

ESTUDO DE VIABILIDADE GEOAMBIENTAL PARA IMPLEMENTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE MONTE SANTO DE MINAS – MG

Leandro Henrique Pereira¹
Júlia Elena Hipólito Maciel²
Marcos Vinicius Vieira Gaglieri³
Diego de Souza Sardinha⁴

Desenvolvimento Urbano e Rural

Resumo

O aumento crescente da geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) nas cidades brasileiras, fez com que surgissem diversos problemas ambientais, como a contaminação de lençóis freáticos, solo e a poluição do ar. Dados revelam que apenas 58,9% destes resíduos recebem destinação ambientalmente adequada, isto é, são encaminhados aos aterros sanitários; enquanto os demais são descartados em lixões. O local onde, atualmente, é feito o descarte de RSU em Monte Santo de Minas – MG, localiza-se próximo ao centro urbano e ao aeroporto da cidade, portanto, não atende às regulamentações impostas pela NBR 13.896 e pela Lei Federal nº 12.725. Diante do exposto, através do presente trabalho, objetiva-se identificar áreas adequadas para a implementação de um aterro sanitário neste município de forma que as diretrizes determinadas pela legislação vigente sejam devidamente cumpridas. Para tanto, utilizou-se o método de Análise de Decisão Multicritério (MDCA) com auxílio de ferramentas de geoprocessamento, utilizando o *software* QGIS, para realização da modelagem de adequação, definidas 8 (oito) variáveis, sendo elas: distância dos rios, distância das estradas, proximidade de centros urbanos, distância de aeroportos, classes de solos, declividade, vegetação e litologia. A partir da modelagem realizada, a área total do município foi dividida em três níveis de adequações: inadequado, média adequação e adequado, que abrangeram 83,74%, 14,23% e 2,03% da área total do limite municipal, respectivamente. Considerando os resultados encontrados, o presente trabalho pode ser utilizado como uma ferramenta de apoio à tomada de decisão para a implantação de um aterro sanitário em Monte Santo de Minas.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos Urbanos; NBR 13.896; Aterro Sanitário; Monte Santo de Minas; Geoprocessamento.

¹Estudante de Engenharia Ambiental. UNIFAL/MG – Instituto de Ciência e Tecnologia, leandropereira.unifal@gmail.com;

²Estudante de Engenharia Ambiental. UNIFAL/MG – Instituto de Ciência e Tecnologia, juliahipolitom@gmail.com;

³Estudante de Engenharia Ambiental. UNIFAL/MG – Instituto de Ciência e Tecnologia, marcosvinicius.gaglieri@gmail.com;

⁴Prof. Dr. da UNIFAL/MG – Instituto de Ciência e Tecnologia, diego.sardinha@unifal-mg.edu.br.



INTRODUÇÃO

No ano de 2020, o Brasil gerou 79,6 milhões de toneladas de resíduos sólidos, quantidade essa que extrapolou a margem prevista de geração para o ano (ABRELPE, 2021). A grande preocupação com essa geração é quanto à destinação final do material, uma vez que apenas 58,9% destes resíduos gerados foram encaminhados para os aterros sanitários (SPIGOLON, 2015). Portanto, esse é um problema que diversos municípios têm enfrentado, visto que realizam a destinação incorreta, encaminhando para lixões (JÚNIOR *et al.*, 2009).

No Brasil, a lei que regulamenta e regula a Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos é a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (BRASIL, 2010). Inicialmente a PNRS estipulou, como prazo máximo, o ano de 2014 para os municípios se enquadrarem e destinarem os resíduos sólidos para aterros sanitários. No entanto, a Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020, apresenta os prazos vigentes para a regularização dos municípios acerca da destinação correta de seus resíduos sólidos, sendo a disposição final dos rejeitos determinada e realizada até o dia 31 de dezembro de 2020 (BRASIL, 2020).

