



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GEOLOGIA AMBIENTAL, HIDROGEOLOGIA
E RECURSOS HÍDRICOS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIO E SIG
APLICADOS AO GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS
SÓLIDOS URBANOS NA ESCOLHA DE ÁREAS PARA
IMPLANTAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS -
RMS/BAHIA

CARLOS GLEIDSON CAMPOS DA PURIFICAÇÃO

SALVADOR

2020

**ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIO E SIG
APLICADOS AO GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS
SÓLIDOS URBANOS NA ESCOLHA DE ÁREAS PARA
IMPLANTAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS -
RMS/BAHIA**

Carlos Gleidson Campos Da Purificação

Orientador: Prof. Dr. Luiz Rogério Bastos Leal

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Geologia, Área de Concentração: Geologia Ambiental, Hidrogeologia e Recursos Hídricos.

SALVADOR

2020

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Universitária de Ciências e
Tecnologias Prof. Omar Catunda, SIBI - UFBA.

P985 Purificação, Carlos Gleidson Campos da

Análise de decisão multicritério e sig aplicados ao gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos na escolha de áreas para implantação de aterros sanitários - RMS/BAHIA / Carlos Gleidson Campos da Purificação. – Salvador, 2020.

65 f.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Rogério Bastos Leal

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia.
Instituto de Geociências, 2020.

1. Geologia Ambiental. 2. Aterro Sanitário. 3. Região Metropolitana de Salvador. 4. Política Nacional de Resíduos Sólidos. I. Leal, Luiz Rogério Bastos. II. Universidade Federal da Bahia. III. Título.

CDU 504

CARLOS GLEIDSON CAMPOS DA PURIFICAÇÃO

**ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIO E SIG APLICADOS AO
GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NA
ESCOLHA DE ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERROS
SANITÁRIOS - RMS/BAHIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal da Bahia, como requisito para a obtenção do Grau de Mestre em Geologia na área de concentração em Geologia Ambiental, Hidrogeologia e Recursos Hídricos em 02/10/2020.

DISSERTAÇÃO APROVADA PELA BANCA EXAMINADORA:



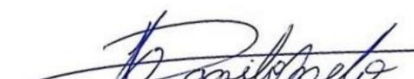
Dr. Luiz Rogério Bastos Leal (Orientador) - UFBA



Dra. Patrícia Lustosa Brito (PPEC/UFBA)



**Dr. João da Silva Fortuna Neto (Fortuna Ambiental
Engenharia e Consultoria Ltda)**



**Dr. Danilo Heitor Caires Tinoco Bisneto Melo
(NEHMA/UFBA)**

Salvador – BA
2020

Dedico este trabalho aos meus pais, com muito carinho, pois sempre estiveram me apoiando e me orientando sobre a humilde maneira de lidar com os desafios da vida. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo suporte com bolsa de pesquisa durante o percurso acadêmico. Ao Núcleo de Estudos Hidrogeológicos e do Meio Ambiente, por proporcionar o desenvolvimento deste trabalho com boas ferramentas e conhecimento. Aos órgãos gestores que tiverem interesse. Aos prefeitos e moradores de todos os municípios que fazem parte da Região Metropolitana de Salvador e afins.

AGRADECIMENTOS

Agradeço esse trabalho a Deus, que me concedeu livramentos, paz interior e equilíbrio espiritual nos momentos de reflexão interna, para lidar com a árdua batalha de ser um pesquisador;

Aos meus pais, que estão sempre comigo, acreditando no meu potencial e me incentivando a buscar sempre o melhor de maneira honesta;

Aos meus irmãos, pela união e amor;

A minha primeira dama Carine, pela ajuda na tomada de decisões importantes, apoio moral e científico, e por me inspirar como exemplo de pesquisadora e professora;

Ao meu orientador Luiz Rogério, que me deu o poder de escolha para o meu projeto de dissertação e trouxe esse mundo chamado resíduos sólidos ao qual estou encantado. Foi uma decisão difícil para mim deixar de lado um tema sequência do meu TCC e me atirar de cabeça nessa outra temática. Todo conhecimento novo é doloroso, porque estamos acostumados a ficar no comodismo, na inércia, entretanto sempre gostei de desafios, de questionar, de sede de conhecimento. Agradeço também por facilitar a minha ida a campo;

A banca avaliadora, pela boa vontade em contribuir na avaliação final desse trabalho;

Agradeço em especial ao meu amigo Ib pela sua grande contribuição nas discussões e correções do trabalho, com ideias brilhantes e resoluções de vários problemas encontrados no decorrer dos estudos. Quebramos muito a cabeça de domingo a domingo, pois fazer ciência não é uma tarefa fácil, mas com a sua participação todas as metas foram alcançadas, porque você é uma pessoa com altíssimo potencial intelectual;

Agradeço também aos meus amigos Clélia, pelos maravilhosos momentos nas discussões, Renilda, Tarsila, Rebeca, Jean, Rebelde, Cesar, Sara, Lucas, Thiago, Marcelo, Matheus, Pedro, Caio que me fez companhia no laboratório até nos finais de semana, Mota pela importância com o lado social, me inspirando a levar mais conhecimento acadêmico para fora da academia, Rose pelo carinho com todos nós e com o ambiente de trabalho.

Aos professores Haki, Conceição, Hailton, Danilo, Natanael, Sérgio e Fiuza;

Aos meus amigos da Especialização GERSI, pessoas fantásticas que conheci trilhando a área de resíduos e que me fizeram ter uma nova perspectiva;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de financiamento 001 e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio ao presente trabalho.

RESUMO

No mundo são gerados entre 2 a 3 bilhões de resíduos sólidos urbanos - RSU, sendo aproximadamente 1 bilhão dispostos de maneira inadequada em lixões e/ou aterros controlados. A disposição ambientalmente adequada desses resíduos, depois de esgotado todas as possibilidades de aproveitamento desses, são os aterros sanitários. Entretanto, dos 5570 municípios do Brasil, 2218 municípios dispõem os seus resíduos em aterros sanitários, e os outros 3352 ainda dispõem em lixões e/ou aterros controlados. O Estado da Bahia possui apenas 43 aterros sanitários, contra um total de 269 lixões nos seus 417 municípios. Treze desses municípios contemplam a Região Metropolitana de Salvador - RMS, que é onde se encontram quatro aterros sanitários que recebem diariamente 4,9 toneladas de RSU, 40% em relação ao total gerado no Estado. A maioria dos aterros da RMS foram implantados em meados da década de 1990 em projetos com vida útil de 20 anos e atualmente possuem limitações ambientais para expansão de novas células. Diante disso, este trabalho teve como objetivo a identificação de áreas para implantação de novos aterros sanitários na RMS, com auxílio do sistema de informações geográficas, e da análise de decisão multicritério. Foram gerados dois modelos preliminares: o primeiro utilizou critérios restritivos estabelecidos por legislações brasileiras aplicados à quinze fatores/temas; no segundo utilizou-se critérios não restritivos aplicados à onze fatores/temas, a partir de conhecimento técnico e de literatura, definindo-se pesos com o método AHP. O primeiro modelo apresentou 30% de áreas aptas e 70% de áreas inaptas. O segundo modelo apresentou 8,4% de áreas muito favoráveis; 32,4% favoráveis; e 59,2% não favoráveis. Por fim, o modelo final, resultado do cruzamento dos dois modelos, onde 6,05% do total das áreas foram classificadas como muito favoráveis; 15,95% favoráveis; 8,56% não favoráveis; e 69,44% áreas inaptas. Embora o método proposto se aplique em qualquer região geográfica, é necessário entender suas limitações e/ou modificações, já que os fatores e critérios utilizados são inerentes às áreas estudadas e só é possível estabelecer regras rígidas para critérios restritivos quando há legislações específicas. No caso de critérios não restritivos, a análise é subjetiva, incumbindo aos especialistas a determinações das decisões.

Palavras-chave: Tomada de decisão; Processo analítico hierárquico; Região Metropolitana de Salvador; Política Nacional de Resíduos Sólidos

ABSTRACT

In the World between 2 and 3 billion solid urban waste - MSW are generated, with approximately 1 billion being improperly disposed of in dumps and / or controlled landfills. The environmentally appropriate disposal of these residues, after all the possibilities for their use has been exhausted, are sanitary landfills. However, of the 5570 municipalities in Brazil, 2218 municipalities dispose of their waste in landfills, and the other 3352 still dispose of it in dumps and / or controlled landfills. The State of Bahia has only 43 landfills, against a total of 269 dumps in its 417 municipalities. Thirteen of these municipalities include the Metropolitan Region of Salvador - RMS, which is home to four landfills that receive 4.9 tons of MSW daily, 40% in relation to the total generated in the State. Most of RMS landfills were implemented in the mid-1990s in projects with a useful life of 20 years and currently have environmental limitations for the expansion of new cells. Therefore, this work aimed to identify areas for the implementation of new landfills in the RMS, with the help of the geographic information system, and the analysis of multicriteria decision. Two preliminary models were generated: the first used restrictive criteria established by Brazilian legislation applied to fifteen factors / themes; in the second, non-restrictive criteria applied to eleven factors / themes were used, based on technical knowledge and literature, defining weights using the AHP method. The first model showed 30% of suitable areas and 70% of unsuitable areas. The second model presented 8.4% of very favorable areas; 32.4% favorable; and 59.2% were not favorable. Finally, the final model, resulting from the crossing of the two models, where 6.05% of the total areas were classified as very favorable; 15.95% favorable; 8.56% not favorable; and 69.44% inapt areas. Although the proposed method is applicable in any geographical region, it is necessary to understand its limitations and / or modifications, since the factors and criteria used are inherent to the areas studied and it is only possible to establish strict rules for restrictive criteria when there are specific laws. In the case of non-restrictive criteria, the analysis is subjective, with the specialists being responsible for determining decisions.

Keywords: Decision-making; Analytical hierarchy process; Metropolitan Region of Salvador; National Solid Waste Policy

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO GERAL	11
CAPÍTULO 2 – ARTIGO: ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIO E SIG NA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS: ESTUDO DE CASO NA RMS – BAHIA/BRASIL	18
CAPÍTULO 3 - CONCLUSÕES.....	56
APÊNDICE A – JUSTIFICATIVA DA PARTICIPAÇÃO DOS CO-AUTORES.....	58
ANEXO A – REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA WASTE MANAGEMENT .	59
ANEXO B – COMPROVANTE DE SUBMISSÃO DO ARTIGO	65

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL

No ano de 2018 foram gerados no mundo entre 2 a 3 bilhões de toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos - RSU por ano (UN-Habitat, 2018; CEMPRE, 2018; KAZA *et al.*, 2018). Estima-se que em 2050, acompanhando o aumento da população mundial, essa taxa passe para cerca de 4 bilhões de toneladas de RSU por ano (BRASIL, 2014; UNITED NATIONS, 2017). O Brasil tem uma grande contribuição nesse cenário, ficando em quarto lugar, com produção anual de quase 63 milhões de toneladas. Os três países com maior produção são: China (300 milhões), Estados Unidos (229 milhões) e Índia (227 milhões) (WASTE ATLAS, 2013). De acordo com os dados do Panorama dos Resíduos sólidos no Brasil, publicado pela Associação de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE, em 2018 o Brasil produziu 79 milhões de toneladas de RSU (ABRELPE, 2018). A Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, define os resíduos sólidos como sendo:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010, p. 2).

Assim, de maneira geral, os RSU correspondem aos resíduos domiciliares, comerciais e de limpeza urbana (varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana) produzidos em áreas com aglomerações humanas (BRASIL, 2010).

O crescimento acentuado da população nas áreas urbanas e a ampliação das atividades industriais tem causado o aumento da geração desde o século XX e, conseqüentemente, do descarte dos RSU (KATAOKA, 2000). O aumento da produção dos resíduos sólidos gera uma grande preocupação, entretanto, a disposição final destes preocupa ainda mais, visto que a quantidade disposta de maneira inadequada (lixões e

aterros controlados) no Brasil ainda é grande, trazendo impactos negativos no meio ambiente e na saúde pública. São 17,5% dispostos em lixões, 23% em aterros controlados, e 59,5% em aterros sanitários, sendo este último o local ambientalmente adequado (ABRELPE, 2018).

O lixão (figura 1), também chamado de vazadouro, é um ambiente de disposição final de resíduos sólidos a céu aberto, de maneira desordenada e sem compactação ou cobertura destes. Não existe preparação anterior do solo, muito menos sistema de tratamento de efluentes líquidos (chorume), o que propicia a poluição do solo, das águas superficiais e subterrâneas, assim como a proliferação aérea e terrestre de vetores de doenças como moscas, pássaros e ratos (CEMPRE, 2018).

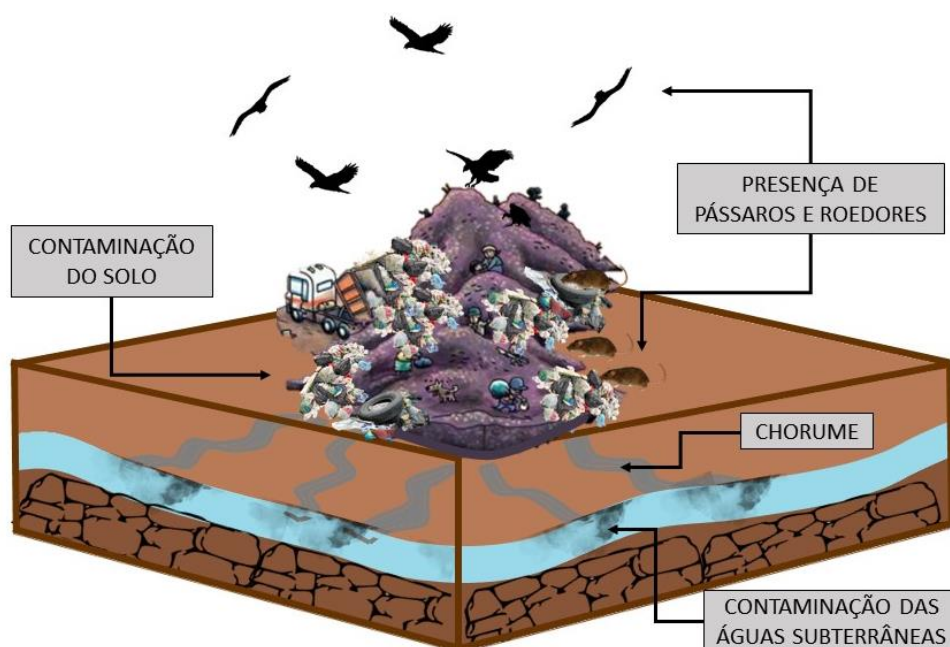


Figura 1: Ambientes de disposição final dos RSU. Exemplo de lixão. Fonte: Autor

O aterro controlado (figura 2) é uma forma mais organizada que o lixão, pois utiliza alguns princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos, cobrindo-os periodicamente com camadas de solo, não causando danos ou riscos à saúde pública e à sua segurança. Apesar desse controle, ainda polui o solo e as águas superficiais e subterrâneas, mesmo com a área de disposição minimizada. Em suma, é uma fase intermediária entre o lixão e o aterro sanitário, entretanto, também é considerado uma forma inadequada de disposição (CEMPRE, 2018).

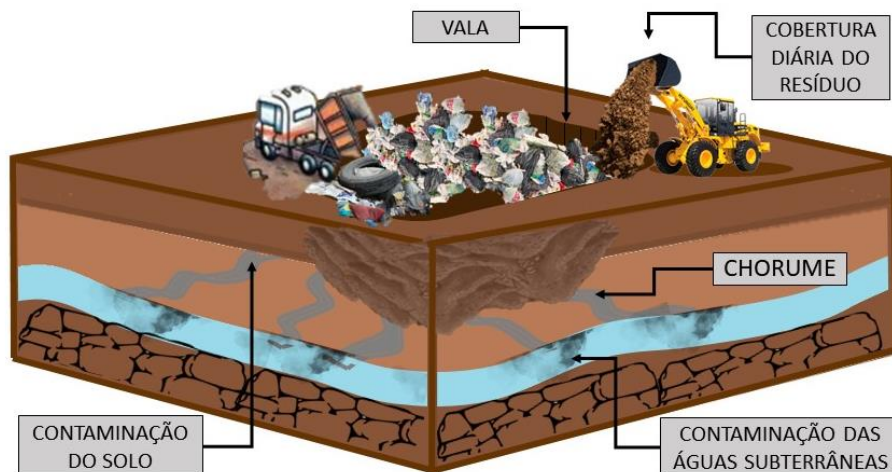


Figura 2: Ambientes de disposição final dos RSU. Exemplo de aterro controlado. Fonte: Autor

O aterro sanitário (figura 3) é considerado o ambiente adequado para a disposição final dos resíduos sólidos, pois é fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, como o nivelamento do terreno e o selamento da base com argila, permitindo um confinamento seguro em termos de controle de poluição ambiental e proteção à saúde pública. Além disso, o chorume gerado pelo lixo é coletado através de drenos de Polietileno de Alta Densidade – PEAD e conduzidos para o poço de acumulação onde posteriormente são encaminhados para a estação de tratamento de efluentes (ABNT, 1992; BRASIL, 2010; CEMPRE, 2018).

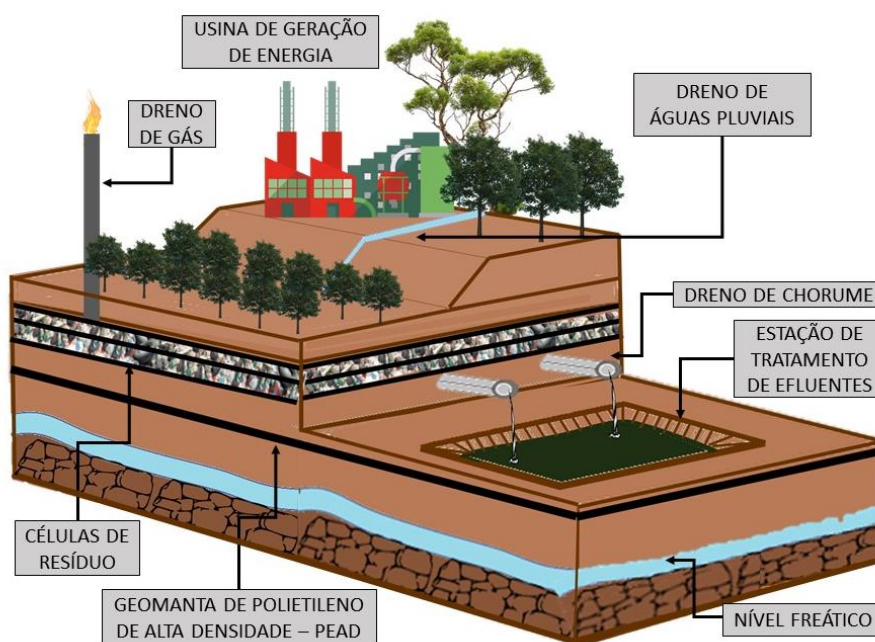


Figura 3: Ambientes de disposição final dos RSU. Exemplo de aterro sanitário. Fonte: Autor

Ao longo dos anos as disposições inadequadas (lixões e aterros controlados) configuraram um grande desafio a ser encarado pelos gestores urbanos, tornando necessária a adoção de medidas de manejo e gestão de resíduos corretamente, por meio de criação de sistema de aterro sanitário. No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS instituída pela Lei nº 12.305/2010 estabeleceu diretrizes para a gestão integral e o gerenciamento dos resíduos sólidos a todas as administrações públicas municipais do país, com o intuito de resolver problemas ambientais e sociais decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010; BRASIL, 2014). Essas diretrizes previam o encerramento das atividades dos lixões e aterros controlados de todos os municípios, até o ano de 2014. A disposição final desses resíduos deveriam ser os aterros sanitários, considerados locais seguros. Entretanto, até este prazo, 60,7% dos municípios brasileiros não haviam cumprido a lei (CANTO, 2014).

