

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

Renata Costa Lopes

**USO DE SIG NA ANÁLISE PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO NO
MUNICÍPIO DE UBERLÂNDIA – MG**

Uberlândia, MG

Agosto de 2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
RENATA COSTA LOPES

USO DE SIG NA ANÁLISE PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO NO
MUNICÍPIO DE UBERLÂNDIA – MG

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto de Ciências
Agrárias da Universidade Federal de
Uberlândia, como requisito para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia
Ambiental e Sanitária.

Orientadora: Prof. Dra. Raquel Naiara
Fernandes Silva.

Uberlândia, MG
Agosto de 2022

RESUMO

Segundo PLANERES (2022) a geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil aumentou quase 1% e chegou a 216.629 toneladas diárias. Como a população também cresceu no período (0,40%), a geração per capita teve elevação um pouco menor (0,39%). Isso significa que, em média, cada brasileiro gerou pouco mais de 1 quilo de resíduo por dia. Segundo o Banco Nacional do Desenvolvimento (2014) a região sudeste é a mais populosa do país (contém 42% da população nacional), concentra mais de 50% do PIB e é responsável pela geração de aproximadamente 50% dos resíduos sólidos no país. Cerca de 25,29% da população urbana de Minas Gerais, considerando dados do IBGE 2017, residem em áreas que não possuem meios de descarte em aterros sanitários, destinando assim seus resíduos sólidos em lixões e/ou aterros controlados. O atual cenário sobre as mudanças climáticas mostra a urgente necessidade de as autoridades nacionais colocarem a questão ambiental no centro dos debates de suas economias, buscando, dessa maneira, soluções ambientalmente adequadas que visem diminuir a dependência da utilização de combustíveis fósseis e não renováveis como fontes alternativas de energia. Destaca-se a utilização do metano presente no biogás, que, além de representar uma importante fonte alternativa de geração de energia, deixa de ser lançado na atmosfera, uma vez que é considerado um importante gás de efeito estufa. Nesse contexto, este estudo tem como objetivo avaliar a aptidão de áreas para a instalação de aterro sanitário no município de Uberlândia-MG, com o uso de Sistemas de Informações Geográficas – SIG, com apoio à decisão através da lógica booleana e a análise do potencial energético estimado para uma geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) para uma projeção de 20 anos. Uma análise criteriosa desses espaços territoriais é importante para garantir a minimização dos impactos ambientais provenientes desse tipo de empreendimento. A metodologia deste estudo consistiu no estabelecimento dos critérios de restrição, originando mapas booleanos com classificação de apto/ não- apto e uso de equações para a projeção populacional e sua respectiva produção de RSU. O resultado foi o mapa de aptidão para a instalação de aterro sanitário, que revelou 233,19 km² de área apta à instalação de aterro sanitário com uma geração de RSU de 930 t/dia com capacidade de aproveitamento energético de 139,5 MWh. A conclusão do estudo caracteriza as técnicas de geoprocessamento como uma ferramenta eficaz, rápida e de baixo custo, que podem vir a ser aplicadas em outros municípios, facilitando desta maneira a disposição final adequada dos resíduos sólidos urbanos.

Palavras-chaves: Aproveitamento energético; Aterro sanitário; Lógica booleana; Geoprocessamento; Resíduos sólidos urbanos

ABSTRACT

Second PLANARES (2022), the generation of urban solid waste in Brazil increased by almost 1% and reached 216,629 tons per day. As the population also grew in the period (0.40%), the per capita generation had a slightly lower increase (0.39%). This means that, on average, each Brazilian generated just over 1 kilo of waste per day. According to the Banco Nacional do Desenvolvimento (National Development Bank) in 2014 the Southeast region is the most populous in the country (contains 42% of the national population), concentrates more than 50% of GDP and is responsible for the generation of approximately 50% of solid waste in the country. About 25.29% of the urban population of Minas Gerais, according to IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Brazilian Institute of Geography and Statistics) data from 2017, live areas that do not have the means of disposal in sanitary landfills, thus disposing of their solid waste in dumps and/or controlled landfills. The current scenario on climate change shows the urgent need for national authorities to put the environmental issue at the center of debates in their economies, thus seeking environmentally adequate solutions that aim to reduce dependence on the use of fossil and non-renewable fuels as sources. The use of methane in biogas stands out, which, in addition to representing an important alternative source of energy generation, is no longer released into the atmosphere, since it is considered an important greenhouse gas. In this context, this study aims to evaluate the suitability of areas for the installation of a sanitary landfill in the city of Uberlândia-MG, with the use of Geographic Information Systems - GIS, with decision support through boolean logic and the analysis of the potential estimated energy for a generation of Urban Solid Waste (USW) for a 20-year projection. A careful analysis of these territorial spaces is important to ensure the minimization of environmental impacts from this type of enterprise. The methodology of this study consisted in the establishment of restriction criteria, originating Boolean maps with classification of fit/unfit and use of equations for the population projection and its respective production of USW. The result is the suitability map for the installation of a sanitary landfill, which revealed 233.19 km² of area suitable for the installation of a sanitary landfill with a generation of USW of 930 t/day with an energy use capacity of 139.5 MWh. The conclusion of the study characterizes the geoprocessing techniques as an effective, fast and low cost tool, which can be applied in other cities, thus facilitating the adequate final disposal of urban solid waste.

Keywords: Energy use; Landfill; Boolean logic; Geoprocessing; Urban solid waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Disposição Final Adequadas e Inadequada de RSU no Brasil Erro! Indicador não definido.	
Figura 2 - Diagrama de Venn.	17
Figura 3 – Fluxograma lógico do procedimento metodológico.	19
Figura 4 – Localização do município de Uberlândia – MG.	19
Figura 5 – Declividade do Município de Uberlândia – MG.....	22
Figura 6 – Solos do Município de Uberlândia – MG.	22
Figura 7 – Trecho Rodoviário e Mancha Urbana Município de Uberlândia – MG.	23
Figura 8 – Curso Hídrico e Bacias que compõem o Município de Uberlândia – MG.	24
Figura 9 – Buffer de 20 km Segurança Aeroportuária de	26
Figura 10 – Critérios Booleanos.....	27
Figura 11 – Área de Aptidão para instalação de Aterro Sanitário.....	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quadro de atributos na NBR 13869 (ABNT, 1997) para seleção de áreas para construção de aterros sanitários.....	13
Tabela 2 – Áreas aptas à instalação de Aterro Sanitário no município de Uberlândia -MG...	31
Tabela 3 – População Estimada de Uberlândia em uma projeção de 20 anos e RS Domiciliar produzido por dia.....	32

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	8
1.1	OBJETIVOS GERAIS.....	10
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1	RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	11
2.1.1	Aterro Sanitário	13
2.2	APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE ATERROS SANITÁRIOS	15
2.3	GEOTECNOLOGIAS	16
2.3.1	Lógica Booleana	17
3.	METODOLOGIA.....	19
3.1	ÁREA DE ESTUDO	19
3.2	VARIÁVEIS AMBIENTAIS	21
3.3	ANÁLISE MULTICRITÉRIO	26
3.4	APROVEITAMENTO ENERGÉTICO	28
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29
4.1	MAPA DE APTIDÃO.....	29
4.2	APROVEITAMENTO ENERGÉTICO	31
5.	DISCUSSÃO.....	33
	REFERÊNCIAS	35

1. INTRODUÇÃO

A quantidade de resíduos sólidos em um país está diretamente relacionada à evolução da sua população, ao nível de urbanização, ao desenvolvimento econômico e social, e ao poder de compra dos seus habitantes (LOPES E SILVA, 2020). O Brasil apresenta uma área de 8.515.767,049 km² e é o 5º país em extensão territorial do mundo, com uma estimativa de população de 210,1 milhões de habitantes e uma taxa de crescimento populacional de 0,79% ao ano (IBGE,2019).

O aumento da geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) pela população vem sendo discutido pela sociedade em diferentes aspectos, principalmente naqueles que afetam a qualidade de vida e poluição do meio ambiente. Apesar disso, a geração de RSU, considerada um dos setores básicos de saneamento não vem recebendo a atenção necessária por parte dos gestores públicos, resultando assim, em diversos problemas de cunho social, econômico, ambiental e de saúde.

A ABRELPE (2018) cita que entre 2017 e 2018, a geração de RSU no Brasil aumentou quase 1% e chegou a 216.629 toneladas diárias. Como a população também cresceu no período (0,40%), a geração per capita teve elevação um pouco menor (0,39%). Isso significa que, em média, cada brasileiro gerou pouco mais de 1 quilo de resíduo por dia.

No Estado de Minas Gerais, segundo o Panorama da destinação dos RSU no estado de Minas Gerais, em dezembro de 2017, 60,08% da população urbana, era atendida por sistemas de destinação final regularizados ambientalmente, porcentagem que representava 11.039.351 habitantes das áreas urbanas de 379 municípios mineiros, considerando dados da contagem IBGE 2016. Em dezembro de 2018, esse índice aumentou para 61,87%, correspondendo a 11.460.176 habitantes residentes nas áreas urbanas de 391 municípios mineiros, considerando dados da contagem IBGE 2017. Entretanto, cerca de 25,29% da população urbana de Minas Gerais, considerando dados do IBGE 2017, residem em áreas que não possuem meios de descarte em aterros sanitários, destinando assim seus resíduos sólidos em lixões e/ou aterros controlados.

Sendo assim, é importante destacar que a geração de resíduos e, conseqüentemente, seu tratamento e disposição final estão relacionados não apenas à população ou PIB de uma região, estado ou município, mas também às ações pelo poder público municipal que incentivem a não geração, redução, reutilização e reciclagem de resíduos

Na busca da gestão e gerenciamento adequado de resíduos sólidos urbanos foi aprovada em 2010 a Lei 12305/2010 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Tal

lei aborda novos conceitos e instrumentos que, somado às demais diretrizes apresentadas na PNRS, tem como objetivo a proteção à saúde pública e qualidade ambiental, bem como o estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços, entre outros.

Em se tratando da disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil predomina o uso dos aterros sanitários. Segundo Hamada (2003), os aterros sanitários compreendem uma forma segura de disposição dos resíduos, pela especificação em locais apropriados como pela implementação de sistemas de impermeabilização, drenagem, cobertura diária e final e tratamento dos efluentes líquidos e gasosos gerados.

Para Tchobanoglous, Theisen e Vigil (1993), do ponto de vista técnico, para a escolha da área de implementação de aterros sanitários, deve-se levar em consideração fatores relacionados as condições do solo e topografia, hidrologia e águas superficiais, condições geológicas, distância de meio urbano, entre outros.