Neste contexto, em alguns casos, são apresentadas ressalvas, como para os municípios que tenham elaborado um Plano Intermunicipal ou Municipal de Gestão dos Resíduos Sólidos. Para estes municípios, segundo a Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020, são determinadas as seguintes datas: até 2 de agosto de 2021 para as capitais; até 2 de agosto de 2022 para municípios com população superior a 100 mil habitantes; até 2 de agosto de 2023 para municípios com população entre 50 e 100 mil; e por fim, o prazo de até 2 de agosto de 2024 para municípios com população inferior a 50 mil habitantes (BRASIL, 2020).

Além dos lixões causarem problemas ambientais como a proliferação de vetores transmissores de doenças, contaminação do solo, ar e águas subterrâneas, ainda há grandes riscos de ocorrência de contaminação dos catadores, uma vez que uma parcela desses catadores reside em meio a estes lixões (FERREIRA, 2017). Em contrapartida aos lixões que alocam de forma incorreta os resíduos sólidos, os aterros sanitários são caracterizados

por realizarem a disposição no solo, sendo minimizado os danos ambientais e por não causar danos à saúde pública (ABNT, 1992). A PNRS proíbi a destinação incorreta, com isso, a tendência é que a porcentagem de destinação correta para resíduos sólidos urbanos aumente ao longo dos próximos anos.

Atualmente o município de Monte Santo de Minas – MG, localizado conforme a Figura 1, realiza o descarte dos resíduos sólidos em um lixão, o qual encontra-se localizado próximo ao centro urbano e ao aeroporto da cidade, necessitando este, se enquadrar nos parâmetros estipulados pela PNRS. Segundo o último Censo realizado, o município conta com uma população de 21.234 habitantes (IBGE, 2021), e seguindo as legislações, deve até o ano de 2024 se adequar e realizar a destinação correta dos resíduos sólidos gerados.

Com isso, este trabalho tem como objetivo identificar área aptas à implementação de um aterro sanitário no município de Monte Santo de Minas – MG, sendo essas condizentes com a NBR 13.896 (ABNT, 1997).

