromos. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 17 out. 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12725.htm>. Acesso em: 22 out. 2016.

BRASIL. Projeto de Lei nº 2.289 de 08 de julho de 2015. Prorroga o prazo para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos de que trata o art. 54 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Disponível em: <<http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=1555331>>. Acesso em: 19 out. 2017.

CALIJURI, M. L.; MELO, A. O.; LORENTZ, J. F. Identificação de áreas para implantação de aterros sanitários com uso de análise estratégica de decisão. **Informática Pública**, v.4, n.2, p.231-250, 2002. Disponível em: <http://www.ip.pbh.gov.br/ANO4_N2_PDF/IP4n2.pdf#page=71>. Acesso em: 18 ago. 2017.

CASTILHOS JUNIOR, A. B. (Coord.). **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

CHERNICHARO, C. A. L. et al. **Resíduos sólidos: projeto, operação e monitoramento de aterros sanitários**. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Belo Horizonte: ReCESA, 2008.

COMANDO DA AERONÁUTICA (COMAER). Portaria nº 957/GC3, de 09 de julho de 2015. Dispõe sobre as restrições aos objetos projetados no espaço aéreo que possam afetar adversamente a segurança ou a regularidade das operações aéreas, e dá outras providências. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 17 jul. 2015. Disponível em: <http://servicos.decea.gov.br/arquivos/aga/downloads/portaria957_GC3_09072015.pdf>. Acesso em: 10 out. 2016.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 1, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 17 fev. 1986. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=23>>. Acesso em: 14 out. 2016.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 6, de 24 de janeiro de 1986. Dispõe sobre a aprovação de modelos para publicação de pedidos de licenciamento. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 17 fev. 1986. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=29>>. Acesso em: 14 out. 2016.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução n° 9, de 3 de dezembro de 1987. Dispõe sobre a realização de audiências públicas no processo de licenciamento ambiental. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 05 jul. 1990. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=60>>. Acesso em: 19 out. 2016.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. (CONAMA). Resolução n° 237, de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 22 out. 1997. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>>. Acesso em: 30 out. 2016.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. (CONAMA). Resolução n° 275, de 25 de abril de 2001. Estabelece código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 19 jun. 2001. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=273>>. Acesso em: 30 out. 2016.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. (CONAMA). Resolução n° 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 17 jul. 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em: 29 out. 2016.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. (CONAMA). Resolução n° 428, de 17 de dezembro de 2010. Dispõe, no âmbito do licenciamento ambiental sobre a autorização do órgão responsável pela administração da Unidade de Conservação (UC), de que trata o § 3° do artigo 36 da Lei n° 9.985 de 18 de julho de 2000, bem como sobre a ciência do órgão responsável pela administração da UC no caso de licenciamento ambiental de empreendimentos não sujeitos a EIA-RIMA e dá outras providências. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 20 dez. 2010. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=641>>. Acesso em: 31 out. 2016.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). **Mapas Hidrogeológico e de Disponibilidade Hídrica do Brasil**. Brasília, 2007.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia**. São Paulo: Blucher, 1980.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos**. Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO (FJP). **Perfil demográfico do Estado de Minas Gerais- 2002**. Belo Horizonte: Centro de Estatística e Informações, 2003.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (FEAM). **Orientações técnicas para a operação de usinas de triagem e compostagem do lixo**. Belo Horizonte: FEAM, 2005.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (FEAM). **Orientações básicas para a operação de aterro sanitário**. Belo Horizonte: FEAM, 2006.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (FEAM). **Panorama da destinação final dos resíduos sólidos urbanos no estado de Minas Gerais em 2015**. Belo Horizonte: FEAM, 2016.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3.ed.rev.atual. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

FORNASARI FILHO, N. et al. **Alterações no meio físico decorrentes de obras de engenharia**. Boletim 61, São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1992.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). **Geoprocessamento**: mapa temático e dados geoestatístico das unidades de conservação. Disponível em: < <http://www.icmbio.gov.br/portal/geoprocessamento1/51-menu-servicos/4004-downloads-mapa-tematico-e-dados-geoestatisticos-das-uc-s>>. Acesso em: 30 ago. 2017.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS (IEF). **Áreas protegidas**: banco de dados de unidade de conservação. Disponível em: <http://www.ief.mg.gov.br/areas-protegidas/banco-de-dados-de-unidades-de-conservacao-estaduais>>. Acesso em: 30 ago. 2017.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos – UPGRH. 2013 Disponível em: <<http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/unidade-de-planejamento>>. Acesso em: 30 ago. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa de biomas e vegetação**. Disponível em: < <https://brasilemsintese.ibge.gov.br/territorio.html>>. Acesso em: 08 mar. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sinótese do Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=29&uf=31>>. Acesso em: 10 fev. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Brasil em síntese**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/santo-antonio-do-monte/panorama>>. Acesso em: 12 fev. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Bases e referências cartográficas**: malha municipal - 2015. Disponível em: <<https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais.html>>. Acesso em: 05 jan. 2018.