Os aterros, normalmente, quando encerrados, não possuem aeração e, com isso, torna-se propícia a prevalência de bactérias anaeróbias no processo de degradação dos resíduos, produzindo, o biogás, rico em metano. Esse biogás, por sua vez, é coletado por tubulações e podem ser conduzidos para seu aproveitamento (BARROS, 2013). As principais formas de aproveitamento desse material são como energia térmica para aquecimento de água, ar ou ambiente, e eletricidade a partir de tecnologias como microturbinas, motores a pistão, turbinas a gás e vapor, bem como sistemas de ciclo combinado (CRA, 2004).

De acordo com um estudo realizado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), em conjunto com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), o Brasil possui um grande potencial de crescimento em relação ao potencial de geração de energia a partir de saneamento como fonte alternativa de energia renovável (BRASIL, 2010). No entanto, existem entraves técnicos, tecnológicos e financeiros e déficit no serviço de saneamento básico que impedem o incentivo dessa fonte como uma matriz limpa, renovável e significativa dentro do mercado energético brasileiro.

Nesse contexto, através dos sistemas de informações geográficas (SIG), com os quais os dados podem ser inseridos, armazenados, analisados, visualizados e disseminados (BATTY, 2007), o foco da representação de regiões e cidades se move a cada vez mais para o âmbito digital. O SIG é aceito como sendo a tecnologia que possui ferramentas necessárias para realizar análises com dados espaciais e oferece, ao ser implementado, alternativas para o entendimento da ocupação e utilização do meio físico, compondo o chamado universo da Geotecnologia

(SILVA, 1999). Tornando-se uma importante ferramenta que apoia à decisão, por permitir a manipulação de grandes volumes de dados, a integração de imagens, e possuir potencial para realizar grande diversidade de análises com eficiência a um baixo custo e em um curto espaço de tempo.

A avaliação de áreas aptas à instalação de um aterro sanitário significa uma decisão entre as possibilidades existentes, com base em critérios, representando uma base mensurável e avaliável para uma decisão, constituindo uma restrição. As restrições estão amparadas em critérios booleanos (verdadeiro ou falso, 0 ou 1) que analisam as regiões geográficas específicas, diferenciando-as em aptas e não aptas.

1.1 OBJETIVOS GERAIS

Esse trabalho tem como objetivo geral avaliar a aptidão de áreas para a instalação de aterro sanitário no município de Uberlândia-MG, com o uso de SIG, com apoio à decisão através da lógica booleana e a análise do potencial energético estimado para uma geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) para uma projeção de 20 anos.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

São objetivos específicos desta pesquisa:

- Levantar a revisão bibliográfica acerca do tema estudado;
- Definir critérios da lógica booleana;
- Obter base de dados cartográficos confiáveis;
- Criar mapas para cada critério estabelecido;
- Aplicar a análise multicritério;
- Obter e analisar o mapa de aptidão;
- Calcular a capacidade de aproveitamento energético.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Segundo Lopes & Silva (2020) a quantidade de resíduos sólidos urbanos de um país está diretamente relacionada à evolução da sua população e ao poder de compra dos seus habitantes. Desta forma, esta sociedade é responsável pela produção contínua de bens, e que o excesso destes se torna um obstáculo para a sociedade.

O senso comum entende que “lixo” é qualquer resíduo proveniente das atividades humanas ou gerados pelas aglomerações urbanas. Apesar de o termo lixo ser popularmente aceito e usado como sinônimo de resíduo, tecnicamente o termo não é adequado.

De acordo com a norma brasileira NBR 10004, de 1987 – Resíduos sólidos – classificação, resíduos sólidos são:

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

Para a Lei nº 12,305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, define os resíduos sólidos como:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

Essa definição destaca a diversidade e a complexidade dos resíduos sólidos. De forma geral, os resíduos sólidos urbanos (RSU) compõem os resíduos gerados por uma variedade de atividades realizadas em áreas com concentração humana do município, englobando resíduos de várias origens, como residencial, comercial, de estabelecimentos de saúde, industriais, da limpeza pública (varrição, capina, poda e outros), da construção civil e, finalmente, os agrícolas (ZANTA, 2003).

Entretanto, a dinâmica social que se desenvolveu em decorrência da pandemia teve um impacto significativo nos serviços de limpeza urbana e gestão de resíduos sólidos, que foram afetados pelo deslocamento e concentração das atividades em domicílios, locais para onde foram transferidas boa parte do descarte dos materiais consumidos. A geração de RSU, possui

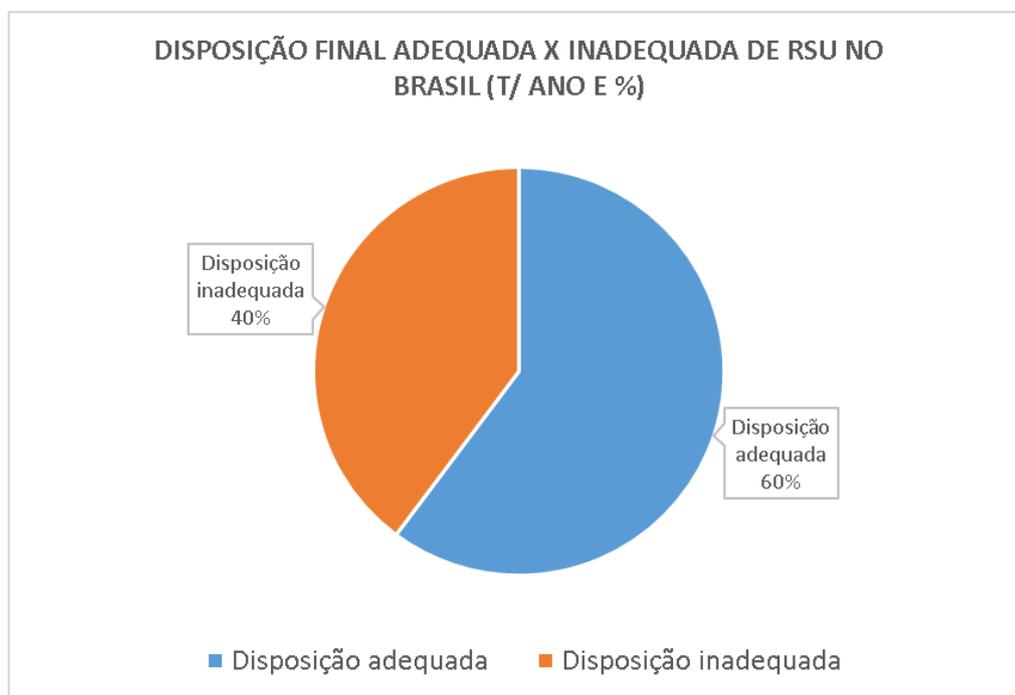
relação direta com o local onde se apresentam atividades humanas, considerando que o descarte de resíduos é resultado direto do processo de aquisição e consumo de bens e produtos.

A geração de RSU no país sofreu influência direta da pandemia da COVID-19 durante o ano de 2020, tendo alcançado um total de aproximadamente 82,5 milhões de toneladas geradas, ou 225.965 toneladas diárias, com isso, cada brasileiro gerou, em média, 1,07 kg de resíduo por dia (ABRELPE, 2021).

Sendo assim, é de suma importância a disposição final no solo, sendo o aterro sanitário uma das alternativas ambientalmente adequada previstas na PNRS, desde que observadas as normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

No Brasil, a maior parte dos RSU coletados foram dispostos em aterros sanitários. No ano de 2020, 46 milhões de toneladas foram enviadas para esses locais, equivalendo a mais de 60% dos resíduos coletados com destinação ambientalmente adequada no país (ABRELPE, 2021). Por outro lado, áreas de disposição inadequada, como lixões e aterros controlados, ainda estão em operação e receberam quase 40% do total de resíduos coletados, como apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Disposição Final Adequadas e Inadequada de RSU no Brasil



Fonte: adaptado ABRELPE, 2021

2.1.1 Aterro Sanitário

Segundo Hamada (2003), os aterros sanitários compreendem uma forma segura de disposição dos resíduos, pela especificação em locais apropriados como pela implementação de sistemas de impermeabilização, drenagem, cobertura diária e final e tratamento dos efluentes líquidos e gasosos gerados.

De acordo com a ABNT NBR 8419:1992, aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos

Consistem na técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza os princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho ou a intervalos menores se for necessário (ABNT, 1992).

Este método utiliza dos princípios da engenharia para confinar os resíduos sólidos em uma menor área possível e reduzir os volumes dos resíduos o máximo possível, cobrindo com uma camada de terra na conclusão de cada trabalho.

Segundo ABNT NBR 13896:1997 as características gerais que uma área destinada à construção de um aterro sanitário deve considerar: a minimização do impacto ambiental causado pelo aterro; maximização da aceitação pela população; área de acordo com o zoneamento da região e longa vida útil, necessitando do mínimo de obras para início da operação. Na Tabela 1 são apresentados os aspectos técnicos, referentes à escolha de áreas para implantação de aterros sanitários conforme apresentado na NBR 13896 (ABNT, 1997).

Tabela 1 – Quadro de atributos na NBR 13869 (ABNT, 1997) para seleção de áreas para construção de aterros sanitários.

Atributos	Considerações técnicas
Topografia	Declividade superior a 1 % e inferior a 30 %.
Geologia e tipos de solos existentes	É desejável a existência de um depósito natural extenso e homogêneo de materiais com coeficiente de permeabilidade inferior a 10 ⁻⁶ cm/s; é desejável uma zona não-saturada com espessura superior a 3,0 m.

Recursos hídricos	Deve ser localizado a distância mínima de 200 m de qualquer coleção hídrica ou curso de água (essa distância pode ser alterada a critério do Órgão de Controle Ambiental).
Vegetação	Estudo macroscópico da vegetação (pode atuar na redução da erosão, na formação de poeira e transporte de odores).
Acessos	Devem permitir sua utilização sob quaisquer condições climáticas.
Tamanho disponível e vida útil	Fatores inter-relacionados. Recomenda-se a vida útil mínima de 10 anos.
Custos	Determinam a viabilidade econômica do empreendimento.
Distância mínima de núcleos populacionais	Recomenda-se que seja superior a 500 m (essa distância pode ser alterada pelo Órgão de Controle Ambiental).
Áreas sujeitas à inundação	O aterro não deve se localizar em áreas sujeitas à inundação, em períodos de recorrência de 100 anos.

Fonte: NBR 13896 (ABNT, 1997).