Mapa de Localização

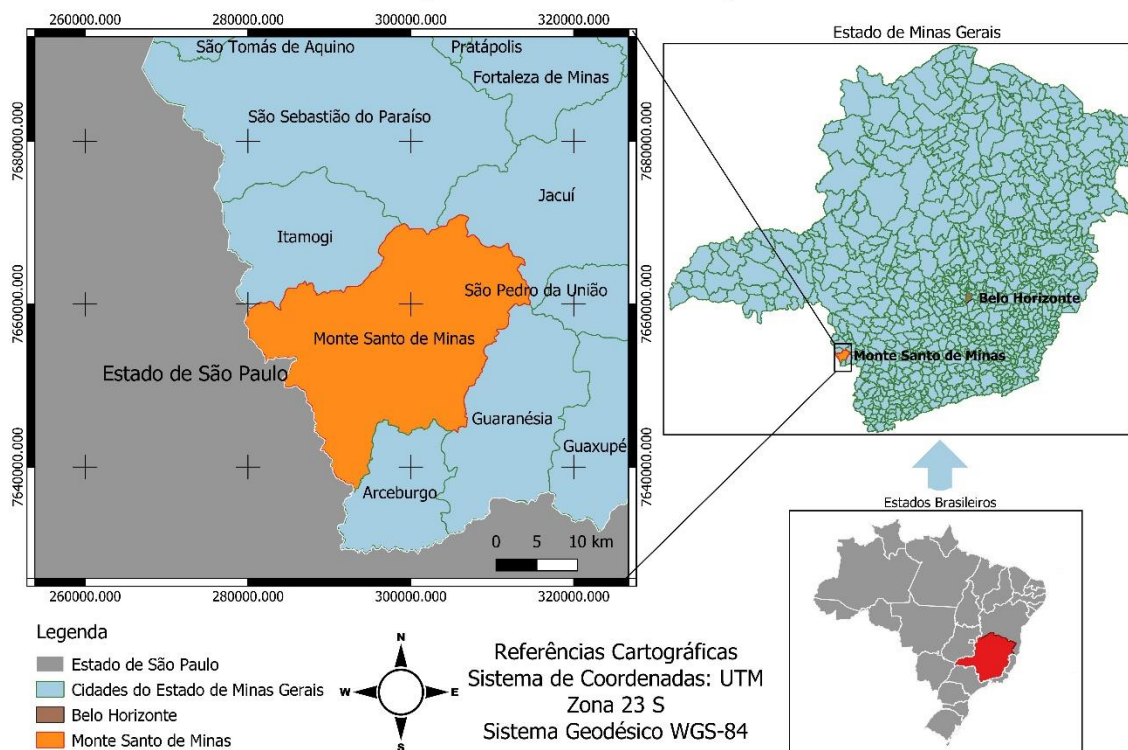


Figura 1 – Localização do município de Monte Santo de Minas – MG.
Fonte: Autores (2021).



METODOLOGIA

Utilizou-se o método de Análise de Decisão Multicritério (MDCA) integrado às técnicas de geoprocessamento, através do qual foram definidas variáveis, que posteriormente, foram ponderadas de acordo com o seu grau de importância, contribuindo para a indicação de níveis de adequação de áreas para implantação de aterro sanitário no município de Monte Santo de Minas – MG.

Inicialmente, foram definidas as variáveis de maior relevância. Para tanto, consideraram-se aspectos socioeconômicos e ambientais. Optou-se, ainda, pela utilização das determinações dispostas na NBR 13.896 (ABNT, 1997) que fixa as condições mínimas exigíveis para projeto, implantação e operação de aterros de resíduos não perigosos, de forma a proteger adequadamente as coleções hídricas superficiais e subterrâneas próximas, bem como os operadores destas instalações e populações vizinhas. Ao todo, foi possível identificar 8 (oito) variáveis, dentre elas: distância dos rios, distância das estradas, proximidade de centros urbanos, distância de aeroportos, classes de solos, declividade, vegetação e litologia (Tabela 1).

Destaca-se também a Lei Federal nº 12.725 (BRASIL, 2012) que institui a Área de Segurança Aeroportuária – ASA como uma área circular do território de um ou mais municípios, definida a partir do centro geométrico da maior pista do aeródromo ou do aeródromo militar, com 20 (vinte) km de raio, cujos uso e ocupação estão sujeitos a restrições especiais em função da natureza atrativa de fauna. Pela referida lei, são vetadas atividades de aterro sanitário no raio de 10 km (BRASIL, 2012).

Em seguida, empregou-se o método Analytic Hierarchy Process (AHP). Este método de análise multicritério pondera cada variável em relação com todas as outras variáveis, onde são atribuídas pontuações em uma escala de 0 a 9, a fim de obter um ranque de relevância entre as variáveis estabelecidas. O método AHP, também conhecido como comparação par a par, resulta em uma matriz de comparação para a avaliação de cada variável (SPIGOLON, 2015). A Tabela 2 apresenta a escala de ponderação adotada neste método e que foi considerada neste estudo.

Tabela 1: Recomendações ABNT NBR 13.896 de 1997

Variável	Condições mínimas exigidas
Topografia	Recomendam-se locais com declividade superior a 1% e inferior a 30%.
Geologia e tipos de solos existentes	Considera-se desejável a existência, no local, de um depósito natural extenso e homogêneo de materiais com coeficiente de permeabilidade inferior a 10-6 cm/s e uma zona não saturada com espessura superior a 3,0 m.
Recursos hídricos	O aterro deve ser localizado a uma distância mínima de 200 m de qualquer coleção hídrica ou curso de água.
Vegetação	O estudo macroscópico da vegetação é importante, uma vez que ela pode atuar favoravelmente na escolha de uma área quanto aos aspectos de redução do fenômeno de erosão, da formação de poeira e transporte de odores.
Acessos	Fator de evidente importância em um projeto de aterro, uma vez que são utilizados durante toda a sua operação.
Tamanho disponível e vida útil	Em um projeto, estes fatores encontram-se inter-relacionados e recomenda-se a construção de aterros com vida útil mínima de 10 anos.
Custos	Os custos de grande variabilidade conforme o seu tamanho e o seu método construtivo. A elaboração de um cronograma físico financeiro é necessária para permitir a análise de viabilidade econômica do empreendimento.
Distância mínima a núcleos populacionais	Deve ser avaliada a distância do limite da área útil do aterro a núcleos populacionais, recomendando-se que esta distância seja superior a 500 m.