No Estado da Bahia a Região Metropolitana de Salvador – RMS é formada por treze municípios: Camaçari, Candeias, Itaparica, Lauro de Freitas, Salvador (capital do Estado), São Francisco do Conde, Simões Filho, Vera Cruz, Dias D’Ávila, Madre de Deus, São Sebastião do Passé, Mata de São João e Pojuca (CONDER, 2015). Juntos possuem uma população estimada de aproximadamente 3,9 milhões de pessoas, o que a classifica como a oitava maior Região Metropolitana do país (IBGE, 2019). Essa população gera aproximadamente 4900 toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos – RSU por dia (SNIS, 2018), representando 40% do total em relação ao Estado da Bahia (BAHIA, 2012).

Atualmente esses resíduos são dispostos em aterros sanitários convencionais localizados nos municípios de Salvador, Camaçari, São Francisco do Conde, Vera Cruz e Catu, sendo este último não pertencente à RMS. Com exceção do aterro sanitário atualmente em execução de São Francisco do Conde, todos os outros foram implantados em meados da década de 1990 pelo Governo do Estado, em projetos executados pela Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia – CONDER. Esses projetos levaram em consideração uma vida útil de aproximadamente 20 anos para esses aterros sanitários e dessa maneira, principalmente os aterros dos municípios de Salvador e Camaçari, já apresentam limitações técnicas para elaboração de projetos de expansão de novas células.

Devido ao crescimento populacional na região e as limitações ambientais para expansão de novas células em alguns dos aterros supracitados, este trabalho tem como objetivo a identificação de áreas para implantação de novos aterros sanitários com o auxílio do Sistema de Informações Geográficas – SIG e Análise de Decisão Multicritério – ADMC, como subsídio para o cumprimento das medidas ressaltadas na lei 12.305/2010 em vigor, suprimindo assim, a demanda da produção de resíduos gerados para as próximas décadas.

Conforme recomendações do Programa de Pós-Graduação em Geologia - PPGeo da Universidade Federal da Bahia, esta dissertação está dividida em três capítulos. Sendo o capítulo 1 referente à introdução e o capítulo 3 refere-se às conclusões da dissertação. No capítulo 2 está incluído o artigo, intitulado: “ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIO E SIG NA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS: ESTUDO DE CASO NA RMS – BAHIA/BRASIL”.

Esse artigo está no formato de submissão para a WASTE MANAGEMENT, periódico de circulação internacional de alta relevância entre profissionais e pesquisadores da temática tratada nesta dissertação. A revista proposta apresenta conceito CAPES A2, o que atende aos requisitos estabelecidos pelo Programa de Pós-Graduação em Geologia - PPGeo. No ANEXO A, encontram-se as regras de formatação de submissão da revista. O apêndice A estão justificados os motivos pela presença dos coautores.

Referências

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo. 2018. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2018/2019.pdf>. Acesso em: 02 de novembro de 2019

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8419 - Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. **Abnt.**, p. 1–7, 1992.

BAHIA. **Estudo de Regionalização da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos para o Estado da Bahia**. Secretaria de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia - SEDUR, Vol 1. 457p., 2012.

BRASIL. Lei 12.305/2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS**, p. 21, 2010.

BRASIL. Senado Federal, Secretaria de Comunicação Social, Brasília. Resíduos sólidos: lixões persistem, v. 5, n. 22, p.35, 2014.

CANTO, R. Lei de resíduos sólidos não foi cumprida. E agora? **Carta Capital**, São Paulo: Editora Confiança, 15 ago. 2014. Disponível em: <http://www.cartacapital.com.br/sustentabilidade/lei-de-residuos-solidos-nao-foi-cumprida-e-agora-2697.html>. Acesso em: 05 de agosto, 2018.

CEMPRE - Compromisso Empresarial Para Reciclagem. **Lixo municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**, 4. Ed, 316 p. São Paulo, 2018.

Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia - CONDER. Painel de Informações. **Dados Socioeconômicos da Região Metropolitana de Salvador**. 4ª Ed. Salvador, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Banco de dados**. Estimativa da população 2019.xls. Disponível em:

<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-detalle-de-midia.html?view=mediaibge&catid=2103&id=3109>. Acesso em: 1 de novembro de 2019.

KATAOKA, S. M. **Avaliação de áreas para disposição de resíduos: proposta de planilha para gerenciamento ambiental aplicado a aterro sanitário industrial**. 95 p. Mestrado (Dissertação em Geotecnia), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

KAZA, SILPA; YAO, LISA C.; BHADA-TATA, PERINAZ; VAN WOERDEN, FRANK. **What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050**. 4ed. World Bank, Washington, 295 p., 2018.

Ministério do Desenvolvimento Regional. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **Banco de Dados**. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/>. Acesso em: 03 de junho de 2019.

UN-Habitat, World Habitat Day - Municipal Solid Waste Management, 2018. Disponível em: <https://unhabitat.org/ms-maimunah-mohd-sharif-united-nations-under-secretary-general-and-executive-directors-message-on-world-habitat-day/>

UNITED NATIONS: Department of Economic and Social Affairs, World Population Prospects: the 2017 revision, New York, 2017.

WASTE ATLAS. Interactive Map: WTE plants, 2013. Disponível em: <http://www.atlas.d-waste.com/>. Acesso em: 17 mai. 2018.

CAPÍTULO 2

ARTIGO: ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIO E SIG NA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS: ESTUDO DE CASO NA RMS – BAHIA/BRASIL

Resumo

A destinação ambientalmente apropriada para os resíduos sólidos urbanos é a reciclagem e/ou compostagem e, quando esgotado todas as possibilidades de aproveitamento destes resíduos (sobrando os rejeitos destes), a incineração e/ou disposição desses rejeitos em aterros sanitários. Entretanto, cerca de 40% do resíduo mundial é descartado de maneira inadequada em lixões e/ou aterros controlados, valor semelhante ao registrado para o Brasil. Dessa forma, essa pesquisa teve o objetivo de identificar áreas para implantação de aterros sanitários na Região Metropolitana de Salvador - RMS, Bahia, Brasil, a qual, gera aproximadamente 4.900 toneladas de resíduos sólidos por dia. As técnicas foram aplicadas no ambiente do Sistema de Informação Geográfica – SIG para integração das lógicas matemáticas (booleana e *fuzzy*), sendo utilizada na Análise de Decisão Multicritério - ADMC o Processo Analítico Hierárquico – AHP, para gerar os pesos dos fatores e critérios do modelo *fuzzy*. A partir dessa metodologia foram gerados dois modelos preliminares, um utilizando a lógica booleana e outro a lógica *fuzzy*: o primeiro utilizou critérios restritivos estabelecidos por legislações brasileiras aplicados à quinze fatores/temas; no segundo utilizou-se critérios não restritivos aplicados à onze fatores/temas, a partir de conhecimento técnico e de literatura. O cruzamento dos dois modelos gerou o modelo final, onde 6,05% das áreas foram classificadas como muito favoráveis; 15,95% favoráveis; 8,56% não favoráveis; e 69,44% áreas inaptas. A metodologia descrita nesse trabalho mostra-se útil para a identificação de áreas favoráveis à implantação de aterros sanitários para a RMS, diminuindo os custos e as avaliações tendenciosas gerados por métodos empíricos.

Palavras-chave: Tomada de decisão; Processo analítico hierárquico; Gerenciamento de resíduos; Lógica booleana; Lógica fuzzy

1. Introdução

A Gestão e o Gerenciamento integrado dos Resíduos Sólidos Urbanos – RSU ainda são um desafio no mundo, uma vez que necessitam de estudos voltados para o meio ambiente, o social, e viabilidade econômica, principalmente na destinação e disposição adequada desses resíduos. Por esse motivo, cerca de 40% dos resíduos sólidos urbanos ainda são descartados de maneira inadequada em lixões e/ou aterros controlados no Brasil e no mundo (FILHO, 2016; KAZA *et al.*, 2018; ABRELPE, 2018).

A disposição inadequada desses resíduos pode resultar na proliferação de vetores que transmitem doenças, na poluição do solo, do ar, das águas (superficiais e subterrâneas), além de contribuir para o assoreamento e inundações (IBAM, 2001; MOREIRA *et al.*, 2008; FILHO, 2016; IPT, 2018).

Em contrapartida, os aterros sanitários constituem a forma mais adequada de disposição desses resíduos, pois estão fundamentados em normas técnicas que contemplam desde a implantação, operação até manutenção deste, permitindo a segurança do ponto de vista ambiental e de saúde pública (ABNT, 1992; BRASIL, 2010; IPT, 2018).

Uma dificuldade crescente é a escolha de áreas ambientalmente adequadas, uma vez que devem ser considerados critérios técnicos, ambientais e socioeconômicos, que evitem ou minimizem impactos negativos ao meio ambiente e à sociedade (IBAM, 2001; CALVO *et al.*, 2007). Por esse motivo, se torna necessário a utilização de técnicas que levem em consideração todos esses aspectos, dando uma resposta real qualitativa e quantitativa, com aproveitamento máximo das possibilidades existentes.

As análises individuais dos vários critérios existentes para determinação de áreas ambientalmente adequadas têm se tornado cada vez mais difíceis e inviáveis, pois exigem um extensivo levantamento de campo, utiliza análises limitadas, possuem um elevado tempo de execução, alto custo e geram avaliações mais tendenciosas. Entretanto, ultimamente tem se utilizado sistematicamente novos procedimentos metodológicos a partir do uso de tecnologias modernas automatizadas e de baixo custo, afim de otimizar tempo e recursos.

O Sistema de Informação Geográfica - SIG é uma excelente ferramenta que possibilita a utilização de técnicas para análise integrada de um conjunto de dados, proporcionando vantagens do ponto de vista qualitativo e quantitativo. Essa ferramenta possibilita armazenar, criar, manipular, analisar e manejar dados geoespaciais

georreferenciados que representam o mundo real, com o objetivo de auxiliar nas tomadas de decisões (RAPER; MAGUIRE, 1992; GUERRA; MARÇAL, 2006).

A aplicação das rotinas de apoio à tomada de decisão constitui um suporte importante para que se atinja os objetivos propostos nesse tipo de estudo. A Análise de Decisão Multicritério – ADMC é uma técnica que auxilia na resolução de problemas complexos de tomada de decisões, pois a partir de operações sistemáticas permite a construção e avaliação de cenários alternativos (BANA; COSTA, 1992; DEMESOUKA *et al.*, 2019). Essas decisões podem ser definidas como a escolha entre diversas alternativas, que podem representar diferentes características a respeito de um fenômeno (CALIJURI *et al.*, 2002).

Uma das formas de aplicação da ADMC é a partir do Processo Analítico Hierárquico – AHP, ao qual um problema é decomposto hierarquicamente em várias variáveis que serão analisadas em pares para determinar a importância relativa de cada uma delas (SAATY, 1990). A aplicação da ADMC ao SIG tem se mostrado um instrumento poderoso que resulta no aumento da objetividade, flexibilidade e precisão na seleção de áreas para implantação de aterros sanitários, bem como minimização dos custos e do tempo de execução, além de fornecer uma classificação consistente com base em vários critérios.

Gemitzi *et al* (2007) combinaram a Sistema de Informação Geográfica, lógica fuzzy e análise multicritério. O método foi aplicado no nordeste da Grécia, em uma área de aproximadamente 4000 km² e resultou em dois mapas de aptidão, um combinando critérios ambientais e o segundo com critérios socioeconômicos. A combinação dos dois mapas gerou o mapa final de áreas para alocação de aterros sanitários.

Felicori *et al* (2016) identificaram áreas para a implantação de aterros sanitários e usinas de triagem e compostagem em Minas Gerais. Para tanto, foi construída uma base de dados para a identificação das áreas restritas legalmente e realização de análises espaciais multicritério utilizando os softwares ArcGIS e IDRISI Taiga. Foram considerados 8 critérios restritivos, analisados segundo a lógica booleana e 6 fatores classificados de acordo com lógica fuzzy segundo valores padronizados de 0 (adequabilidade mínima) a 255 (adequabilidade máxima). A padronização foi obtida a partir da aplicação de funções lineares e sigmóides.

Para estabelecer áreas de alocação de aterros sanitários em Morocco, Maguiri *et al.* (2016), utilizaram análise multicritério combinada com o Sistema de Informação

Geográfica e sensoriamento remoto. O mapa final desenvolvido propôs três áreas potenciais para a construção do aterro sanitário. Além disso, o estudo mostrou a necessidade de reabilitar o aterro atual, pois este representaria um grande incômodo em termos de poluição do ar, água e solo, bem como a saúde dos moradores da cidade.

Spigolon et al. (2018) propuseram uma metodologia para identificação de locais para construção de aterros sanitários e para otimização do transporte municipal de resíduos sólidos em São Paulo. Critérios ambientais, sociais e econômicos foram estabelecidos e categorizados em níveis de adequação ponderados de acordo com a análise multicritério. Assim, foram gerados 2 cenários, o primeiro cenário identificou 5 possíveis áreas e o segundo, 4 áreas.

Utilizando uma abordagem GIS-AHP integrada, Kamdar, et al. (2019) fizeram a identificação de áreas adequadas para implantação de aterro sanitário na Tailândia. Do total da área estudada, 560,59 ha foram consideradas como altamente adequadas, 993,19 ha como adequadas, 180,72 ha moderadamente adequadas, e o restante da área de estudo inadequadas.

Este trabalho tem como objetivos: 1) Determinar os critérios restritivos e não restritivos a partir das lógicas booleana e *fuzzy*; 2) Estabelecer os principais fatores utilizados na identificação dessas áreas; 3) Identificar áreas ambientalmente adequadas para implantação de aterros sanitários na Região Metropolitana de Salvador - RMS, Bahia, Brasil; 4) Comparar as áreas atuais dos aterros sanitários existentes na RMS com o resultado dos modelos booleano, *fuzzy* e booleano-*fuzzy*.

2. Material e Métodos

2.1. Área de estudo

A RMS contempla treze municípios do Estado da Bahia, Brasil, localizada em torno das coordenadas 12.65° N e 38.38° E, com uma área territorial de 4.350 km². Possui população estimada de aproximadamente 3,9 milhões de pessoa, sendo o município de Salvador a capital do Estado, com população estimada de aproximadamente 2,87 milhões de pessoas (CONDER, 2015; IBGE, 2019).

A RMS gera aproximadamente 4.900 toneladas de RSU por dia (SNIS, 2018), 40% do total em relação ao Estado da Bahia (BAHIA, 2012). Atualmente esses resíduos

são dispostos em cinco aterros sanitários convencionais, sendo um destes localizado fora dos limites da RMS (Figura 1). A maioria desses aterros foram implantados em meados da década de 1990 em projetos com vida útil de 20 anos, e alguns já apresentam limitações técnicas para elaboração de projetos de expansão de novas células.

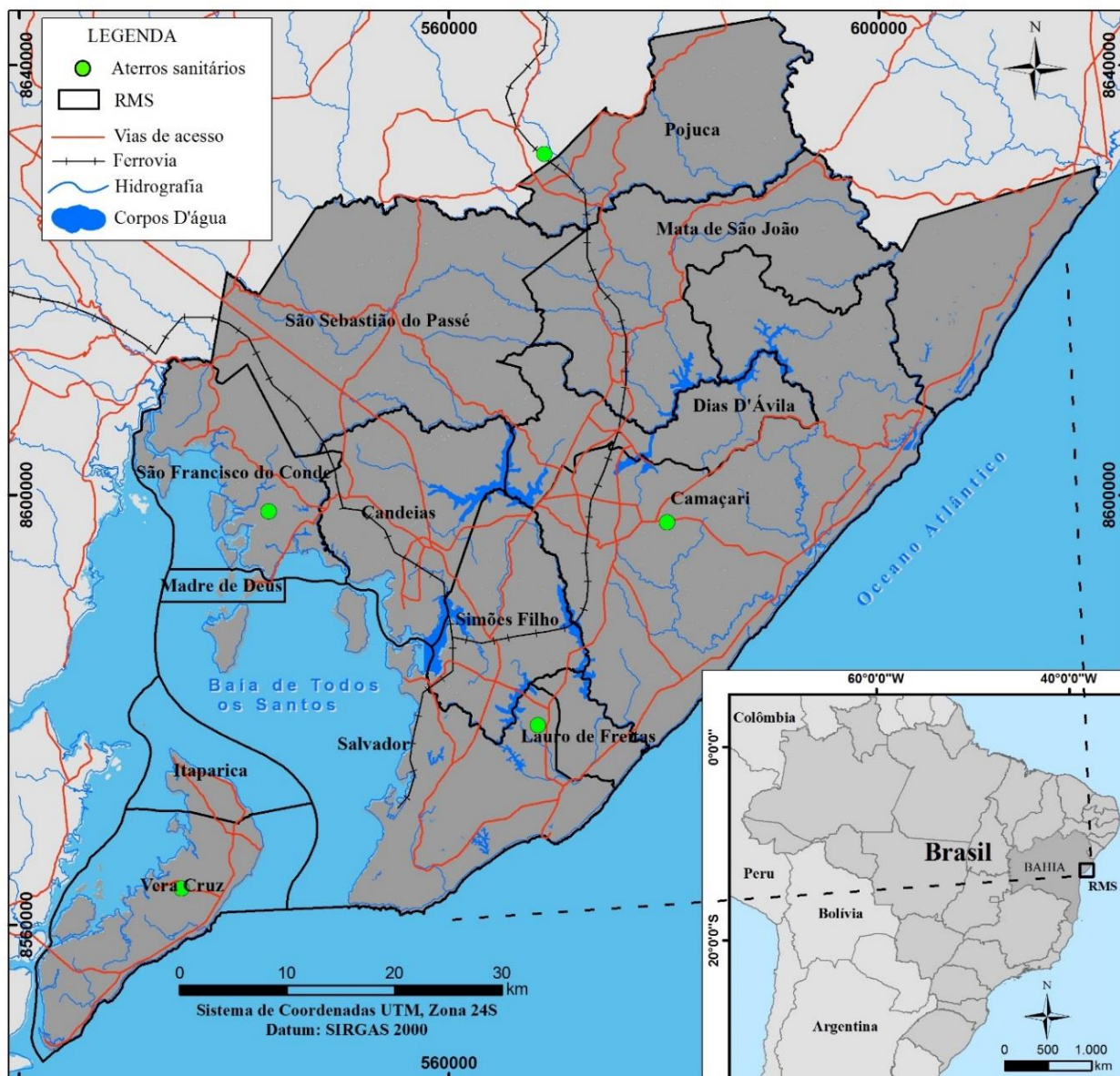


Figura 1: Área de estudo com identificação dos aterros sanitários em operação.

