

UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE MODELAGEM E ANÁLISE ESPACIAL NA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS ÓTIMAS PARA A IMPLANTAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS EM REGIÕES METROPOLITANAS DENSAMENTE POVOADAS

José Nunes de Aquino

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto,
Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Porto Alegre, RS, Brasil
josenuesdeaquino@gmail.com

Marcelo Antonio Nero

Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências,
Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, Belo Horizonte, MG, Brasil
marcelo.nero@gmail.com

Adriana Monteiro da Costa

Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências,
Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, Belo Horizonte, MG, Brasil
drimonteiroc@gmail.com

RESUMO

Do ponto de vista econômico, os aterros sanitários são a solução ambientalmente mais viável, uma vez que são dotados de tecnologias que previnem principalmente a contaminação do solo e dos recursos hídricos subterrâneos. No entanto, a escolha da área para a construção de um aterro sanitário ainda é um dos maiores desafios. Assim, este artigo tem como objetivo determinar, através da análise multicritério, áreas ideais para a implantação de aterros sanitários em regiões metropolitanas densamente povoadas. Para tanto, foram empregados conceitos dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na seleção das áreas potenciais e otimizadas. Dessa maneira, foram combinadas as técnicas de análise multicritério em conjunto com um SIG para examinar os critérios preconizados na legislação vigente e nas normas construtivas deste tipo de empreendimento. A partir da combinação de variáveis ambientais, sociais e econômicas, de ordem restritiva e fatorial, o modelo proposto localizou 14 áreas potenciais para a instalação de aterros sanitários na Região Metropolitana de Belo Horizonte - RMBH. Adicionalmente, realizou-se uma análise da qualidade do mapa temático gerado por meio de processo empírico e amostral, sendo considerados satisfatórios os resultados obtidos e que abre novas discussões para projetos futuros.

Palavras-chave: SIG. Aterros Sanitários. Análise Multicritério. Qualidade Temática.

USE OF MODELING TECHNIQUES AND SPACE ANALYSIS IN IDENTIFICATION OF GREAT AREAS FOR THE IMPLANTATION OF SANITARY LARGE METROPOLITAN REGIONS

ABSTRACT

From the economic point of view, landfills are the most environmentally viable solution since they are equipped with technologies that prevent soil and groundwater resources from being contaminated. However choosing the area to build a landfill is still one of the biggest challenges. Thus, this article aims to determine, through multicriteria analysis, ideal areas for the installation of sanitary landfills in densely populated metropolitan regions. In order to do that, concepts of the Geographic Information Systems (GIS) were employed in the selection of potential and optimized areas. In this way, the techniques of multicriteria analysis were combined with GIS to examine the criteria recommended in the current legislation and in the constructive norms of this kind of entrepreneur. Based on the combination of environmental, social and economic variables of a restrictive and factorial order, the proposed model located 14 potential areas for the installation of sanitary landfills in the Metropolitan Region of Belo Horizonte - RMBH. In addition, an analysis of the quality of the thematic map generated through an empirical and sample process was carried out,

and the results obtained were considered satisfactory and opened new discussions for future projects.

Keywords: GIS. Sanitary Landfills. Multicriteria Analysis. Thematic Quality.

INTRODUÇÃO

Conforme a Organização das Nações Unidas (ONU) são produzidos anualmente 1,4 bilhões de toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos no Mundo, sendo que um estudo feito em 2014 por essa mesma Instituição em conjunto com o Banco Mundial revelou que em 10 anos serão 2,2 bilhões de toneladas anuais. Apenas no Brasil, cerca de 80 mil toneladas de resíduos sólidos urbanos eram descartadas de forma inadequada todos os dias, correspondendo a mais de 40% do lixo coletado (Revista em discussão, 2014; ONU, 2016).

O cenário mostrado acima é alarmante, pois essa situação representa prejuízos tanto na economia, como na saúde, mas principalmente ao meio ambiente. A falta de coleta ou o descarte em locais inapropriados contamina o solo e os cursos d'água; a queima sem controle polui o ar e a falta do hábito de reciclagem acelera o esgotamento dos recursos naturais, o que torna a busca por soluções imperativa.

A disposição final de resíduos sólidos em aterros sanitários deve atender de forma satisfatória aos fatores ambientais, legais e econômicos. Diante disso, as técnicas de modelagem e análise espacial se apresentam como uma poderosa ferramenta que tem a capacidade de reunir um grande número de critérios relacionados à localização de tais empreendimentos, apresentando análises prévias confiáveis.

Neste sentido, este artigo apresentapresentar uma metodologia de análise multicritério a partir de uma abordagem booleana e análise escalonar, para a criação dos mapas de restrição e de áreas potenciais para a construção de aterros sanitários na região de estudo.

ASPECTOS CONCEITUAIS, LEIS E NORMATIVAS

No Brasil foi publicada em agosto de 2010, a Lei 12.305 (BRASIL, 2010) que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Em seu artigo nº 53, a lei determina que “a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, [...], deverá ser implantada em até quatro anos após a data de publicação desta lei”, tudo isso sob pena de suspensão dos recursos federais para o setor, bem como o risco de sofrer as sanções previstas na Lei nº 9.605 (BRASIL, 1998) a qual é conhecida como a Lei de Crimes Ambientais. No entanto, esta determinação não foi seguida pela maioria dos municípios, que se depararam principalmente com a falta de recursos e de corpo técnico especializado.

O Estado de Minas Gerais desenvolve mecanismos e ferramentas de governança para a gestão adequada dos resíduos sólidos de forma pioneira. Em 2001 foi publicada pelo Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM a Deliberação Normativa nº 52 (COPAM, 2001) que convoca municípios para o licenciamento ambiental de sistema adequado de disposição final de lixo (*sic*) e também determinar critérios para a construção de aterros sanitários, de forma mais restritiva.

O governo de Minas Gerais através da Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM) em parceria com as Universidades Federais de Viçosa (UFV) e de Lavras (UFLA), assim como a Fundação Israel Pinheiro (FIP), criaram o Programa Minas sem Lixão, ativo desde 2003 e conta com relatórios anuais acerca do panorama da gestão dos resíduos sólidos urbanos em todos os municípios do Estado (FEAM, 2016).

Do ponto de vista econômico, os Aterros Sanitários são a solução ambientalmente correta mais viável, uma vez que são dotados de tecnologias que previnem principalmente a contaminação do solo e dos recursos hídricos subterrâneos. No entanto, a escolha da área para a construção dos mesmos ainda é um dos maiores entraves. A disposição final de resíduos sólidos em Aterros Sanitários deve buscar atender de forma satisfatória aos fatores ambientais, legais, econômicos e sociais. Assim, diante de tal problemática, as técnicas de modelagem e análise espacial se

mostram como uma poderosa ferramenta que tem a capacidade de reunir o grande número de critérios relacionados à localização de aterros sanitários, apresentando análises prévias confiáveis.

Desta forma, a relevância deste estudo reside na necessidade do aprimoramento das técnicas existentes para a seleção de áreas para construção de aterros sanitários, de forma que as tomadas de decisão de gestores públicos possam se basear em informações cada vez mais claras e eficazes.

Segundo a NBR 8.419 (ABNT, 1984), aterro sanitário é uma forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo, mediante confinamento em camadas cobertas com material inerte, geralmente solo. Assim, a implantação e operação de Aterros Sanitários seguem normas operacionais específicas, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais.

A Fundação Estadual de Meio Ambiente – FEAM, em sua Cartilha de Orientações Técnicas para o cumprimento à Deliberação Normativa 118/2008 (FEAM, 2008) que versa sobre as diretrizes para adequação da disposição final de resíduos sólidos urbanos no Estado de Minas, lista os elementos de proteção ambiental que um aterro sanitário deve contar, desde sua concepção, a saber: sistema de impermeabilização de base e laterais; sistema de recobrimento diário dos resíduos; sistema de cobertura final das plataformas; sistema de coleta e tratamentos dos gases; sistema de drenagem superficial; sistema de tratamento de líquidos percolados; sistema de monitoramento.

No aterro sanitário, o lixo é lançado sobre o terreno e recoberto com o solo do local, de forma a isolá-lo do ambiente e formando câmaras. Pela própria movimentação de máquinas de terraplanagem na execução dessas “câmaras”, o lixo é compactado e seu volume substancialmente reduzido (BRAGA et al., 2002).