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 13.896 de 1997.

Ressalta-se que, a fim de reduzir a subjetividade e obter dados satisfatórios nos resultados das avaliações, todos os autores do presente estudo realizaram a comparação entre as variáveis identificadas. Logo, a matriz resultante foi calculada através de uma média entre os valores estipulados por cada autor. Para a aquisição de dados espaciais, foi realizada uma busca no banco de dados do portal de mapas do IBGE (IBGE, 2021) no qual foram obtidos os dados georreferenciados de vegetação, uso e ocupação do solo, hidrografia, geologia, limite municipal, aeroporto, rodovias, classes de solos e curvas de níveis. Como os dados foram processados em conjunto, a escala final do resultado é sempre a menor, logo, esta é de 1:250.000, em função do mapa de uso e ocupação do solo.



Tabela 2: Escala de ponderação

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre à outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra: sua denominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2,4,6,8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.

Fonte: Adaptado de Saaty (1980).

Através das ferramentas de geoprocessamento para a manipulação dos dados vetoriais e matriciais citados anteriormente foi possível quantificar os respectivos critérios para cada tipo de variável geográfica. Dessa maneira, elaborou-se a Tabela 3 com a classificação dos critérios em função da sua dimensão. Após a quantificação das notas de adequação para cada variável e sua dimensão, foi feita uma conversão dos dados vetoriais para o formato *raster*, onde em cada pixel (unidade básica de uma imagem *raster*) possui o valor referido àquela área com a nota de adequação ambiental da Tabela 3 em sua respectiva dimensão. Ressalta-se que as áreas classificadas como proibidas receberam nota 0 (zero).

Com isso, pôde-se realizar, através da ferramenta de geoprocessamento, a modelagem, a qual estabelece uma relação entre as notas e proibições de cada variável e o respectivo peso que foi atribuído através da matriz AHP, resultando em um dado matricial de formato *raster* com as áreas e suas respectivas notas de adequação. A modelagem final

quanto ao grau de aptidão das áreas que abrangem o município de Monte Santo de Minas – MG foi classificada de acordo com critérios definidos através do *software* QGIS, onde são considerados 3 (três) níveis de adequação, onde (0) Inadequado, (1 a 3,5) Média Adequação e (> 3,5) Adequado.

Tabela 3: Classificação dos níveis de adequação

Variável	Dimensão	Nota
Drenagem	0 até 200 metros	Proibido
	200 até 400 metros	1
	400 até 500 metros	2
	500 até 600 metros	3
	600 até 1000 metros	5
Aeroporto	0 até 10 km	Proibido
	10 até 12 km	3
	12 até 15 km	4
	Acima de 15 km	5
Mancha Urbana	0 até 500 metros	Proibido
	500 até 1000 metros	5
	1000 até 2000 metros	2
Rodovias	0 até 50 metros	Proibido
	50 até 100 metros	5
	100 até 400 metros	3
	Acima de 400 metros	1
Declividade	0 até 8 %	5
	8 até 20 %	3
	20 até 30 %	1
	Acima de 30 %	Proibido
Solos	Cambissolo	1
	Argissolos Vermelhos	3
	Latossolos Vermelhos Distroféricos	3
	Latossolos Vermelhos Distrófico	4
Litologia	Rocha Ígnea	1
	Rocha Ígnea / Metamórfica	2
	Rocha Metamórfica	3
	Rocha Sedimentar	4
Vegetação	Locais com florestas	3

Fonte: Autores (2021).