2.2. Coleta de dados geoespaciais

No desenvolvimento do estudo foi necessário a coleta de dados geoespaciais em formato vetorial e raster, adquiridos por diferentes plataformas on-line nacionais e internacionais (Tabela 1), como: usinas elétricas, do Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS; dutos de gás e óleo, da plataforma MapBiomias; rodovias e ferrovias, do Departamento de Estradas e Rodagens da Bahia – DERBA; Unidades de Conservação – UC – APAs, do Ministério do Meio Ambiente – MMA; Modelo Digital de Elevação – MDE, satélite ALOS PALSAR, da Alaska Satellite Facility; áreas inundáveis, do Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - INEMA; espelhos d’água (lagos/represas), da Agencia Nacional de Águas – ANA; áreas urbanas, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE; povoados, da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM; Geologia, da Petrobrás; solos, vegetação e uso do solo, da Superintendência de Recursos Hídricos da Bahia – SRH; imagens dos satélites Landsat 8 e Sentinel 2, da plataforma U.S. Geological Survey – USGS.

Tabela 1: Síntese dos dados coletados, formato, resolução espacial ou escala e fonte de aquisição.

Conjunto de dados	Formato	Resolução espacial / Escala	Fonte de dados	Fonte editada
Usinas elétricas	Vetor	1:1.000.000	ONS-2015	Autor
Dutos de gás/óleo	Vetor	1:1.000.000	MapBiomias-2019	
Rodovias/ferrovias	Vetor	1:1.000.000	DERBA-2008	
UC / APAs	Vetor	1:100.000	MMA-2019	
MDE ALOS PALSAR	Raster	12,5 metros	ASF-2011	
Drenagem	Raster à Vetor	12,5 metros	ASF-2011	Autor
Áreas inundáveis	Vetor	1:100.000	INEMA-2010	
Espelhos d’água	Vetor	1:100.000	ANA - 2016	
Zona costeira	Vetor	1:50.000	Autor	
Áreas urbanas	Vetor	1:100.000	IBGE-2016	Autor
Núcleos populacionais	Vetor	1:150.000	CPRM-2008	Autor
Áreas Quilombolas	Vetor	1:10.000	INCRA-2019	
Aeroportos	Vetor	1:100.000	ANAC-2019	
Divisores de águas	Raster à Vetor	12,5 metros	ASF-2011	Autor
Áreas provavelmente inundáveis	Raster à Vetor	12,5 metros	ASF-2011	Autor
Geologia/Hidrogeologia	Vetor	1:50.000	Petrobrás/NEHMA	
Zonas geradoras de RSU	Vetor	1:100.000	IBGE-2016	Autor
Solos	Vetor	1:1.000.000	SRH-2003	
Imagem Landsat 8	Raster	30 metros	USGS	
Imagem Sentinel 2	Raster	10 metros	USGS	
NDWI	Raster	10 metros	USGS	Autor

2.3. Lógicas booleana e fuzzy aplicadas aos critérios restritivos e não restritivos

No intuito de selecionar as áreas apropriadas à implantação de aterros sanitários, foram utilizadas as lógicas booleana e fuzzy, levando em consideração os fatores técnicos, ambientais e socioeconômicos aos quais se aplicam critérios. Os critérios são variáveis que influenciam a decisão e que podem ser medidas e avaliadas, onde para cada um deles existe um índice associado. O índice é um valor numérico que expressa as decisões tomadas a partir das lógicas booleana e *fuzzy*, realçando ou diminuindo a favorabilidade de um critério específico, para uma atividade ou objetivo.

Os índices para a lógica *fuzzy* são expressos a partir de valores lógicos que podem ser qualquer número real entre 0 e 1, onde o valor verdadeiro de uma decisão pode compreender entre completamente falso e completamente verdadeiro, respectivamente. São utilizados sempre que existam abstrações ou ambiguidades em algum conceito de verdade parcial. Já os índices para a lógica booleana separam de maneira nítida a condição de pertinência ou não pertinência baseadas nos limites rigorosos da decisão, havendo apenas duas possibilidades definidas, 0 (não pertinente) ou 1 (pertinente).

A lógica booleana foi utilizada na tomada de decisão aplicada aos critérios restritivos. Esses critérios foram baseados em Leis e Normas no âmbito Nacional e Estadual que estabelecem restrições dos pontos de vista técnico, ambiental e socioeconômico. Já para os critérios não restritivos utilizou-se a lógica *fuzzy*, levando em consideração decisões não rigorosas baseadas na literatura e no Processo Analítico Hierárquico – AHP para determinação dos pesos.

2.4. Processo Analítico Hierárquico - AHP

O Processo Analítico Hierárquico (ou Analytic Hierarchy Process – AHP) é uma abordagem de tomada de decisão amplamente reconhecida e utilizadas em múltiplas áreas das ciências (RIBEIRO *et al.*, 2012; MARCHEZETTI *et al.*, 2011; BRIOZO; MUNETTI, 2015; KHARAT *et al.*, 2016; CAMARGO *et al.*, 2017; ROSLEE *et al.*, 2017; PIMENTA *et al.*, 2018; KAMDAR *et al.*, 2019). Método proposto por Saaty (1971), cujo propósito é resolver problemas complexos com diversas variáveis simultaneamente (SAATY, 1987). Na execução do AHP é necessário seguir os seguintes passos:

- 1) definição do problema complexo;

- 2) escolha das alternativas do problema;
- 3) decomposição do problema de tomada de decisão em uma estrutura hierárquica;
- 4) comparação das alternativas duas a duas (análises paritárias) em uma matriz quadrada ($n \times n$), onde n é a quantidade de alternativas do problema a ser resolvido. A comparação é feita pelo próprio decisor, a partir da importância relativa de uma alternativa sobre a outra. Nessa comparação é utilizada a escala fundamental de 9 níveis definida por Saaty (1990), como mostrado na tabela 2. Nesse estudo, o julgamento foi feito por três pesquisadores com conhecimento no assunto.

Tabela 2: Escala Fundamental de comparação paritária do método AHP (Saaty, 1990).

ESCALA NUMÉRICA	ESCALA VERBAL	EXPLICAÇÃO
1	Mesma importância	As alternativas i e j contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância moderada de um sobre o outro	A alternativa i tem importância moderada sobre a alternativa j
5	Importância essencial ou forte	A alternativa i tem importância grande sobre a alternativa j
7	Importância muito forte	A alternativa i tem importância muito grande sobre a alternativa j
9	Importância extrema	A alternativa i tem importância absoluta sobre a alternativa j
2,4,6,8	Valores intermediários	Quando se tem dúvidas entre as importâncias ímpares acima

Uma característica a ser ressaltada na matriz de julgamento é que ela possui um tipo de simetria em relação à sua diagonal principal e, nesse caso, todos os valores dessa diagonal serão iguais a 1, pois terão a mesma importância. Entretanto, o julgamento se torna o inverso do outro entre os lados da diagonal principal, onde $a_{ij} = 1/a_{ji}$. Logo, se o valor a_{ij} for igual a 7, diz-se que a alternativa i (linha) tem importância muito grande sobre a alternativa j (coluna) no lado superior da diagonal, e no lado inferior o inverso, a alternativa j é $1/7$ da alternativa i ;

5) depois de preencher a matriz, calcula-se o auto vetor das alternativas utilizando a média geométrica de cada linha;

6) normatização de cada auto vetor para uma escala de 100%. Divide-se cada auto vetor pela soma total destes, achando a importância individual das alternativas em porcentagem;

7) por fim, calcula-se a coerência dos julgamentos a partir do índice de consistência – IC e da razão de consistência – RC desenvolvidos por Saaty (1990). O IC é calculado a partir da equação $IC = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$, onde λ_{\max} é o autovalor

máximo da matriz e n é a ordem da matriz ($n \times n$). Já o RC é calculado a partir da equação $RC = IC/IR$, onde IR é o índice randômico tabelado (Tabela 3). O valor aceitável para o índice de consistência é 0,1 ou 10%, necessitando reavaliar os julgamentos da matriz caso seja maior que isso (SAATY, 1987; SAATY, 2006).

Tabela 3: IR para matrizes de até ordem 15.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IR	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

2.5. Seleção de fatores para o modelo booleano

A seleção dos fatores que geraram o modelo booleano foi baseada nas principais Legislações e Normas brasileiras voltadas para aspectos do meio físico, meio biótico e meio socioeconômico. Nesse modelo foram utilizados quinze fatores/temas, sendo três destes classificados como fatores técnicos, oito como fatores ambientais, e quatro como fatores socioeconômicos, descritos a seguir na tabela 4.

Tabela 4: Fatores utilizados pela lógica booleana e os critérios e os índices correspondentes.

	FATORES/ TEMAS	CRITÉRIOS RESTRITIVOS	LEGISLAÇÃO	ÍNDICE
FATORES TÉCNICOS	USINAS ELÉTRICAS	500 m	NBR 13.896/1997	0
	DUTOS DE GÁS/ÓLEO	25 m	Decreto 28/08/1996; Lei 10.932/2004	0
	RODOVIA S / FERROVIAS	35 m	DNIT/2008; Lei 10.932/2004	0
FATORES AMBIENTAIS	DRENAGEM	200 m	NBR 13.896/1997	0
	ESPELHOS D'ÁGUA	200 m	NBR 13.896/1997	0
	ÁREAS INUNDÁVEIS	200 m	NBR 13.896/1997	0
	UNIDADES DE CONSERVAÇÃO	Áreas restritas	Lei 9.985/2000	0
	BREJOS	Poligonal	Lei 12.651/2012	0
	MANGUEZAIS	Poligonal	Lei 12.651/2012	0
	RESTINGA	Poligonal	Lei 12.651/2012	0
FATORES SOCIOECONÔMICOS	ZONA COSTEIRA	1.000 m	*Resolução CONAMA 303/2002	0
	ÁREAS URBANAS	500 m	NBR 13.896/1997	0
	NÚCLEOS POPULACIONAIS	500 m	NBR 13.896/1997	0
	ÁREAS QUILOMBOLAS	Poligonal	Decreto 4.887/2003; I.N. 49 de 29/09/2008	0
	AEROPORTOS	10.000 m	CENIPA/2017 (Aeronáutica/BR)	0

* Critérios estabelecido pelo autor, estimulado pela respectiva Resolução, mas não definido por esta.

2.5.1. Fatores técnicos

Usinas elétricas - foi aplicada uma distância de proteção de 500 metros, pois considerou-se como área urbanizada. Sendo assim, utilizou-se os mesmos critérios estabelecidos no tópico 2.5.3, regido pela Norma Brasileira - NBR 13.896/1997.

Dutos de gás/óleo – aplicou-se uma distância total de proteção de 25 metros para cada lado, baseada no Decreto sem número de 28/08/1996 que estabelece uma faixa de domínio de 20 metros para a passagem de dutos enterrados, e na Lei 10.932/2004, que determina que ao longo das águas correntes, dormentes e das faixas de domínio público das rodovias e ferrovias, será obrigatória a reserva de uma faixa não-edificável de 15 metros de cada lado.

Rodovias/ferrovias - definiu-se uma distância total de proteção de 35 metros para cada lado, definida pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, que estabelece uma faixa de domínio de servidão de 40 metros, sendo 20 metros para cada lado a partir do centro da via (DNIT, 2008), somada aos 15 metros de cada lado para a faixa não-edificável baseada na Lei 10.932/2004.

2.5.2. Fatores ambientais

Drenagem – Espelhos d'água - Áreas inundáveis - a NBR 13.896/1997 determina que um aterro sanitário deve ser localizado a uma distância mínima de 200 metros de qualquer coleção hídrica ou curso de água, assim como não deve ser executado em áreas sujeitas a inundações, em períodos de recorrência de 100 anos, pois representam um risco para a estabilidade dos rejeitos despejados no aterro e de poluição dos recursos hídricos.

Unidades de conservação - na área de estudo foram identificadas seis Áreas de Proteção Ambiental – APAs, que são Unidades de Conservação – UC's, categorizadas como Unidades de Uso Sustentável, instituídas pela Lei 9.985/2000. Todas essas APAs possuem Zoneamento Ecológico-Econômico definidos por resoluções específicas e que estabelecem restrições no uso e ocupação. Nesse estudo foram definidas como impróprias todas as áreas de proteção rigorosa, e como apropriadas todas as Zonas de Uso Diversificado – ZUD e Específico – ZUE.

Brejos - Manguezais - Restingas - são Áreas de Proteção Permanente (APP's) e consideradas áreas restritas pela Lei 12.651/2012, sendo assim, as poligonais desses fatores foram definidas como impróprias nesse estudo.

Zona costeira - A Resolução CONAMA 303/2002 estabelece uma faixa mínima de 300 metros, medidos a partir da linha de preamar máxima para proteção das restingas. Estimulado por esse distanciamento e considerando que a zona costeira possui uma expressiva fragilidade ambiental devido a presença de restingas e manguezais, foi definida uma faixa de proteção de 1000 metros da linha de costa para dentro do continente.

2.5.3. Fatores socioeconômicos

Áreas urbanas e Núcleos populacionais – recomenda-se que um aterro sanitário deve ter uma distância mínima de 500 metros de qualquer núcleo populacional, sendo este classificado como uma localidade sem a categoria de sede administrativa, mas com moradias (NBR 13.896/1997). Nesse caso, foi criada uma zona de proteção de 500 metros tanto para os núcleos populacionais, quanto para as áreas urbanizadas ou sedes municipais.

Áreas Quilombolas - de acordo com o Decreto 4.887/2003 e a Instrução Normativa 49 de 29/09/2008, as áreas Quilombolas, pertencentes a grupos étnicos conhecidos como “comunidades remanescentes de quilombos”, são protegidas e respeitadas devido a sua história e como forma de compensação social. Nesse estudo as poligonais dessas áreas foram consideradas impróprias para tal empreendimento.

Aerportos - quanto às Áreas de Seguranças Aeroportuárias (ASA's), o Plano Básico de Gerenciamento de Risco de Fauna da Aeronáutica brasileira define os aterros sanitários como empreendimento com potencial atrativo de fauna, o que pode comprometer a segurança operacional da aviação (ALAVI *et al.*, 2013; CENIPA, 2017). Dessa forma, esse Plano determina uma zona de proteção cuja distância radial é de 10000 metros do centro da maior pista do aeródromo.

2.6. Seleção de fatores para o modelo fuzzy

A seleção dos fatores que geraram o modelo fuzzy foi baseada em aspectos dos meios físico, biótico e socioeconômico. No modelo elaborado, foram utilizados onze fatores/temas, sendo dois destes classificados como fatores técnicos, sete como fatores ambientais, e dois fatores socioeconômicos (tabela 5), descritos nos subtópicos a seguir.

Tabela 5: Fatores utilizados pela lógica fuzzy e os critérios e pesos correspondentes.

	FATORES/ TEMAS	PESO-F	CRITÉRIOS NÃO RESTRITIVOS	PESO-C	PESO FINAL
FATORES TÉCNICOS	DECLIVIDADE	0,014	Valor < 1%	0,112	0,0015
			1% > Valor < 30%	0,553	0,0077
			30% > Valor < 100%	0,273	0,0038
			Valor > 100%	0,062	0,0009
	RODOVIAS / FERROVIAS	0,081	0 a 1 km	0,101	0,0082
			1 a 2 km	0,571	0,0464
			2 a 3 km	0,274	0,0222
			> 3 km	0,053	0,0043
FATORES AMBIENTAIS	DRENAGEM	0,150	200 m 6ª ordem	0,101	0,0151
			200 m 5ª ordem	0,226	0,0339
			1ª/2ª/3ª/4ª ordem	0,674	0,1012
	RIOS PRINCIPAIS	0,254	0 a 0,5 km	0,043	0,0110
			0,5 a 1 km	0,080	0,0202
			1 a 1,5 km	0,145	0,0368
			1,5 a 2 km	0,286	0,0726
			> 2 km	0,447	0,1135
	ÁREAS PROVAVELMENTE INUNDÁVEIS	0,050	Inundável = I	0,084	0,0042
			200 m de I	0,211	0,0106
			> 200 m de I	0,705	0,0355
	DIVISORES DE ÁGUAS	0,150	< 200 m	0,637	0,0956
			200 a 400 m	0,258	0,0388
			> 400 m	0,105	0,0157
	GEOLOGIA / HIDROGEOLOGIA	0,081	Depósitos fluviais	0,020	0,0016
			Depósitos marinhos litorâneos	0,020	0,0016
Fm. São Sebastião			0,049	0,0040	
Fm. Sergi			0,062	0,0050	
Fm. Marizal			0,098	0,0080	
Fm. Barreiras			0,154	0,0125	
Embasamento cristalino			0,238	0,0193	
Fm. Sabiá; Fm. Taipus-Mirim; Grupo Ilhas; Fm. Candeias; Fm. Itaparica			0,359	0,0291	

	SOLOS	0,023	Gleisso	0,030	0,0007
			Neossolo	0,030	0,0007
			Vertissolo	0,092	0,0021
			Latossolo	0,153	0,0035
			Argissolo	0,256	0,0059
			Espodossolo	0,438	0,0101
	NDWI	0,023	Corpos D'Água	0,063	0,0014
			Área sem vegetação	0,672	0,0154
			Área com vegetação	0,265	0,0061
	FATORES SOCIOECONÔMICOS	ZONAS GERADORAS DE RESÍDUOS	0,151	0 a 0,5 km	0,054
0,5 a 5 km				0,258	0,0387
5 a 10 km				0,578	0,0868
>10 km				0,110	0,0165
VEGETAÇÃO E USO E OCUPAÇÃO DO SOLO		0,023	Área urbana	0,045	0,0010
			Floresta primária	0,045	0,0010
			Brejo; Mangue; Restinga	0,029	0,0007
			Espelhos d'água	0,029	0,0007
			Cerrado	0,177	0,0041
			Floresta secundária	0,252	0,0058
Agricultura/Pecuária; Reflorestamento	0,423	0,0097			
		1,00	11,00	1,00	

PESO FINAL= PESO-F * PESO-C

A partir do método AHP definiu-se os pesos para os fatores/temas (PESO-F) e critérios (PESO-C), utilizado a matriz fundamental paritária de Saaty (1990). Essa análise gerou o Índice de Consistência-IC e a Razão de Consistência-RC das matrizes (tabela 6).