Além dos aspectos da legislação ambiental e de licenciamento, a apresentação de projetos de aterros sanitários está sujeita a norma técnica ABNT NBR 8419:1992 “Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos”. De acordo com esta norma, um aterro sanitário deve possuir os seguintes elementos:

a) memorial descritivo: informações cadastrais, informações sobre os resíduos a serem dispostos no aterro sanitário, caracterização do local destinado ao aterro sanitário, concepção e justificativa do projeto, descrição e especificações dos elementos do projeto, operação do aterro sanitário, uso futuro da área do aterro;

b) memorial técnico: cálculo dos elementos do projeto, vida útil do aterro sanitário, sistema de drenagem superficial, sistema de drenagem e remoção de percolado, sistema de drenagem de gás, sistema de tratamento de percolado, cálculo de estabilidade dos maciços de terra e dos resíduos sólidos dispostos;

c) cronograma de execução e estimativa de custos: cronograma físico-financeiro para a implantação e operação do aterro sanitário;

d) desenhos: concepção geral, indicação das áreas de disposição dos resíduos sólidos, sistema de drenagem superficial e subsuperficial, sistema de drenagem de gases, sistema de tratamento do percolado, representação do aterro concluído, cortes, detalhes importantes;

e) eventuais anexos.

2.2 APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE ATERROS SANITÁRIOS

O aproveitamento do gás de resíduos, provém da necessidade do homem utilizar de maneira benéfica os gases provenientes da disposição de resíduos em aterros.

O gás de aterro é composto por vários gases, alguns existem em grandes quantidades como metano e dióxido de carbono e outros em pequenas quantidades. Segundo o Ministério do Meio Ambiente, os gases presentes nos aterros de resíduos incluem o metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), amônia (NH₃), hidrogênio (H₂), gás sulfídrico (H₂S), nitrogênio (N₂) e oxigênio (O₂). Pelas características dos RSU no Brasil, o biogás gerado na maioria dos aterros sanitários apresenta elevada concentração de metano, superior a 55%, e de Dióxido de Carbono, sendo superior a 30% (MAGALHÃES, 2007).

A produção de metano depende das características dos RSU (composição, tamanho das partículas, umidade, temperatura e pH) e das técnicas de implantação e operação dos locais de disposição final (NASCIMENTO et al., 2019). De acordo com Magalhães (2007), os resíduos na maioria dos aterros atingem um estágio metanogênico estabelecido em um período, dependendo da profundidade da massa de resíduos, a partir de seis meses após o descarte, em casos mais específicos, esse período pode durar até dois anos. E pode ser produzido biogás, em níveis declinantes, até 20 anos após o encerramento das atividades no aterro (MENDES & MAGALHÃES, 2005).

Para MONTAGNA (2013), que seja possível a recuperação energética de biogás, um aterro deve ter os seguintes sistemas:

- Sistema de impermeabilização superior – deve evitar a liberação de biogás na atmosfera. A cobertura superior dos aterros sanitários geralmente é feita com argila de baixa permeabilidade compactada;
- Poços de drenagem de biogás – esses poços, escavados na massa de resíduo, comumente são feitos com brita e podem ser verticais ou horizontais. Alguns aterros sanitários adotam um sistema misto;
- Rede de coleta e bombas de vácuo – a rede coletora de biogás transfere o biogás drenado dos poços para a unidade geradora de energia. A rede de coleta de biogás é feita de tubos

de polietileno de alta densidade e deve ser aterrada para evitar acidentes. A bomba de vácuo é importante para compensar a queda de pressão na tubulação e garantir um fluxo constante de biogás para o gerador.

- Grupos Geradores – Este equipamento utiliza um motor de combustão interna desenvolvido para operar com biogás como combustível. Também pode produzir energia através de turbinas. Deve ser realizado de maneira antecipada o estudo de viabilidade técnica e econômica para a instalação de unidades geradoras de energia elétrica em aterros sanitários. Este estudo deverá obrigatoriamente indicar o potencial de geração de biogás no aterro sanitário, em função da quantidade e da composição dos resíduos aterrados e avaliar o custo de geração de energia elétrica comparando com o valor cobrado pela concessionária local (IBAM/MIN. CIDADES, 2006).

O uso de energia renovável (biogás), apresenta vantagens ambientais, como a redução da emissão de gases de efeito estufa, e estratégias para reduzir a demanda de energia elétrica gerada por fontes convencionais.

2.3 GEOTECNOLOGIAS

Para IBAM (2015), geotecnologia pode ser definida como um conjunto de tecnologias que coletam, processam, analisam e disponibilizam dados e informações espaciais. São ferramentas capazes de combinar o comportamento espacial de elementos presentes na superfície do planeta com o processo de geração de informações sobre eles, através de sua localização, extensão e formato, permitindo então processar dados acerca do comportamento espacial de objetos na superfície do planeta e, também, extrair informações desses objetos com base nesse comportamento (IBAM, 2015).

O Sistemas de Informações Geográficas (SIG) é uma das principais geotecnologias, e é no seu ambiente que se integram os “produtos” das demais geotecnologias. Os primeiros SIG surgiram em meados de 1960, no Canadá. Estes sistemas, no entanto, eram demasiadamente difíceis de usar: não existiam monitores gráficos de boa resolução, os computadores necessários eram muito onerosos, e os profissionais tinham que ser altamente especializados e, portanto, também muito caros.

Durante a década de 1970, foram desenvolvidos novos e mais acessíveis recursos computacionais que possibilitaram o desenvolvimento de sistemas comerciais. Foi então criada a expressão Sistema de Informação Geográfica.

No final da década de 90 e início do século XXI, o SIG começou a se tornar corporativo e orientado à sociedade, com a utilização da Internet, de bancos de dados geográficos

distribuídos e com os esforços realizados em relação a interoperabilidade dos sistemas (FERREIRA, 2006).

Sendo assim, um SIG é um tipo especial de sistema de informação que não apenas controla eventos, atividades e coisas, mas também controla onde esses eventos, atividades e coisas acontecem ou existem (LONGLEY et al., 2009).

O SIG é frequentemente discutido na literatura, focando seus conceitos em sistemas operacionais. Porém, de uma forma mais ampla, SIG pode ser entendido como uma coleção de software, hardware, dados geográficos e profissionais para facilitar o processo de tomada de decisão que envolve o uso de informações georreferenciadas (NARUO, 2003).

Portanto, para Pendock & Nedeljkovic (1996) a maioria dos projetos desenvolvidos em SIG tem como principal argumento combinar dados espaciais, com o objetivo de analisar e descrever interações, fazer previsões por meio de modelos matemáticos e fornece suporte à decisão. Entre os métodos matemáticos mais utilizados na análise multicritério estão os métodos booleanos (LOPES & SILVA, 2022).

2.3.1 Lógica Booleana

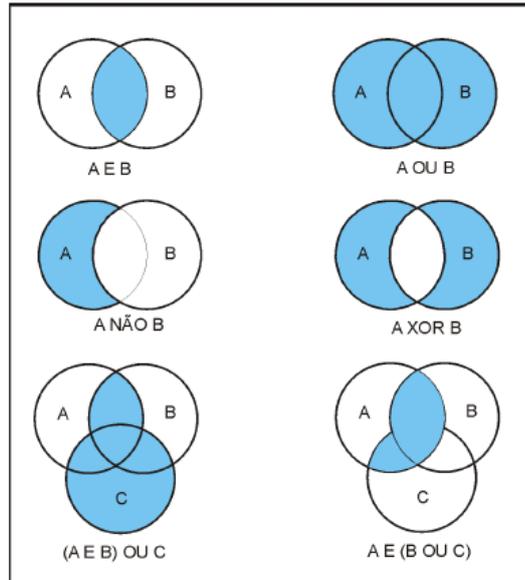
A lógica booleana surgiu no século XIX, justamente um dos períodos mais progressivos da história da matemática desde o tempo da Idade da Grécia (Boyer, 1968). Recebeu o nome de George Boole, que foi o primeiro a defini-las como parte de um sistema de lógica, mais especificamente, a Álgebra Booleana foi uma tentativa de utilizar técnicas algébricas para lidar com expressões no cálculo proposicional.

Do ponto de vista booleano, um elemento está dentro ou fora de um determinado conjunto. As classes são consideradas sistemas bivalentes com seus estados pertinentes, alternando entre inclusão e exclusão. Portanto, um elemento tem pertinência 0 se não estiver no conjunto e pertinência 1 se o elemento estiver no conjunto (LOPES & SILVA, 2020).

As Álgebras Booleanas são estruturas algébricas que “capturam a essência” das operações lógicas AND (E), OR (OU) e NOT (NÃO), ou seja, as operações da teoria de conjuntos, adição, e determinação do complementar estão na base deste algoritmo. Sendo assim, os operadores booleanos baseiam-se na álgebra de Boole e permitem efetuar operações de caráter lógico-matemático.

Os conceitos booleanos são explicados por meio dos diagramas de Venn, como apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Diagrama de Venn.



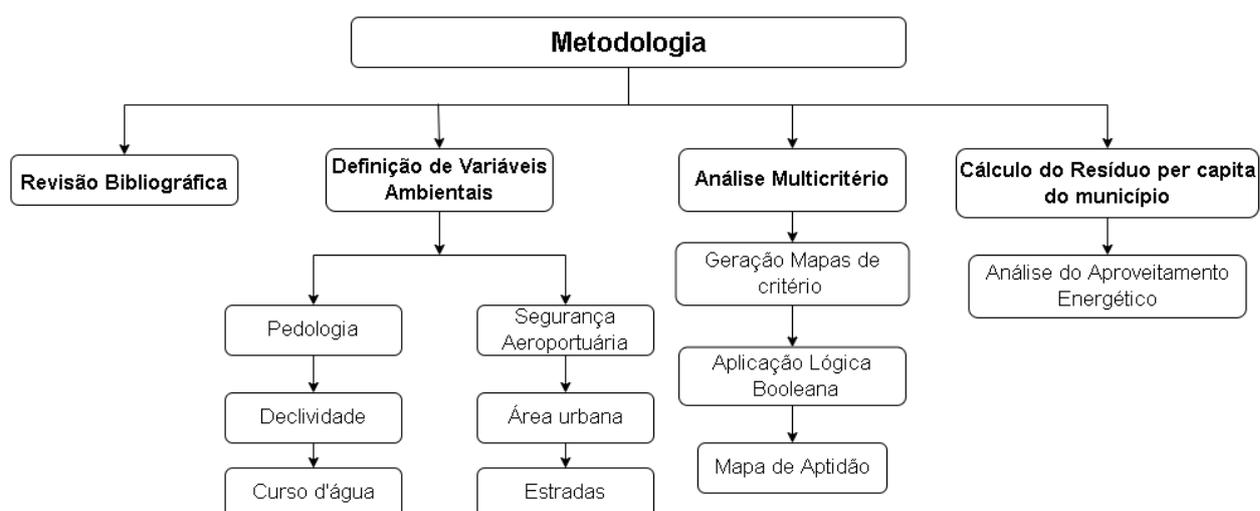
Fonte: Câmara et al. (2007).

Nesse conceito a função AND assume valor 1 quando todas as variáveis forem iguais a 1, e valor zero nos outros casos possíveis. A Função OR assume valor 0 quando todas as variáveis forem iguais a 0, e valor um nos outros casos possíveis. E a função NOT inverte a variável aplicada a sua entrada.

