

**APLICAÇÃO DE SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS
PARA SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS LOCACIONAIS VISANDO A
IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO NA ILHA DO MARAJÓ-
PARÁ, BRASIL**

**APPLICATION OF A GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM FOR
THE SELECTION OF ALTERNATIVE SITES FOR THE
IMPLEMENTATION OF A SANITARY LANDFILL IN MARAJÓ
ISLAND, PARÁ STATE, BRAZIL**

Larissa Delfino Santana Rocha

Mestranda em Engenharia Civil
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal do Pará
eng.larissadsrocha@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7450-4373>

Fernando Felipe Soares Almeida

Doutorando em Engenharia Civil
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal do Pará
fernando.soares.almeida@itec.ufpa.br
<http://orcid.org/0000-0003-0064-2110>

Francisco Carlos Lira Pessoa

Doutor em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia
Professor da Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental e
do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal do Pará
fcpessoa@ufpa.br
<https://orcid.org/0000-0002-6496-9043>

Ivan Roberto Santos Araújo

Doutorando em Engenharia Civil
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal do Pará
ivangeinfra.semas@gmail.com

RESUMO

Diversas particularidades integrantes do meio ambiente interferem nas atividades humanas. Os resíduos sólidos são exemplos disso, uma vez que atuam como um dos grandes contribuintes para a degradação ambiental. Os municípios de Salvaterra e Soure, localizados na Ilha do Marajó – estado do Pará, dispõem de uma exuberante riqueza natural, em contrapartida, o manejo dos resíduos sólidos é insatisfatório, particularmente na destinação final, em razão de não dispor de qualquer técnica de recuperação/disposição dos resíduos gerados. À vista disso, este estudo teve como objetivo identificar áreas ambientalmente preparadas para recepção dos impactos de um aterro sanitário nos

municípios de Salvaterra e Soure, com o auxílio de ferramentas SIG. A metodologia foi desenvolvida estabelecendo critérios a partir de aspectos ambientais (pedologia, vegetação, declividade e outros). Áreas com características ambientais fortemente sensíveis aos impactos que possam ocorrer com a instalação e operação do empreendimento proposto foram excluídas, permitindo aplicar a ponderação por meio de geoprocessamento nas áreas consideradas menos sensíveis. O método de exclusão permitiu reduzir a área de estudo em 99,3%, resultando em 6 poligonais de diferentes extensões, todos localizados em Salvaterra. Consequentemente uma única área foi escolhida como a alternativa locacional mais adequada para a implantação do aterro sanitário.

PALAVRAS-CHAVE: Aspectos Ambientais; Resíduos Sólidos; SIG.

ABSTRACT:

Several particularities that are part of the environment interfere with human activities. Solid waste is an example of this, since it acts as a major contributor to environmental degradation. The municipalities of Salvaterra and Soure, located on Ilha do Marajó - state of Pará, have an exuberant natural wealth, on the other hand, the management of solid waste is unsatisfactory, particularly in the final destination, due to the lack of any recovery technique /disposal of generated waste. In view of this, this study aimed to identify areas that are environmentally prepared to receive the impacts of a landfill in the municipalities of Salvaterra and Soure, with the aid of GIS tools. The methodology was developed by establishing criteria based on environmental aspects (pedology, vegetation, slope and others). Areas with environmental characteristics strongly sensitive to the impacts that may occur with the installation and operation of the proposed project were excluded, allowing the application of weighting through geoprocessing in areas considered less sensitive. The exclusion method reduced the study area by 99.3%, resulting in 6 traverses of different lengths, all located in Salvaterra. Consequently, a single area was chosen as the most suitable alternative location for the implementation of the sanitary landfill.

KEYWORDS: Environmental Aspect; Solid waste; GIS.