Tabela 6: Valores dos índices de consistência e razões de consistência de cada matriz de julgamento.

	IC	RC	Ordem da matriz
FATORES	0,010	0,016	11
Declividade	0,063	0,070	4
Rodovias / ferrovias	0,053	0,059	4
Drenagem	0,043	0,074	3
Rios principais	0,046	0,041	5
Áreas provavelmente inundáveis	0,016	0,028	3
Divisores de águas	0,019	0,033	3
Geologia / hidrogeologia	0,114	0,081	8
Solos	0,088	0,071	6
NDWI	0,015	0,025	3
Zonas geradoras de Resíduos	0,040	0,044	4
Vegetação e uso e ocupação do solo	0,087	0,066	7

2.6.1. Fatores técnicos

Os fatores técnicos foram escolhidos com base em características operacionais na instalação do empreendimento e na logística de transporte dos resíduos pelas vias principais até a área escolhida de destinação final.

Declividade - a NBR 13.896/1997 recomenda que as áreas para implantação de aterros sanitários possuam declividade entre 1% e 30%. Para esse fator foram definidas quatro classes e atribuído pesos pelo método AHP, sendo: declividade menor que 1% o peso 0,112; maior que 1% e menor que 30%, o peso 0,553; maior que 30% e menor que 100%, o peso 0,273; e maior que 100% o peso 0,062.

Rodovias/ferrovias - o acesso à áreas favoráveis a partir de vias principais é um fator importante, uma vez que o aterro sanitário localizado a grandes distâncias dessas vias podem inviabilizar o empreendimento, tendo em vista os altos custos de transporte e de depreciação dos veículos a partir de vias secundárias (IBAM, 2001; UYAN, 2014; KAHRAMAN *et al.*, 2018). Entretanto, aterros sanitários muito próximos às vias de fluxo rápido podem gerar problemas de segurança devido à atração de pássaros, obstrução do tráfego (GUIQIN *et al.*, 2009) ou problemas como odores e ruídos (GOMES e MARTINS, 2003). Dessa maneira, esse fator foi pontuado da seguinte forma: distâncias entre 0 e 1 quilômetro receberam o peso 0,101; entre 1 e 2 quilômetros, peso 0,571; entre 2 e 3 quilômetros, peso 0,274; e maior do que 3 quilômetros, o índice 0,053.

2.6.2. Fatores ambientais

Os fatores ambientais são, sem dúvida, os mais restritivos na maioria dos estudos dessa natureza devido à sua importância, já que representam o meio físico (mananciais hídricos, solo, geologia, etc) e o meio biótico (fauna e flora), ambos essenciais para o bem-estar social.

Drenagem - de acordo com a Resolução CEPRAM 4.579/2018, os aterros sanitários são classificados como empreendimento com alto potencial de poluição. Esse

tipo de empreendimento produz lixiviados e gases, portanto não devem estar localizados a uma distância mínima de 200 m de qualquer coleção hídrica ou curso de água (NBR 13.896/1997).

Em ambientes tropicais, com altos índices pluviométricos, a drenagem é o fator que mais restringe a adequação das áreas, pois dependendo da escala de trabalho e da base de dados utilizada, os rios perenes e intermitentes podem ser bem adensados. Nesse estudo foi criado um modelo de drenagem baseado no Modelo Digital de Elevação – MDE, onde as drenagens com hierarquia entre 1ª e 4ª ordem foram consideradas efêmeras; as drenagens de 5ª ordem como efêmeras e/ou intermitentes; e as hierarquizadas entre 6ª e 11ª ordem como drenagens intermitentes e/ou perenes. Essa metodologia foi utilizada e calibrada em campo, com o intuito de validar e refinar essa classificação. Dessa maneira, os pesos para esse fator foram determinados da seguinte forma: distâncias de 200 metros das drenagens de 6ª à 11ª ordem receberam o peso 0,101; distâncias de 200 metros das drenagens de 5ª ordem, peso 0,226; e o resto da área, representada pelas drenagens de ordem 1ª à 4ª ordem receberam o peso 0,674.

Rios principais - Foi identificado que as principais sub-bacias hidrográficas da região eram bem representadas pelas drenagens de 8ª à 11ª ordem, levando a considerá-las como os rios principais. Para esse fator foram atribuídos os seguintes critérios: distâncias entre 0 e 0,5 quilômetro receberam o peso 0,043; entre 0,5 e 1 quilômetro, peso 0,080; entre 1 e 1,5 quilômetros, peso 0,145; entre 1,5 e 2 quilômetros, peso 0,286; e maior do que 2 quilômetros, peso 0,447.

Áreas provavelmente inundáveis – Para reforçar a proteção às áreas inundáveis do modelo booleano, foi criado o fator de áreas com risco a inundações utilizando o MDE. Considerou-se áreas provavelmente inundáveis como sendo a interseção entre as áreas com declividade <1% e a drenagem de 6ª ordem. Dessa forma, para as áreas inundáveis = I (fruto da interseção) foi atribuído o peso 0,084; para distâncias de 200 metros de I, o peso 0,211; e para as demais áreas o peso 0,705.

Divisores de águas - Assim como as águas superficiais, o conhecimento das águas subterrâneas é imprescindível nesse tipo de estudo. A NBR 13.896/1997 determina que entre a superfície inferior do aterro e a superfície freática do aquífero (medida durante a

época de maior precipitação pluviométrica) deve haver uma camada natural de espessura mínima de 1,50 m de solo insaturado. No intuito de definir regiões mais afastadas da superfície freática, foi cartografado, a partir de MDE, micro-bacias hidrográficas com áreas mínimas equivalentes a 100 hectares, para delimitação dos divisores de águas dessas micro-bacias, que tendem a estar mais distantes da superfície freática.

A partir da delimitação dos divisores de água, foram criadas três classes para esse fator, sendo: distâncias menores que 200 metros (áreas mais elevadas), atribuiu-se o peso 0,637; distâncias entre 200 e 400 metros (áreas intermediárias), o peso 0,258; e distâncias maiores que 400 metros foi atribuído o peso 0,105, pois estariam mais próximos da superfície freática.

Geologia/Hidrogeologia - A geologia da área de estudo pode ser dividida em três domínios, de acordo com o arcabouço hidrogeológico, apresentando diferentes configurações e características em função da natureza e estruturação dos litotipos presentes, sendo: 1) Domínio das rochas do embasamento; 2) Domínio da Bacia Sedimentar do Recôncavo; 3) Domínio das coberturas da Formação Barreiras e os depósitos fluviais e marinhos litorâneos.

O primeiro Domínio é caracterizado por rochas de alto grau metamórfico no fácies granulito, atribuídos ao Paleoproterozóico-Arqueano (BARBOSA *et al.*, 2012), configurando um aquífero fissural, sendo para esse atribuído o peso 0,238.

O segundo Domínio é representado por rochas sedimentares siliciclásticas Mezozoicas da Bacia Sedimentar do Recôncavo, constituídas predominantemente por intercalações de folhelhos e arenitos (SILVA *et al.*, 2007), configurando os aquíferos porosos de natureza livre ou confinado. Nesse Domínio, as unidades geológicas compostas predominantemente por folhelhos (Formação Sabiá, Formação Taipus-Mirim, Grupo Ilhas, Formação Candeias, Formação Itaparica) foram consideradas as mais favoráveis, pois são unidades mais impermeáveis e, por este motivo, atribuiu-se o peso 0,359. As unidades formadas predominantemente por arenitos (Formação Marizal, Formação São Sebastião e Formação Sergi) representam os aquíferos granulares da região, sendo as duas últimas de maior importância hidrogeológica, sendo atribuído para essas unidades os pesos 0,098; 0,049; e 0,062, respectivamente.

O terceiro Domínio constitui as coberturas da Formação Barreiras, de natureza areno-argilosa bastante heterogênea, tendo por vezes baixa permeabilidade. Essa

Formação representa um aquífero granular, porém, com baixo potencial hídrico, sendo atribuído o peso 0,154. Já os depósitos fluviais e marinhos litorâneos são sedimentos recentes localizados em áreas instáveis e bastante vulneráveis, impróprias para este tipo de empreendimento, sendo atribuído o peso 0,020 para ambos.

Solos - O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS distingue 13 classes de solos a partir de características morfológicas como textura, estrutura, razão argila/areia, dentre outras (SANTOS *et al.*, 2018). As duas primeiras influenciam diretamente na condutividade hidráulica do solo (MORAIS, 2012), gerando velocidades distintas para um possível lixiviado. Na área de estudo foram identificadas seis classes de solos, onde se aplicou pesos baseados na vulnerabilidade para este tipo de empreendimento, sendo:

- Gleissolos e Neossolos: atribuído o peso 0,030, já que o primeiro apresenta hidromorfismo, principalmente ao longo dos cursos dos rios ou nos manguezais, com flutuação constante de nível da superfície freática, e o segundo, na área de estudo, compõe as porções litorâneas e apresenta características que favorecem a infiltração.
- Vertissolos: atribuído o peso 0,092 devido aos fenômenos de expansão e contração do solo, associados à alta atividade das argilas, ocasionando fendas profundas e movimentação da massa, o que causaria instabilidade nas estruturas do aterro sanitário.
- Latossolos: representam solos profundos com alto teor de argila, mas com estrutura que favorece o processo de infiltração, sendo atribuído o peso 0,153.
- Argissolos e Espodossolos: atribuído os pesos 0,256 e 0,438, já que estes possuem a capacidade de infiltração reduzida devido a presença do horizonte B textural (translocação de argila) e B espódico (translocação de matéria orgânica), respectivamente.

NDWI - Nesse estudo foi utilizado o Índice de Diferença Normalizada da Água - NDWI no intuito de realçar o mapeamento dos corpos d'água e da vegetação mais expressiva. O resultado foi dividido em três categorias: os corpos d'água, onde foi atribuído um peso 0,063; as áreas sem vegetação, o peso 0,672; e as áreas com vegetação, o peso 0,265.

2.6.3. Fatores socioeconômicos

Os fatores socioeconômicos estão associados à interferência da sociedade no meio físico e econômico da região que serão impactados por esse tipo de empreendimento.

Zonas geradoras de resíduos - Sobre a distância entre as zonas geradoras de resíduos e o local do aterro sanitário é válido pontuar dois itens: o primeiro é que, quanto mais distante da zona geradoras de resíduo for o aterro sanitário, maior serão os custos, principalmente se essa distância for maior que 20 quilômetros, o que pode tornar o empreendimento inviável (ROHDE, 1989; BAHIA, 2012; CEMPRE, 2018). O segundo é a rejeição da população a este tipo de empreendimento nas proximidades das suas casas devido à síndrome NIMBY (DEMESOUKA *et al.*, 2019), em função de possíveis odores, ruídos, poeira dos caminhões, presença de pássaros, aumento de vetores de transmissão de doenças (MELO, 2001; GOMES e MARTINS, 2003; DEMESOUKA *et al.*, 2013) ou alteração no valor das terras e imóveis da região (BOUVIER *et al.*, 2000; KAHRAMAN *et al.*, 2018). Torna-se, dessa forma, necessário levar em conta a expansão urbana e seus vetores de crescimento, no intuito de evitar possíveis atritos entre o empreendimento e a sociedade. Dessa maneira, dividiu-se as classes da seguinte forma: distâncias entre 0 e 0,5 quilômetro receberam o peso 0,054; entre 0,5 e 5 quilômetros, peso 0,258; entre 5 e 10 quilômetros, peso 0,578; e maior do que 10 quilômetros, peso 0,110.

Vegetação e uso e ocupação do solo - O conhecimento do ordenamento, uso e ocupação do solo é indispensável afim de evitar a implantação do empreendimento em locais que seja necessária a supressão da vegetação primária ou de áreas ambientalmente protegidas. Nesse estudo foram utilizadas as classes de mapeamento feito pela Superintendência de Recursos Hídricos da Bahia (SRH, 2003) e atribuído os seguintes pesos: para as áreas urbanas atribuiu-se o peso 0,045; florestas primárias, o peso 0,045; para os brejos, mangues, restingas, o peso 0,029; espelhos d' água, o peso 0,029; vegetação de cerrado, o peso 0,177; florestas secundárias, o peso 0,252; e para a agricultura/pecuária e áreas de reflorestamento (geralmente eucalipto), o peso 0,423.

2.7.O SIG no processamento dos dados

A figura 2 ilustra de maneira resumida as diferentes etapas envolvidas neste estudo. A primeira etapa da pesquisa foi a coleta de dados geospaciais adquiridos por diferentes plataformas on-line de instituições governamentais nacionais e internacionais. Em seguida, foi feita a separação desses dados para posteriormente serem utilizados pelas lógicas booleana e *fuzzy* com o auxílio do SIG Arcgis® 10.1.

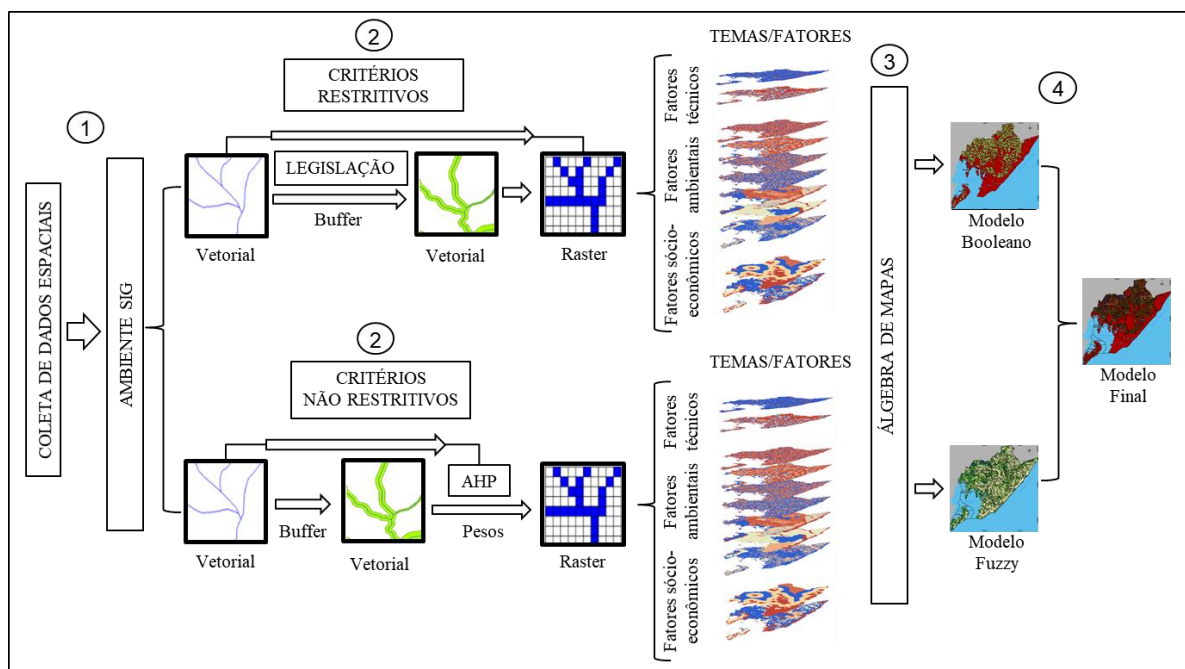


Figura 2: Síntese das etapas envolvidas no estudo.

A segunda etapa foi o processamento dos dados espaciais, onde foram criados 15 fatores/temas para o modelo booleano ao qual se aplicou critérios restritivos com base na legislação nacional, sendo três destes classificados como fatores técnicos (figura 3A, 3B, 3C), oito como fatores ambientais (figura 3D, 3E, 3F, 3G, 3H, 3I, 3J, 3L), e quatro como fatores socioeconômicos (figura 3M, 3N, 3O, 3P).

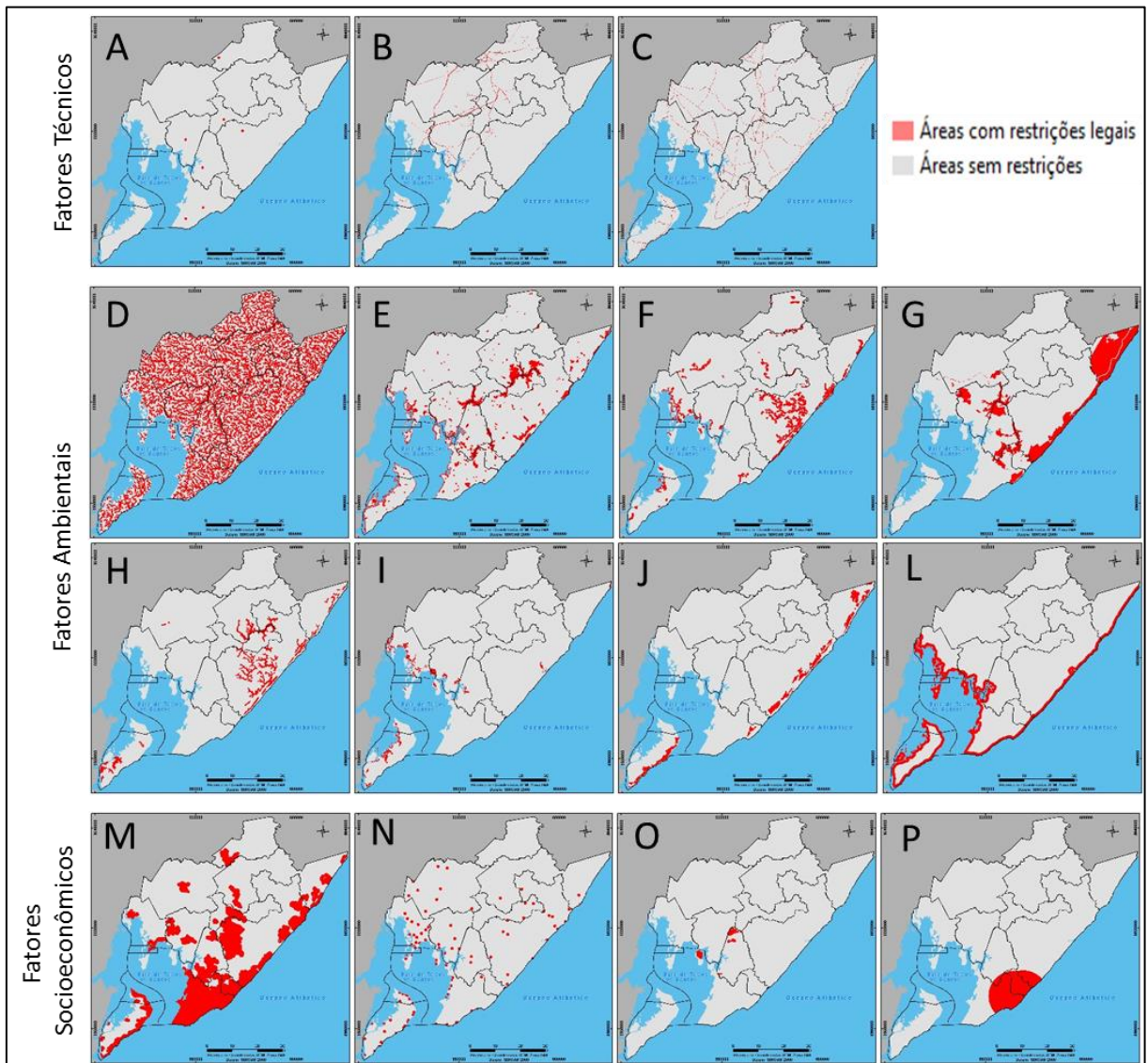


Figura 3: (A) usinas elétricas, (B) dutos de gás/óleo, (C) rodovias/ferrovias, (D) drenagem, (E) espelhos d'água, (F) áreas inundáveis, (G) unidades de conservação, (H) brejos, (I) manguezais, (J) restinga, (L) zona costeira, (M) áreas urbanas, (N) núcleos populacionais, (O) áreas Quilombolas, (P) aeroportos.

