



Ministério da Educação – Brasil
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM
Minas Gerais – Brasil
Revista Vozes dos Vales: Publicações Acadêmicas
Reg.: 120.2.095 – 2011 – UFVJM
ISSN: 2238-6424
QUALIS/CAPES – LATINDEX
Nº. 11 – Ano VI – 05/2017
<http://www.ufvjm.edu.br/vozes>

Sistema de informações geográficas aplicado à identificação de áreas com potencial para instalação de aterro sanitário no município de Teófilo Otoni – MG

Prof. MSc. Paulo Toledo Ribeiro
Engenheiro Agrônomo, Especialista em Solos e Meio Ambiente e
Mestre em Gestão Integrada do Território pela Universidade Vale do Rio Doce
Docente das Faculdades Unificadas de Teófilo Otoni - DOCTUM
<http://lattes.cnpq.br/2636675898805414>
E-mail: pauloagroribeiro@hotmail.com

Adriano Guimarães Sousa
Discente em Engenharia Ambiental e Sanitária
Faculdades Unificadas de Teófilo Otoni - DOCTUM
<http://lattes.cnpq.br/5075478199003543>
E-mail: adrianog.sousa95@gmail.com

Mônica Esteves de Almeida
Discente em Engenharia Ambiental e Sanitária
Faculdades Unificadas de Teófilo Otoni - DOCTUM
E-mail: monicaesteves.almeida@gmail.com

Resumo: A disposição de Resíduos Sólidos Urbanos ainda se dá de maneira precária em grande parte dos municípios brasileiros, configurando-se como um caso de degradação ambiental e saúde pública. É comum encontrar a disposição final destes resíduos em aterros controlados e vazadouros a céu aberto. O município de Teófilo Otoni – MG, objeto do presente estudo, não difere da maioria dos municípios Brasileiros, pois a disposição dos resíduos gerados pela população se dá em um vazadouro a céu aberto. Diante desta problemática, o presente trabalho objetivou identificar áreas com potencial à instalação de aterro sanitário no município,

utilizando técnicas de geoprocessamento e Sistema de Informações Geográficas para a avaliação de critérios ambientais, sociais e econômicos estabelecidos em normas e legislações vigentes. Utilizando-se de inferência *Booleana* foram gerados mapas que evidenciaram a significância dos parâmetros avaliados para determinar áreas de aptidão e não aptidão. Foi possível avaliar a atual área de disposição de resíduos, percebendo que a única restrição dentre os critérios estabelecidos que a torna inapta é a proximidade com a rodovia. Para a instalação do aterro sanitário é necessária a aplicação de estudos mais aprofundados com metodologias *in loco*.

Palavras-chave: Aterro Sanitário. Inferência *Booleana*. Geoprocessamento. Resíduos Sólidos. Sistema de Informações Geográficas.

Introdução

O manejo dos resíduos sólidos em grande parte dos municípios brasileiros ainda se dá de maneira precária, pois é comum a disposição desses resíduos em sistemas arcaicos, como os vazadouros a céu aberto e aterros controlados, apresentando-se como um sério problema para a sociedade, pois acarreta a poluição ambiental e afeta a saúde pública. Neste sentido, Oliveira (2008) retrata a forma apropriada de disposição de resíduos, que é em aterros sanitários, cujos processos operacionais de funcionamento fundamentam-se em critérios e normas específicas.

A disposição dos resíduos sólidos urbanos (RSU) e a dificuldade em encontrar áreas para instalação de aterros sanitários são problemas que dia após dia vão se agravando devido ao crescente consumo e produção de resíduos. Conforme Sisino (2002) e Oliveira (2008), com o aumento do consumo exacerbado acresce também o volume de resíduos sólidos urbanos e estes quando descartados de modo inadequado acabam acarretando poluição do solo, do ar e dos corpos hídricos, além de proporcionar a proliferação de vetores.

O município de Teófilo Otoni – MG, objeto do presente estudo, em suma não se difere da maioria dos municípios brasileiros, pois a atual área de disposição dos resíduos sólidos é um vazadouro a céu aberto próximo à BR 116, rodovia de significativo fluxo para o país. Ainda convém aludir ao fato de que o Ministério Público (MP), comarca de Teófilo Otoni no intuito de obrigar a Prefeitura Municipal a adotar medidas para resolver o problema, instaurou ação civil pública no ano de 2014, uma vez que desde 1999 vem buscando acordos com a gestão municipal para

a execução de medidas paliativas até a criação de um aterro sanitário, porém, sem êxito em acordos (TEÓFILO OTONI, 2014).