3. METODOLOGIA

O procedimento metodológico é apresentado pela Figura 3.

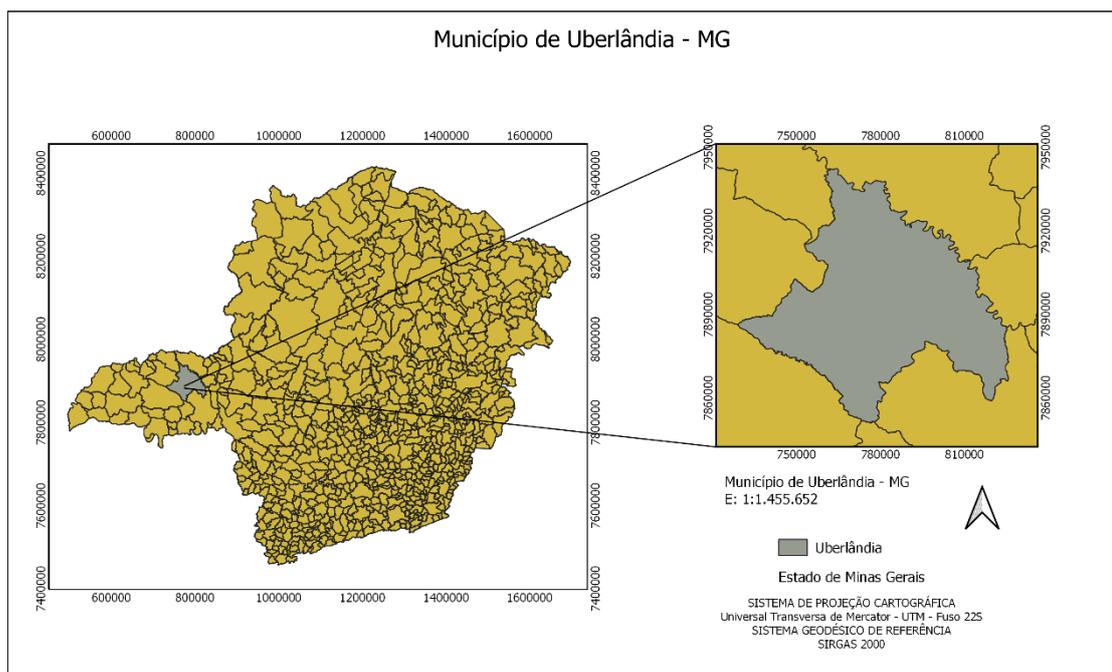
Figura 3 – Fluxograma lógico do procedimento metodológico.



3.1 ÁREA DE ESTUDO

O município de Uberlândia está localizado na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, no estado de Minas Gerais. Se localiza num importante entroncamento rodoferroviário, pelo qual passam importantes rodovias e a Ferrovia Centro Atlântica – FCA, a qual interliga Brasília (DF) ao porto de Santos, facilitando a comunicação com os principais centros urbanos das regiões Sudeste e Centro-Oeste (ANDRADE, 2005). A Figura 4 ilustra a localização de Uberlândia no Estado de Minas Gerais.

Figura 4 – Localização do município de Uberlândia – MG.



Fonte: Autor (2022)

O município é banhado pelo Rio Uberabinha afluente do Rio Araguari. Possui área territorial de 4.115,206 km², situado na latitude 18° 54' 41" Sul e longitude, 48° 15' 44" Oeste, com altitude de 843m, localizado no Fuso horário 22S, e população estimada em 706.597 habitantes (IBGE, 2021).

O clima de Uberlândia, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, com verões chuvosos e invernos secos, com precipitação média anual de 1342 mm (MENDES, 2001). Em termos de temperatura média, os meses com maior valor de temperatura de incluem setembro e abril, com valor médio superior a 23°C, sendo outubro e fevereiro os meses com maior valor, com 24,2°C e 23,9° C, respectivamente. Entre maio e agosto, as temperaturas são mais amenas, sendo junho e julho os mais frios, com 19,9°C e 20°C, respectivamente. Segundo Petrucci (2018) a temperatura média anual na cidade de Uberlândia-MG é de 22,6°C e o gradiente térmico entre o mês mais quente e o mais frio é de 4,3° C.

Os solos mais comuns na área são latossolos, intercalados com solos cambissolos e solos hidromórficos, como os gleissolos (AMARAL, 2021). Para o Instituto Agrônômico de São Paulo (2021), os solos glei estão presentes principalmente em várzeas ou planícies e, como fator limitante, apresentam alta frequência de alagamentos e tempos de saturação prolongados.

A geologia local presente na área urbana inclui as Formações Serra Geral e Marília. A Formação Serra Geral é caracterizada por rochas de erupção primária e pequenas lentes de arenito intercaladas com escoamento (Andrade, 2005). Segundo Nishiyama (1989), as litologias

básicas da Formação Geológica Serra estão presentes nas áreas expostas do vale do Rio Uberabinha e, nos interflúvios, que são recobertas por rochas sedimentares da Formação Marília e/ou sedimentos coloidais não consolidados. Tais condições geológicas favorecem o desenvolvimento de solos argilosos.

Formação Marília é caracterizada por arenitos com alta porcentagem de materiais finos e micáceos, arenitos conglomeráticos, conglomerados e conglomerados fortemente cimentados por material carbonático. Apesar da litologia desta formação abranger uma grande área do Triângulo Mineiro, as unidades litológicas desta formação geralmente se apresentam recobertas por sedimentos cenozóicos. Esta formação é representada por solos argilo-arenosos do tipo latossolo vermelho-amarelo e do tipo glei húmicos (Nishiyama, 1998).

3.2 VARIÁVEIS AMBIENTAIS

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram utilizados os seguintes materiais descritos a seguir.

- Software de geoprocessamento QGis, nas versões 3.4 e 3.10;
- Dados espaciais de limites municipais, hidrografia – IEDE/2017;
- Dados espaciais de solos – EMBRAPA/2016; Dados espaciais de Geologia – CODEMGE/2017;
- Dados espaciais Trechos rodoviários DEER 2011 – IEDE;
- Dados de Área Urbana – EMBRAPA/2018;

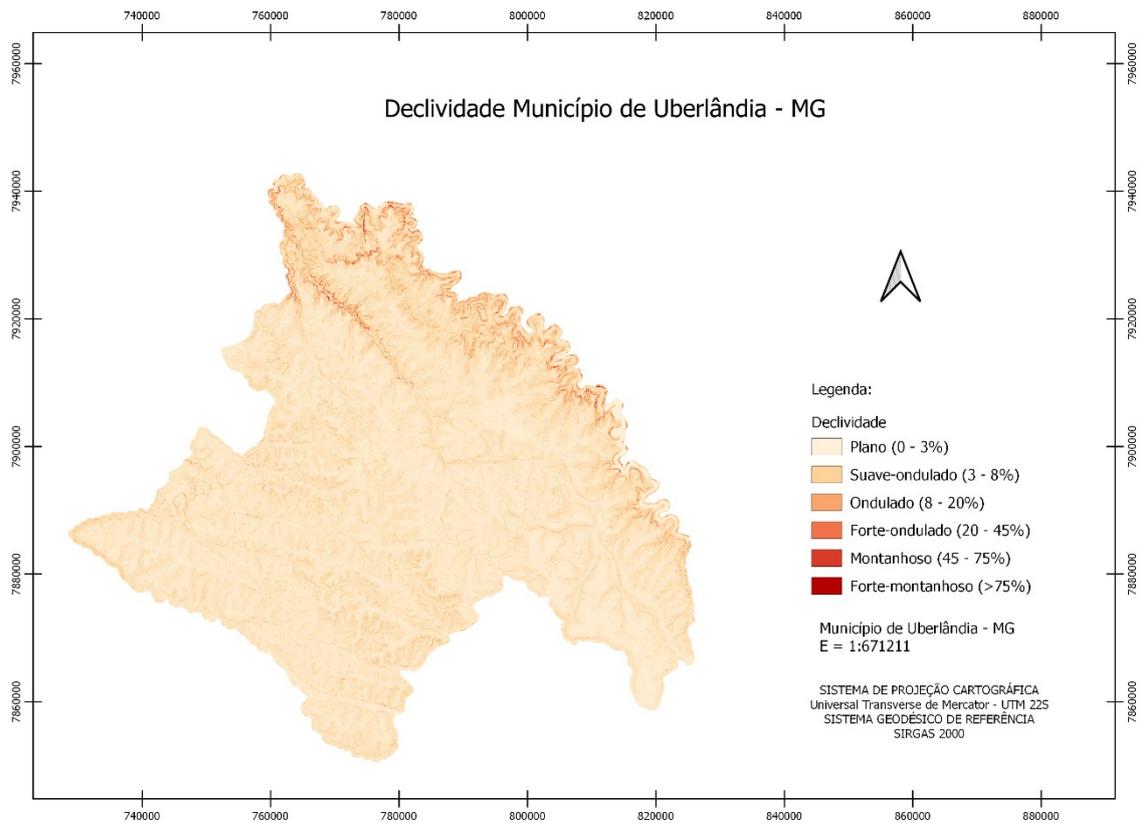
Existem diversas ferramentas que auxiliam na seleção de áreas para implantação de aterros sanitários, neste trabalho fez-se uso da lógica booleana juntamente com o Sistema de Informação Geográfica (SIG), o software Quantum Gis, mais conhecido como QGis.

A escolha dos critérios utilizados para o desenvolvimento deste estudo se deu por meio de autores como Silva (2009), Colavite e Passos (2012) e baseando-se na legislação vigente PLANARES (2022), a fim de que fossem selecionados os critérios ambientais e socioeconômicos que respeitassem a legislação ambiental vigente. São eles: Declividade, Solos, Malha rodoviária, Mancha urbana, Hidrografia e Segurança Aeroportuária.

3.2.1 Declividade

A Figura 5, demonstra a geração do mapa de declividade utilizando um Modelo Digital de Elevação (MDE) oferecido pelo projeto Topodata do INPE e classificado segundo a EMBRAPA.