Ainda na segunda etapa - processamento dos dados, foram criados em paralelo 11 fatores/temas para o modelo *fuzzy* ao qual se aplicou critérios não restritivos baseados na literatura, e a esses critérios, atribuído pesos que foram calculados pelo método AHP. Desses onze fatores, dois foram classificados como fatores técnicos (figura 4A, 4B), sete como ambientais (figura 4E, 4F, 4G, 4H, 4I, 4J, 4L) e dois como socioeconômicos (figura 4C, 4D). Nesse processamento os dados foram convertidos do formato vetorial para o formato raster, com resolução espacial de 5 metros, sendo todos com o sistema geodésico SIRGAS 2000.

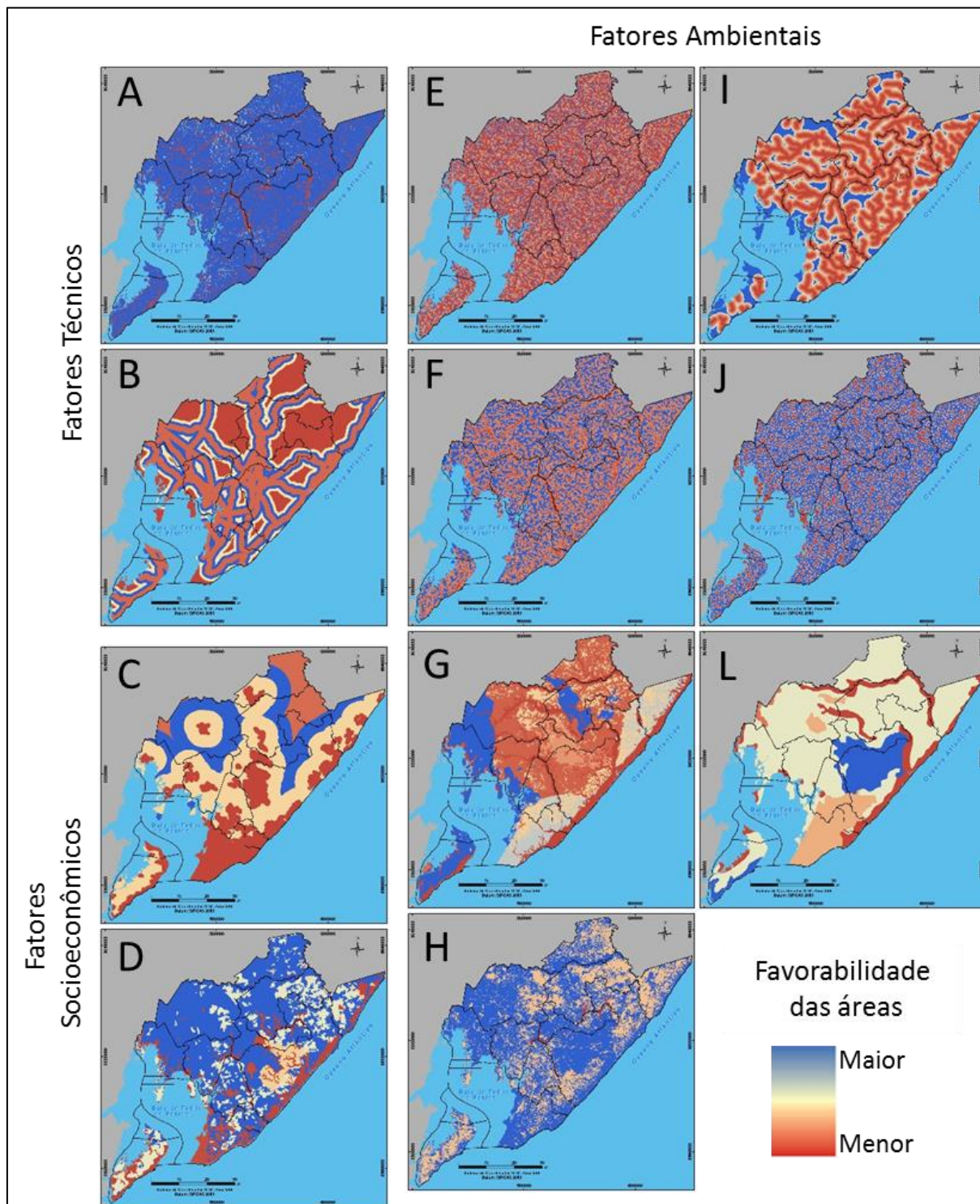


Figura 4: (A) declividade, (B) rodovias/ferrovias, (C) zonas geradoras de resíduos, (D) vegetação e uso do solo, (E) drenagem, (F) áreas provavelmente inundáveis, (G) geologia/hidrogeologia, (H) NDWI, (I) rios principais, (J) divisores de águas, (L) solos.

Na terceira etapa utilizou-se a álgebra de mapas do SIG para o cruzamento dos fatores/temas de cada restrição descrita previamente. No modelo booleano o operador

lógico utilizado foi o “AND” (interseção), resultando em valores finais iguais a 0 ou 1, onde cada pixel apresentou uma aptidão para áreas, sendo 0 inaptas e 1 aptas.

No modelo *fuzzy* utilizou-se o operador lógico Soma Algébrica e Produto Algébrico segundo a equação $IA = \sum FiCi$, onde IA é o índice de adequação; Fi é o peso do fator i ; e Ci é o peso do critério i . Isso permitiu a fusão dos diferentes fatores/temas para atingir o objetivo, onde cada pixel apresentou um valor de aptidão para áreas. Esses valores foram padronizados na escala *fuzzy* de 0 a 1, sendo 0 áreas não favoráveis e 1 áreas muito favoráveis.

Por fim, na quarta etapa, observou-se a resposta dos dois modelos separadamente e, em seguida, prosseguiu-se com o cruzamento desses para gerar o modelo final de seleção de locais adequados para a implantação de aterros sanitários.

3. Resultados e discussões

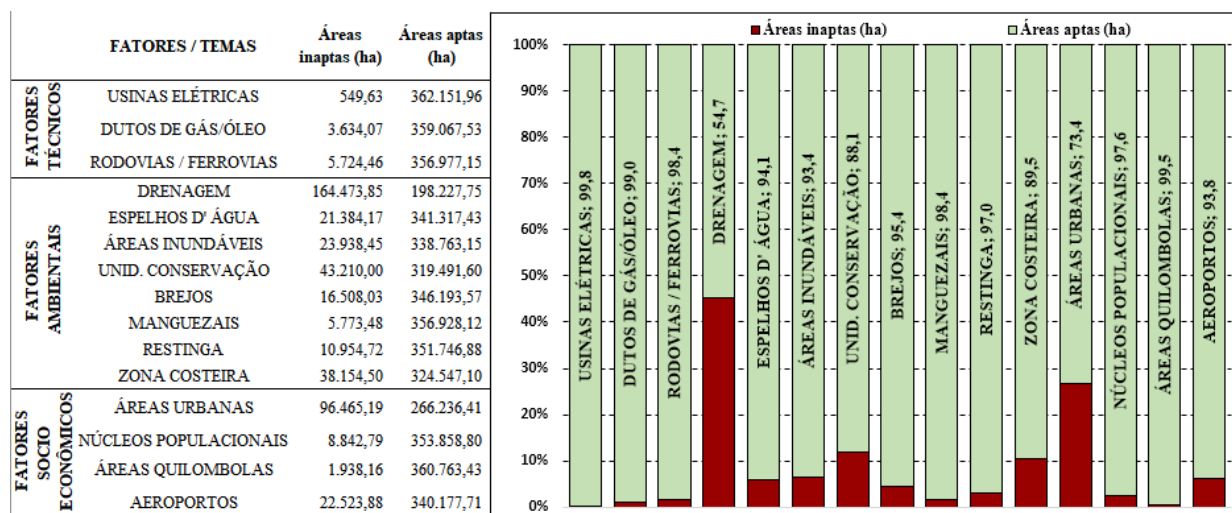
Este foi o primeiro estudo a identificar áreas favoráveis para implantação de aterros sanitários nos treze municípios da RMS, Bahia, Brasil, área inserida num contexto climático tropical quente e chuvoso. No total, vinte e seis fatores foram selecionados dentro das perspectivas técnicas, ambientais e socioeconômicas. Desses fatores, quinze foram utilizados com auxílio de lógica nítida (booleana) e onze com auxílio de lógica difusa (*fuzzy*). Aplicou-se critérios e pesos a esses fatores para gerar os respectivos modelos. O SIG foi importante no manuseio e processamento dos dados geoespaciais e na elaboração dos modelos booleano, *fuzzy* e booleano-*fuzzy*.

3.1. Modelo Booleano

As escolhas dos fatores utilizados nesse modelo, assim como determinação dos critérios aplicados, foram condicionadas às legislações existentes no país, as quais foram supracitadas nos tópicos anteriores. Os resultados obtidos, como se pode observar na tabela 7, revelam que as áreas classificadas como inaptas tiveram sua maior porcentagem nos fatores “drenagem” e “áreas urbanas” que restringiram do total da área 45,3% e 26,6%, respectivamente. O grupo de fatores ambientais expressou a maior reprovação de áreas (89,4%), em seguida o grupo socioeconômico com 35,8% e, por fim, o grupo fatores

técnicos com 2,7%. Isso pode variar muito de acordo com a realidade de cada local geográfico, bem como as restrições legais impostas por cada país.

Tabela 7: Fatores utilizados no modelo booleano e suas respectivas áreas inaptas e aptas.



A figura 5 a seguir ilustra o modelo booleano com a interseção entre os quinze fatores descritos anteriormente, a partir da operação lógica “AND”. Nesse modelo, 30% da área de estudo é considerada apta e 70% dela inapta. No modelo booleano, as condições dos aterros sanitários existentes na área de estudo são as seguintes: O aterro sanitário do município de Salvador se encontra em uma área definida como restrita ou inapta. Os fatores responsáveis por isso foram “drenagem” e “aerportos”. Os aterros sanitários dos municípios de Camaçari, Vera Cruz e São Francisco do Conde se encontram em áreas não restritas ou aptas.

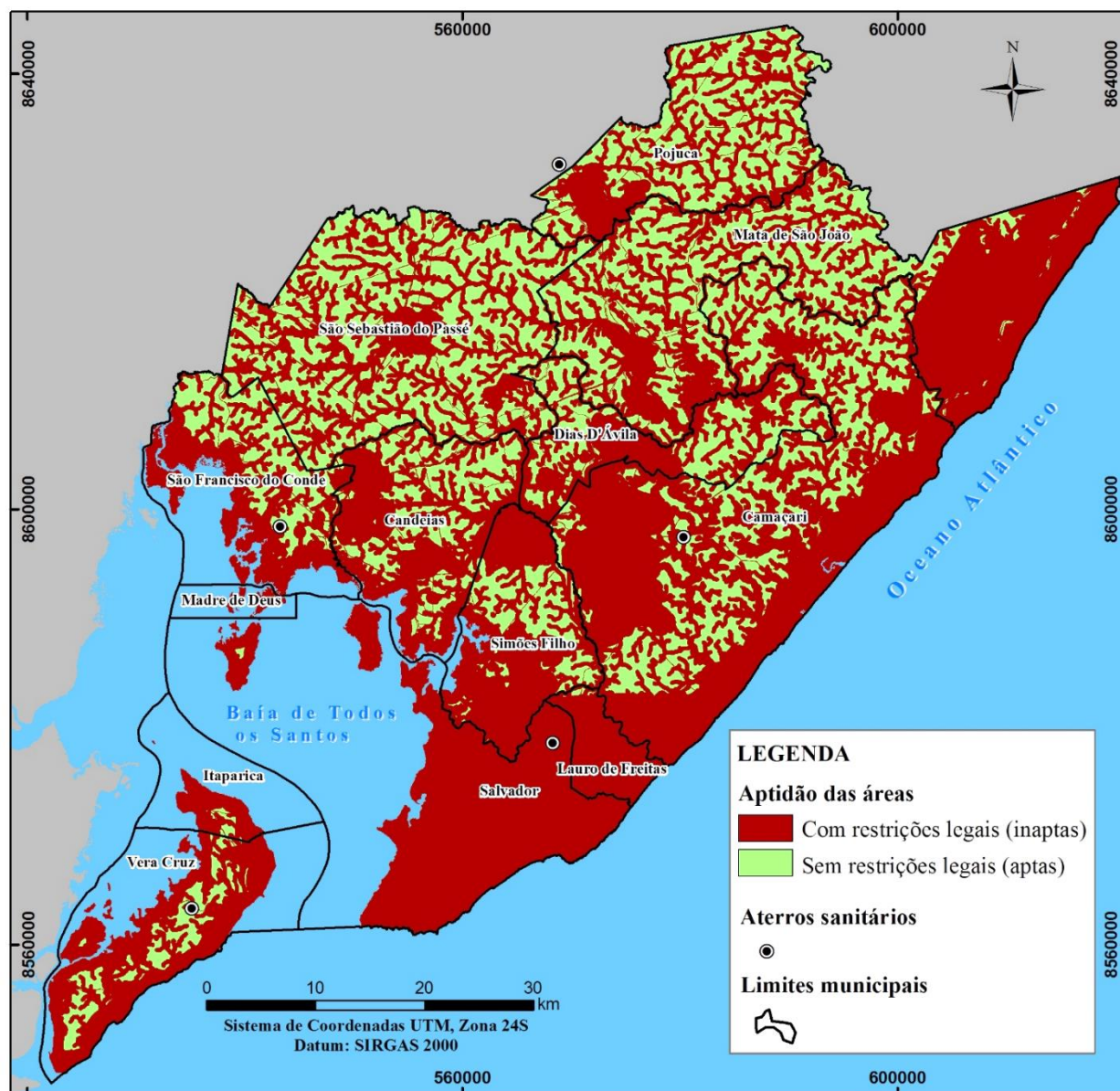


Figura 5: Modelo booleano ilustrando áreas inaptas (com restrições) e aptas (sem restrições).

3.2. Modelo Fuzzy

No intuito de refinar a escolha de áreas onde o modelo booleano propusera como sem restrições, foi utilizado o modelo *fuzzy*. Nesse modelo pôde-se utilizar critérios qualitativos e transformá-los em quantitativos, a partir de conhecimentos práticos e de literaturas, tendo o auxílio do método AHP, que determinou importâncias (pesos) aos fatores e critérios respectivos para determinação da favorabilidade das áreas.

A partir do julgamento feito por três pesquisadores com conhecimento no assunto para os onze fatores utilizados nesse modelo *fuzzy*, constatou-se que o grupo ambiental teve a maior importância na escolha de áreas para implantação de aterros sanitários, com

um peso total de 73%. Em seguida, o grupo socioeconômico com importância de 17% e, por fim, o grupo de fatores técnicos, com 10%.

Dentre os onze fatores dos três grupos, os quatro mais importantes foram: o fator “rios principais”, dominante na seleção de áreas, com um peso de 25,4%, sendo sua importância atrelada à preservação dos principais mananciais superficiais de abastecimento hídrico da região. Em seguida os fatores “drenagem” e “divisores de águas”, com importância de 15,0% cada, sendo que o último representa a vulnerabilidade à zona saturada, e o fator “zona geradoras de resíduos”, também com importância de 15,0%, em consequência de aspectos logísticos de viabilidade econômica de transporte entre a origem e o destino final dos resíduos, bem como a síndrome de NIMBY (DEMESOUKA *et al.*, 2019), ambos com implicações limitantes para este tipo de empreendimento.

Os onze fatores foram utilizados para produzir o modelo *fuzzy* com a favorabilidade das áreas a partir do índice de adequação *fuzzy*. Os valores de favorabilidade foram agrupados em três classes: não favoráveis (0 a 0,5), favoráveis (0,501 a 0,7) e muito favoráveis (0,701 a 1) (Tabela 8).

Tabela 8: Favorabilidade das áreas em hectare e porcentagens determinadas pelo modelo fuzzy.

Favorabilidade das áreas	Índice <i>fuzzy</i>	Área (ha)	Área (%)
Não favoráveis	0 - 0,5	210.387,9	59,2
Favoráveis	0,501 - 0,7	115.426,4	32,5
Muito favoráveis	0,701 - 1	29.745,8	8,4
		355.560,1	100

Os resultados desse modelo mostram que, dos 355.560,1 hectare (ha) da área de estudo, 210.387,9 ha (59,2%) não são favoráveis à implantação de aterros sanitários, 115.426,4 ha (32,5%) são áreas favoráveis, e 29.745,8 ha (8,4%) são áreas muito favoráveis.

No modelo proposto (figura 6), observa-se que as áreas consideradas como não favoráveis estão em regiões topograficamente mais rebaixadas ou de drenagens, justificando que o grupo de fatores ambientais, principalmente os hídricos, assumiu uma maior importância no estudo. Em contrapartida, as áreas muito favoráveis encontram-se em regiões topograficamente mais elevadas, concentradas à montante das bacias

hidrográficas dos principais rios da região e também mais afastadas das áreas urbanizadas representadas pelas sedes municipais.