Neste sentido, Bortolatto e Ahlert (2012) destacam uma importante ferramenta existente dentro do geoprocessamento, o Sistema de Informação Geográfica (SIG), que é um importante mecanismo de apoio na gestão urbana e territorial dos municípios. O SIG consiste no processamento de dados espaciais através de imagens de satélites e cartografia digital, ele permite a análise criteriosa e atualização constante das variantes ambientais, econômicas e sociais do ambiente de estudo, além de acompanhar as modificações ocorridas no espaço geográfico.

Frigo *et al.* (2013), aludem que para a identificação de áreas para instalação de aterros sanitários as análises devem ser baseadas em princípios do conceito *booleano* convencional existente na maior parte dos SIG, onde as áreas são caracterizadas como aptas ou não aptas, respeitando-se os critérios pré-estabelecidos para o fim pretendido. Em julgamentos *booleanos*, variáveis que apresentem baixa aptidão levam à exclusão do local, mesmo que todas as outras variáveis sejam satisfeitas.

Diante do exposto, ressalta-se que o processo de identificação de novas áreas para instalação de aterro sanitário no município de Teófilo Otoni, objeto de estudo do presente trabalho, baseou-se na normatização de critérios econômicos, sociais e ambientais, que foram processados dentro do ambiente SIG do Quantum GIS (QGIS). De modo geral, o processo de análises e definições dos parâmetros de restrições foi baseado em legislações vigentes como a NBR 13.896/1997 e outras literaturas afins, o que possibilitou o tratamento e inferência dos dados para cruzamento e álgebra dos mapas restritivos gerados.

Por fim, buscou-se através da realização deste trabalho identificar áreas com potencial para instalação de aterro sanitário que comporte os rejeitos gerados pela população do município em um período de vinte anos, atendendo aos critérios ambientais, sociais e econômicos processados dentro do ambiente SIG.