JARAMILLO, Jorge. **Guidelines for the desing, construction and operation of manual sanitary landfills**. Colombia: Universidad de Antioquia, 2003.

JARDIM, Arnaldo (Coord.). **Política nacional, gestão e gerenciamento de resíduos sólidos**. Barueri: Manole, 2012.

JÚNIOR, J. I. F. **Modelagem de dados geográficos para a definição do corredor do rodoanel da região metropolitana de Belo Horizonte**: o caso da Alça Sul. 2016. 147f.

Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

LONGLEY, P.A. et al. *Sistemas e ciência da informação geográfica*. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

LEPSCH, Igo F. **19 lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

NEW SOUTH WALES (State). **Draft Environmental Guidelines: Solid Waste Landfills**. 2.ed., Sydney South NSW: Environment Protection Authority (EPA), 2015.

MACHADO, Paulo Affonso Leme. **Direito Ambiental Brasileiro**. 21.ed. São Paulo: Malheiros, 2013.

MACHADO, M. F (Org.). **Geodiversidade do Estado de Minas Gerais - Programa Geologia do Brasil: Levantamentos da Geodiversidade**. Belo Horizonte: Serviço Geológico do Brasil (CPRM), 2010.

MARQUES, Gilvana Nogueira. **Seleção de áreas para aterro sanitário baseada em mapeamento geotécnico e *analytic hierarchy process* – AHP**. 2002. 217f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

MESQUITA JÚNIOR, José Maria (Coord.). **Gestão integrada de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2007.

MIHELIC, J. R., ZIMMERMAN, J. B. **Engenharia ambiental: fundamentos, sustentabilidade e projeto**. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

MILARÉ, Édis. **Direito do Ambiente**. 10.ed. rev. atual. ampl. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2015.

MILLER, G. T.; SPOOLMAN S. E. **Ciência ambiental**. São Paulo: Cengage Learning, 2015.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Biomass**. Brasília: MMA. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/biomass>>. Acesso em: 16 mar. 2018.

MONTEIRO, J. H. P. (Coord.). **Gestão integrada de resíduos sólidos: Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

MUKAI, Toshi. **Direito ambiental sistematizado**. 10.ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Forense, 2016.

NUNES, João Osvaldo Rodrigues. **Uma contribuição metodológica ao estudo da dinâmica da paisagem aplicada à escolha de áreas para a construção de aterro sanitário em Presidente Prudente-SP**. 2002. 230f. Tese (Doutorado). UNESP, Faculdade de Ciência e Tecnologia, Presidente Prudente, São Paulo, 2002.

OPEN GEOSPATIAL CONSORTIUM (OGC). **Geofabrik: OpenStreetMap Data in Layered GIS Format**. Disponível em: < <http://www.geofabrik.de/data/shapefiles.html>>. Acessado em: 10 mar. 2018.

PINTO, T.P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. 189f. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PINTO, T. P (Coord.). **Elementos para a organização da coleta seletiva e projeto dos galpões de triagem**. Brasília: MMA, 2008.

SAATY, R. W. **The Analytic Hierarchy Process**: what it is and how it is used. Pittsburgh, v.9, n.3-5,1987.

SAATY, Thomas L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International journal of services sciences**, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008.

SADASIVUNI, R. et al. A transportation corridor case study for multi-criteria decision analysis. **ASPRS Annual Conference**, Maryland, 9 – 13, 2009.

SÁNCHEZ, L.E. **Avaliação de Impactos Ambiental: conceitos e métodos**. 2.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

SANTO ANTÔNIO DO MONTE (SAMONTE). **Lei nº 2.101, de 04 de setembro de 2012**. Aprova Plano Gestão Resíduos Sólidos Urbanos do Município de Santo Antônio do Monte. Disponível em: < http://www.camarasam.mg.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1396:2015-09-21-16-59-11&catid=144:leis-municipais-2012&Itemid=173>. Acesso em: 10 out. 2017.