Segundo Milosevic e Naunovic (2013) ao escolher a localização mais favorável para a construção de um aterro sanitário, é necessário fornecer uma abordagem sistemática no processo de coleta de informações e critérios para selecionar a área. De acordo com Xavier-da-Silva e Zaidan (2004), dentre os problemas na seleção de áreas para a implantação de aterros sanitários, os maiores são: a possibilidade de poluir o solo e cursos d'água superficiais e subterrâneos; a necessidade de supervisão constante de modo a garantir a manutenção das mínimas condições ambientais e de salubridade; a geração de gases (metano CH₄ entre outros) a partir da decomposição do lixo aterrado; a necessidade de terrenos disponíveis para a instalação do aterro próximo aos locais de produção do lixo, já que o custo de transporte é muito elevado para a limpeza urbana em virtude do baixo peso específico do lixo; a resistência dos moradores nas cercanias do aterro que, muitas vezes, por não serem ouvidos e devidamente esclarecidos quanto ao problema, acaba por criar impasses desgastantes para administrações municipais. Assim, a escolha do local adequado para instalação do aterro sanitário torna-se uma questão vital no planejamento metropolitano, a fim de assegurar a manutenção da qualidade ambiental. Deve-se considerar ainda, que os custos envolvidos para a solução da poluição provocada pela inadequada disposição dos resíduos sólidos no meio ambiente são muito altos e fica evidente a grande vantagem de atuação em termos de prevenção, através da escolha adequada de locais, de projetos convenientemente desenvolvidos, operação conforme o especificado e o monitoramento (LIMA, GUIMARÃES, 2001).

As NBRs 10.157 (ABNT, 1987) e 13.896 (ABNT, 1997) descrevem as condições mínimas exigíveis para implantação e operação de aterro de resíduos sanitários de resíduos perigosos e não perigosos, respectivamente, no Brasil. Estas normas levam em consideração critérios técnicos como topografia, geologia/solos, recursos hídricos, vegetação, acessos, tamanho disponível/vida útil, custos e distância mínima dos núcleos populacionais, descritos a seguir: 1) Topografia: recomendam-se locais com declividade superior a 1% e inferior a 30%. Todavia, eventualmente, a critério do Órgão de Controle Ambiental (OCA), as áreas com declividade acima de 30% podem ser utilizadas, exceto para NBR 10.157 (ABNT, 1987), que considera declividades superiores a 1% e inferiores a 20%; 2). Os fatores geologia e solos são importantes na determinação da capacidade de depuração do solo e da velocidade de infiltração. 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; 3) Recursos hídricos: O aterro deve ser localizado a uma distância mínima de 200 m de qualquer cotação hídrica ou curso de água. A critério do Órgão de Controle Ambiental (OCA), essa distância pode ser alterada, exceto para a NBR 10.157 (ABNT, 1987). Adicionalmente, a deliberação Normativa nº 52 do (COPAM,

2001) determina que os aterros sanitários devam estar a uma distância mínima de 300 metros de corpos d'água ou qualquer coleção hídrica. 4) Vegetação: o estudo 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; 4) Acessibilidade: fator de evidente importância em um projeto de aterro, uma vez que são utilizados durante toda a sua operação; 5) Tamanho disponível e vida útil: estes fatores encontram-se inter-relacionados e recomenda-se a construção de aterros com vida útil mínima de 10 anos, sendo que mais detalhes podem ser encontrados no Manual de Diretrizes para Apresentação de Projetos de Engenharia (BRASIL, 2010), apresenta o tamanho mínimo de áreas para a construção de Aterros Sanitários, baseado no tamanho da população atendida por este empreendimento, onde por exemplo, para regiões onde o número de habitantes da população encontra-se entre 500.001 e 750.000 habitantes (o mais próximo compatível da RMBH), sugere uma área mínima de 95 hectares; 6) Custos: têm 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; 7) Distância mínima dos 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. A critério do Órgão de Controle Ambiental (OCA) essa distância pode ser alterada, exceto para a NBR 10.157 (ABNT, 1987).

Adicionalmente, na literatura são apontados outros critérios, não considerados nas NBRs abordadas anteriormente, devem ser considerados na seleção de área para implantação de um aterro sanitário, observando as especificidades da região pretendida, tais como: 1) Distâncias do Centro de Massa de Coleta de Resíduos Sólidos Urbanos - CMCRSU. Trata-se de uma área circular com raio mínimo de 10 km, considerado como centro geográfico, a área urbana dos municípios que compõem a área de estudo; 2) Área de Gerenciamento do Risco Aviário (AGRA). Área circular com centro no ponto médio da pista do aeródromo e raio de 20 km.

A análise de multicritérios é uma ferramenta matemática que permite comparar diferentes alternativas (ou cenários), fundamentada em vários critérios, com o objetivo de direcionar os tomadores de decisão para uma escolha ponderada (Roy, 1996).

Levando em consideração a quantidade de variáveis que engloba a questão da localização de áreas propícias para construção de aterros sanitários, a análise multicritério, aliada à um Sistema de Informações Geográficas - SIG, pode gerar resultados satisfatórios. Segundo Cabral (2012) o SIG diferencia-se dos demais sistemas de informação, pela sua capacidade de integrar dados espaciais e alfanuméricos, permitindo a visualização dos mesmos, através de mapas.

De acordo com Gonçalves (2007), a análise multicritério pode ser implementada num SIG através de um dos dois procedimentos: 1) Sobreposição Booleana: em que os critérios são adaptados à lógica binária (0/1), em termos da aptidão, combináveis sequencialmente, através de operadores como a intersecção (AND) e a união (OR). Neste método não há a ponderação das entradas, de acordo com os seus níveis de importância. 2) Lógica Fuzzy: combinação de critérios contínuos, através da normalização para uma escala contínua (por exemplo 0 a 1) e da aplicação de pesos para obter média ponderada. Este método diminui a subjetividade na tomada de decisão e é muito comum a sua utilização para padronizar (transformação de unidades de medidas diferentes numa única base de comparação) os fatores presentes num modelo multicritério.

Para Malczewski (1999), apesar dos SIGs e dos métodos de decisão de multicritérios serem duas áreas distintas de pesquisa, os problemas de planejamento e gerenciamento do mundo real podem se beneficiar da combinação de suas técnicas e procedimentos.

O método mais usual de avaliar o peso de cada critério para problemas de localização é o método AHP (Analytic Hierarchy Process – Análise Hierárquica de Processos) desenvolvido por Saaty (2000) e resultantes de estudos desse mesmo autor realizados na década de 70. O método de comparação par a par, apesar de mais complexo, apresenta resultados que se adequam melhor à problemática da definição de áreas para construção de aterros sanitários.

Segundo Folleto (2016), outro método utilizado para determinar a aptidão de áreas para a construção de um aterro sanitário, é a realização de uma análise escalonar de aptidão, que consiste em atribuir notas, que podem variar de 0 a 10 ou de 0 a 5, para determinar os níveis de aptidão de cada critério fatorial analisado, não havendo ponderação das notas.

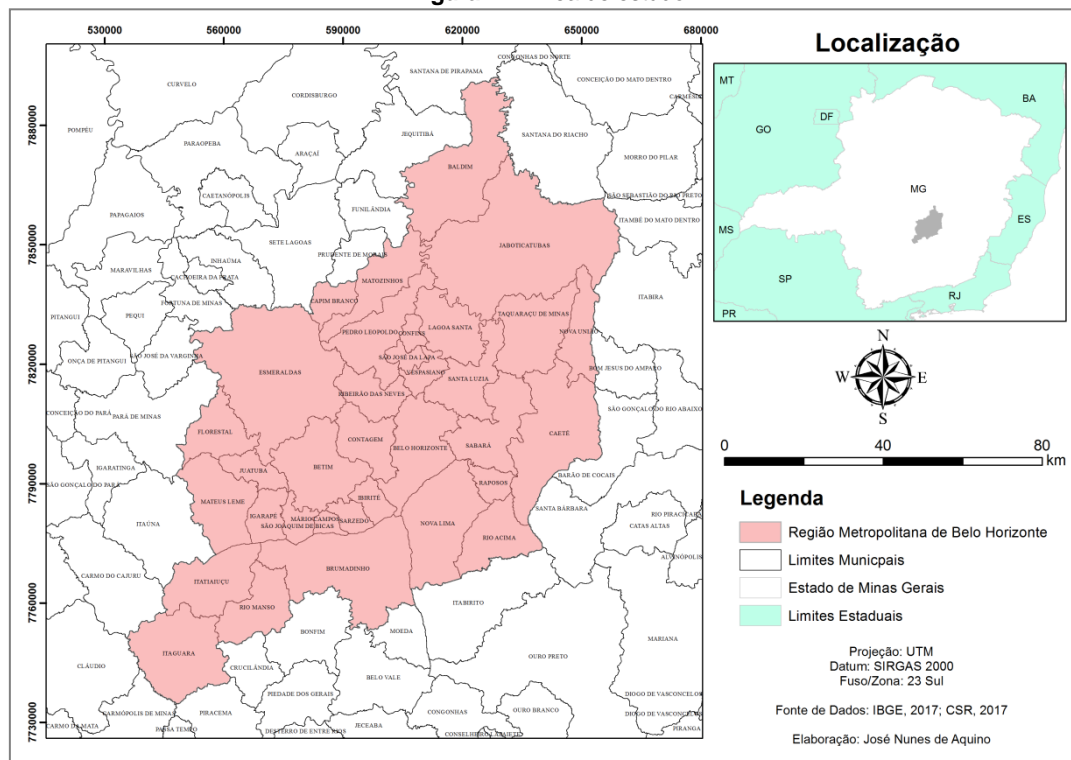
Considerando-se as aplicações da área de Geoprocessamento no campo dos aterros sanitários, tem-se os trabalhos relatados por Frasson et al. (2001), Calijuri et al. (2002), Weber e Hasenack (200, 2004), TSUHAKO (2004), Silva et al. (2005), Biana (2007), Santos e Girardi (2007), SCHUELER e MAHLER (2014), entre outros.