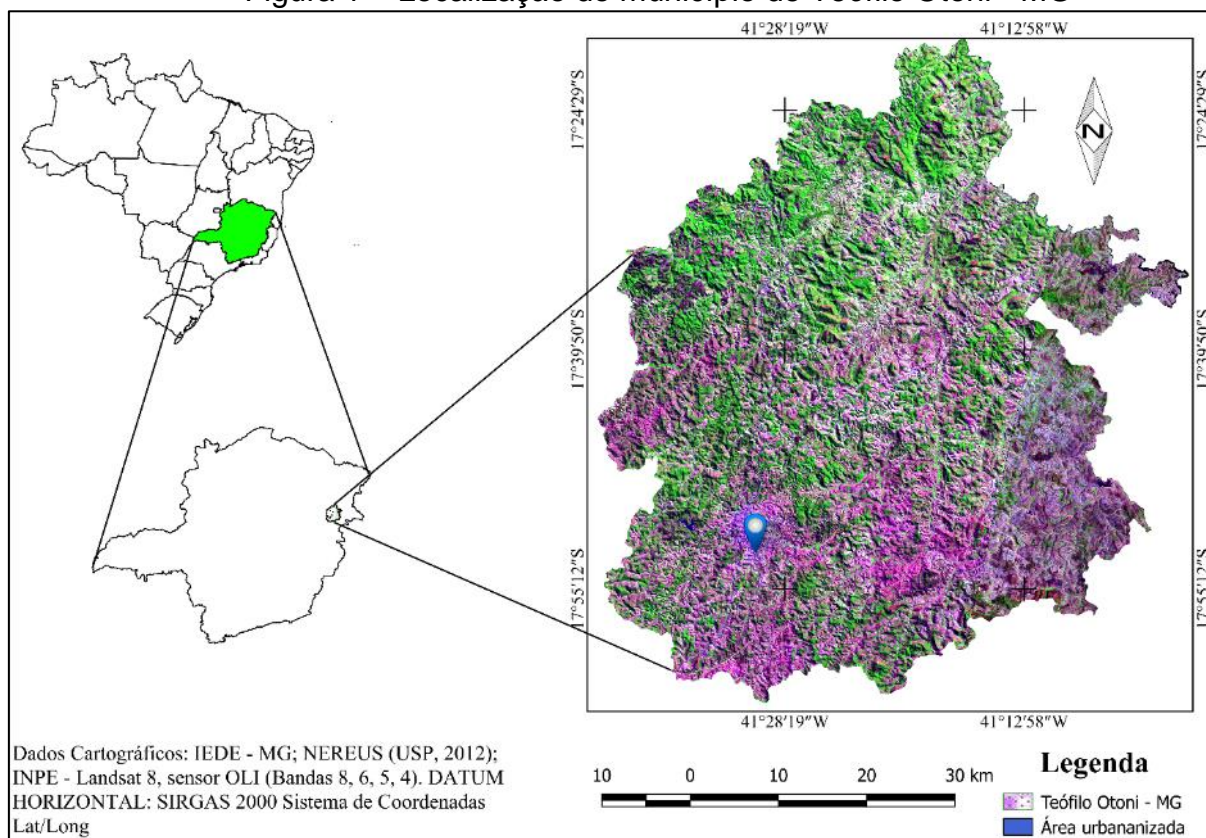
Caracterização da área de estudo

O município de Teófilo Otoni localiza-se à porção nordeste do Estado de Minas Gerais (Figura 1), cujas coordenadas geográficas são respectivamente 17° 51'

15" Latitude Sul e 41° 30' 23" Longitude Wgr. O município é considerado cidade polo do Vale do Mucuri, com uma área geográfica de 3.242,270 km², abrigando uma população de 134.745 habitantes, sendo 110.076 zona urbana e 24.669 zona rural, conforme censo do IBGE de 2010 (UFVJM, 2009; BRASIL, 2012; PEREIRA; CALDEIRA; BARROSO, 2015).

O município está inserido na bacia do Mucuri e é banhado pela sub bacia do Rio todos os Santos. Em aspectos geomorfológicos, a área do município é compreendida por “planaltos dissecados do Leste de Minas”, com altitude em torno de 334 metros, apresentando em sua extensão relevo bastante dissecado, caracterizado por taludes muito íngremes e convexos, com regulares exposições de rochas nestas áreas (MAGALHÃES JUNIOR; MOREIRA, 2002).

Figura 1 – Localização do município de Teófilo Otoni - MG



Fonte: Dados da própria pesquisa.

Materiais e coleta de dados

Inicialmente foram levantados dados em formatos vetoriais e matriciais sobre as características socioambientais da região, junto aos órgãos públicos Federais e Estaduais, como Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), GeoMinas, Infraestrutura de Dados Espaciais (IEDE) e Instituto Pristino. Este levantamento foi realizado para se obter informações sobre o município de Teófilo Otoni e sobre as características socioambientais da região, a fim de gerar mapas com informações para a área de estudo.

Métodos de análise e interpretação

Para estimativa populacional do município em 2036, utilizou-se o método da Progressão Geométrica, utilizando-se os dados oficiais do IBGE para o município de Teófilo Otoni – MG, nos anos 2000 e 2010.

Para determinação da área mínima para alocação do aterro sanitário utilizou-se o Termo de Referência do Ministério das Cidades, que relaciona a faixa de número de habitantes com a área (Tabela 1).

Tabela 1 – Referência de área mínima recomendável para implantação do aterro sanitário

População Urbana (habitantes)	Área Mínima Recomendável (ha)
Até 2.000	1
Entre 2.001 e 5.000	2
Entre 5.001 e 10.000	4
Entre 10.001 e 20.000	6
Entre 20.001 e 50.000	10
Entre 50.001 e 100.000	20
Entre 100.001 e 150.000	25

Entre 150.001 e 250.000	35
Entre 250.001 e 500.000	55
Entre 500.001 e 750.000	95

Fonte: BRASIL, 2011.

Utilizou-se imagens do satélite Landsat 8 e Sentinel 2A e o SIG Quantum GIS, através dos quais pôde-se obter mapas da região em estudo de malha urbana e rodovias (Fig. 2), zona aeroportuária (Fig. 3), rede de drenagem (Fig. 4), áreas de interesse ambiental (Fig. 5) e vistas em perspectiva parcial do Modelo Digital de Elevação do município de Teófilo Otoni sobreposto com uma imagem de satélite Sentinel - 2A, bandas 2, 3, 4 e 8 (Fig. 6).