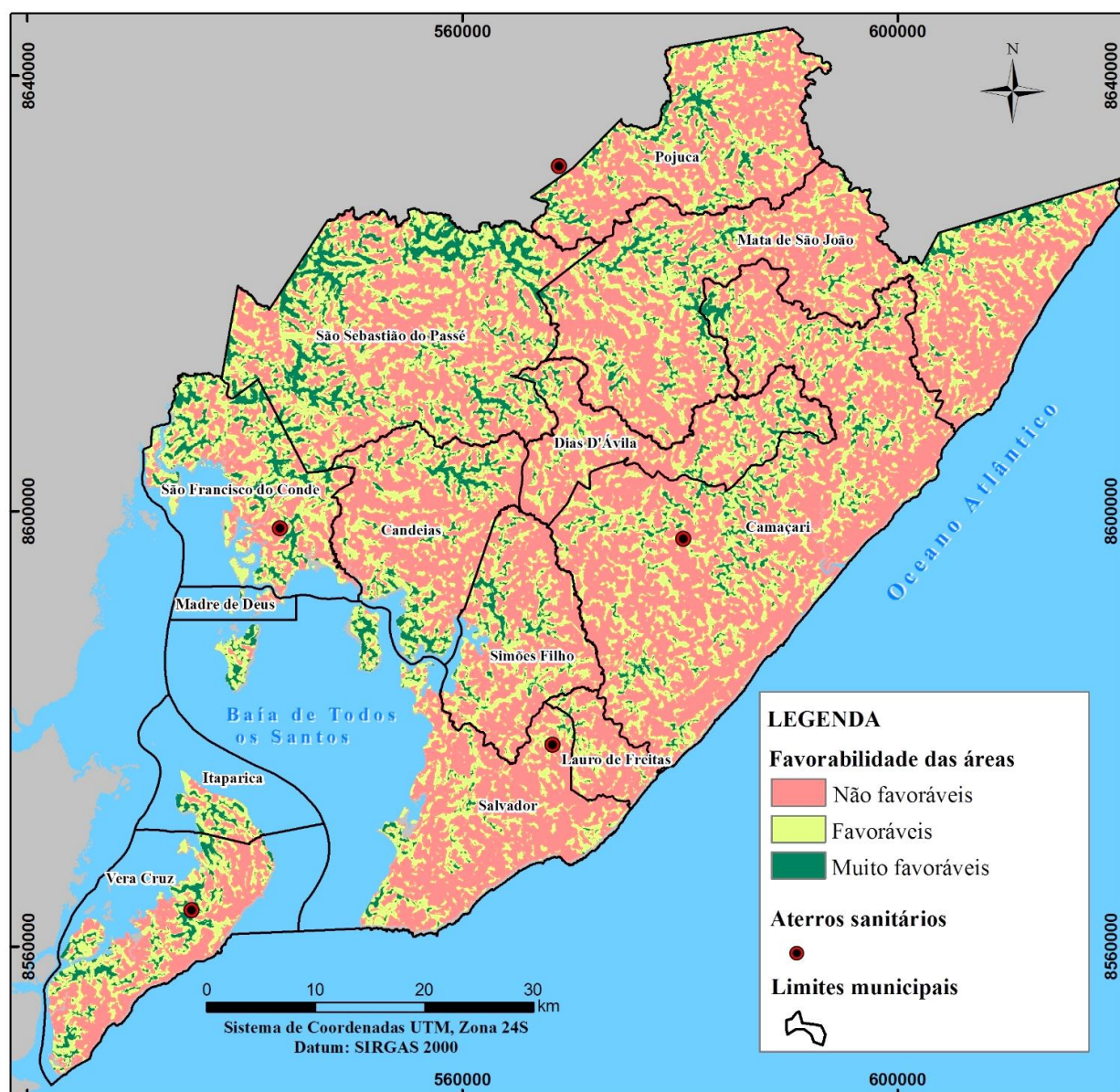


Figura 6: Modelo fuzzy ilustrando a favorabilidade das áreas.

Embora o modelo *fuzzy* tenha se apresentado coerente, há algumas considerações sobre ele, como por exemplo, em regiões sensíveis como as ilhas ou algumas porções litorâneas da área de estudo, o modelo determinou por vezes como sendo áreas muito favoráveis, o que na verdade deveriam ser áreas não favoráveis. Isso ocorreu, pois, os fatores ambientais “rios principais” e “drenagem”, que possuem o maior peso, não estavam bem representados nessas áreas pequenas e, conseqüentemente, não as restringiu.

Sobre o modelo proposto e a localização dos aterros sanitários na área de estudo, discorre-se: os aterros sanitários dos municípios de Salvador e de Camaçari se encontram em áreas classificadas como não favoráveis (diante da aproximação com a drenagem e rodovia principal, respectivamente) a favoráveis. Os aterros sanitários dos municípios de Vera Cruz e São Francisco do Conde se encontram em áreas classificadas como favoráveis a muito favoráveis, e favoráveis, respectivamente.

3.3. Modelo Final

O cruzamento dos modelos booleano e *fuzzy* gerou o modelo final de favorabilidade de áreas para implantação de aterros sanitários (Figura 7). Observa-se que em alguns municípios como Salvador, Lauro de Freitas, Itaparica e Madre de Deus, praticamente não existem áreas disponíveis. Em contrapartida, os municípios de São Sebastião do Passé, Camaçari, Mata de São João e Pojuca dispõem de áreas (favoráveis e muito favoráveis) com valores em hectares iguais a 20.807,9; 14.452,4; 13.111,4; e 8.900,9, respectivamente (Tabela 9).

Tabela 9: Distribuição da favorabilidade das áreas estimadas no modelo final, para cada município.

Distribuição da favorabilidade das áreas em porcentagem (%)						
Municípios	Inaptas/restritas (In)	Não favoráveis (NF)	Favoráveis (F)	Muito favoráveis (MF)	F + MF (%)	F + MF (Ha)
Camaçari	15,82	1,79	3,24	0,83	4,06	4.452,4
Candeias	4,60	0,58	1,12	0,34	1,46	5.173,9
Dias D' Ávila	3,31	0,50	1,08	0,29	1,37	4.868,1
Itaparica	0,64	0,01	0,03	0,03	0,06	197,2
Lauro de Freitas	1,57	0,01	0,01	0,00	0,01	27,5
Madre de Deus	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Mata de São João	12,04	1,88	2,83	0,86	3,69	13.111,4
Pojuca	4,19	1,46	1,94	0,56	2,50	8.900,9
Salvador	8,09	0,00	0,01	0,00	0,01	49,9
São Francisco do Conde	3,42	0,19	0,90	0,57	1,47	5.243,0
São Sebastião do Passé	7,59	1,67	3,73	2,12	5,85	20.807,9
Simões Filho	4,33	0,35	0,56	0,19	0,76	2.685,7
Vera Cruz	3,77	0,13	0,51	0,25	0,76	2.714,2
Total (%)	69,44	8,56	15,95	6,05	22,0	
Total (Ha)	246.884,4	30.439,3	56.728,2	21.504,5		78.232,1

O modelo final teve a finalidade de eliminar as incoerências que os modelos booleano e *fuzzy* apresentaram individualmente. Esses dois modelos tiveram bastante similaridades em termos de reprovação de áreas, como observado na figura 7 e tabela 9. De maneira geral, as áreas classificadas como inaptas pelo modelo booleano (70%), praticamente se sobrepõe com as áreas classificadas pelo modelo *fuzzy* como não favoráveis (59,2%), com exceção de 8,56%, que coincidem com áreas aptas do modelo booleano.

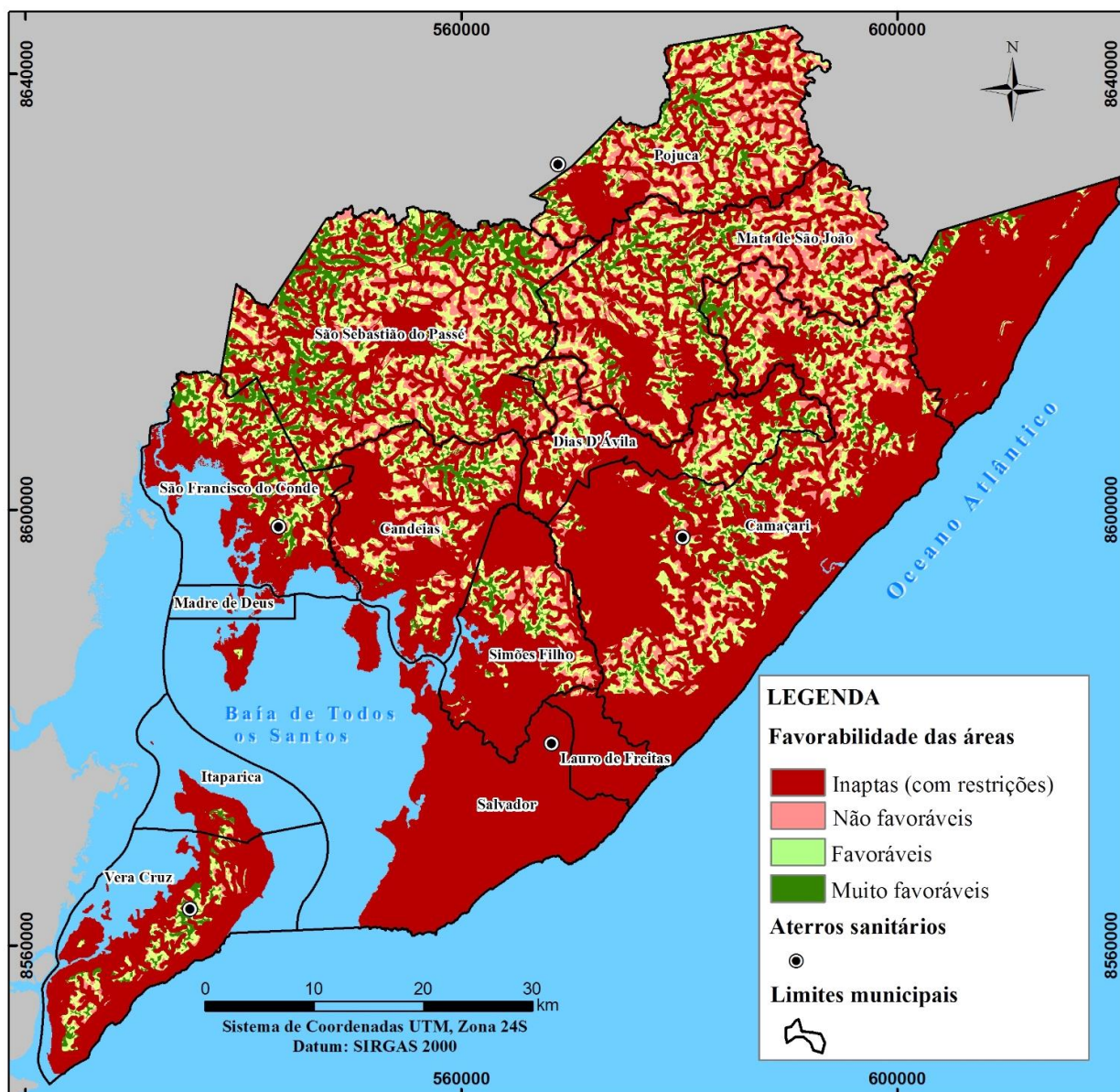


Figura 7: Modelo final ilustrando áreas inaptas (com restrições legais); não favoráveis; favoráveis; e muito favoráveis.

O modelo final revela que apenas 22% da área de estudo tem potencial (seja do ponto de vista logístico e econômico ou ambiental) para implantação de aterros sanitários, totalizando 78.232,1 hectares. Nota-se ainda que: o aterro do município de Salvador está localizado em uma área inapta devido à restrição de proteção aeroviária e a sua aproximação com a drenagem; já o aterro de Camaçari está localizado em uma área apta, porém parcialmente favorável, diante da aproximação com a rodovia principal; enquanto que os aterros de Vera Cruz e São Francisco do Conde estão localizados em áreas aptas e favoráveis (Figura 8).

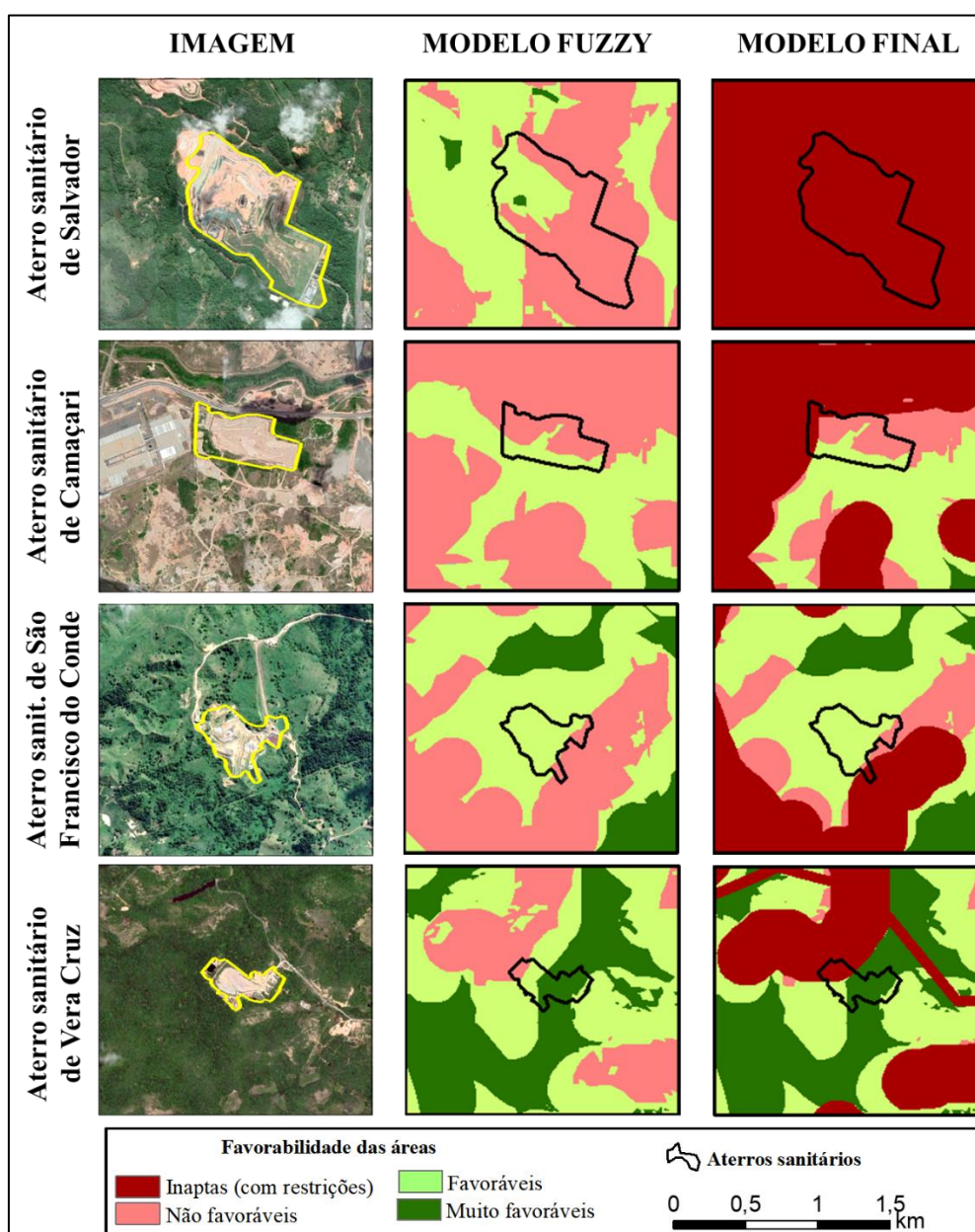


Figura 8: Visão ampliada das áreas dos aterros sanitários no modelo fuzzy e modelo final, ilustrando as áreas inaptas (com restrições legais); não favoráveis; favoráveis; e muito favoráveis.

Vale ressaltar que alguns aterros da RMS foram implantados há mais de 20 anos atrás, concomitante com a criação da NBR 13.896/1997, que determina critérios para projeto, implantação e operação de aterros sanitários. Dessa forma, alguns aterros não seguem os critérios sugeridos nessa norma, a exemplo do aterro de Salvador que apresenta um distanciamento menor que 200 m de corpos hídricos.

4. Conclusões

O estudo de caso para a RMS, Bahia, Brasil revela excelentes resultados na integração de técnicas de SIG, lógicas matemáticas (booleana e fuzzy) e ADMC (AHP) na identificação de áreas para implantação de aterros sanitários. O método AHP ofereceu uma atribuição de pesos consistente e objetiva aos onze fatores não restritivos, bem como aos seus respectivos critérios, tornando-os quantitativos para serem analisados no modelo.

A avaliação do modelo final em relação as áreas onde estão localizados os aterros sanitários da RMS indicam que: o aterro sanitário do município de Salvador está localizado em uma área inapta, porém com possibilidade restrita de expansão de nova célula na sua porção noroeste; o aterro sanitário do município de Camaçari está localizado em uma área parcialmente favorável, havendo possibilidade de expansão de novas células na sua porção sul; os aterros sanitários dos municípios de Vera Cruz e São Francisco do Conde estão localizados em áreas favoráveis e com potenciais para projetos de expansão de novas células, com exceções de suas porções noroeste e sudeste, respectivamente.

O método de seleção de áreas para implantação de aterros sanitários utilizado nesse estudo pode exercer um papel importante na orientação da escolha de locais favoráveis ao gerenciamento e disposição final de resíduos por seguir critérios técnicos, ambientais e socioeconômicos. Entretanto, vale ressaltar que essa não é uma decisão final, cabendo um estudo mais detalhado do meio físico local e de aspectos econômicos na logística de transporte dos resíduos sólidos. Além disso, a decisão final, na maioria das vezes, é influenciada por pressões políticas e sociais, enquanto o presente estudo avalia as evidências a partir de dados científicos.

Embora o método proposto possa ser aplicado em qualquer região geográfica, é necessário entender suas limitações ou modificações, já que os fatores e critérios utilizados são inerentes às áreas estudadas, sendo possível estabelecer regras rígidas para critérios restritivos quando há legislações específicas. No caso de critérios não restritivos,

a análise é subjetiva, incumbindo aos especialistas as decisões. Portanto, para aplicação desse conjunto de técnicas na pesquisa de novas áreas, são necessárias adequações dos fatores e critérios na elaboração de um modelo compatível com a realidade local.

5. Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - código de financiamento 001; do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida durante o mestrado; e do Núcleo de Estudos Hidrogeológicos e do Meio Ambiente (NEHMA) pelo ambiente laboratorial de trabalho e ferramentas.