METODOLOGIA

Área de Estudo

A Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH está localizada entre as seguintes coordenadas: Latitude: no Sistema Universal Transverso de Mercator (UTM), fuso 23S, Meridiano Central em 45°W), datum SIRGAS 2000, em E entre 530.000 m e 680.000 e em N entre 7.730.000 m e 7.880.000 m. A figura 1 mostra a localização da área de estudo.

Figura 1 – Área de estudo



A RMBH é composta por 34 municípios (número consolidado em MINAS GERAIS(1989, 2006), pois antes compreendia 20 municípios, segundo MINAS GERAIS(1974) e totaliza uma área de 9.474,92 km², ocupando 1,6% do território do Estado de Minas Gerais. Possui uma população estimada de 5.314.930 habitantes, cerca de 20% do total de habitantes do estado. É a terceira maior Região Metropolitana do país, com um PIB de 56,8 milhões(AGÊNCIA METROPOLITANA, 2017; IBGE, 2017).

Materiais

Neste trabalho foram utilizados os seguintes recursos:

- 1) Bases cartográficas: Mapas digitais oficiais em formato *shapfile* na escala 1:50.000 da Região Metropolitana de Belo Horizonte - MG (AGENCIA RMBH, 2017); Manchas Urbanas (2010); Malha Municipal (AGENCIA RMBH, 2017); Rodovias e malha viária urbana (PDDI-RMBH, 2015); Declividade: modelo digital de terreno a partir de imagem do SRTM em escala de 1:150.000 (USGS, 2016); Recursos hídricos: rede de drenagem das bacias hidrográficas do Estado de Minas

Gerais em escala 1:50.000 (IGAM, 2012); Solos: mapeamento digital dos solos de Minas Gerais em escala 1:650.000 (UFV *et al*, 2010); Geologia: mapeamento geológico do estado de Minas Gerais em escala de 1:1.000.000 (CPRM/CODEMIG/UFMG; 2013); Uso da terra e cobertura do solo. (PRODES, 2013)

2) Hardware: notebook Intel Core i3, 4 GB de RAM e disco rígido de 500 GB;

3) Softwares: ArcGis 10.3 (ESRI, 2015) e Dinâmica EGO (SOARES-FILHO, 2009).

Métodos

Seleção de Critérios

O processo de seleção de critérios que nortearam a escolha de áreas para a construção de aterros sanitários envolveu 3 grandes aspectos: i) ambiental; ii) social e iii) econômico (Tabela 1).

Tabela 1 – Critérios para seleção de áreas para construção de aterros sanitários na RMBH.

Critérios Ambientais	Tipo	Referências
1. Solos	Fatorial (1 a 5)	(COSTA et al., 2018)
2. Geologia	Fatorial (1 a 5)	(COSTA et al., 2018)
3. Hidrografia	Restritivo (0 e 1)	(ABNT, 1997); (COPAM, 2001)
4. Uso do Solo	Fatorial (1 a 5)	(GBAINE, 2013)
5. Relevo (Declividade)	Fatorial e Restritivo (0 a 5)	(ABNT, 1997)
6. Unidades de Conservação	Restritivo (0 e 1)	(FOLLATO, 2016)
Critérios Sociais	Tipo	Referências
7. Núcleos Urbanos	Restritivo (0 e 1)	(ABNT, 1997)
8. Aeroportos e Aeródromos	Restritivo (0 e 1)	(CONAMA, 1994)
Critérios Econômicos	Tipo	Referências
9. Vida útil	Restritivo (0 e 1)	(BRASIL, 2012)
10. Rodovias	Restritivo (0 e 1)	(DNIT, 2005)

Neste sentido, o estudo pretendeu validar uma metodologia para nortear prospecções de locais para construção de aterros sanitários em regiões extensas e de grande adensamento populacional, como é o caso de RMBH.

Análise Multicritério

Weber e Hasenack (2004) explicam que na teoria da decisão, um critério é utilizado como base para medir e avaliar determinada decisão e pode assumir características restritivas ou de fator. Como resultado, alguns dados foram classificados em escores em função de sua aptidão para o uso desejado, tornando-se fatores, e outros em barreiras absolutas, impedindo o uso da área, tornando-se restrições.

No caso da seleção de áreas para implantação de aterros sanitários, as restrições diferenciaram as áreas aptas, daquelas não aptas sob nenhuma hipótese. Neste caso aplicou-se a *Lógica Booleana* construindo um mapa digital constituído de duas classes: apto e não apto. A figura 2 apresenta um fluxograma das etapas de modelagem que foram executadas para a elaboração do mapa de restrições.

Os Fatores são critérios que definem o grau de aptidão para a área considerada. Eles definem áreas ou alternativas em termos de uma medida contínua de aptidão, realçando ou diminuindo a importância de uma alternativa em consideração naqueles locais fora das restrições absolutas (WEBER; HASENACK, 2000). Para isso, utilizou-se a análise escalonar. A figura 3 apresenta um fluxograma das etapas de modelagem executadas para a elaboração do mapa fatorial.

Figura 2 – Modelagem para o mapa de restrição

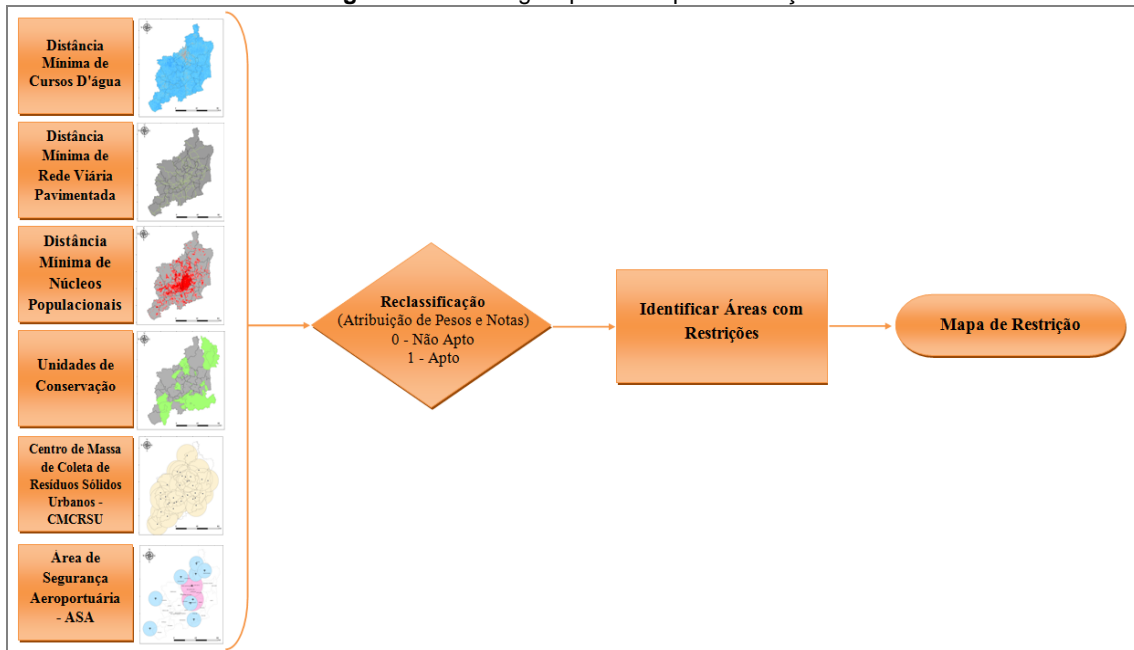
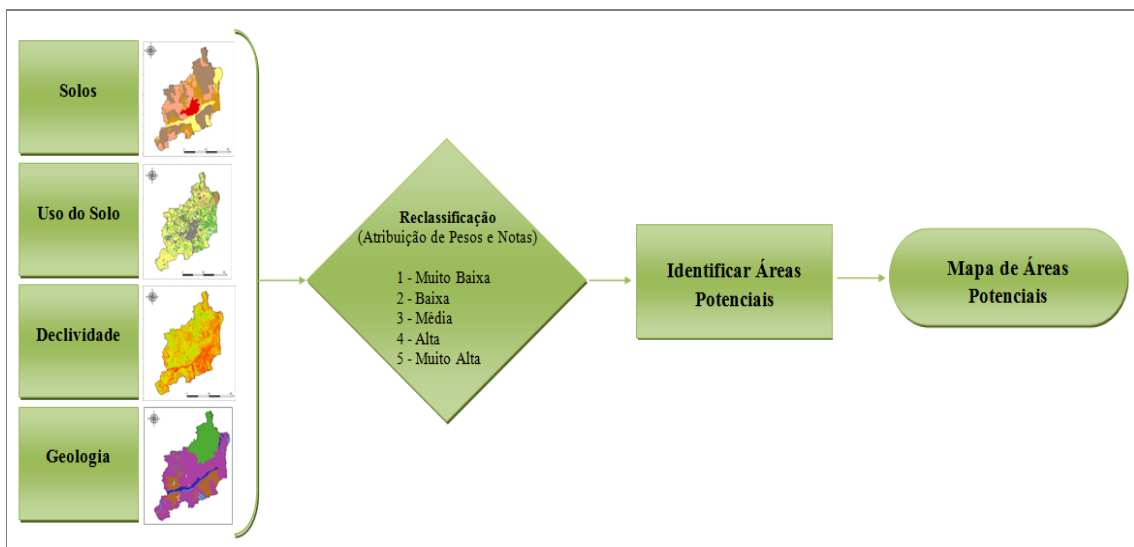