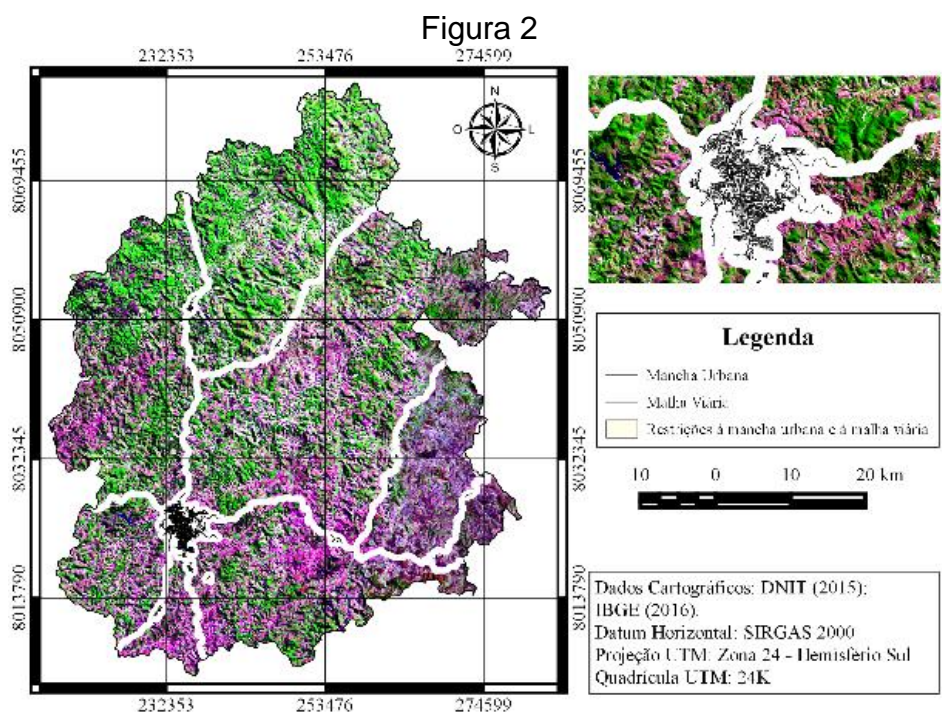


Figura 3

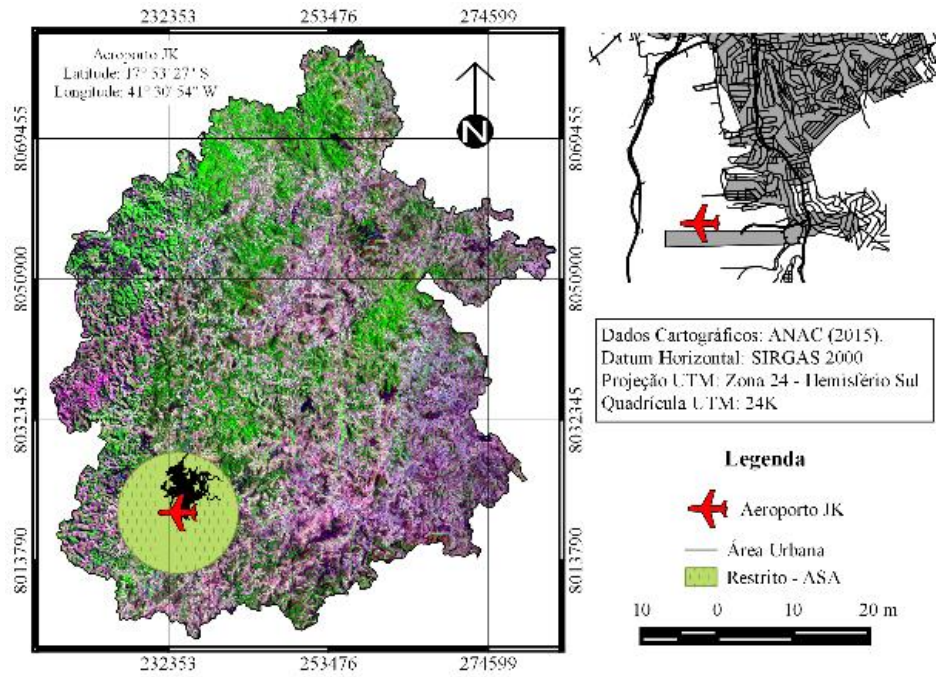


Figura 4

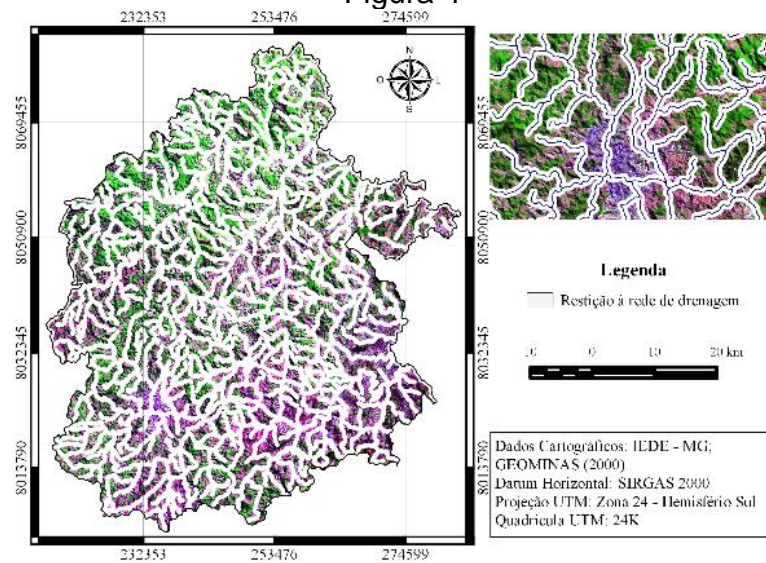


Figura 5

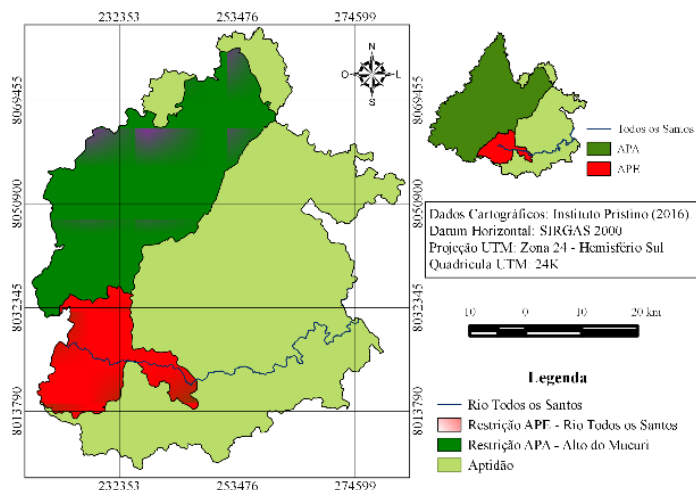
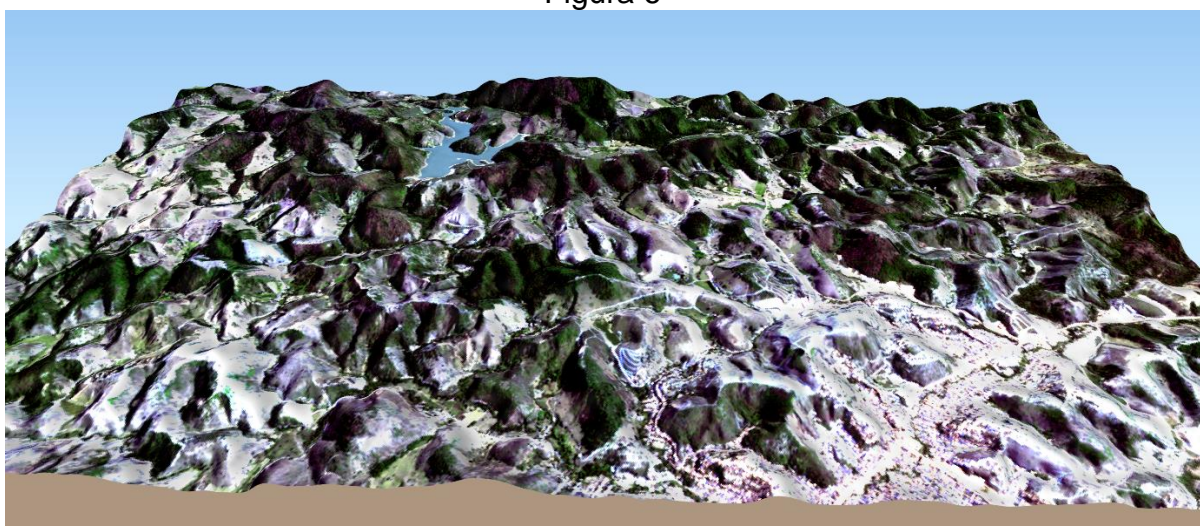


Figura 6



Posteriormente, foi realizada a sobreposição dos mapas através de modelagem em ambiente SIG segundo operadores de lógica *booleana*. Segundo Nascimento; Lima e Santos (2009), o método *booleano* se assemelha ao procedimento de sobreposição de mapas em mesa de luz (*overlay*). Neste sentido, “as regras de associação booleanas, baseadas na teoria dos conjuntos, caracterizam-se pela pertinência bivalente de um objeto em um conjunto”. Ou seja, determinado critério assume apenas valor verdadeiro ou falso, não possibilitando valor intermediário para esse fato.