SANTO ANTÔNIO DO MONTE (SAMONTE). Publicações. Disponível em: < <https://www.samonte.mg.gov.br/arquivo/publicacoes>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

SANTOS, R.F. **Planejamento Ambiental teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SÃO PAULO (Estado). Lei nº 13.577, de 08 de julho de 2009. Dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas. **Publicada na Assessoria Técnico-Legislativa [de] São Paulo**, SP, 08 jul. 2009. Disponível em: < <http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2009/lei-13577-08.07.2009.html> >. Acesso em: 03 nov. 2016.

SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL (SNSA). **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2015 – Brasília: MCIDADES.SNSA**, 2017.

SENTINEL-2: Imagem de satélite. NASA: *Earth Observing System* (EOS), 2014-2017. **20170721-23KMT**. 1 imagem de satélite. Bandas 08, 04, 03 e 02.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). **Mapas Hidrogeológico e de Disponibilidade Hídrica do Brasil**. Brasília, 2007.

SISTEMA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (SISEMA). **Infraestrutura de dados espaciais**. Disponível em: < <http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION (SRTM). Cartas Topográficas. **S20W040; S20W046; S21W045; S21W046**. United States Geological Survey (USGS), 2011. Disponível em: < <https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 10 jan. 2018.

TRENNEPOHL, Curt. **Licenciamento ambiental**. 6. ed. rev. e atual. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2016.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **A decision support tool for assessing the cost and environmental burdens oof**

integrated municipal solid waste management strategies. Washington DC: Environment Protection Authority (EPA), 2000.

VESILIND, P.; AARNE, M.; SUSAN, M. **Introdução à engenharia ambiental.** São Paulo: Cengage Learning, 2011.

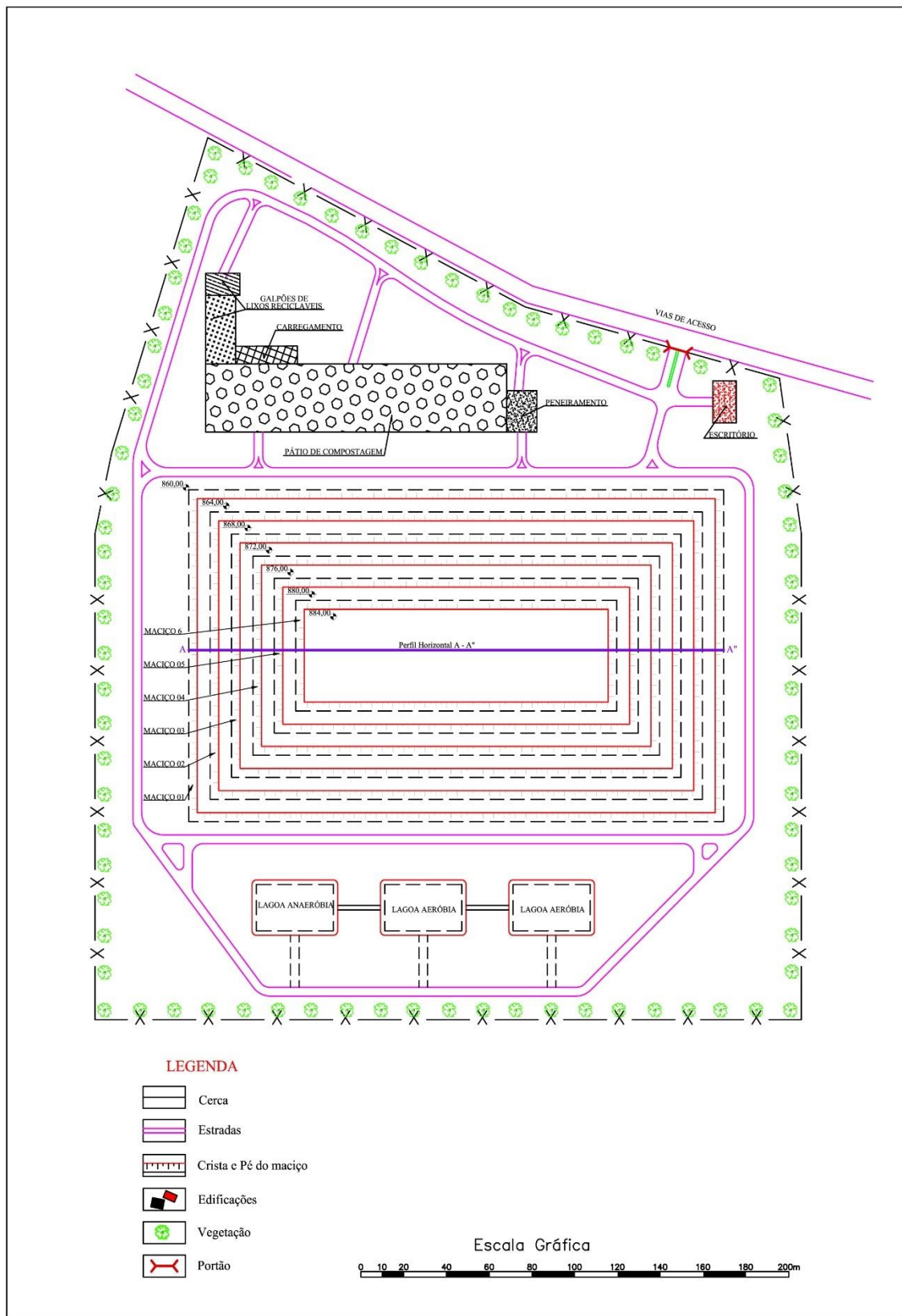
VICTORIA (State). **Siting, design, operation and rehabilitation of landfills.** Carlton: Environment Protection Authority (EPA), 2015.