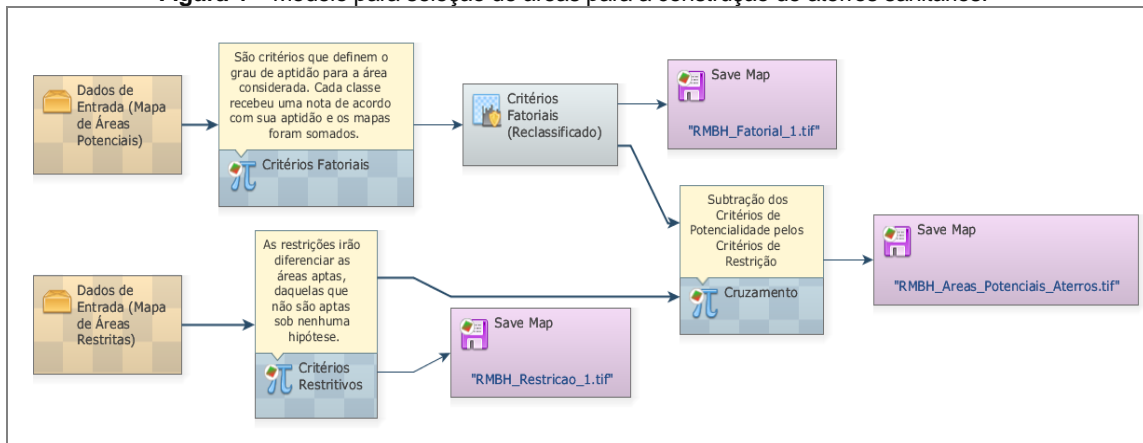
Figura 3 – Modelagem para o mapa fatorial



Modelo S.A.I.P.A.S.

Esta etapa consistiu na construção de um modelo para **Seleção de Áreas Ideais Para a construção de Aterros Sanitários** (Figura 4) utilizando-se o software Dinamica EGO (SOARES-FILHO, 2009).

Figura 4 – Modelo para seleção de áreas para a construção de aterros sanitários.



Com a função denominada “*Calculate Map*” e utilizando os algoritmos representados nas equações 1 e 2, foram construídos os mapas de restrição e o mapa fatorial, respectivamente.

$$\text{Mapa de Restrição: } \text{if } i1 \text{ and } i2 \text{ and } i3 \text{ and } i4 \text{ and } i5 \text{ and } i6=0 \text{ then } 0, \text{ else } 1 \quad (1)$$

Onde:

0 = Áreas com restrição;

1 = Áreas sem restrição;

i1 = Área de Segurança Aeroportuária - ASA;

i2 = Distância de Rodovias Pavimentadas;

i3 = Distância de Cursos D’água;

i4 = Distância de Núcleos Urbanos;

i5 = Distância do Centro de Massa de Coleta de Resíduos - CMCRSU;

i6 = Unidades de Conservação;

$$\text{Mapa Fatorial} = i1 + i2 + i3 + i4 + i5 \quad (2)$$

Onde:

i1 = Uso e cobertura da terra;

i2 = Geologia;

i3 = Solos - Textura;

i4 = Solos - Profundidade Efetiva;

i5 = Declividade.

Em seguida, realizou-se a reclassificação do mapa fatorial utilizando a função “*Calc Histogram Equalized Map*”, onde foram definidos os 5 níveis de aptidão das áreas selecionadas, onde 1 significa “Aptidão muito baixa” e 5 “Aptidão Muito Alta”. Por fim, foi realizada uma nova álgebra de mapas, onde foi efetuada a subtração do mapa fatorial, pelo mapa de restrições (Equação 3), resultando no mapa de áreas potenciais para construção de aterros sanitários na RMBH.

$$\text{Mapa de Áreas Potenciais} = \text{if not isNull}(i1) \text{ and } i2 = 1 \text{ then } i1 \text{ else null} \quad (3)$$

Onde:

i1 = Mapa Fatorial;

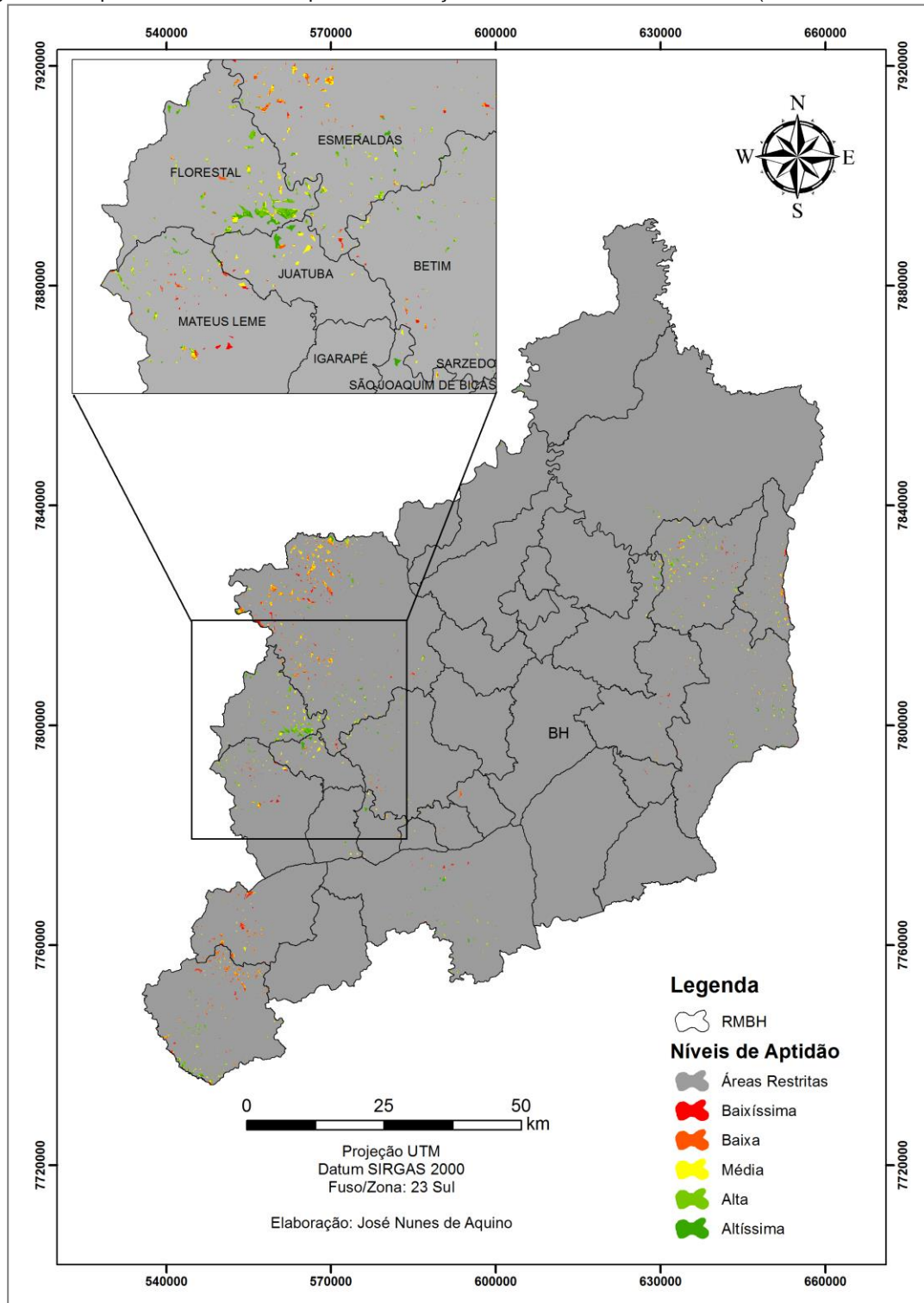
i2 = Mapa de Restrição;