Deste modo, com base em modelagem em SIG, foram estabelecidos critérios de aptidão e não aptidão da área analisada. Os critérios propostos foram os seguintes: áreas com declividade inferior a 30%, distanciamento mínimo de 500 metros de núcleos urbanos, distância superior a 200 metros da rede de drenagem,

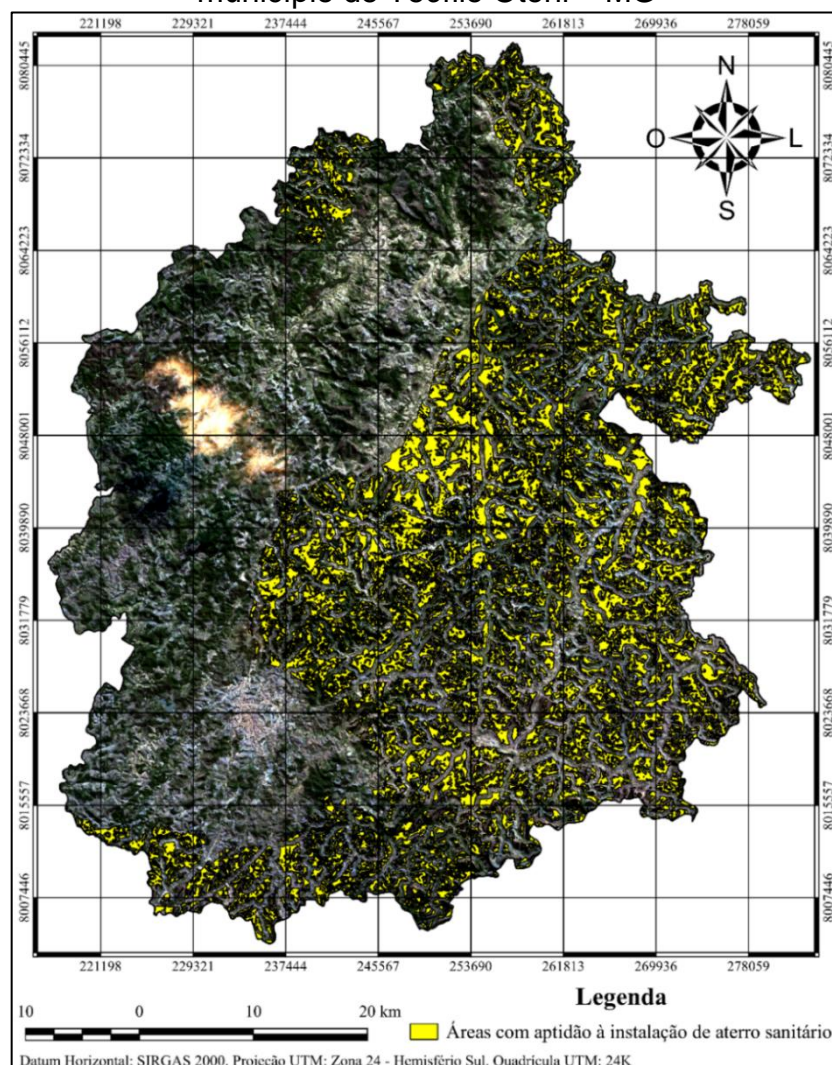
distância de 300 metros da malha viária, distanciamento de 8 km da zona aeroportuária, estabeleceu-se ainda restrição de não ultrapassar os limites territoriais da Área de Proteção Ambiental e Área de Proteção Especial do Rio Todos os Santos, além de definir o tamanho de área mínima e tempo de vida útil e operação do aterro de no mínimo 20 anos.

Para geração do mapa final contendo as áreas com potencial à instalação de um aterro sanitário no município foi feito o cruzamento dos mapas com as restrições de cada critério analisado. Para tal, utilizou-se fórmula de modelagem em ambiente SIG através de análises de sobreposição (*overlay*) de mapas com suas respectivas restrições de acordo os critérios definidos.

Resultados e discussão

Através do cruzamento e sobreposição dos mapas de cada critério restritivo, foi gerado o mapa final com as áreas que apresentam potencial à instalação de aterro sanitário no município de Teófilo Otoni – MG. A Figura 7 ilustra estas áreas, onde os espaços em amarelo indicam as áreas com potencial para a alocação do empreendimento, as demais são restritas.

Figura 7 – Mapa com as áreas potenciais à instalação de aterro sanitário no município de Teófilo Otoni – MG



Fonte: Dados da própria pesquisa.

Como pode ser observado no mapa (Figura 7), o município apresenta restrição à Noroeste, Oeste e Sudoeste. Esta restrição decorre da APA do Alto do Mucuri e APE do Rio Todos os Santos existentes nesta região, além da Área de Segurança Aeroportuária que apresenta restrição a Noroeste, o que diminuem drasticamente as áreas que poderiam abrigar um aterro sanitário no município.