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os arquivos espaciais obtidos através do banco de dados do IBGE (IBGE, 2021), foi desenvolvido um mapa com todas as características de uso e ocupação do solo no limite municipal de Monte Santo de Minas, para que deste modo possam ser tomadas as medidas de geoprocessamento e assim, verificados quais arquivos serão úteis na modelagem de adequação geoambiental para a implantação do aterro sanitário. Na Figura 2 pode-se observar o uso e ocupação no referido município.

Mapa de Uso e Ocupação do Solo

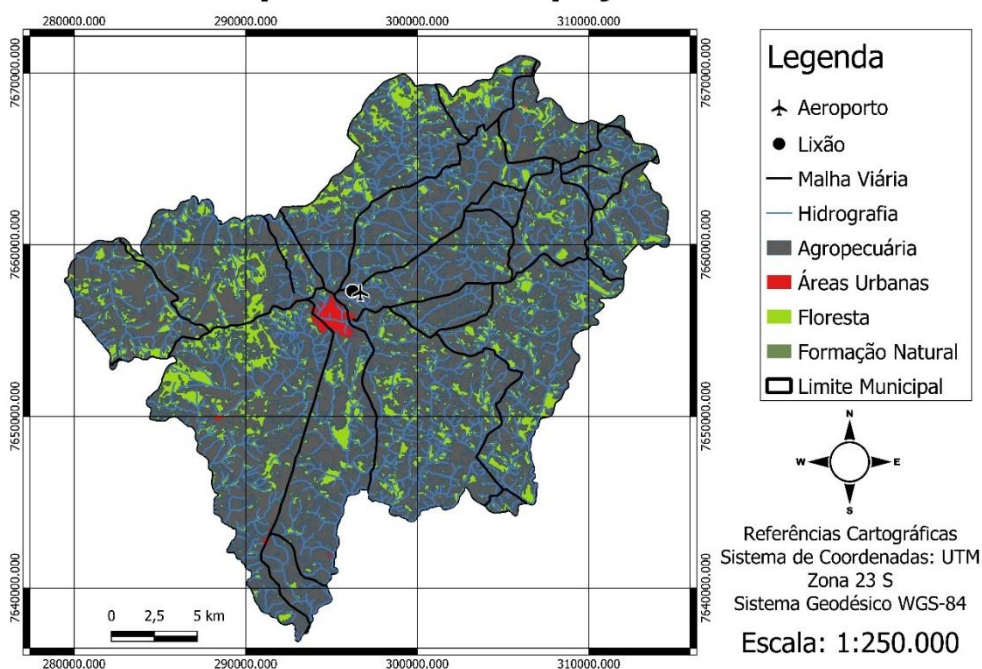


Figura 2: Mapa de Uso e Ocupação do Solo.
Fonte: Autores (2021).

Através da Figura 2 pode-se verificar os possíveis problemas ambientais que estão ocorrendo na cidade por conta do despejo inadequado de resíduos. Atualmente, o despejo é realizado em um lixão controlado próximo ao aeroporto e a menos de 500 metros da mancha urbana central da cidade, não respeitando a Lei 12.725/2012 e a NBR 13.896, respectivamente (BRASIL, 2012; ABNT, 1997).

Com base no método de análise multicritério adotado (AHP), definiu-se a matriz de

comparação par a par para a definição de áreas aptas à implantação do aterro sanitário, além de seus respectivos pesos, apresentados em porcentagem, conforme a Tabela 4. Para os valores obtidos foi realizada uma análise de consistência na comparação entre as próprias variáveis, no qual é utilizado como julgamento se a matriz é coerente ou não. Para isso, calculou-se a taxa de consistência (CR). Segundo Saaty (1980), valores menores que 0,1 certifica a coerência dos resultados da matriz. Utilizando-se da metodologia de consistência, o valor encontrado para esta matriz foi de 0,097, portanto, a matriz da Tabela 4 é coerente com os pesos e comparações entre as variáveis.