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os critérios geo-espaciais de natureza ambiental, social e econômica, permitiram avaliar a aptidão da área da Região Metropolitana de Belo Horizonte - RMBH para a implantação de Aterros Sanitários, combinando técnicas de análise espacial e modelagem ambiental.

Observa-se as áreas potenciais para a construção de aterros sanitários na RMBH (Figura 5), em seus 5 níveis de Aptidão que vão de “baixíssima” à “altíssima” aptidão.

Figura 1 – Mapa de Áreas Potenciais para a Construção de Aterros Sanitários na RMBH (Resultado Primário).



Um total de 10.259 áreas encontradas foram divididas em seus 5 níveis de aptidão. Contudo, estes tratavam de polígonos muito irregulares e uma grande quantidade de “outliers”, com áreas cuja extensão variavam de 0,05 ha a 69 ha. O Ministério das Cidades (BRASIL, 2010) recomenda que os aterros sanitários para gestão consorciada, com vida útil prevista para no mínimo 10 anos, não devem ser instalados em áreas menores que 25 hectares, para municípios com população maior que 100.000 habitantes.

Assim, as áreas foram filtradas quanto ao seu tamanho, sendo consideradas apenas as áreas maiores que 25 hectares, conforme tabela supracitada, uma vez que na RMBH, existem municípios com contingente populacional compatível com o preconizado pelo Ministério das Cidades (BRASIL, 2010).

A modelagem evidenciou que as áreas com “alta” e “altíssima” aptidão estão, em muitos casos, mescladas. Neste sentido, para um melhor resultado em termos de extensão da área, optou-se por unir essas duas classes e considerar como áreas aptas para a construção, aquelas que apresentaram as características de “alta” e “altíssima” aptidão.

No que concerne ao nível de aptidão das áreas, foram removidas da análise as áreas que se encontravam na faixa entre “baixíssima” e “média” aptidão, visto que tais áreas possuem características pouco atrativas para a construção de aterros sanitários, além de que, sua possível escolha, poderia acarretar empecilhos futuros em relação ao licenciamento da obra e operação do empreendimento.

Após a exclusão dos polígonos irregulares menores que 25 hectares e das áreas de “baixíssima” à “média” aptidão, foram encontradas 14 áreas com “alta e altíssima” aptidão. O quadro 1 apresenta uma síntese dos resultados obtidos para cada área, no que diz respeito aos critérios de potencialidade.

Quadro 1 – resultados por área. Informações das Áreas			Características de Potencialidade				
Identificação	Extensão da Área (ha)	Município	Solos (Textura)	Solos (Profundidade)	Geologia	Declividade	Uso do Solo
A	167.36	Florestal	Argissolo (Argilosa à Muito Argilosa)	Argissolo (Moderadamente Profundo)	Ortognaisse Tonalítico à Granítico (Baixíssima Vulnerabilidade)	0 - 20 %	Pastagem
B	133.37	Florestal	Argissolo (Argilosa à Muito Argilosa)	Argissolo (Moderadamente Profundo)	Rocha metaltramáfica e metamáfica tholeiíticas, metabasalto komatiítico, metavulcânica félsica, formações químico-exalativas, FFB e xisto (Baixa Vulnerabilidade)	0 - 20 %	Silvicultura e Pastagem
C	88.60	Florestal	Argissolo (Argilosa à Muito Argilosa)	Argissolo (Moderadamente Profundo)		0 - 20 %	Silvicultura e Pastagem
D	26.35	Juatuba	Argissolo (Argilosa à Muito Argilosa)	Argissolo (Moderadamente Profundo)		0 - 20 %	Pastagem
E	60.20	Juatuba	Argissolo (Argilosa à Muito Argilosa)	Argissolo (Moderadamente Profundo)		0 - 20 %	Pastagem

Quadro 1 – resultados por área. Informações das Áreas			Características de Potencialidade				
F	26.80	Florestal	Argissolo (Argilosa à Muito Argilosa)	Argissolo (Moderadamente Profundo)	Ortochnaisse Tonalítico à Granítico (Baixíssima Vulnerabilidade)	0 - 20 %	Pastagem
G	35.93	Florestal	Argissolo (Argilosa à Muito Argilosa)	Argissolo (Moderadamente Profundo)		0 - 20 %	Pastagem e Savanas
H	29.09	São Joaquim de Bicas	Latossolo (Média à Muito Argilosa)	Latossolo (Muito Profundo)	Rocha metaultramáfica e metamáfica tholeiíticas, metabasalto komatiítico, metavulcânica félsica, formações químico-exalativas, FFB e xisto (Baixa Vulnerabilidade)	0 - 20 %	Pastagem
I	27.95	Brumadinho	Latossolo (Média à Muito Argilosa)	Latossolo (Muito Profundo)		0 - 20 %	Pastagem
J	40.33	Itaguara	Argissolo (Argilosa à Muito Argilosa)	Argissolo (Moderadamente Profundo)	Ortochnaisse bandado tonalítico a granodiorítico (Baixíssima Vulnerabilidade)	0 - 20 %	Pastagem e Savanas
K	34.66	Itaguara	Argissolo (Argilosa à Muito Argilosa)	Argissolo (Moderadamente Profundo)		0 - 20 %	Pastagem e Savanas
L	39.37	Esmeraldas	Neossolo (Arenosa a Muito Argilosa)	Neossolo (Muito Raso)	Sedimentos clásticos inconsolidados (Muito Vulnerável)	0 - 20 %	Pastagem
M	27.26	Santa Luzia	Neossolo (Arenosa a Muito Argilosa)	Neossolo (Muito Raso)	Argilito e siltito ardosianos, marga, lentes de calcário (Muito Vulnerável)	0 - 20 %	Pastagem
N	37.57	Taquaraçu de Minas	Neossolo (Arenosa a Muito Argilosa)	Neossolo (Muito Raso)	Calcário calcítico predominante, calcilito (Muito Vulnerável)	0 - 20 %	Pastagem

A figura 6, por sua vez, apresenta um mapa da espacialização dessas áreas na RMBH, com enfoque nos municípios onde houve ocorrência de áreas potenciais.

Áreas “A”, “B”, “C”, “D”, “E”, “F” e “G”

A maior concentração de áreas encontradas pelo modelo está localizada na porção oeste da RMBH, nos municípios de Florestal, onde foram encontradas 5 áreas (A, B, C, F e G) e no município de Juatuba, com a ocorrência de 2 áreas (D e E).

As sete áreas localizadas nestes dois municípios ocorrem em áreas de Argissolo. Esta classe de solo possui textura “muito argilosa”, conferindo-lhe um baixo coeficiente de permeabilidade. A profundidade efetiva desta classe de solo é considerada “moderadamente profunda”. Os argissolos possuem uma profundidade efetiva média de 100 centímetros.