Por conseguinte, os demais critérios restritivos, como o distanciamento de núcleos populacionais, rede de drenagem e rede viária demonstraram-se pouco significativos em relação ao critério da APA, APE e declividade. Além disso, dentre estes critérios de pouco significativos, a rede de drenagem apresentou-se como um critério de linear restrição em relação à área total do município, sendo, portanto, um

critério que apresenta igual representatividade em todo domínio espacial a qual está inserido o município de Teófilo Otoni.

O critério que exerce influência restritiva de maior escala é o relevo acentuado do município, cuja restrição incide numa exclusão de aproximadamente 42,5% de toda sua extensão territorial, uma vez que estas áreas apresentam declividade acima de 30%, o que é inviável à instalação de um aterro sanitário, pois estas áreas além de propensas à incidência de erosões e à percolação do chorume, acabam sendo inviáveis por dispenderem economicamente de necessário investimento em obras de infraestrutura e terraplanagem do terreno para instalação desse empreendimento.

Além disso, é perceptível a baixa representatividade de áreas contíguas com declividade inferior a 30%, que incide diretamente no tamanho destas e acabam tornando ainda maior a dificuldade de seleção de uma área com potencial ao fim pretendido, que comporte o volume total de rejeitos gerados durante a vida útil do sistema.

As áreas que apresentaram aptidão a abrigar um aterro sanitário localizam-se à região Norte, Sul, Nordeste, Leste e Sudeste do município. Ainda assim, percebe-se que destas áreas identificadas, critérios económicos ainda devem ser ponderados, com vista a garantir o menor custo de transportes dos resíduos do centro gerador até o aterro sanitário.

Conforme aplicação da fórmula de Progressão Geométrica para determinação da área mínima para instalação do empreendimento, constatou-se que em um horizonte de 20 anos a população do município tenderá a 149.626 habitantes, o que de acordo com o Ministério das Cidades (BRASIL, 2011), para esta faixa populacional é indicado uma área de pelo menos 25 hectares para comportar os resíduos gerados pela população neste período. No entanto, diante do número de habitantes estar próximo à 150.000, adotou-se nesse trabalho a seleção de áreas de pelo menos 35 hectares.

Através das análises de *overlay* dos mapas restritivos, constatou-se que o município apresenta cerca de 77,49% de áreas com restrição à alocação de um sistema de disposição de resíduos sólidos. Tal restrição procede principalmente da variabilidade espacial do relevo dissecado do município. Conseqüentemente,

apenas 22,51% das áreas apresentam potencial a abrigar um aterro sanitário (Tabela 2).

Tabela 2 – Áreas com potencial à instalação de aterro sanitário no município de Teófilo Otoni – MG

DN*	Critério	%
0	Inapto	77,49
1	Susceptível	22,51

*DN (Número Digital de um *pixel*)

Fonte: Dados da própria pesquisa.

Ainda que as previsões sejam para que este sistema de disposição final de resíduos permaneça com capacidade de armazenamento e vida útil por pelo menos 20 anos, é recomendável e imprescindível que seja adotado mecanismos, como coleta seletiva, incentivo à instituição de cooperativas de catadores e compostagem, refletindo deste modo no aumento do tempo de vida útil do aterro, dada a vez a evidente escassez de áreas para este fim.

Conclusão

Este trabalho teve como escopo principal a identificação preliminar de áreas com aptidão à instalação de aterro sanitário no município de Teófilo Otoni, através do uso de ferramentas de geoprocessamento.

Para realização do presente estudo estabeleceu-se critérios restritivos quanto a seleção de áreas para instalação de aterro sanitário, sendo a seleção destes critérios pautada em normas técnicas, legais e revisão literária.

Através do estabelecimento dos critérios restritivos para cada variável abordada no âmbito econômico, social e ambiental, constatou-se que o município de Teófilo Otoni apresenta baixa representatividade de áreas contíguas que satisfizeram os critérios ponderados. Tal resultado reflete as características do município, compreendido por parte de sua extensão territorial inserida em Unidade de Conservação, além de uma extensa rede hídrica e principalmente por apresentar um relevo dissecado.

Através da metodologia baseada em inferência *booleana* aplicada nesta pesquisa, pode-se concluir que esta se demonstrou eficaz no processo de seleção preliminar de áreas para instalação de aterro sanitário, uma vez que permitiu a identificação de áreas aptas, que dispõem de capacidade de acondicionamento dos resíduos durante os 20 anos de operacionalização do sistema. Além disso, permite o direcionamento mais preciso às áreas que poderão ter um estudo mais aprofundado, sendo, portanto, uma ferramenta facilitadora na gestão territorial. Para tanto, para escolha definitiva da área para instalação do aterro sanitário sugere-se a aplicação de novas metodologias, com vista a identificar o melhor local entre as áreas que apresentaram aptidão a alocar um aterro sanitário no município.