Figura 5– Declividade do Município de Uberlândia – MG



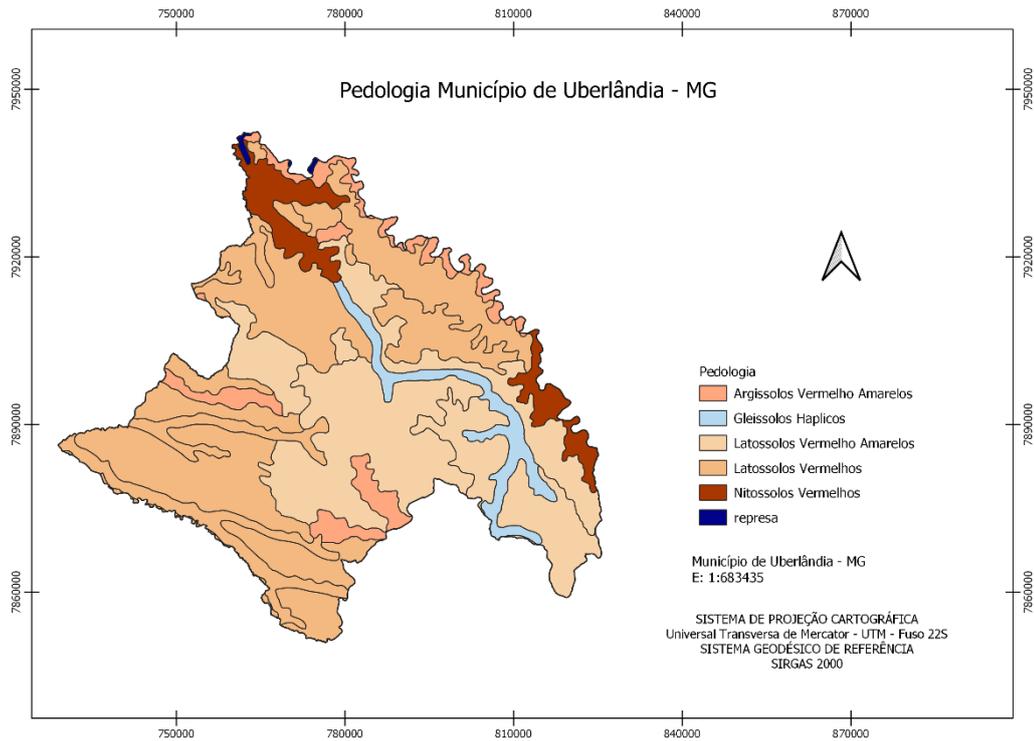
Fonte: Autor (2022)

Os mapas de declividade surgem como uma ferramenta de fundamental importância para a análise do relevo, sendo uma forma de representação temática da distribuição espacial dos diferentes níveis de inclinação existentes em um terreno amparando a análise da paisagem (Colavite e Passos, 2012).

3.2.2 Solos

Os mapas pedológicos apresentam a distribuição espacial dos solos, tendo assim informações dos recursos naturais de uma dada área. Nesse aspecto, a pedologia tem um papel fundamental no entendimento dos fatores de formação do solo e da sua fragilidade. A Figura 7, apresenta os solos encontrados no município em estudo.

Figura 6 – Solos do Município de Uberlândia – MG.



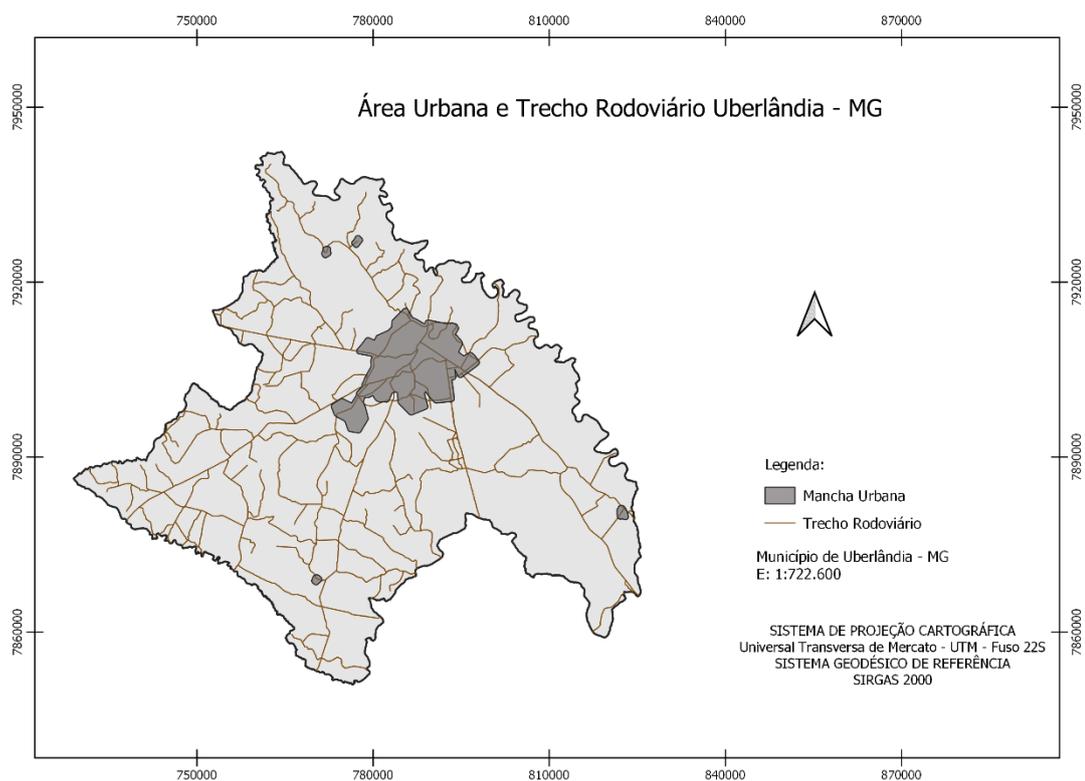
Fonte: Autor (2022)

3.2.3 Malha Rodoviária e Mancha Urbana

O estado de Minas Gerais tem a maior malha rodoviária do Brasil, equivalente a cerca de 16% do somatório de rodovias estaduais, federais e municipais de toda a malha viária existente no país. No estado, são 272.062,90 km de rodovias. Deste total, 9.205 km são de rodovias federais, 22.286 km de rodovias estaduais pavimentadas, e 240.571,90 km de rodovias municipais, na maioria não pavimentadas.

Quanto às características das estradas, a malha federal é quase toda pavimentada, 576,60 km não são pavimentados. A estadual se divide em 22.286 km pavimentados e 4.925,75 km não pavimentados e 316,4 km com obras de pavimentação em andamento. A maioria das rodovias municipais não é pavimentada. O acesso principal à região de Uberlândia, se dá pela BR 050 que liga Uberaba, Araguari e Uberlândia e é um decisivo corredor de tráfego na região do Triângulo Mineiro, além de dar acesso aos Estados de Goiás e de São Paulo, como apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Trecho Rodoviário e Mancha Urbana Município de Uberlândia – MG.



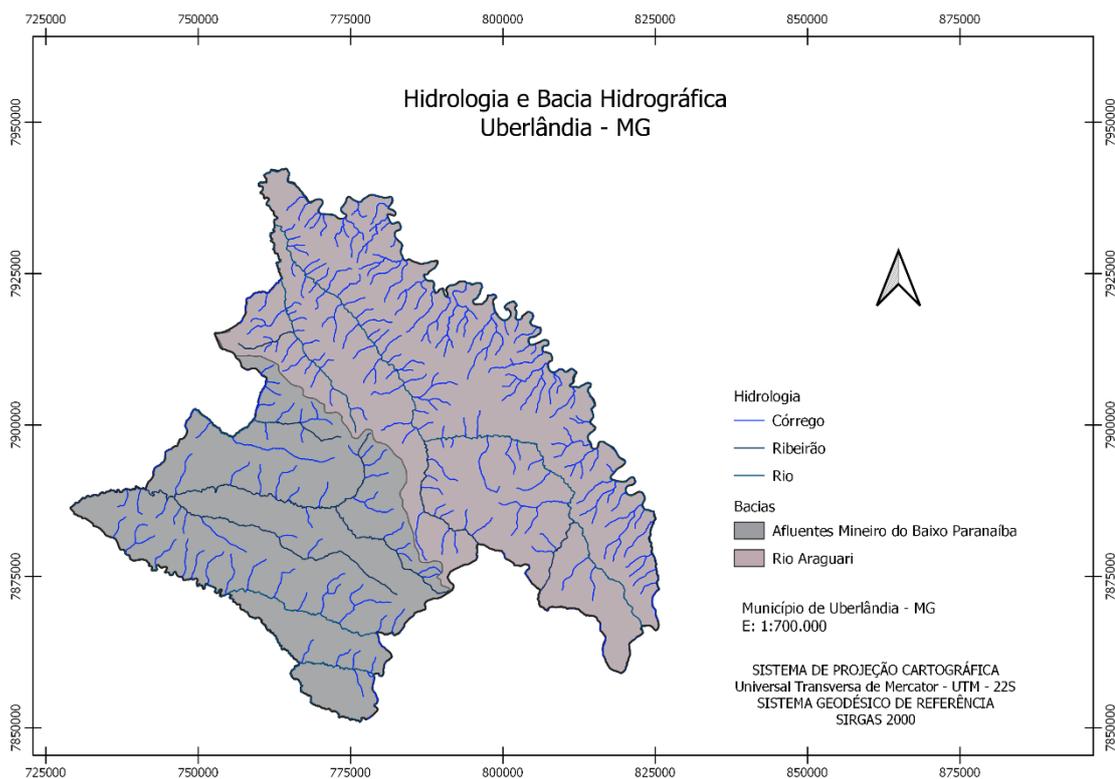
Fonte: Autor (2022)

3.2.4 Hidrografia

Segundo o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), a Bacia Hidrográfica do Rio Araguari situa-se nas mesorregiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, onde estão municípios como Uberlândia e Araxá. Abrangendo um total de 13 sedes municipais e apresentando uma área de drenagem de 21.566 km², a bacia possui uma população estimada de 741.486 habitantes. Já a Bacia Hidrográfica do Baixo Paranaíba também se situa nas mesorregiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, onde estão municípios como Uberlândia e Itumbiara. Abrangendo um total de 13 sedes municipais e apresentando uma área de drenagem de 26.973 km², a bacia possui uma população total estimada de 211.641 habitantes.

A Figura 8 apresenta a composição hidrográfica do município de Uberlândia sendo composto por rios, córregos e ribeirões, e o principal rio que corta o município é o Rio Uberabinha.

Figura 8 – Curso Hídrico e Bacias que compõem o Município de Uberlândia – MG.