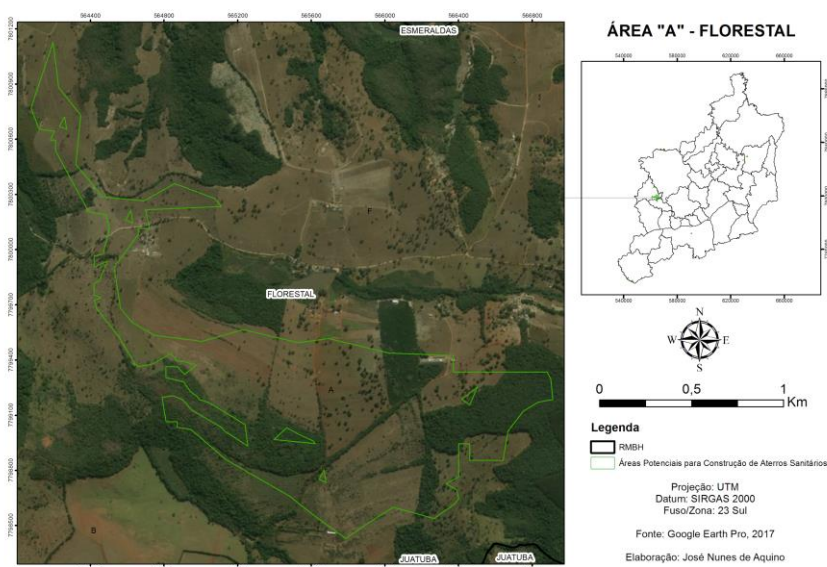
Relacionado ao critério Geologia, as 7 áreas estão localizadas em diferentes classes litológicas. As áreas A, F e G estão localizadas sobre “Ortognaisse Tonalítico a Granítico”, ao passo que as áreas B, C, D e E, estão sobre “Rocha metaultramáfica e metamáfica tholeiíticas, metabasalto komatiítico, metavulcânica félsica, formações químico-exalativas, FFB e xisto”. Segundo COSTA et al. (2018), as referidas classes litológicas são de “baixíssima” e “baixa” vulnerabilidade à denudação, respectivamente.

Os baixos índices de vulnerabilidade à denudação refletem no resultado do critério Declividade, visto que as 7 áreas possuem uma grande variabilidade nos graus de declividade, porém com a predominância de relevos “moderadamente ondulados a ondulados” (8% - 20%). No entanto, no que diz respeito às recomendações técnicas da NBR 13.896 (ABNT, 1997), este grau de declividade atende os requisitos necessários para a construção e operação de um aterro sanitário.

No que diz respeito ao Uso e Cobertura da Terra, o modelo apontou somente áreas correspondentes às classes de Pastagem, Savanas e Florestas Plantadas (Silvicultura). No entanto, para melhor avaliação dos resultados, foram utilizadas imagens de alta resolução (tanto espacial, quanto temporal) do *software Google Earth Pro*, para verificação da viabilidade de implantação do aterro sanitário, a partir da análise de componentes da paisagem.

A área “A” corresponde à maior área encontrada pelo modelo, possuindo 167,36 hectares, conforme pode ser observado na delimitação da área em uma imagem de satélite de alta resolução (Figura 7). Este recurso permitiu constatar que o uso e cobertura da terra da área é predominantemente de pastagem, ocorrendo alguns fragmentos florestais e de silvicultura.

Figura 7 – Área “A”



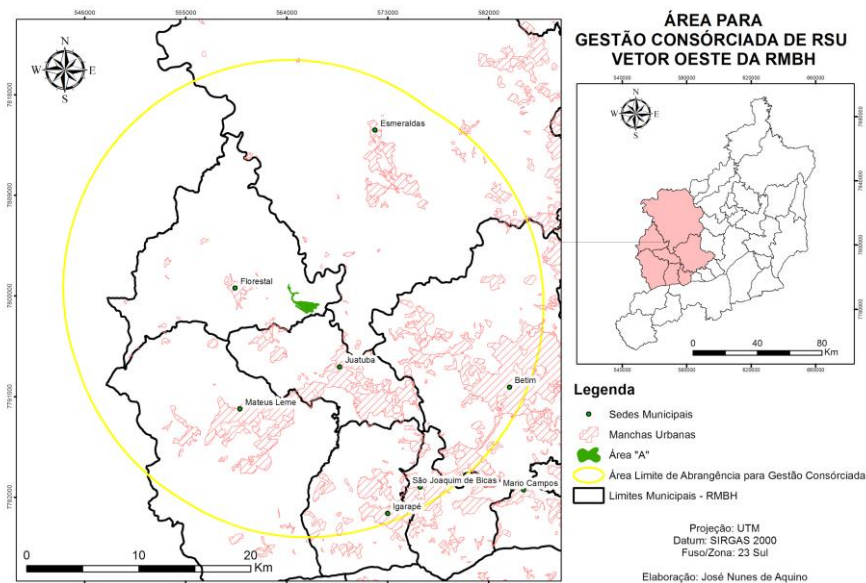
A Área “B”, apesar de possuir uma grande extensão territorial (133,37 ha), tem sua porção maior concentrada em local de ocorrência de densa vegetação arbórea.

A área “C” foi a terceira maior área encontrada, com uma extensão de 88,60 ha. No entanto, apesar de estar localizada na área rural, a observação em imagem de alta resolução mostrou a existência de algumas casas, sítios e terrenos loteados dentro da área e na sua faixa de restrição de 500 metros, a partir dos limites da área. Por se tratarem de pequenos fragmentos de urbanização, o modelo não identificou tais feições. Já Área “D” está predominantemente inserida em área de pastagem, com apenas 26,34 ha de extensão, porém é capaz de abrigar um aterro sanitário de pequeno porte que atenderia, por no mínimo 10 anos, uma população de 100 à 150 mil habitantes. A área “E” possui uma extensão territorial de 60,20 ha e está inserida predominantemente em área de pastagem, com pequenos fragmentos florestais em suas extremidades. Já as áreas “F” e “G”, que possuem extensão de 26,80 ha e 34 ha respectivamente, se assemelham a situação da área “C”, sendo possível identificar através da imagem de alta resolução, construções residenciais no entorno, dentro da faixa de restrição de 500 metros. Além disso, no caso da área “G”, existe a ocorrência de vegetação arbórea densa na área central da gleba.

Em relação aos critérios restritivos, com exceção das áreas “C”, “F” e “G”, as demais obedecem às faixas de domínio estabelecidas como “áreas de restrição”. Para avaliar logisticamente a possibilidade de gestão consorciadas das demais áreas, foi traçado um raio de 20 km a partir do ponto central das glebas, com o intuito de identificar quais áreas urbanas/municípios estão incluídos na referida área de influência.

Dentre todas, a área “A” se mostrou mais apta por se tratar da área com maior extensão territorial (167,36 ha), além de sua área de influência de 20 km atingir as sedes urbanas de 7 municípios da RMBH (Florestal, Juatuba, Mateus Leme, Esmeraldas, Igarapé, São Joaquim de Bicas e Betim) (Figura 8). A população estimada nesta área corresponde a 631.338 habitantes (IBGE, 2017), que por sua vez, é uma soma compatível com o tamanho da área selecionada.

Figura 8 – Área para a construção de Aterro Sanitário - Vetor Oeste RMBH.



Áreas “H” e “I”

As áreas em epígrafe estão localizadas nos municípios de São Joaquim de Bicas e Brumadinho, respectivamente. A área “H” possui uma extensão de 29,09 ha, ao passo que a área “I” possui 27,95 ha.

As duas glebas ocorrem em áreas de solos do tipo Latossolo. Esta classe de solo possui textura que varia de “média a muito argilosa”, conferindo-lhe um baixo coeficiente de permeabilidade. A sua profundidade efetiva é considerada “muito profunda” sendo esta superior a 200 centímetros (COSTA et al., 2018).

Para o critério Geologia, as 2 áreas estão localizadas em diferentes classes litológicas. A área H está localizada sobre “Rocha metaltramáfica e metamáfica tholeiíticas, metabasalto komatiítico, metavulcânica félsica, formações químico-exalativas, FFB e xisto”, ao passo que a área “I”, está sobre “Ortognaisse bandado tonalítico a granodiorítico”. Segundo Costa et al. (2018), as referidas classes litológicas são de “baixa” e “baixíssima” vulnerabilidade à denudação, respectivamente.

A Declividade das áreas, como reflexo da baixa vulnerabilidade à denudação, possui grande variação. A área “H” está predominante sobre área com declividade classificada como “moderadamente ondulada a ondulada” (8% - 20%). Já a área “I” está localizada sobre região com declividade classificada como “suave ondulada” (3% - 8%).

Os usos e cobertura da terra identificados estão associados a áreas de pastagem, de acordo com o modelo. Esta informação pode ser confirmada para área “H” ao observá-la a partir de imagens de satélite de alta resolução, no entanto na área “I” é possível identificar a ocorrência de vegetação arbórea associada à silvicultura.