Von SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 4.ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

WAQUILL, D.R.D. et al. **Seleção de áreas para tratamento e disposição final de resíduos sólidos na região metropolitana de Porto Alegre, RS – Etapa 2.** Porto Alegre: CPRM, 1998.

TOCCHETTO, Domingos et al. **Perícia ambiental criminal.** 3.ed. Campinas – SP, Millennium Editora, 2014.

APÊNDICE 1 – DIMENSIONAMENTO ATERO SANITÁRIO



APÊNDICE 2 – MATRIZES AHP INTRAVARIÁVEL

(A)

Comparação e pesos do critério hidrogeológico				
Descrição	Baixo	Médio	Alto	Pesos
Baixo	1,00	3,00	5,00	0,63
Médio	0,33	1,00	3,00	0,26
Alto	0,20	0,33	1,00	0,11
Soma	1,53	4,33	9,00	1,00
		$\lambda = 2,65$	CI = 0,17	CR = 0,3

(B)

Comparação e pesos do critério declividade						
Descrição	Plana: < 3%	Muito baixa: 3 – 9,9%	Baixa: 10 – 19,9%	Média: 20 – 30%	Alta: > 30%	Pesos
Plana: < 3%	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	0,41
Muito baixa: 3 - 9,9%	0,50	1,00	2,00	3,00	5,00	0,27
Baixa: 10 - 19,9%	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00	0,16
Média: 20 - 30%	0,25	0,33	0,50	1,00	3,00	0,11
Alta: > 30%	0,20	0,20	0,33	0,33	1,00	0,06
Soma	2,28	4,03	6,83	10,33	17	1,00
		$\lambda = 4,8$	CI = 0,04	CR = 0,04		

(C)

Comparação e pesos do critério hidrológico					
Descrição	> 1000 metros	500 - 1000 metros	200 - 499 metros	< 200 metros	Pesos
> 1000 metros	1,00	3,00	5,00	7,00	0,56
500 - 1000 metros	0,33	1,00	3,00	5,00	0,26
200 - 499 metros	0,20	0,33	1,00	3,00	0,12
< 200 metros	0,14	0,20	0,33	1,00	0,06
Soma	1,68	4,53	9,33	16,00	1,00
		$\lambda = 3,71$	CI = 0,1	CR = 0,1	

(D)

Comparação e pesos do critério pedológico				
Descrição	Influência lençol freático: baixa	Influência lençol freático: média	Influência lençol freático: alta	Pesos
Influência lençol freático: baixa	1,00	3,00	5,00	0,63
Influência lençol freático: média	0,33	1,00	3,00	0,26
Influência lençol freático: alta	0,20	0,33	1,00	0,11
Soma	1,53	4,33	9,00	1,00
	$\lambda = 2,66$	CI = 0,17	CR = 0,30	

(E)

Comparação e pesos do critério bioma			
Descrição	Cerrado	Mata Atlântica	Pesos
Cerrado	1,00	7,00	0,88
Mata Atlântica	0,14	1,00	0,13
Soma	1,14	8,00	1,00
	$\lambda = 2,00$	CI = 0,00	CR = 0,00

(F)