Fonte: Autor (2022)

3.2.5 Segurança Aeroportuária

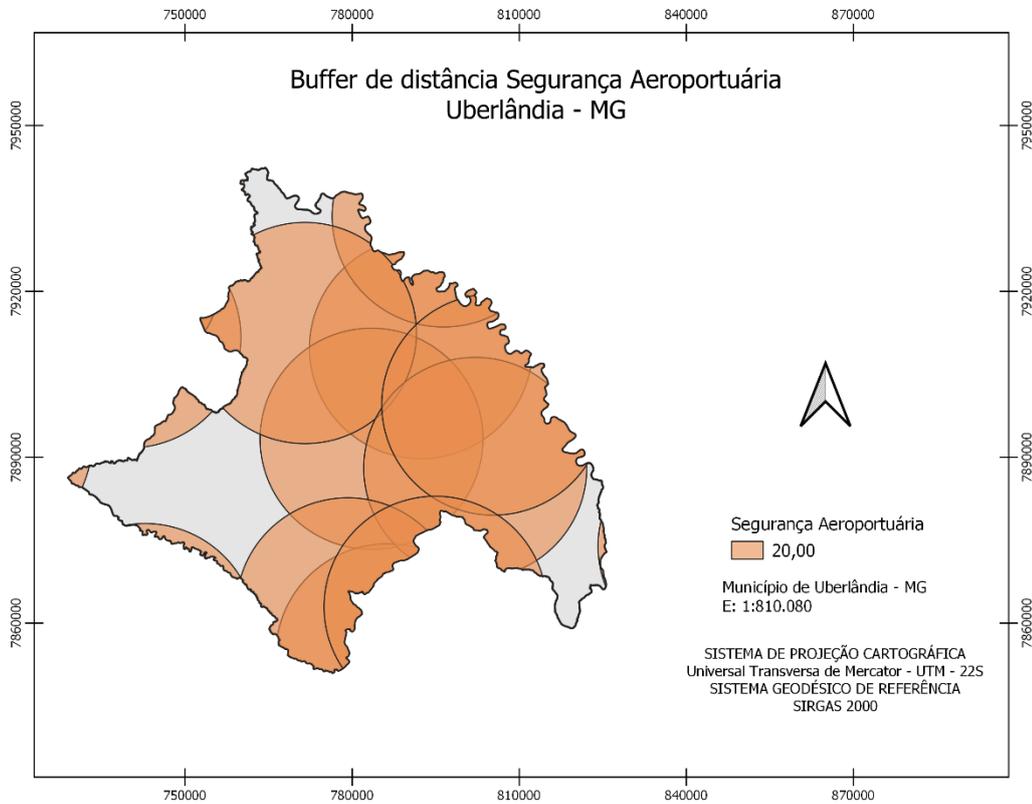
A Área de Segurança Aeroportuária (ASA), visa disciplinar a ocupação do solo nas áreas de entorno dos aeroportos e estabelece restrições à implantação de algumas atividades, consideradas de natureza perigosa, por se constituírem focos de atração de aves, que poderiam vir a colidir com as aeronaves.

Não é permitida a implantação de atividades de natureza perigosa, isto é, aquelas classificadas como foco de atração de pássaros, tais como matadouros, curtumes, vazadouro de lixo e culturas agrícolas que atraiam pássaros, assim como quaisquer outras atividades que possam proporcionar riscos semelhantes à navegação aérea (ARAÚJO, 2009).

O CONAMA define, no Art. 1º da Resolução nº 4, de 09/10/1995, a ASA como sendo a extensão abrangida por um raio preestabelecido, em função do tipo de operação do aeroporto e traçado a partir do “centro geométrico do aeródromo”.

Os dados de localização dos aeródromos no município de Uberlândia foram obtidos através do sistema de Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-Sisema), sendo orientado pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), como apresentado na Figura 10.

**Figura 9 – Buffer de 20 km Segurança Aeroportuária de
Município de Uberlândia – MG.**



Fonte: Autor (2022)

3.3 ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Os planos de informação classificados como restrições possuem caráter booleano e eliminam as áreas que, devido a impossibilidades técnicas ou legais, não podem ser utilizadas para destinação de resíduos sólidos.

Estabeleceu-se a distância mínima de 200 metros de qualquer corpo d'água, a fim de evitar possíveis contaminações dos mesmos. Tal distância foi tomada de acordo com a ABNT NBR 13896:1997. Para as distâncias mínima das estradas foi estabelecida em 500 metros em concordância com Silva (2009). A escolha da área de implantação do aterro deve ser de modo que haja viabilidade econômica no transporte e minimização dos custos de obras de acesso.

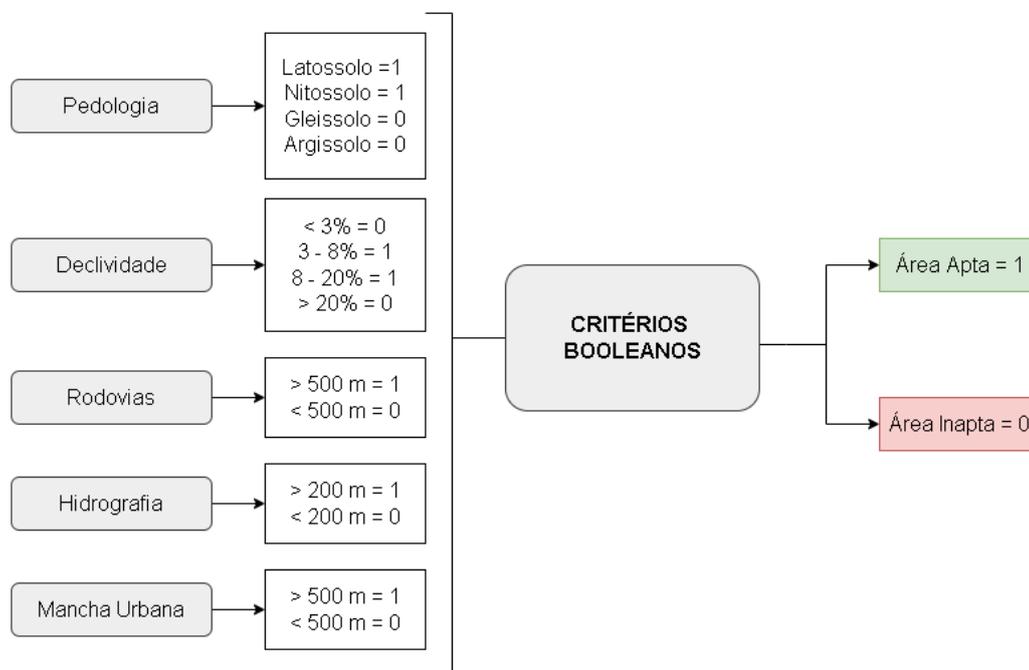
A distância mínima de manchas urbanas foi estipulada em 500 metros. Em referência à ABNT NBR 13.896: 1997 estabeleceu a distância mínima de 500 metros do aterro à núcleos

populacionais com o objetivo de conter a disseminação de doenças e evitar problemáticas com a população vizinha. Para as regiões abrangidas pela ASA, atribuiu-se dimensões variando de um raio de 20 km, para aeródromos que operam de acordo com as regras de voo por instrumento (IFR), a um raio de 13 km, para os demais aeródromos (ARAUJO, 2009).

A fim de aplicar a lógica booleana realizou-se a classificação dos critérios com valores binários (0 ou 1). A atribuição de valores binários, sendo 0 para critérios com baixa pertinência ou restrito e 1 para critérios pertinentes foi realizada de forma subjetiva, embasada nas normativas sobre o tema, chegando à formatação apresentada na Figura 11. Os valores binários atribuídos para pedologia e declividade foram definidos considerando o grau de fragilidade do terreno, sendo o valor 1 para terrenos com baixa fragilidade, valor 0 para terrenos com média e alta fragilidade. O valor 0 foi atribuído a fatores restritivos, ou seja, para fatores que impossibilitariam a implantação de um aterro sanitário.

A Figura 11 exibe de forma detalhada cada critério com seu respectivo atributo.

Figura 10 – Critérios Booleanos.



Fonte: Autor (2022)

3.4 APROVEITAMENTO ENERGÉTICO

O município de Uberlândia – MG está localizado na região do Triângulo Norte de Minas Gerais. De toda a população da cidade, 99,06% das pessoas são atendidas com coleta convencional de RSU e possui 85% da população atendida por coleta seletiva de Resíduos Sólidos.

A projeção da população e a quantidade de RSU gerada no município de estudo são fundamentais para as análises de produção de biogás. Assim, estimou-se o crescimento populacional com base em dados históricos dos censos demográficos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para um período de 20 anos (2021 a 2041). A taxa anual de crescimento foi calculada a partir da taxa de crescimento do município de Uberlândia-MG, conforme Equação 1.

$$\sum P_{\text{futura}} = \sum P_{\text{atual}} \times \left(1 + \frac{\% \text{cres}}{100}\right) \quad (1)$$

Onde,

$\sum P_{\text{futura}}$ = Somatório da população futura;

$\sum P_{\text{atual}}$ = Somatório da população atual;

%cres = Taxa de crescimento para o município de Uberlândia em 2020;

A estimativa utilizada para o cálculo de resíduos produzidos foi referenciada a partir do modelo local de variáveis socioeconômicas conjunturais expressas na Equação 2 (DIAS et al, 2012).

$$Y = -0,00000005 x^2 + 0,0006 x + 0,2848 \quad (2)$$

Onde:

Y = Produção diária de RSU per capita (kg/hab. dia);

x = Renda per capita mensal (R\$/mês).

Os dados utilizados foram adquiridos e trabalhados com base nas informações censitárias de rendimento nominal domiciliar (renda per capita) do município baseado em dados do IBGE (2020).

Assim, quando se aplica a Equação 2 para o socioeconômico estipulado, descortina-se o modelo de estimativa de geração total de resíduos sólidos de Uberlândia a partir da Equação 3.

$$C = \sum P \times (-0,00000005 x^2 + 0,0006 x + 0,2848) \quad (3)$$

No qual,

C = quantitativo total produzido de resíduo sólido domiciliar por dia (kg/dia);

x = Renda per capita mensal média (R\$/mês);

P = População na região considerada;

Portanto, pode-se calcular a geração de RSU referente a população estimada em 20 anos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 MAPA DE APTIDÃO