6. Referências

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo. 2018. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2018/2019.pdf>. Acesso em: 02 de novembro de 2019

ALAVI, N. GOUDARZI G., BABAEI A.A., JAAFARZADEH N., HOSSEINZADEH M. Municipal solid waste landfill site selection with geographic information systems and analytical hierarchy process: A case study in Mahshahr County, Iran. **Waste Management and Research**, v. 31, n. 1, p. 98–105, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.896/97 - Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação. **ABNT**, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8419 - Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. **ABNT**, p. 1–7, 1992.

BAHIA. **Estudo de Regionalização da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos para o Estado da Bahia**. Secretaria de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia - SEDUR, Vol 1. 457p., 2012.

BANA E COSTA, C.A. **Structuration, construction et exploitation d'un modele multicritère d'aide à la décision**. 1992. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas). Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 1992.

BARBOSA, J.S. F.; MASCARENHAS, J. F.; CORREA-GOMES, L. C.; DOMINGUEZ, J. M. L.; SOUZA, J. S. de. **Geologia da Bahia Pesquisa e Atualização**. 1. ed. Salvador: CBPM - Companhia Baiana de Pesquisa Mineral, v. 2. 559p. 2012.

BOUVIER, R. A., HALSTEAD, J.M.; CONWAY, K. S.; MANALO, A.B. THE effect of landfills on rural residential property values: Some empirical evidence. **Journal of Regional Analysis and Policy**, v. 30, n. 2, p. 23–38, 2000.

BRASIL. Decreto de 28 de agosto de 1996. Declara de utilidade pública, para fins de desapropriação, total ou parcial, ou instituição de servidão de passagem, em favor da Petróleo Brasileiro S.A. - PETROBRÁS, terrenos que menciona. **Diário Oficial da União** de 29/08/1996, p. 16619, col. 2, 1996.

BRASIL. DECRETO Nº 4.887, DE 20 DE NOVEMBRO DE 2003. Regulamenta o procedimento para identificação, reconhecimento, delimitação, demarcação e titulação das terras ocupadas por remanescentes das comunidades dos quilombos de que trata o art. 68 do Ato das Disposições Constitucionais Transitórias. **Diário Oficial da União** de 21/11/2003, Seção 1 - 21/11/2003, p. 4, 2003.

BRASIL. INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 49, de 29 de setembro de 2008. Regulamenta o procedimento para identificação, reconhecimento, delimitação, demarcação, desintrusão, titulação e registro das terras ocupadas por remanescentes das comunidades dos quilombos de que tratam o Art. 68 do Ato das Disposições Constitucionais Transitórias da Constituição Federal de 1988 e o Decreto nº 4.887, de 20 de novembro de 2003. **Diário Oficial da União** de 01/10/2008, seção 1, p. 83 a 85, 2008.

BRASIL. Lei 9.985, DE 18 DE JULHO DE 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília: **Diário Oficial da União**.

BRASIL. Lei nº 10.932, DE 03 DE AGOSTO DE 2004. Altera o art. 4o da Lei no 6.766, de 19 de dezembro de 1979, que "dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências". Brasília: **Diário Oficial da União**.

BRASIL. LEI Nº 12.651, DE 25 DE MAIO DE 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166- 67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília: **Diário Oficial da União**.

BRIOZO, R. A.; MUSETTI, M. A. Método multicritério de tomada de decisão: Aplicação ao caso da localização espacial de uma Unidade de Pronto Atendimento-UPA 24 h. **Gestão e Produção**, v. 22, n. 4, p. 805–819, 2015.

CALIJURI, M.L.; MELO, A.L.O.; LORENTZ, J. F. Identificação de Áreas para Implantação de Aterros Sanitários com Uso de Análise Estratégica de Decisão. **Ciência e Natura**, v. 4, n. 2, p. 231–250, 2002.

CALVO, F.; MORENO, B.; RAMOS, A.; ZAMORANO, M. Implementation of a new environmental impact assessment for municipal waste landfills as tool for planning and decision-making process. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 11, n. 1, p. 98–115, 2007.

CAMARGO, D. M.; SOUZA, N. M.; PACHECO, T. C. K. F.; ALCÂNTARA, G. C.; DOTA, E. M. Modelagem geoespacial para identificação de áreas vulneráveis ao contágio por doenças relacionadas a falta de saneamento: o caso da região metropolitana de campinas. **Revista Brasileira de Cartografia**, nº 69, p. 561–573, 2017.

CENTRO DE INVESTIGAÇÃO E PREVENÇÃO DE ACIDENTES AERONÁUTICOS - CENIPA. **Investigação e prevenção de acidentes aeronáuticos**. 46 p, 2017.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO URBANO DO ESTADO DA BAHIA - CONDER. Painel de Informações. **Dados Socioeconômicos da Região Metropolitana de Salvador**. 4ª Ed. Salvador, 2015.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM - CEMPRE. **Lixo municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**, 4. Ed, 316 p. São Paulo, 2018.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – CEPRAM (BRASIL). RESOLUÇÃO nº 4.579, de 06 de março de 2018. **Diário Oficial da União, Brasília**, 07 de março de 2018, p. 1-22.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA (BRASIL). RESOLUÇÃO nº 303, de 20 de março de 2002. **Diário Oficial da União, Brasília**, 13 de maio de 2002, p. 87-89.

DEMESOUKA O.E.; ANAGNOSTOPOULOS K.P.; SISKOS E. Spatial multicriteria decision support for robust land-use suitability: the case of landfill site selection in Northeastern Greece. **European Journal of Operational Research**, v.272, p. 574-586, 2019.

DEMESOUKA, O. E.; VAVATSIKOS, A. P.; ANAGNOSTOPOULOS, K. P. Suitability analysis for siting MSW landfills and its multicriteria spatial decision support system: Method, implementation and case study. **Waste Management**, v. 33, n. 5, p. 1190–1206, 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Manual de procedimentos para a permissão especial de uso das faixas de domínio de rodovias federais e outros bens públicos sob jurisdição do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes**. Brasília, 2008. 91p.

FELICORI, T.C; MARQUES, E.A.G.; SILVA, T. Q.; PORTO, B.B.; BRAVIN, T. C.; SANTOS. K.M.C. **Identificação de áreas adequadas para a construção de aterros**

sanitários e usinas de triagem e compostagem na mesorregião da Zona da Mata, Minas Gerais. Eng Sanit Ambient, v.21, n.3, 2016.

FILHO, C. R. V. S. **Roteiro para Encerramento de Lixões - Os lugares mais poluídos do mundo**, Abrelpe 40 anos, 2016: <http://abrelpe.org.br/roteiro-para-encerramento-de-lixoes/>. Acessado em: 16 de outubro, 2018.

GEMITZI, A.; TSIHRINTZIS, V.A.; VOUDRIAS, E.; PETALAS, C.; STRAVODIMOS, G. **Combining geographic information system, multicriteria evaluation techniques and fuzzy logic in siting MSW landfills**. Environ Geol, n. 51, p. 797–811, 2007.

GOMES, L. P.; MARTINS, F. B. Projeto, Implantação e Operação de Aterros Sustentáveis de Resíduos Sólidos para Municípios de Pequeno Porte. In: **Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável para Município de Pequeno**. 1ª ed. Rio de Janeiro: ABES RiMA, 2003. Capítulo 3, p. 51-105.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S (Org.). **Geomorfologia ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. 190 p.

GUIQIN, W.; LI, Q; GOUXUE, L.; LIJUN, C. Landfill site selection using spatial information technologies and AHP: A case study in Beijing, China. **Journal of Environmental Management**, v. 90, n. 8, p. 2414–2421, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL - IBAM. GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS. **Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro, 204 p. 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Banco de dados**. Estimativa da população 2019.xls. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-detalle-de-midia.html?view=mediaibge&catid=2103&id=3109>. Acesso em: 1 de novembro de 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Banco de dados**. Cartas Topográficas vetoriais do mapeamento sistemático (escalas: 1:50.000 e 1:100.000). Disponível em: <http://ibge.gov.br/home/geociencias/download/arquivos/index1.shtm>. Acesso em: 10 de novembro de 2018.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. Disposição Final do Lixo. In: **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. 4a Ed. São Paulo: CEMPRE, 2018. p. 316

KAHRAMAN, C.; S. CEBI; ONAR, S.C.; OZTAYSI, B. A novel trapezoidal intuitionistic fuzzy information axiom approach: An application to multicriteria landfill site selection. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 67, n. October 2017, p. 157–172, 2018.

KAMDAR, I.; ALI, S.; BENNUI, A.; TECHATO, K.; JUTIDAMRONGPHAN, W. Municipal solid waste landfill siting using an integrated GIS-AHP approach: A case study from Songkhla, Thailand. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 149, n. June, p. 220–235, 2019.

KAZA, SILPA; YAO, LISA C.; BHADA-TATA, PERINAZ; VAN WOERDEN, FRANK. **What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050**. 4ed. World Bank, Washington, 295 p., 2018.

KHARAT, M. G. et al. Modeling landfill site selection using an integrated fuzzy MCDM approach. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 2, n. 2, 2016.

MAGUIRI, A.E.; KISSI, B.; IDRISSE, L.; SOUABI, S. Landfill site selection using GIS, remote sensing and multicriteria decision analysis: case of the city of Mohammedia, Morocco. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, v.2, n.2 , 2016.

MARCHEZETTI, A. L.; KAVISKI, E.; BRAGA, M. C. B. Aplicação do método AHP para a hierarquização das alternativas de tratamento de resíduos sólidos domiciliares. **Ambiente Construído**, v. 11, n. 2, p. 173–187, 2011.

MELO, A. L. O. **Avaliação E Seleção De Áreas Para Implantação De Aterro Sanitário Utilizando Lógica Fuzzy E Análise Multi-Critério: Uma Proposta Metodológica**. Aplicação Ao Município De Cachoeiro De Itapemirim- Es. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, p. 188, 2001.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **Banco de Dados**. Disponível em: [http:// www.snis.gov.br/](http://www.snis.gov.br/). Acesso em: 03 de junho de 2019.

MORAIS, F. DE. Infiltração - uma variável geomorfológica. **Caderno de Geografia**, v. 22, n. 38, p. 73–87, 2012.

MOREIRA, M. A. A.; LORANDI, R.; DE MORAES, M. E. B. Caracterização De Áreas Preferenciais Para A Instalação De Aterros Sanitários No Município De Descalvado (Sp), Na Escala 1:50.000. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 60/02, p. 177–194, 2008.

PIMENTA, L. B., BELTRÃO, N.E.S.; GEMAQUE, A.M.S.; TAVARES, P.A. Processo Analítico Hierárquico (AHP) em ambiente SIG : temáticas e aplicações voltadas à tomada de decisão utilizando critérios espaciais. **Interações**, v. 20, p. 407–420, 2019.

RAPER, J. F.; MAGUIRE, D. J. Design models and functionality in GIS. **Computers and Geosciences**, v. 18, n. 4, p. 387–394, 1992.

RIBEIRO, L. DE S.; PASSOS, A. C.; TEIXEIRA, M. G. Selection of communication technologies in the Brazilian Army using AHP, TODIM and Sapiens software. **Production**, v. 22, n. 1, p. 132–141, 2012.

ROHDE, G. M. **Método de seleção de áreas para aterros sanitários**. 1 ed. Porto Alegre: CIENTEC, 1989.

ROSLEE, R.; TONGKUL, F.; SIMON, N.; NORHISHAM, M. N. Flood Potential Analysis (FPAN) using Geo-Spatial Data in Penampang area, Sabah. **Malaysian Journal of Geosciences**, v. 1, n. 1, p. 1–6, 2017.

SAATY, R. W. The analytic hierarchy process-what it is and how it is used. **Mathematical Modelling**, v. 9, n. 3–5, p. 161–176, 1987.

SAATY, T. L. **Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process**. Pittsburgh: RWS publications, 2006. 478 p.

SAATY, T. L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, v. 48, n. 1, p. 9–26, 1990.

SANTOS, H. G. DOS; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. DOS; OLIVEIRA, V. A. DE; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. DE; ARAUJO FILHO, J. C. DE; OLIVEIRA, J. B. DE; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl.: EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 555p. 2018. Brasília, DF.

SILVA, O.B.; CAIXETA, J.M.; MILHOMEM, P.S., KOSIN, M.D. Bacia do Recôncavo. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 15, n. 2, p. 423–431, 2007.

SPIGOLON, L; M.G.; GIANNOTTI, M.; LAROCCA, A. P.; RUSSO. M.A.T; SOUZA, N.C. **Landfill siting based on optimization, multiple decision analysis, and geographic information system analyses**. *Waste Management & Research*, v.2, n.2 , 2018.

SUPERINTENDÊNCIA DE RECURSOS HÍDRICOS-SRH. **SIG Bahia**. CDROM,2003.

UYAN, M. MSW landfill site selection by combining AHP with GIS for Konya, Turkey. **Environmental Earth Sciences**, v. 71, n. 4, p. 1629–1639, 2014.

CAPÍTULO 3

CONCLUSÕES

A relevância desse estudo para a literatura mundial, está na forma de integração das lógicas matemáticas (booleana e fuzzy), com o Sistemas de Informações Geográficas e o método de Análise de Decisão Multicritério (AHP) empregados em uma região com uma grande heterogeneidade geológica, hidrogeológica e de clima tropical, o que faz do estudo um modelo de análise para outros pesquisadores.

Embora o método proposto possa ser aplicado em qualquer região geográfica, a abordagem dos fatores nos diversos estudos dessa natureza é bem diversificada e dinâmica, não havendo um modelo pronto que se aplique a qualquer realidade, mas sim, uma aproximação à complexidade de ambientes específicos. Todavia, o modelo proposto nesse estudo se mostrou bem amplo devido à grande variedade de fatores restritivos e não restritivos utilizados, e por este motivo pode servir de base para estudos semelhantes.

O produto final dessa pesquisa foi utilizado para a avaliação dos aterros sanitários já existentes na área e para um planejamento de viabilidade de expansão de novas células de resíduos. Além disso, as visitas de campo feitas em alguns desses aterros mostram uma assertividade na resposta obtida pelo modelo final, oferecendo uma credibilidade maior ao estudo.

Apesar da resposta fornecida pelo modelo final ser bastante concisa com a realidade, é necessário entender suas limitações ou modificações, já que os fatores utilizados são resultados de dados geoespaciais com escalas e resoluções espaciais diversas. Entretanto, vale ressaltar que essa não é uma decisão final, cabendo um estudo mais detalhado do meio físico local e de aspectos econômicos na logística de transporte dos resíduos sólidos.

Alguns fatores utilizados nesse estudo foram decorrentes de uma compilação de técnicas de geoprocessamento, que tiveram o intuito aproximar o máximo possível esses fatores da realidade, tendo em vista a falta ou dificuldade de aquisição de alguns dados geoespaciais importantes para essa modelagem, tornando essas, as maiores dificuldades encontradas no desenvolvimento dessa pesquisa. Mesmo assim, essas técnicas não substituem dados geoespaciais elaborados em escala de detalhe, ficando como sugestão para estudos futuros, a necessidade de aprimorar as escalas dos dados já existentes, e a

elaboração de outros que ainda não existem, a exemplo de informações sobre a superfície freática dos aquíferos, que são fundamentais para esse tipo de estudo.

Considerando que nesse estudo utilizou-se dados geoespaciais com escalas que variaram entre 1:10.000 e 1:1.000.000, mas que, 80% desses dados são compatíveis com escalas inferiores a 1:100.000, pode-se sugerir que o modelo final tenha uma compatibilidade de escala equivalente a 1:100.000.

Como objetivos futuros, almeja-se desenvolver outros periódicos a partir dos resultados obtidos nessa pesquisa, afim de proporcionar uma exequibilidade no desenvolvimento da Gestão e do Gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos da região de estudo em apreço, bem como servir de modelo para aplicabilidade em outras regiões.

APÊNDICE A – JUSTIFICATIVA DA PARTICIPAÇÃO DOS CO-AUTORES

Luiz Rogério Bastos Leal (Orientador) – Participação das discussões e planejamento estratégico de campo.

Ib Silva Câmara – Participação nas discussões do trabalho, metodologia e revisões do artigo.

Rebeca Santos de Almeida Nascimento – Contribuição nas discussões, revisões e tradução do artigo.

ANEXO A – REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA

WASTE MANAGEMENT

International Journal of Integrated Waste Management,
Science and Technology



GUIDE FOR AUTHORS

Submission Checklist

Waste Management considers the following types of papers for publication:

Full Length Articles (maximum of 6500 words) - a traditional full-length manuscript that describes original research or a well-documented case study. More detail on the word count is given below. **Review Articles** - A synthesis and critical analysis of a research area. Reviews that focus on bibliometric information are not of interest to **Waste Management**. Authors wishing to submit a Review Article must first send a letter to the Editorial Office describing the topic of the review, the proposed contents of the review, and the author's expertise in the area of the review. The Editors-in-Chief will decide on whether a review will be considered. **Short Communications (less than 3,500 words)** - A presentation of original research or a case study that is significant but more limited in scope than a full-length article. **Discussions (less than 3,500 words)** - An editorial or a comment on a published manuscript. Editorials are only considered with prior approval of the Editors-in-Chief. The word count does not include the abstract, references, nomenclature, acknowledgements, and appendices. Full length articles are limited to a combined total of 8 tables and figures. If the length of the manuscript, by either the word count or the number of tables and figures, exceeds the limit, then the authors must justify this in their cover letter.

Manuscripts that do not adhere to the length limits will be returned for revision prior to review. Additional material may be included in the E-component and will be published in electronic form only. You can use this list to carry out a final check of your submission before you send it to the journal for review. Please check the relevant section in this Guide for Authors for more details.

Authors wishing to submit a Review Article must first send a letter to the Editorial Office describing the topic of the review, the proposed contents of the review, and the senior author's resume. The Editors-in-Chief will make a decision on whether a review will be considered.

Ensure that the following items are present:

One author has been designated as the corresponding author with contact details:

- E-mail address
- Full postal address

All necessary files have been uploaded:

Manuscript:

- Include keywords
- All figures (include relevant captions, legends, description)
- All tables (including titles, description, footnotes) Ensure all figure and table citations in the text match the files provided
- Indicate clearly if color should be used for any figures in print

Graphical Abstracts / Highlights files (where applicable)

Supplemental files (where applicable)

Further considerations

- Manuscript has been 'spell checked' and 'grammar checked'
- All references mentioned in the Reference List are cited in the text, and vice versa
- Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Internet)
- A competing interest's statement is provided, even if the authors have no competing interests to declare
- Journal policies detailed in this guide have been reviewed
- For further information, visit our [Support Center](#).