Tabela 4: Pesos das variáveis

Variáveis	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	Pesos (%)
Distância dos rios (1)	1	1,00	3,00	0,20	0,33	0,25	5,00	3,00	9,81
Distância das estradas (2)	1,00	1	0,33	0,20	0,33	0,20	5,00	0,20	5,44
Proximidade centros urbanos (3)	0,33	3,00	1	0,33	0,33	0,33	3,00	0,33	6,76
Distância de aeroportos (4)	5,00	5,00	3,00	1	1,00	1,00	9,00	5,00	24,66
Classe de Solo (5)	3,00	3,00	3,00	1,00	1	1,00	5,00	3,00	19,09
Declividade (6)	4,00	5,00	3,00	1,00	1,00	1	9,00	3,00	22,23
Vegetação (7)	0,20	0,20	0,33	0,11	0,20	0,11	1	0,25	2,25
Litologia (8)	0,33	5,00	3,00	0,20	0,33	0,33	4,00	1	9,76
Σ	15	23	17	4	5	4	41	16	100

Fonte: Autores (2021).

De acordo com a Figura 2, observa-se que a localização do aeroporto na região central do município contribuiu para que uma grande parcela da área do município se tornasse inadequada, devido à Lei nº 12.725/2012, que estipula um raio de 10 km no qual é proibida a construção de aterros sanitários (BRASIL, 2012). Além disso, extrapolando o raio de 10 km, nota-se que o maior delimitador de áreas foi a variável drenagem, devido à NBR 13.896 (ABNT, 1997) que veta a construção de aterros sanitários a menos de 200 metros de qualquer corpo hídrico. Com isso, a Figura 3 apresenta o município de Monte Santo de Minas delimitado de acordo com os níveis de aptidão encontrados neste trabalho.

Na Tabela 5 pode-se quantificar, em hectares e quilômetros quadrados, as áreas inadequadas, com média adequação e adequadas, bem como sua respectiva porcentagem



em função da área total do limite municipal de Monte Santo de Minas – MG. Verifica-se que áreas com alto potencial de adequação geoambiental para locação do aterro sanitário em Monte Santo de Minas – MG equivalem a 2,03%, ou seja, uma pequena parcela se comparada com todo o limite municipal. No entanto, cabe ressaltar que, para uma possível implantação de aterro sanitário, todas as áreas, com exceção das áreas inadequadas, devem ser consideradas, ainda que sejam necessários alguns investimentos, como obras de engenharia, a fim de elevar seu nível de adequação.