As áreas “H” e “I” não atendem ao critério restritivo de “distância de manchas urbanas”, como é possível observar nas figuras acima. Na área “H” observou-se edificações no limite da gleba. Já na área “I”, existem residências na faixa de restrição de 500 metros.

Áreas “J” e “K”

As áreas “J” e “K” estão localizadas no município de Itaguara, Vetor Sudoeste da RMBH. As referidas áreas possuem área útil de 32,66 ha e 34,66 ha, respectivamente.

As áreas localizadas neste município ocorrem em áreas de Argissolo. Esta classe de solo possui textura “muito argilosa”, conferindo-lhe um baixo coeficiente de permeabilidade. E, sua profundidade efetiva é considerada “moderadamente profunda” com média de 100 centímetros.

Relacionado ao critério Geologia, ambas as áreas estão localizadas sobre a classe litológica de “Ortognaisse Tonalítico a Granítico”, sendo classificadas como de “baixíssima” vulnerabilidade à denudação (COSTA et al., 2018).

A Declividade da área “J” predominante é a “moderadamente ondulada à ondulada” (8% - 20%). Já na área “K” predominam as classes de “plano” (0% - 3%) e “suave ondulado” (3% - 8%).

No uso e cobertura da terra, segundo o modelo, as áreas estão sobre regiões de pastagens e savanas. Contudo, a partir da observação em imagens de satélite de alta resolução observou-se que, além de pastagens e savanas, existem fragmentos vegetação associados à Silvicultura.

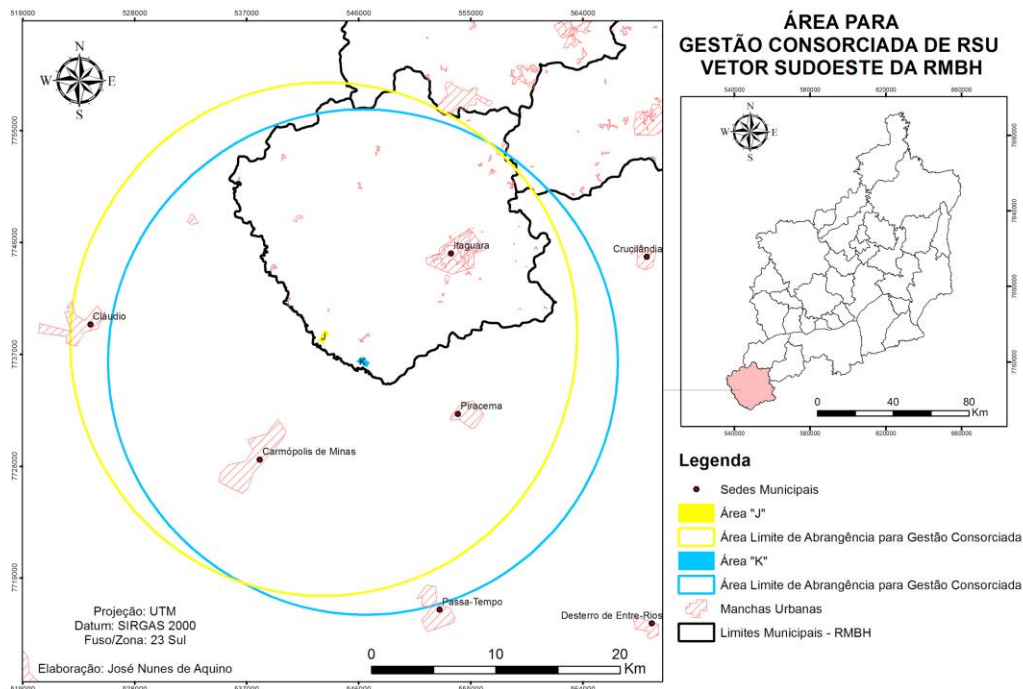
No que se refere aos critérios restritivos, ambas às áreas obedeceram às distâncias das faixas de restrição, estando aptas para a implantação do aterro.

Para avaliar logisticamente a possibilidade de gestão consorciadas dessas áreas, foi traçado um raio de 20 km a partir do ponto central das glebas, com o intuito de identificar quais áreas urbanas/municípios estão incluídos na referida área de influência.

Por apresentarem tamanho de área útil disponível relativamente semelhantes, respeitarem os critérios restritivos e estarem próximas uma da outra, ambas as áreas foram consideradas como potenciais para gestão consorciada.

Porém, neste caso a gestão consorciada deverá ser realizada com municípios que não pertencem à RMBH (Figura 9). As áreas “J” e “K” estão localizadas na porção mais ao sul do município de Itaguara, último município a sudoeste da RMBH, por este motivo, a localização das áreas beneficiará além de Itaguara, municípios como Carmópolis de Minas, Piracema e Cláudio.

Figura 9 – Área para a construção de Aterro Sanitário - Vetor Sudoeste RMBH



Áreas “L”, “M” e “N”

As áreas “L”, “M” e “N” estão localizadas nos municípios de Esmeraldas, Santa Luzia e Taquaraçu de Minas, respectivamente. A área “L” mede cerca de 39,37 ha, a “M” 27,26 ha e a “N” 37,57 ha.

Estas 3 glebas ocorrem em áreas de classes de solos do tipo Neossolo. Esta classe de solo possui textura que pode variar de “arenosa a muito argilosa” e, profundidade efetiva considerada “rasa”, com média de 25 à 50 centímetros.

Relacionado ao critério Geologia, as áreas estão localizadas em 3 diferentes classes litológicas. Área “L” está sobre “sedimentos clásticos inconsolidados”, a área “M” está sobre “argilito e siltito ardosianos, marga, lentes de calcário” e a área “N” está sobre “Calcário calcítico predominante, calcilito”. Os 3 litotipos encontrados possuem “altíssima” vulnerabilidade à denudação.

A Declividade das áreas “M” e “N” está classificada como “moderadamente ondulada a ondulada” (8% - 20%). Já a área “L” apresentou declividades predominantes que variaram de “plano” (0% - 3%) e “suave ondulado” (3% - 8%).

Para o uso e cobertura da terra, tanto o modelo quanto a análise da imagem de alta resolução indicaram que as 3 glebas estão sobre regiões com predominância de pastagem. Com bases nos dados as áreas de que trata este item se mostraram inaptas para o critério “Solos”, visto que as 3 glebas ocorrem em regiões de Neossolo, cujas características descritas acima apresenta baixo potencial para a destinação de aterros.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O gerenciamento de resíduos sólidos urbanos continua sendo uma questão bastante desafiadora para os gestores públicos e demais atores envolvidos no processo. O modelo proposto neste trabalho teve como objetivo apresentar uma alternativa tecnológica para o estudo de seleção de áreas para a construção de aterros sanitários em áreas com forte adensamento populacional. Neste sentido, a análise conjunta de critérios restritivos e fatoriais resultou na ocorrência de 14 áreas potenciais para a construção de aterros sanitários, com amplitude para atender 8 municípios da

RMBH (Florestal, Juatuba, São Joaquim de Bicas, Igarapé, Mateus Leme, Esmeraldas e Itaguara) através de uma gestão consorciada.

No entanto, no caso do município de Belo Horizonte, a partir das análises dos resultados obtidos com o modelo S.A.I.P.A.S., observou-se a inexistência de áreas para a construção de um aterro sanitário que possa atender a população do referido município. Tal resultado pode ser explicado pelo fato de toda a área de expansão urbana do município já estar praticamente ocupada e as que teoricamente não tenham expansão urbana correspondem às áreas de proteção ambiental. Adicionalmente, todas as 14 áreas encontradas estavam a uma distância maior que o raio de 20 km traçado a partir do centro geográfico de Belo Horizonte. Além disso, o tamanho disponível das áreas não foi compatível com o contingente populacional do município. Ressalta-se ainda que, o critério restritivo relacionado à Área de Segurança Aeroportuária dos aeródromos e aeroportos presentes na região contribuiu fortemente para a inexistência dessas áreas.