BEFORE YOU BEGIN

Ethics in publishing

Please see our information pages on [Ethics in publishing](#) and [Ethical guidelines for journal publication](#).

Declaration of interest

All authors must disclose any financial and personal relationships with other people or organizations that could inappropriately influence (bias) their work. Examples of potential competing interests include employment, consultancies, stock ownership, honoraria, paid expert testimony, patent applications/registrations, and grants or other funding. Authors must disclose any interests in two places: 1. A summary declaration of interest statement in the title page file (if double-blind) or the manuscript file (if single-blind). If there are no interests to declare then please state this: 'Declarations of interest: none'. This summary statement will be ultimately published if the article is accepted. 2. Detailed Disclosures as part of a separate Declaration of Interest form, which forms part of the journal's official records. It is important for potential interests to be declared in both places and that the information matches. [More information](#).

Submission declaration and verification

Submission of an article implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract, a published lecture or academic thesis, see '[Multiple, redundant or concurrent publication](#)' for more information), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. To verify originality, your article may be checked by the originality detection service [Crossref Similarity Check](#).

Preprints

Please note that [preprints](#) can be shared anywhere at any time, in line with Elsevier's [sharing policy](#). Sharing your preprints e.g. on a preprint server will not count as prior publication (see '[Multiple, redundant or concurrent publication](#)' for more information).

Use of inclusive language

Inclusive language acknowledges diversity, conveys respect to all people, is sensitive to differences, and promotes equal opportunities. Articles should make no assumptions about the beliefs or commitments of any reader, should contain nothing which might imply that one individual is superior to another on the grounds of race, sex, culture or any other characteristic, and should use inclusive language throughout. Authors should ensure that writing is free from bias, for instance by using 'he or she', 'his/her' instead of 'he' or 'his', and by making use of job titles that are free of stereotyping (e.g. 'chairperson' instead of 'chairman' and 'flight attendant' instead of 'stewardess').

Changes to authorship

Authors are expected to consider carefully the list and order of authors **before** submitting their manuscript and provide the definitive list of authors at the time of the original submission. Any addition, deletion or rearrangement of author names in the authorship list should be made only **before** the manuscript has been accepted and only if approved by the journal Editor. To request such a change, the Editor must receive the following from the **corresponding author**: (a) the reason for the change in author list and (b) written confirmation (e-mail, letter) from all authors that they agree with the addition, removal or rearrangement. In the case of addition or removal of authors, this includes confirmation from the author being added or removed.

Only in exceptional circumstances will the Editor consider the addition, deletion or rearrangement of authors **after** the manuscript has been accepted. While the Editor considers the request, publication of the manuscript will be suspended. If the manuscript has already been published in an online issue, any requests approved by the Editor will result in a corrigendum.

Copyright

Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete a 'Journal Publishing Agreement' (see [more information](#) on this). An e-mail will be sent to the corresponding author confirming receipt of the manuscript together with a 'Journal Publishing Agreement' form or a link to the online version of this agreement.

Subscribers may reproduce tables of contents or prepare lists of articles including abstracts for internal circulation within their institutions. [Permission](#) of the Publisher is required for resale or distribution outside the institution and for all other derivative works, including compilations and translations. If excerpts from other copyrighted works are included, the author(s) must obtain written permission from the copyright owners and credit the source(s) in the article. Elsevier has [preprinted forms](#) for use by authors in these cases.

For gold open access articles: Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete an 'Exclusive License Agreement' ([more information](#)). Permitted third party reuse of gold open access articles is determined by the author's choice of [user license](#).

Author rights

As an author you (or your employer or institution) have certain rights to reuse your work. [More information](#).

Elsevier supports responsible sharing

Find out how you can [share your research](#) published in Elsevier journals.

Role of the funding source

You are requested to identify who provided financial support for the conduct of the research and/or preparation of the article and to briefly describe the role of the sponsor(s), if any, in study design; in the collection, analysis and interpretation of data; in the writing of the report; and in the decision to submit the article for publication. If the funding source(s) had no such involvement then this should be stated.

Funding body agreements and policies

Elsevier has established a number of agreements with funding bodies which allow authors to comply with their funder's open access policies. Some funding bodies will reimburse the author for the gold open access publication fee. Details of [existing agreements](#) are available online.

Open access

This journal offers authors a choice in publishing their research:

Subscription

- Articles are made available to subscribers as well as developing countries and patient groups through our [universal access programs](#).
- No open access publication fee payable by authors.
- The Author is entitled to post the [accepted manuscript](#) in their institution's repository and make this public after an embargo period (known as green Open Access). The [published journal article](#) cannot be shared publicly, for example on ResearchGate or Academia.edu, to ensure the sustainability of peer-reviewed research in journal publications. The embargo period for this journal can be found below.

Gold open access

- Articles are freely available to both subscribers and the wider public with permitted reuse.
- A gold open access publication fee is payable by authors or on their behalf, e.g. by their research funder or institution.

Regardless of how you choose to publish your article, the journal will apply the same peer review criteria and acceptance standards.

For gold open access articles, permitted third party (re)use is defined by the following [Creative Commons user licenses](#):

Creative Commons Attribution (CC BY)

Allows others to distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), include in a collective work (such as an anthology), text or data mine the article, even for commercial purposes, as long as they credit the author(s), do not represent the author as endorsing their adaptation of the article, and do not modify the article in such a way as to damage the author's honor or reputation.

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs (CC BY-NC-ND)

For non-commercial purposes, lets others distribute and copy the article, and to include in a collective work (such as an anthology), as long as they credit the author(s) and provided they do not alter or modify the article.

The open access publication fee for this journal is USD 3300, excluding taxes. Learn more about Elsevier's pricing;

The gold open access publication fee for this journal is **USD 3300**, excluding taxes. Learn more about Elsevier's pricing policy: <https://www.elsevier.com/openaccesspricing>.

Green open access

Authors can share their research in a variety of different ways and Elsevier has a number of green open access options available. We recommend authors see our [open access page](#) for further information. Authors can also self-archive their manuscripts immediately and enable public access from their institution's repository after an embargo period. This is the version that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and in editor-author communications. Embargo period: For subscription articles, an appropriate amount of time is needed for journals to deliver value to subscribing customers before an article becomes freely available to the public. This is the embargo period and it begins from the date the article is formally published online in its final and fully citable form. [Find out more.](#)

This journal has an embargo period of 24 months.

Language (usage and editing services)

Please write your text in good English (American or British usage is accepted, but not a mixture of these). Authors who feel their English language manuscript may require editing to eliminate possible grammatical or spelling errors and to conform to correct scientific English may wish to use the [English Language Editing service](#) available from Elsevier's WebShop.

Submission

Our online submission system guides you stepwise through the process of entering your article details and uploading your files. The system converts your article files to a single PDF file used in the peer-review process. Editable files (e.g., Word, LaTeX) are required to typeset your article for final publication. All correspondence, including notification of the Editor's decision and requests for revision, is sent by e-mail.

Submit your article

Please submit your article via <http://ees.elsevier.com/wm>

Referees and Expectations

Authors are required to suggest at least three potential reviewers for each submission. Please include a brief note as to why each reviewer is appropriate. We expect reviewers to have a record of scholarly publication or other demonstrated expertise in the topic of the manuscript. Reviewers from the same university should not be suggested. It is important that the Authors report the correct institution and email address of the proposed reviewers. Authors may also request that certain reviewers not be used.

Authors that submit manuscripts to Waste Management are also expected to provide reviews to Waste Management when asked. This is considered as a professional responsibility.

PREPARATION

Peer review

Waste Management operates a single blind review process. All contributions will be initially assessed by the Editors-in-Chief for suitability for the journal. Papers deemed suitable are then typically sent to a minimum of two and more typically three independent expert reviewers to assess the scientific quality of the paper. The Editor is responsible for the final decision regarding acceptance or rejection of articles. The Editor's decision is final.

Once a manuscript is rejected, it may not be revised and resubmitted unless invited to do so by the Editor. In such a case, the decision will be Reject, resubmission encouraged. In this case, the author's resubmission must reference the original manuscript number and include a point by point response to the reviewer's comments. A tracked changes version should not be resubmitted in this case.

Appeal Procedure

If the authors of a manuscript wish to appeal a decision, then they must send a letter to the journal editorial office within 30 days of receiving the decision. The letter must provide a careful explanation of why the authors think that a manuscript decision is not correct. The Editor in Chief's decision is final.

Use of wordprocessing software

It is important that the file be saved in the native format of the wordprocessor used. The text should be in single-column format. Manuscripts must be typewritten with a font size of 12 or 10 pt, double-spaced with wide margins, and numbered consecutively. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. In

particular, do not use the wordprocessor's options to justify text or to hyphenate words. However, do use bold face, italics, subscripts, superscripts etc. Do not embed "graphically designed" equations or tables, but prepare these using the wordprocessor's facility. When preparing tables, if you are using a table grid, use only one grid for each individual table and not a grid for each row. If no grid is used, use tabs, not spaces, to align columns. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the Guide to Publishing with Elsevier: <https://www.elsevier.com/guidepublication>). Do not import the figures into the text file but, instead, indicate their approximate locations directly in the electronic text and on the manuscript. See also the section on Electronic illustrations.

To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the "spell-check" and "grammar-check" functions of your wordprocessor.

Please use page and line numbers in your manuscript. When submitting a revision, please upload a track changes manuscript (together with a clean version).

Cover letter

Submission of a manuscript must be accompanied by a cover letter that addresses two areas. First, the letter should describe the importance of the manuscript and its relevance to some aspect of solid waste management. Second, the letter should summarize the manuscript objectives and the findings that constitute a significant contribution to the literature. In addition, the cover letter must provide a word count using the instructions given above. Manuscripts that do not comply with the cover letter requirements and manuscript requirements will be returned for corrections before being sent for review. Each manuscript will be cross-checked to detect similarity (more details at <https://www.elsevier.com/editors/perk/plagiarism-complaints/plagiarism-detection>) before being sent for review.

Subdivision - numbered heads

Manuscripts should be divided into clearly defined and numbered sections. Subsections should be numbered 1.1 (then 1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. (the abstract is not included in section numbering). Use this numbering for internal cross-referencing, i.e., do not just refer to 'the text'. Every subsection should be given a brief but descriptive heading. Each heading should appear on a separate line.

Manuscripts must include page and line numbers. The line numbers should be continuous and should not restart on each page. When submitting a revised manuscript, upload both a clean version and a track changes version of the manuscript.

Introduction

Provide background on the overall problem that is addressed in the manuscript and its significance. The significance should be described without exaggeration. Many Introductions overstate the acute hazards of solid waste treatment and disposal. Next, present a brief review of critical literature that identifies knowledge gaps that are being filled by the manuscript. The background and literature review should support the manuscript objectives which should be described at the end of the Introduction. If a lengthy literature review is required, then it should come in a separate section after the Introduction.

Material and methods

Provide sufficient details to allow the work to be reproduced by an independent researcher. Methods that are already published should be summarized, and indicated by a reference. If quoting directly from a previously published method, use quotation marks and also cite the source. Any modifications to existing methods should also be described.

RESULTS AND DISCUSSION

The Results section or a combined Results and Discussion should present a clear and concise interpretation of the research. The text, Figures and Tables should be well-integrated such that the text does not repeat information in the Tables and Figures, but rather interprets the Tables and Figures.

CONCLUSIONS

The main conclusions of the study may be presented in a short Conclusions section, which may stand alone or form a subsection of a Discussion or Results and Discussion section. The Conclusions are not a summary of results but rather a statement of the key findings of the research.

Use of Bullets

All material should be presented in text form. The use of bulleted text is not permitted.

Abstract

The abstract should state the purpose of the research, and the major results and conclusions. Wherever possible, the abstract should include quantitative information. An abstract is often presented separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason, References should be avoided, but if essential, then cite the author(s) and year(s). Also, non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself. Abstracts are limited to 250 words.

Graphical abstract

Although a graphical abstract is optional, its use is encouraged as it draws more attention to the online article. The graphical abstract should summarize the contents of the article in a concise, pictorial form designed to capture the attention of a wide readership. Graphical abstracts should be submitted as a separate file in the online submission system. Image size: Please provide an image with a minimum of 531 × 1328 pixels (h × w) or proportionally more. The image should be readable at a size of 5 × 13 cm using a regular screen resolution of 96 dpi. Preferred file types: TIFF, EPS, PDF or MS Office files. You can view [Example Graphical Abstracts](#) on our information site.

Authors can make use of Elsevier's [Illustration Services](#) to ensure the best presentation of their images and in accordance with all technical requirements.

Highlights

Highlights consist of a short collection of bullet points that convey the core findings of the article. Please include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point). You can view example Highlights on our information site.

Acknowledgements

Collate acknowledgements in a separate section at the end of the manuscript before the references. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, analytical work).

Formatting of funding sources

List funding sources in this standard way to facilitate compliance to funder's requirements:

Funding: This work was supported by the National Institutes of Health [grant numbers xxxx, yyyy]; the Bill & Melinda Gates Foundation, Seattle, WA [grant number zzzz]; and the United States Institutes of Peace [grant number aaaa].

It is not necessary to include detailed descriptions on the program or type of grants and awards. When funding is from a block grant or other resources available to a university, college, or other research institution, submit the name of the institute or organization that provided the funding.

If no funding has been provided for the research, please include the following sentence:

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Nomenclature and units

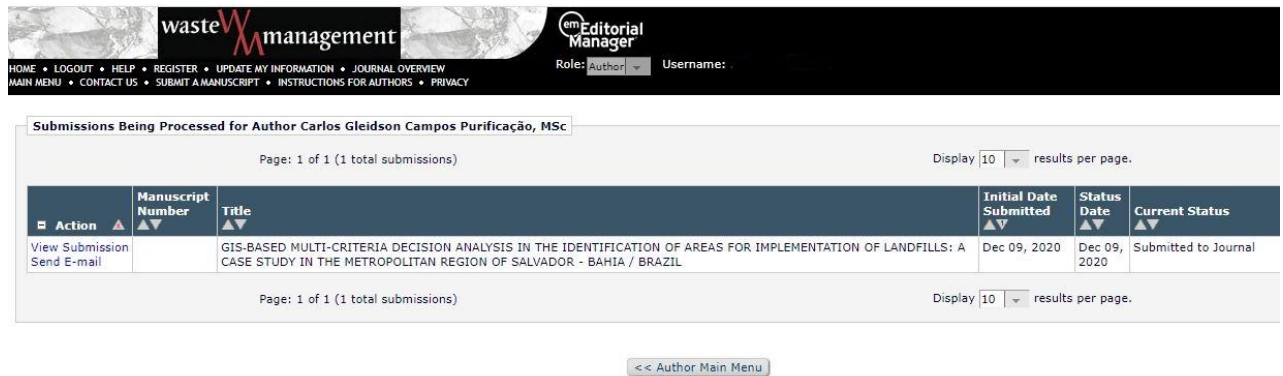
Follow internationally accepted rules and conventions: use the international system of units (SI). If other quantities are mentioned, give their equivalent in SI. You are urged to consult IUPAC: Nomenclature of Organic Chemistry: <http://www.iupac.org/> for further information.

Authors are to use SI (metric) units and international quantities and abbreviations. Equivalent values in other systems may be used provided their metric equivalents are included in every case.

Math formulae

Please submit math equations as editable text and not as images. Present simple formulae in line with normal text where possible and use the solidus (/) instead of a horizontal line for small fractional terms, e.g., X/Y. In principle, variables are to be presented in italics. Powers of e are often more conveniently denoted by exp. Number consecutively any equations that have to be displayed separately from the text (if referred to explicitly in the text).

ANEXO B – COMPROVANTE DE SUBMISSÃO DO ARTIGO



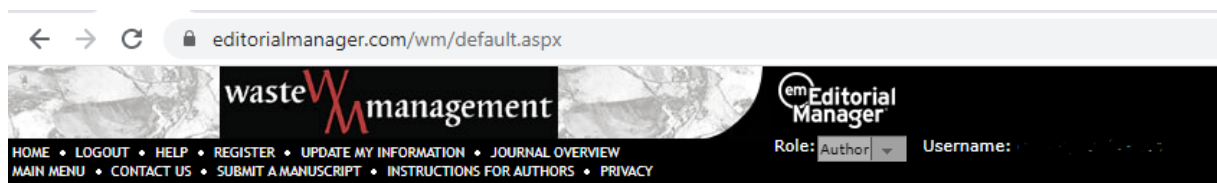
Submissions Being Processed for Author Carlos Gleidson Campos Purificação, MSc

Page: 1 of 1 (1 total submissions) Display 10 results per page.

Action	Manuscript Number	Title	Initial Date Submitted	Status Date	Current Status
View Submission Send E-mail		GIS-BASED MULTI-CRITERIA DECISION ANALYSIS IN THE IDENTIFICATION OF AREAS FOR IMPLEMENTATION OF LANDFILLS: A CASE STUDY IN THE METROPOLITAN REGION OF SALVADOR - BAHIA / BRAZIL	Dec 09, 2020	Dec 09, 2020	Submitted to Journal

Page: 1 of 1 (1 total submissions) Display 10 results per page.

<< Author Main Menu



editorialmanager.com/wm/default.aspx

HOME • LOGOUT • HELP • REGISTER • UPDATE MY INFORMATION • JOURNAL OVERVIEW
MAIN MENU • CONTACT US • SUBMIT A MANUSCRIPT • INSTRUCTIONS FOR AUTHORS • PRIVACY

Role: Author Username:

Author's Decision

Thank you for approving the changes to "GIS-BASED MULTI-CRITERIA DECISION ANALYSIS IN THE IDENTIFICATION OF AREAS FOR IMPLEMENTATION OF LANDFILLS: A CASE STUDY IN THE METROPOLITAN REGION OF SALVADOR - BAHIA / BRAZIL" by the Editorial Office.

[Main Menu](#)

Waste Management

GIS-BASED MULTI-CRITERIA DECISION ANALYSIS IN THE IDENTIFICATION OF AREAS FOR IMPLEMENTATION OF LANDFILLS: A CASE STUDY IN THE METROPOLITAN REGION OF SALVADOR - BAHIA / BRAZIL

--Manuscript Draft--

Manuscript Number:	
Article Type:	Full Length Article
Section/Category:	Landfilling
Keywords:	Decision-making; Analytic Hierarchy Process; Waste management; Boolean logic; fuzzy logic
Corresponding Author:	Carlos Gleidson Campos da Purificação, MSc Federal University of Bahia: Universidade Federal da Bahia Salvador, Bahia BRAZIL
First Author:	Carlos Gleidson Campos da Purificação, MSc
Order of Authors:	Carlos Gleidson Campos da Purificação, MSc Ib Silva Câmara, Graduate Luiz Rogério Bastos Leal, PhD Rebeca Santos de Almeida Nascimento, Graduate