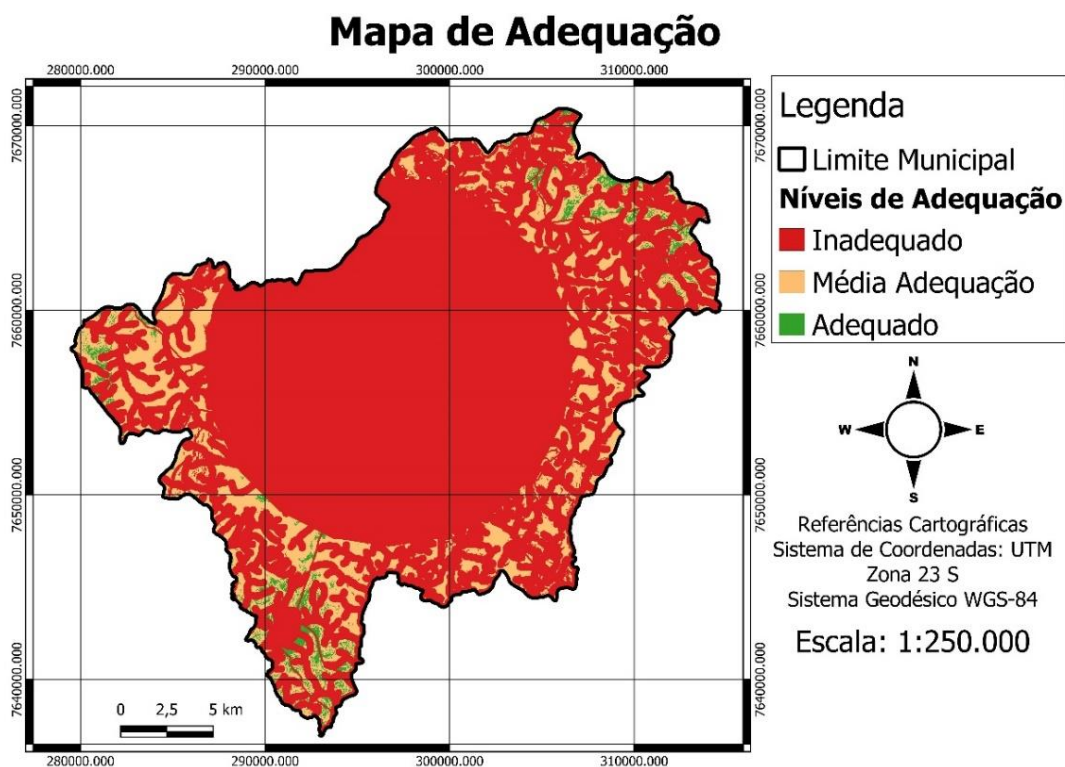


Figura 3: Mapa de Adequação Geoambiental.
Fonte: Autores (2021).

Tabela 5: Quantificação de áreas de adequação

Níveis de Adequação	Área (ha)	Área (km ²)	Área (%)
Adequada	1202,00	12,02	2,03
Média Adequação	8433,87	84,34	14,23
Inadequada	49639,00	496,39	83,74
Total (Σ)	59274,87	592,75	100

Fonte: Autores (2021).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados apresentados, a Prefeitura de Monte Santo de Minas – MG atualmente aloca seus resíduos sólidos urbanos em um local inadequado, uma vez que não atende às normas técnicas e à legislação vigente no que se refere aos critérios para projeto, implantação e operação de aterros de resíduos não perigosos. Portanto, para o enquadramento, cabe à Prefeitura a busca por uma nova área e ainda, a implementação de um aterro sanitário. Com isso, o presente trabalho pode servir como uma ferramenta de apoio à tomada de decisão para a implantação de um possível aterro sanitário com base em normas de engenharia. Como a escala adotada, de 1:250.000, não permite o grau de detalhamento necessário para este tipo de obra, torna-se indispensável a realização de visitas técnicas, estudos “in situ”, a fim de atestar a viabilidade geoambiental ou validar as informações realizadas neste trabalho par as áreas consideradas adequadas no estudo.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019**. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama-2020/>>. Acesso em 24 maio 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13896**: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 1997. 12 p.

ATHAYDE JÚNIOR, Gilson Barbosa *et al.* Efeito do antigo Lixão do Roger, João Pessoa, Brasil, na qualidade da água subterrânea local. **Ambiente & Água**, Taubaté, v. 5, n. 1, p. 142-155, 2009.

BRASIL. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados.. **Lei Nº 14026**. Brasília, 15 jul. 2020.



BRASIL. Dispõe sobre o controle da fauna nas imediações de aeródromos. **Lei Nº 12725**. Brasília, 16 out. 2012.

BRASIL. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Lei Nº 12305**. Brasília, 2 ago. 2010.

FERREIRA, Ruan Gonçalves. Impactos ambientais decorrentes do lixão da cidade de condado-pb. **Geografia Ensino & Pesquisa**, [S.L.], v. 21, n. 3, p. 142, 29 dez. 2017. Universidade Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/2236499424004>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Panorama da cidade de Monte Santo de Minas**. IBGE, 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/monte-santo-de-minas/panorama>>. Acesso em: 16 maio 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Portal de Mapas**. IBGE, 2021. Disponível em: <<https://portaldemapas.ibge.gov.br>>. Acesso em: 25 de maio de 2021.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**. New York: McGraw Hill, 1980.

SPIGOLON, Luciana Maria Gasparelo. **A otimização da rede de transporte de RSU baseada no uso do SIG e análise de decisão multicritério para a localização de aterros sanitários**. 2015. 217 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Planejamento e Operação de Sistemas e Transportes, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.