Ocorre que, observando o local onde está instalado o atual Aterro Sanitário que recebe os resíduos sólidos urbanos de Belo Horizonte e de alguns municípios circunvizinhos, correspondente à Central de Tratamento de Resíduos Macaúbas - CTR Macaúbas, dista apenas 13 km do Aeroporto da Pampulha. No entanto, a CTR-Macaúbas, está em pleno funcionamento e no ano de 2013 solicitou Licença Ambiental Prévia e de Implantação para a ampliação do aterro sanitário em gleba adjacente àquela já existente, que por sua vez teve parecer favorável mediante justificativas tecnicamente embasadas e aprovadas por órgãos de controle governamental. Isto deve se justificar em embasar ainda no Parecer Único nº 169 (SEMAD, 2013), onde a restrição de distância de aeroportos e aeródromos foi flexibilizada mediante pedido de autorização do empreendedor ao III Comando da Aeronáutica (III COMAR), o qual deferiu pela implantação da CTR Macaúbas, condicionada à adoção de medidas de Controle Ambiental, podendo ser consultado com detalhes na fonte original desse documento aqui citado. Diante disso, entende-se que a flexibilização de alguns critérios restritivos se faz necessária, em detrimento da viabilidade técnica/econômica da disposição final de resíduos sólidos em regiões de forte adensamento populacional.

Outra consideração importante se refere à possibilidade da avaliação das áreas a partir de imagens de alta resolução, onde foi possível constatar que algumas feições não eram condizentes com a base cartográfica utilizada no estudo. Por isso, a modelagem deve ser entendida como uma etapa preliminar nos projetos de implantação de um aterro sanitário, ensejando estudos técnicos mais detalhados para a implantação do empreendimento.

A base de dados cartográfica utilizada neste estudo apresentou uma variabilidade de escalas muito grande (de 1:50.000 até 1:1.000.000), fato este que impossibilitou a distinção de algumas feições e elementos que ocorriam em áreas de menores extensões. Neste sentido, acredita-se que com o uso de escalas mais detalhadas, haverá um melhor refinamento nos resultados.

Por fim, conclui-se que este estudo apresenta uma valiosa contribuição para o desenvolvimento de pesquisas acerca do uso de geotecnologias como auxílio à gestão de resíduos sólidos em grandes centros urbanos, abrindo-se perspectivas para novos estudos com a evolução tecnológica.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos urbanos; NBR 8419. São Paulo. 1984.

_____. Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, construção e operação. NBR 13896/97 p. 12, 1997.

_____. Aterros de resíduos perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação. NBR 10157 p. 13, 1987.

BRAGA, Benedito (Org.) et al. Introdução à engenharia ambiental. São Paulo: 1.ª Edição. Prentice Hall, 2002. ISBN: 85-87918-05-2.

BRASIL. LEI Nº 9.605, DE 12 DE FEVEREIRO DE 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências, Brasília,DF, fev 1998.

BRASIL, LEI Nº 12.305 DE 02 DE AGOSTO DE 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Brasília,DF, ago 2010.

CABRAL, A. V. Análise Multicritério Em Sistemas De Informação Geográfica Para a Localização De Aterros Sanitários. [s.l.] Universidade Nova de Lisboa, 2012.

CARVALHO, Noele Ferreira. Estudo da Análise de Incertezas no Cálculo e Modelagem do Variograma - Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2012.

COSTA, A.M.; HORTA, I.M.F.; SALIS, H.H.C.; EVANGELISTA, L.P.; PEDRAS, K.C.; SILVA,P.D.O.; CARVALHO, D.C.F.; VIANA, J.H.M. (Em elaboração). Análise de variáveis ambientais quanto ao potencial de uso conservacionista em bacias hidrográficas. 2018.

COSTA, A.M.; HORTA, I.F.H.; SALIS, H.H.C.; VIANA, J.H.M.; CARVALHO, D.C.F. Zoneamento do potencial do uso conservacionista como alternativa às unidades de paisagem para a confecção do ZAP. In: VI Workshop Internacional sobre planejamento e desenvolvimento sustentável de bacias hidrográficas, 2017, Uberlândia. Anais.

FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente. Panorama da destinação dos resíduos sólidos urbanos no Estado de Minas Gerais em 2015 - Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2016.

_____. Orientações técnicas para atendimento à deliberação Normativa 118/2008 do Conselho Estadual de Política Ambiental / Fundação Estadual do Meio Ambiente. 3. ed. - Belo Horizonte: Feam, 2008. 46 p.

FERREIRA B. M., SOARES-FILHO B.S., PEREIRA F.M.Q. The Dinamica Virtual Machine for Geosciences. Lecture Notes in Computer Science 9325:44-58, 2015. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24012-1_4

GBAINE, S. P.; TENG, P. B.; MOMOH, J. S.; MEDO, J.; KABBA, V. T. S.: Modelling landfill location using Geographic Information Systems (GIS) and Multi-criteria decision analysis (MCDA): Case Styde Bo, Southern Sierra Leone. Applied Geography, Volume 36, January 2013, Pages 3-12, ISSN 0143-6228. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.06.013>

GONÇALVES, A.. Modelação Geográfica de Problemas de Localização. Dissertação de Doutoramento em Engenharia do Território, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2007.

LIMA, G. S.; GUIMARÃES, L. T.. Metodologia para a seleção de áreas para implantação de aterro sanitário municipal. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa - PB, 2001.

MALCZEWSKI, J. GIS and Multicriteria Decision Analysis. John Wiley& Sons, New York, NY, 1999.

MILOSEVIC, I; NAUNOVIC, Z. The application of a multi-parameter analysis in choosing the location of a new solid waste landfill in Serbia. Waste Management & Research 31(10): 1019-1027. 2013. <https://doi.org/10.1177/0734242X13497076>

MINAS GERAIS. Constituição do Estado de Minas Gerais, de 21 de setembro de 1989. Belo Horizonte: DOU, 21 set. 1989, 178 p.

_____. Lei Complementar nº 869, de 12 de janeiro de 2006. Dispõe sobre a Região Metropolitana de Belo Horizonte. Diário do Executivo de Minas Gerais, 12 jan. 2006, 3 p.

OLANDOSKI NETO, M. Validação de um permeâmetro de parede flexível / Miguel Olandoski Neto. Curitiba, 2013

ONU. Organização das Nações Unidas. No Brasil, 80 mil toneladas de resíduos sólidos são descartadas de forma inadequada por dia. 2016. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/no-brasil-80-mil-toneladas-de-residuos-solidos-sao-descartados-de-forma-inadequada-afirma-onu/>>. Acesso em 03/08/2016.

REVISTA EM DISCUSSÃO. Resíduos Sólidos: Lixões persistem. Ano 5 - Nº 22 - setembro de 2014. Disponível em: <<http://www12.senado.leg.br/emdiscussao/edicoes/residuos-solidos>>. Acesso: 01/08/2016.

ROY, B. Multicriteria Methodology for Decision Aiding. Kluwer Academic Publishers, 1996. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2500-1>

SAATY, T.L., Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process. RWS Publications, Pittsburg, USA, 2000. https://doi.org/10.1007/978-94-015-9799-9_2

SANTOS, J. S.; GIRARDI, A. G.. 2007. Utilização de geoprocessamento para localização de áreas para aterro sanitário no município de Alegrete - RS. In: X111 SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 04, 2007, Florianópolis. Anais... Florianópolis: INPE.p.5491-5498.

SCHUELER, A. S. de; MAHLER, C. Avaliação de áreas utilizadas para disposição de resíduos sólidos urbanos. Revista Brasileira de Ciências Ambientais. n. 13, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522008000300002>

SEMAD - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único nº 169/2013 (SIAM) - Licenciamento Ambiental da Central de Tratamento de Resíduos de Macaúbas - Vital Engenharia Ltda. 2013

SILVA, A. M. F.; OLIVEIRA, R.T.S.; BRITO, L. P. Seleção de Áreas Para Implantação de Aterros Sanitários Na Região do Seridó/RN Utilizando O Sistema de Informação Geográfico. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIASANITÁRIA E AMBIENTAL, 11, 2004, Rio Grande do Norte. Anais... Rio Grande do Norte: Ass. Bras. De Eng. Sanit. e Ambiental. Rio Grande do Norte, 2005.

SOARES-FILHO, B. S.; RODRIGUES, H.; COSTA, W. L. S. Modeling Environmental Dynamics with Dinamica EGO. Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Alagoas, 2009. Disponível em: <<https://csr.ufmg.br/dinamica/>>

TSUHAKO, E. M. Seleção Preliminar de Locais Potenciais à Implantação de Aterro Sanitário na Sub-Bacia de Itupararanga (Bacia do Rio Sorocaba e Médio Tietê). Mestrado (Dissertação). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, 171p. 2004.

XAVIER-DA-SILVA, J. e ZAIDAN, R. T. (Ed.). Geoprocessamento e Análise Ambiental: Aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 259-299.

WEBER, E.; HASENACK, H. Avaliação de áreas para instalação de aterro sanitário através de análises em SIG com classificação contínua dos dados. In: Anais do GIS Brasil, 2004.

Recebido em: 16/02/2018

Aceito para publicação em: 29/04/2019