Comparação e pesos do critério uso e ocupação do solo						
Descrição	Área solo exposto	Área agropecuária	Área vegetação nativa	Água	Área urbanizada	Pesos
Área solo exposto	1,00	2,00	3,00	7,00	9,00	0,42
Área agropecuária	0,50	1,00	3,00	7,00	9,00	0,31
Área vegetação nativa	0,33	0,33	1,00	5,00	7,00	0,17
Água	0,14	0,14	0,20	1,00	5,00	0,07
Área urbanizada	0,11	0,11	0,14	0,20	1,00	0,03
Soma	2,09	3,59	7,34	20,20	31,00	1,00
		$\lambda = 5,04$	CI = 0,01	CR = 0,01		

(G)

Comparação e pesos do critério núcleos populacionais							
Descrição	2000 – 15000m	1000 - 2000m	500 - 1000m	250 - 500m	100 - 250m	>15000m	Pesos
2000 – 15000m	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	0,37
1000 - 2000 m	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	0,24
500 - 1000 m	0,33	0,50	1,00	3,00	4,00	5,00	0,18
250 - 500 m	0,25	0,33	0,33	1,00	3,00	4,00	0,11
100 - 250 m	0,20	0,25	0,25	0,33	1,00	3,00	0,06
>15000	0,17	0,20	0,20	0,25	0,33	1,00	0,04
Soma	2,45	4,28	6,78	11,58	17,33	24	1,00
		$\lambda = 6,14$	CI = 0,03	CR = 0,02			

(H)

Comparação e pesos do critério vias de acesso					
Descrição	>1000m	500 - 1000m	100 - 499m	<100	Pesos
>1000m	1,00	2,00	3,00	5,00	0,48
500 - 1000m	0,50	1,00	2,00	3,00	0,27
100 - 499m	0,33	0,50	1,00	3,00	0,18
<100	0,20	0,33	0,33	1,00	0,08
Soma	2,0	3,8	6,3	12,0	1,00
		$\lambda = 3,8$	CI = 0,07	CR = 0,07	

(I)

Comparação e pesos do critério ASA				
Descrição	> 20 km	9 – 20 km	< 9 km	Pesos
> 20 km	1,00	5,00	7,00	0,68
9 – 20 km	0,20	1,00	7,00	0,25
< 9 km	0,14	0,14	1,00	0,07
Soma	1,3	6,1	15,0	1,0
	$\lambda = 2,74$	CI = 0,13	CR = 0,12	

(J)

Comparação e pesos do critério UC				
Descrição	ZA >3 km	ZA < 3 km	UC	Pesos
ZA >3 km	1,00	5,00	7,00	0,68
ZA < 3 km	0,20	1,00	7,00	0,26
UC	0,14	0,14	1,00	0,06
Soma	1,3	6,1	15,0	1,0
	$\lambda = 2,74$	CI = 0,13	CR = 0,22	

APÊNDICE 3 – MATRIZES AHP INTETRVARIÁVEL

(A)

Comparação e pesos do meio físico					
Descrição	Recursos hídricos	Declividade	Hidrogeologia	Pedologia	Pesos
Recursos hídricos	1,00	2,00	3,00	4,00	0,47
Declividade	0,50	1,00	2,00	3,00	0,28
Hidrogeologia	0,33	0,50	1,00	2,00	0,16
Pedologia	0,25	0,33	0,50	1,00	0,09
Soma	2,08	3,83	6,50	10,00	1,0
	$\lambda = 3,79$	CI = 0,09	CR = 0,10		

(B)

Comparação e pesos do meio biótico/legal					
Descrição	Uso solo	Bioma	ASA	UC	Pesos
Uso solo	1,00	2,00	3,00	3,00	0,45
Bioma	0,50	1,00	2,00	2,00	0,26
ASA	0,33	0,50	1,00	2,00	0,17
UC	0,33	0,50	0,50	1,00	0,12
Soma	2,2	4	6,5	8	1,00
	$\lambda = 3,81$	CI = 0,06	CR = 0,07		

(C)

Comparação e pesos do meio antrópico			
Descrição	Núcleos populacionais	Sistema viário	Pesos
Núcleos populacionais	1,00	2,00	0,67
Sistema viário	0,50	1,00	0,33
Soma	1,5	3	1,00
	$\lambda = 2,0$	CI = 0,00	CR = 0,00

APÊNDICE 4 – MATRIZ AHP CENÁRIO

Comparação e pesos dos meios (físico, biótico/legal, antrópico/socioeconômico)				
Descrição	Físico	Biótico	Antrópico	Pesos
Físico	1,00	3,00	5,00	0,63
Biótico	0,33	1,00	3,00	0,26
Antrópico	0,20	0,33	1,00	0,11
Soma	1,53	4,33	9,00	1,00
	$\lambda = 2,66$	CI = 0,12	CR = 0,30	