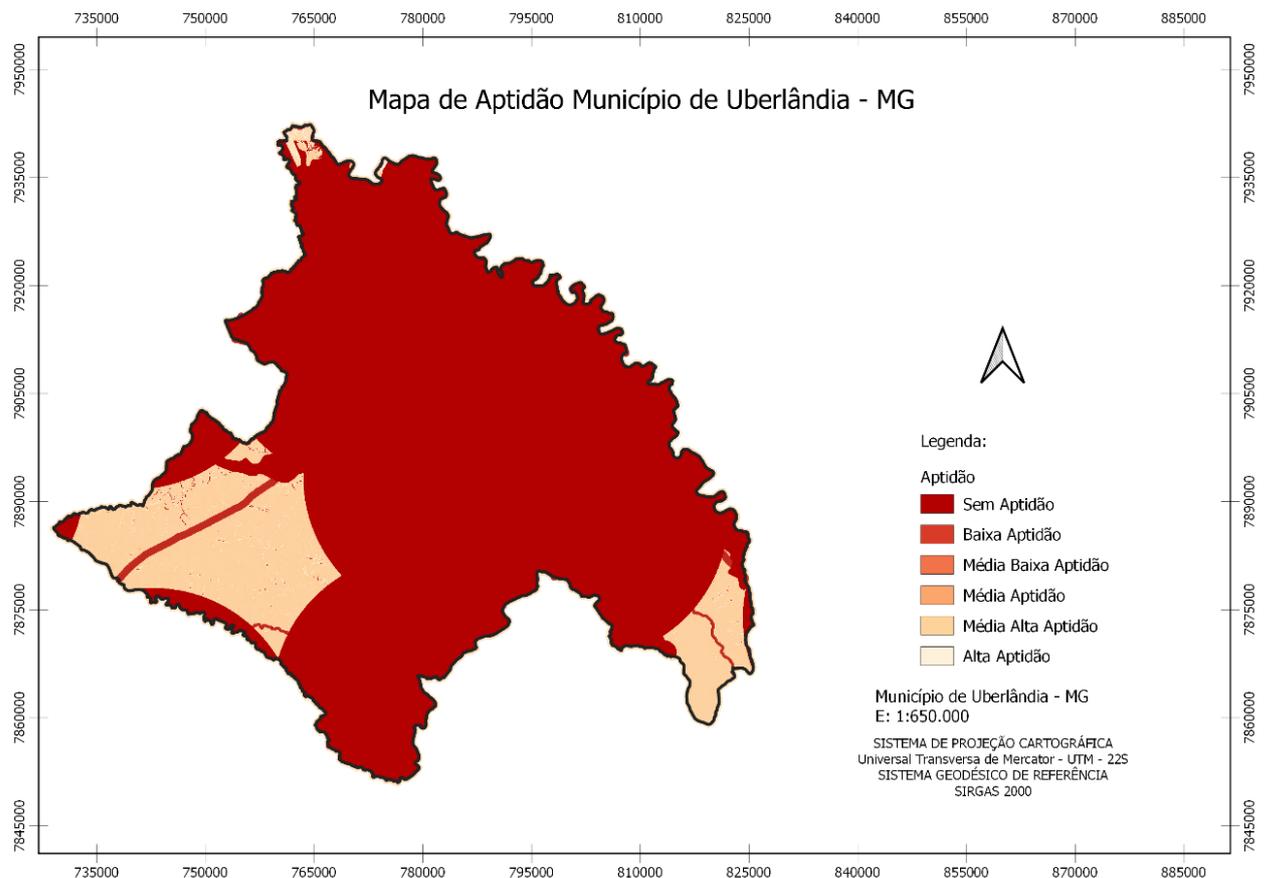
Os aterros sanitários são importantes pois solucionam parte dos problemas causados pelo excesso de lixo gerado nas grandes cidades. E ainda tem a forma ambientalmente correta para tratar e disposição de resíduos.

Intervir eficazmente através de um processo de auxílio à escolha de áreas para implantação de um aterro sanitário não significa apenas utilizar-se de dados corretos, mas, sobretudo, obter um modelo de raciocínio capaz de traduzi-los em informações capazes de subsidiar as decisões envolvidas neste processo (BORN, 2013).

Após a estruturação e padronização dos mapas temáticos dos fatores utilizados para definição das áreas aptas para instalação de aterro sanitário, desenvolveu-se uma regra de decisão para alcançar os objetivos do estudo. Portanto, o geoprocessamento se caracteriza como um instrumento de redução da subjetividade no processo de decisão, no qual é possível atribuir pesos aos fatores considerados na análise.

Padronizados os fatores de aptidão, determinados os critérios de restrição e seus respectivos pesos, utilizou-se a ferramenta Calculadora Raster do SIG QGIS 'Madeira' – versão 3.4.15, que possibilita a aplicação da lógica booleana, gerando o mapa de aptidão para instalação de aterro sanitário (Figura 12).

Figura 11 – Área de Aptidão para instalação de Aterro Sanitário.



Fonte: Autor (2022)

Analisando o mapa de aptidão para a instalação de aterros sanitários percebe-se que as áreas aptas se localizam em regiões de baixa fragilidade do solo, ou seja, em região de Latossolo e com baixa declividade. Normalmente Latossolos são profundos e bem drenados. No Brasil, o termo “solo frágil” com frequência designa solos com elevado risco a degradação principalmente por ação antrópica (Albuquerque et al., 2015). Na engenharia ambiental e sanitária designa solos com baixa capacidade de suporte de resíduos, com potencial de toxicidade e risco de poluição dos recursos hídricos (Olson, 1973).

As áreas sem aptidão se encontram nas regiões de segurança aeroportuária, a partir do centro geométrico da maior pista do aeródromo, com 20 km de raio, cujos uso e ocupação estão sujeitos a restrições especiais em função da natureza atrativa de fauna.

As regiões sem aptidão se deram em terrenos com uma declividade ondulado (8% a 20%) a forte-ondulado (20% a 45%) não atendendo assim a norma brasileira. A modelagem booleana apontou as regiões abrangidas pela ASA como áreas sem aptidão, seguindo assim a Resolução N° 611 da ANAC (2021), devido a estas áreas estarem sujeitas a uso e ocupação com restrições especiais à implantação de atividades com natureza atrativa de fauna, impossibilita

assim a implantação de um aterro sanitário em tais áreas; e em regiões de Gleissolos, que são solos minerais e hidromórficos (LOPES & SILVA, 2022).

Segundo Oliveira Neto (2011) os Gleissolos compreendem solos mal a muito mal drenados e devido à presença de lençol freático elevado e ao risco de inundações ou alagamentos frequentes, sendo assim inadequado para a instalação de um aterro sanitário.

Portanto, as áreas aptas para a instalação de aterro sanitário, obtidas a partir da avaliação por lógica booleana são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Áreas aptas à instalação de Aterro Sanitário no município de Uberlândia -MG

Aptidão	Área Total (Km²)	%
Sem Aptidão	3310,67	80,45
Baixa	324,99	7,90
Média	11,71	0,28
Média Alta	234,65	5,70
Alta	233,19	5,67
Total	4115,206	100,00

A área de estudo apresenta aproximadamente 6% do seu território, 233,19km², com características de alta aptidão para a instalação de aterro sanitário. As áreas que apresentam restrições absolutas, representadas pelos recursos hídricos, estradas, manchas urbanas e a ASA compreendem uma porção de 80,0% do território, 3.310,67km², não sendo indicadas para a instalação de aterros sanitários. O território é contemplado por diversos raios de ASA, sendo que alguns apresentam centro geométrico no próprio município e outros apresentam centro geométrico em municípios vizinhos abraçando assim a cidade com seu raio de restrição.

4.2 APROVEITAMENTO ENERGÉTICO

Em 1997, foi elaborado o Protocolo de Kyoto, que estabeleceu uma redução de emissões dos três principais gases de efeito estufa que causam o aquecimento global: gás carbônico (CO₂), o metano (CH₄) e o dióxido de nitrogênio (NO₂). O CO₂ é o maior contribuinte do total das emissões de gases de efeito estufa dos países desenvolvidos, devido à queima de combustíveis fósseis. Em segundo lugar está o CH₄, que possui potencial de aquecimento global 21 vezes superior ao do CO₂ (IPCC, 1996) e é gerado nos aterros de RSU, portanto, é de suma importância dar o tratamento adequado a esses gases.

A Tabela 3 apresenta a população estimada para o município em 20 anos, admitindo a mesma taxa de crescimento e o quantitativo total de resíduo sólido domiciliar produzido por dia.

Tabela 3 – População Estimada de Uberlândia em uma projeção de 20 anos e RS Domiciliar produzido por dia.

Ano	População Estimada	Quantitativo total produzido de RS domiciliar por dia (t/dia)
2010	604.013	596,08
2021	706.597	697,32
2022	716.843	707,43
2023	727.237	717,69
2024	737.782	728,09
2025	748.480	738,65
2026	759.333	749,36
2027	770.343	760,23
2028	781.513	771,25
2029	792.845	782,43
2030	804.341	793,78
2031	816.004	805,29
2032	827.836	816,97
2033	839.840	828,81
2034	852.017	840,83
2035	864.372	853,02
2036	876.905	865,39
2037	889.620	877,94
2038	902.520	890,67
2039	915.606	903,58
2040	928.882	916,69
2041	942.351	929,98

Seguindo essa taxa de crescimento o município de Uberlândia poderia atingir a marca de um milhão de habitantes até 2050, gerando assim cerca de 1 mil toneladas de resíduos sólidos domiciliares por dia. Segundo Reichert (2014), cada tonelada de resíduo disposto possui potencial energético da ordem de 0,1 a 0,2 MWh, sendo assim, o município apresentaria um potencial energético de aproximadamente 139,5 MWh em uma projeção de 20 anos.

5. DISCUSSÃO

Para Born (2013), a avaliação de áreas para a localização de aterro sanitário constitui-se num importante instrumento de planejamento ambiental, pois até mesmo um aterro sanitário que cumpra os critérios técnicos de engenharia, se instalado numa área desfavorável pode vir a causar prejuízos significativos ao meio ambiente e à sociedade.

Intervir de forma eficaz por meio de um processo que auxilie na seleção de áreas para implantação de um aterro significa não apenas utilizar dados precisos, mas sobretudo obter um raciocínio que os modelos sejam capazes de traduzi-los em informações que possam auxiliar nas decisões a respeito (BORN, 2013).

Entrar em contato com métodos de seleção de locais para instalação de aterros sanitários nos permite afirmar que não existe um método padrão, universalmente aplicável (LINO, 2007). Os parâmetros analíticos são inerentes às áreas em estudo, sendo possível estabelecer regras rígidas para tipos de parâmetros somente quando existem legislações específicas (BROLLO, 2004).

6. CONSIDERAÇÃO FINAIS

As técnicas de geoprocessamento se mostraram ferramentas eficazes, rápidas e adequadas para a realização das análises propostas neste trabalho. O único pré-requisito é a disponibilidade de imagens de satélite e de dados sobre a região (SANTOS E GIRARDI, 2007).

O Brasil tem um potencial considerável de utilização do biogás para geração de energia elétrica em diversos aterros sanitários, se considerarmos o volume de RSU gerado. No entanto, esse potencial estimado ainda é controverso, possivelmente devido ao uso de diferentes métodos de avaliação, ao uso de dados desatualizados sobre a quantidade e composição dos RSU e a falta de informações técnicas e ambientais nos aterros existentes (NASCIMENTO et al., 2019).

O desenvolvimento deste trabalho, de acordo com a metodologia proposta, possibilitou o alcance dos objetivos. Contudo, é importante frisar que o estudo foi realizado de forma remota, sendo assim, necessárias visitas às áreas aptas para identificação do uso do solo na região.

O SIG Quantum Gis se mostrou uma ferramenta prática e confiável para a seleção de áreas mais adequadas à instalação de aterro sanitário. Sendo uma ferramenta de baixo custo e eficaz, visando minimizar os impactos ambientais causados por esse tipo de empreendimento.