Referências

BORTOLATTO, G. R.; AHLERT, S. Geotecnologias para a escolha de um local para possível construção de um aterro sanitário em Bento Gonçalves, RS. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE, 6., 2012, Bento Gonçalves. *Anais...*, Bento Gonçalves: [s.n.], v. 1, p. 1-8, 25 a 27 de abril, 2012. Disponível em: <<http://www.proamb.com.br/downloads/32ctja.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2016.

BRASIL. Escola de Administração Fazendária – ESAF. *Referencial de Educação Fiscal de Teófilo Otoni*. Brasília, DF, 2012, 268 p.

BRASIL. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. 2011. Execução dos estudos ambientais preliminares, elaboração do projeto básico e executivo completo do aterro sanitário: termo de referência técnico. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/images/stories/arquivosSNSA/arquivos_PDF/15_TRProjRSUAterro_Complet o2010_2011.pdf>. Acesso em: 15 maio 2016.

ESA - *European Space Agency*. Sentinel - 2A, bandas 2, 3, 4 e 8. 2016. Disponível em: <<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2>>. Acesso em: 26 set. 2016.

FRIGO, *et al.* Identificação de áreas aptas à implantação de aterro sanitário no município de Cascavel – PR. In: Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, Abril, 2013. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0430.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2016.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Landsat 8, sensor OLI – Bandas 8, 6, 5, 4. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>>. Acesso em: 22 set. 2016.

NASCIMENTO, V. M. L. C.; LIMA, E. R. V. D.; SANTOS, C. A. G. SIG na avaliação de áreas para ocupação urbana de João Pessoa, PB. *Ambiente Construído*, v. 9, n.1, p. 107-123, 2009. Disponível em: <[Http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/5698/5042](http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/5698/5042)>. Acesso em: 20 set. 2016.

MAGALHÃES JUNIOR., A.; MOREIRA, P. F. Eventos de “desequilíbrio morfodinâmico” na evolução geomorfológica de minas gerais – o caso de Teófilo Otoni/Carai – região nordeste do estado. *GEONOMOS*, p. 23-32, 2002. Disponível em: <http://www.igc.ufmg.br/geonomos/PDFs/6_2_23_32_Magalhaes.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2016.

OLIVEIRA, G. B. Mapeamento de áreas susceptíveis para implantação de aterro sanitário no município de Rio Claro, SP. 2008. 53 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2008. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/120275>>. Acesso em: 03 mar. 2016.

PEREIRA, L. D. A.; CALDEIRA, A. B.; BARROSO, L. C. Revisão de alguns aspectos da paisagem cultural de Teófilo Otoni, na mesorregião do Vale do Mucuri, Minas Gerais – Brasil. *Revista Vozes dos Vales: Publicações Acadêmicas*, UFVJM – MG – Brasil – Nº 07 – Ano IV – 05/2015, 23 p. Disponível em: <<http://site.ufvjm.edu.br/revistamultidisciplinar/files/2015/05/Larissa-DuarteAra%C3%BAjo.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2016.

SISINO, C. L. S. Destino dos resíduos sólidos urbanos e industriais no estado do Rio de Janeiro: avaliação da toxicidade dos resíduos e suas implicações para o ambiente e para a saúde humana. 2002. 97 f. Tese (Doutorado) – Curso de Ciências, Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: <<http://teses.icict.fiocruz.br/pdf/sisinnocclsd.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2016.

TEÓFILO OTONI. Ministério Público. Relatório de sentença. 2014. 27 p.

UFVJM – Universidade Federal Dos Vales Jequitinhonha e Mucuri. Plano Diretor – UFVJM. 2009. Disponível em: <<http://mapeamento.ufvjm.edu.br/plano-diretor/campus-to/por-capitulos/capitulo-03-universo-de-atuacao.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2016.

Processo de Avaliação por Pares: (*Blind Review* - Análise do Texto Anônimo)

Publicado na Revista Vozes dos Vales - www.ufvjm.edu.br/vozes em: 05/2017

Revista Científica Vozes dos Vales - UFVJM - Minas Gerais - Brasil

www.ufvjm.edu.br/vozes

www.facebook.com/revistavozesdosvales

UFVJM: 120.2.095-2011 - QUALIS/CAPES - LATINDEX: 22524 - ISSN: 2238-6424

Periódico Científico Eletrônico divulgado nos programas brasileiros *Stricto Sensu*

(Mestrados e Doutorados) e em universidades de 38 países,

em diversas áreas do conhecimento.