Segundo Miranda et al. (2019), uso da lógica booleana ajuda a facilitar a análise espacial com a aplicação da ferramenta, permitindo investigações rápidas, mas eficientes e uma melhor visão da área como um todo. Além disso, os autores apontam que trabalhar com critérios que tem delineamento espacial e sua integração, elimina efetivamente a subjetividade na escolha do local de implantação, ponto que pode haver conflitos entre a gestão e a comunidade local, bem como o direcionamento para maior sustentabilidade deste tipo de negócio.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 13896: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação.** Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil.** São Paulo: ABRELPE, 2021.

ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil.** São Paulo: Abrelpe, 2018. 72 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. RBAC 164: Regulamentos Brasileiros de Aviação Civil. Gerenciamento do risco da fauna nos aeródromos públicos. Brasília, 2014. Disponível em <http://www2.anac.gov.br/biblioteca/rbac/RBAC164EMD00.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2022.

ALBUQUERQUE, J.A.; DE ALMEIDA, J.A.; GATIBONI, L.C.; ROVEDDER, A.P.; COSTA, F.D.S. Fragilidade de Solos: uma análise conceitual, ocorrência e importância agrícola para o Brasil. In: CASTRO, Selma Simões de. **SOLOS FRÁGEIS: Caracterização, manejo e Sustentabilidade.** Brasília: Embrapa, 2015. Cap. 1. p. 25-50.

ANDRADE, R.F. (2005). **Mapeamento geotécnico preliminar em escala de semi-detalhe (1:25.000) da área de expansão urbana de Uberlândia – MG.** Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2005. 114 p.

ARAÚJO, Janaína. **ZONAS DE PROTEÇÃO E ÁREA DE SEGURANÇA AEROPORTUÁRIA.** Goiás: Puc Goiás, 2009.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8419 (NB-843/1983):**

BARROS, R.M. (2013). **Tratado sobre Resíduos Sólidos: Gestão, uso e sustentabilidade.** Rio de Janeiro: Interciência.

BATTY, M. (Apres.); ALMEIDA, C. M.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. (Orgs.). **Geoinformação em urbanismo: cidade real X cidade virtual.** São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BERTOLUCCI, L.; SAGULA, M. F. R.; TENÓRIO, A. C. B. G. **DADOS POPULACIONAIS:** estimativas populacionais no ano de 2021 para os municípios componentes das Regiões Geográficas Intermediárias de Uberlândia, Uberaba e Patos de Minas. **BOLETIM.** Uberlândia: CEPES/IERIUUFU, 37 p., dezembro de 2021. Disponível em: <http://www.ieri.ufu.br/cepes/publicacoes/boletins/populacao>. Acesso em: jul. 2022.

BORN, V. **Avaliação da aptidão de áreas para instalação de aterro sanitário com uso de ferramentas de apoio à tomada de decisão por múltiplos critérios**. Lajeado: Centro Universitário Univates, 2013. (TCC de Graduação).

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 24 maio 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. (2010). Estudo sobre o Potencial de Geração de Energia a partir de Resíduos de Saneamento (lixo, esgoto), visando incrementar o uso de biogás como fonte alternativa de energia renovável. São Paulo. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/164/_publicacao/164_publicacao10012011033201.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2022.

_____. (2015) Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Atividades de Projetos MDL Aprovados nos Termos da Resolução nº 1. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Disponível em: <https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/mecanismo_de_desenvolvimento_limpo/Mecanismo_de_Developmento_Limpo.html>. Acesso em: jul. 2022.

BROLLO, M. J. Seleção de áreas para implantação de aterros sanitários. Anais do RESID'2004 - Seminário sobre Resíduos Sólidos, São Paulo, ABGE, 2004.

CONESTOGA-ROVERS & ASSOCIATES (CRA). (2004) Handbook for the Preparation of Landfill Gas to Energy Projects in Latin America and the Caribbean. Washington, DC: The World Bank – Energy Sector Management Assistance Programme (ESMAP). Disponível em: <<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/18081/332640handbook.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 20 jul. 2022.

DIAS, D. M. *et al.* Modelo para estimativa da geração de resíduos sólidos domiciliares em centros urbanos a partir de variáveis socioeconômicas conjunturais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Belo Horizonte, v. 17, n. 3, p. 325-332, jul. 2012.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE (FEAM) (2009). Análise de pré-viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação de um sistema de aproveitamento energético de biogás em um aterro sanitário existente no estado de Minas Gerais. Relatório 1. Belo Horizonte: FEAM. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/fean/parte_1.pdf>. Acesso em: jul. 2022.

HAMADA, J. **Concepção de aterros sanitários: análise crítica e contribuições para seu aprimoramento no Brasil**. Bauru: UNESP/FEB, 2003. (Tese de Livre Docência).

HAMADA, J. **Concepção de Aterros Sanitários: Análise Crítica e Contribuições para seu Aprimoramento no Brasil**. 2003. 254p. Tese (Livre Docência) – UNESP/FEB, Bauru, 2003.

IBAM/MIN. DAS CIDADES – Escola Nacional de Serviços Urbanos; Ministério das Cidades e PMSS – Secretária Nacional de Saneamento Ambiental. **Biogás em aterros e os créditos de carbono.** S/d.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Populacional por municípios: censos anteriores, censo 2021 e projeções futuras.** IBGE, 2021.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Rendimento domiciliar per capita.** IBGE, 2020.

IGAM, Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Bacia hidrográfica do Rio Paranaíba.** Disponível em:

<http://www.igam.mg.gov.br/component/content/153?task=view#:~:text=A%20Bacia%20Hidrográfica%20do%20Rio%20Araguari%20situa-se%20na%20mesorregiões,população%20estimada%20de%20741.486%20habitantes..>

Acesso em: 11 jul. 2022.

INSTITUTO AGRONÔMICO (IAC). Gleissolos. Disponível em:

<http://www.iac.sp.gov.br/solosp/pdf/Gleissolos.pdf>. Acesso em: 17/06/2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL (IBAM). Caderno de estudo: Introdução à geotecnologia. / IBAM. – Rio de Janeiro: IBAM, 2015.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). (1996). **Guia para inventários nacionais de gases de efeito estufa.** Módulo 6: Lixo. Estados Unidos: IPCC. v. 2. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6.html>.

Acesso em: jun. 2022.

Lino, I. C. **Seleção de áreas para implantação de aterros sanitários:** análise comparativa de métodos. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, 2007. (Dissertação de mestrado).

LONGLEY, P. A. *et al.* **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica.** 3. ed. São Paulo: Bookman Editora, 2009.

LOPES, R. C.; SILVA, R. N. FERNANDES. Aplicação Das Lógicas Booleana e Fuzzy na Determinação de Áreas Aptas para a Implantação de Aterro Sanitário. **Geosciences = Geociências**, v. 41, n. 1, p. 287-297, 2022.

MAGALHÃES, M. H. **Estudo ambiental para seleção de áreas para implantação de aterros sanitários com recuperação de energia na Bacia do Rio Sapucaí.** 2007. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências da Engenharia da Energia, Engenharia da Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá-Mg, 2007.

MENDES, L. G. G. & MAGALHÃES SOBRINHO, P. **Métodos de estimativa de geração de biogás em aterro sanitário.** Ver. Ciências Exatas, v:11, n. ° 22, 71-76, Taubaté, 2005.

MENDES, P. C. A gênese espacial das chuvas na cidade de Uberlândia (MG). Uberlândia, 2001. 86f. Tese (Mestrado em Geografia) –Universidade Federal de Uberlândia, 2001.

MIRANDA, G. L.; SIMIÃO, J. B.; ABREU, P. H. S.; VIEIRA, E. M. Minimização do conflito na gestão do território por meio do emprego da lógica booleana e critérios geoambientais para definição de áreas favoráveis à implantação de aterro sanitário: estudo de caso no Município de Itabira-MG. **Holos Environment**, v.19, n.4, p.578-595, 2019. <https://doi.org/10.14295/holos.v19i4.12353>

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Aproveitamento Energético do Biogás de Aterro Sanitário**. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos/aproveitamento-energetico-do-biogas-de-aterro-sanitario.html>. Acesso em: 30 maio 2022.

NASCIMENTO, M. C. B. *et al.* Estado da arte dos aterros de resíduos sólidos urbanos que aproveitam o biogás para geração de energia elétrica e biometano no Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 24, n. 1, p. 143-155, fev. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522019171125>.

NISHIYAMA, L. (1998). **Procedimentos de mapeamento geotécnico como base para análises e avaliações ambientais do meio físico, em escala 1:100 000, aplicados ao município de Uberlândia-MG**. São Carlos-SP. Tese de Doutorado, USP de São Carlos.

NISHIYAMA, L. (1989). **Geologia do município de Uberlândia e áreas adjacentes**. Sociedade & Natureza, Uberlândia, v. 01, n. 01. pp. 9-15, 1989.

OLIVEIRA NETO, M. B. Gleissolo. AGEITEC - Agência Embrapa de Informação Tecnológica. 2011. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_mata_sul_pernambucana/arvore/CONT000gt7eon7k02wx7ha087apz2kfhpkns.html. Acesso em: jul. 2022.

OLSON, G.W. Improving uses of soils in Latin America. **Geoderma**, Amsterdam, v.9, p. 257-267, 1973.

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

PETRUCCI, E. **CARACTERÍSTICAS DO CLIMA DE UBERLÂNDIA-MG: ANÁLISE DA TEMPERATURA, PRECIPITAÇÃO E UMIDADE RELATIVA**. 2018. 245 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, 2018.

REICHERT, G.A. (2014) Painel 4 – Tecnologias apropriadas para o tratamento dos resíduos sólidos. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, DESAFIOS PARA IMPLANTAÇÃO DA POLÍTICA NACIONAL, 11., ABES. Brasília: ABES. Disponível em: http://www.abesdf.org.br/upload/estudo/2014_08_19/41-geraldoreichert-tecnologias.pdf. Acesso em: jul. 2022.

SANTOS, J. S.; GIRARDI, A. G. Utilização de geoprocessamento para localização de áreas para aterro sanitário no Município de Alegre. Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, Florianópolis, 2007.

SILVA, A. B. Sistemas de Informação Georreferenciadas: conceitos e fundamentos. Campinas: Unicamp, 1999.

SILVA, A. D. **Geotecnologias e as problemáticas dos resíduos sólidos urbanos em Tefé, AM**. Manaus: Universidade Federal do Amazonas, 2009. (Dissertação de mestrado).

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. Integrated Solid Waste Management Engineering Principles and Management Issues. New York: McGrall-Hill, 1993. 949 p.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). (2015) **Project Search**. Disponível em: <http://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>. Acesso em: jun. 2022.

ZANTA, V. M.; FERREIRA, C. F. A. AB de C. Jr. (Coordenador). **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. São Carlos, SP: Rima Artes e Textos, 2003.