INTRODUÇÃO

Diante dos impactos ambientais gerados a partir das alterações antrópicas sobre o meio ambiente, percebeu-se a necessidade de estudar as relações existentes entre eles. Em função disso, os resíduos sólidos podem ser apontados como um dos grandes contribuidores para a degradação ambiental, a julgar pela sua crescente geração per capita, que está diretamente atrelada a fatores econômicos como o aumento do poder de consumo e a fatores sociais como a migração e a mudança de hábitos (CAMPOS, 2012).

A relação entre base cultural da população e a geração de resíduos é significativamente mais expressiva do que o poder aquisitivo, Godeck, Naime e Figueiredo (2012) citam como exemplo a comparação entre o Japão e os Estados Unidos da América, onde a população de ambos apresentam elevado poder aquisitivo, porém a população

japonesa gera uma quantidade expressivamente menor de resíduos quando comparada a população estadunidense.

Segundo informações do Banco Mundial (2018), a população mundial gerou cerca de 2,01 bilhões de toneladas de resíduos sólidos no ano de 2016 e a estimativa é que em 2050 se alcance a faixa de 3,40 bilhões de toneladas de geração anual de resíduos, fato de maior ocorrência nos países de baixa renda. Nesse cenário o Brasil se apresenta como um país ainda em desenvolvimento, porém já aponta valores de geração anual de resíduos próximos aos de países desenvolvidos (GODECK; NAIME; FIGUEIREDO, 2012)

De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2022), os resíduos sólidos se apresentam ainda como um problema crescente no país, principalmente quanto à disposição final. No entanto, a produção nacional per capita de resíduos reduziu 1,88% de 2021 para 2022, totalizando 1,043 kg/hab./dia, o equivalente a produção de 224.141 toneladas diárias de resíduos sólidos, ao mesmo tempo em que houve um decréscimo na quantidade de municípios que adotaram a disposição final irregular.

Na região Norte, os dados têm apresentado um cenário ainda preocupante apesar da redução no percentual de disposição final irregular dos resíduos sólidos, de 0,7% de 2021 para 2022 em lixões e aterros controlados, totalizando, em 2022, a disposição de mais de três milhões de toneladas de resíduos, em que, de acordo com o primeiro prazo estipulado pela Política Nacional dos Resíduos Sólidos - PNRS (PNRS, 2010) deveriam ser extintos até o ano de 2014. Com isso, tem-se que quase uma década depois, a região Norte ainda não alcançou nem metade da meta estipulada.

Os problemas ambientais relacionados aos resíduos sólidos estão, muitas vezes correlatos a má gestão, o que acarreta o amontoamento de grande quantidade de resíduos contendo diversas composições químicas (orgânicas e inorgânicas) que com o passar do tempo promovem a formação de compostos tóxicos, como é o caso do chorume e do gás metano. Deste modo, as inúmeras formas de disposição inadequada de resíduos sólidos, resultam em três consequências principais; transmissão de doenças, descrédito imobiliário e danos ambientais (CONDE; STACHIW; FERREIRA, 2014).

Jacobi e Besen (2011) enumeram como alguns dos principais impactos relacionados as destinações inapropriadas de resíduos: a degradação do solo, comprometimento dos

corpos d'água e mananciais, intensificação de enchentes, contribuição para a poluição do ar, além de demais fatores sociais.

Como forma de impedir os impactos mencionados acima e estabelecer diretrizes para a gestão de resíduos sólidos, a PNRS, determina os aterros sanitários como disposição final ambientalmente adequada para os rejeitos, entretanto ainda é expressiva a quantidade de resíduos passíveis de tratamento/reciclagem que é destinada a aterros sanitários.

Um aterro sanitário, de acordo com Gimenez Boscov (2008) conceitua-se como um sistema de proteção que por meio de um conjunto de ações de operação e monitoramento, bem como por intermédio da escolha do local em que está inserido, tende a evitar o máximo possível de alterações aos recursos ambientais.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da NBR (NBR, 1992), apresenta as orientações necessárias para a implementação de aterros sanitários, onde os mesmos devem apresentar sistemas de impermeabilização de base e laterais, coleta, drenagem e tratamento de percolado, transporte e tratamento de gases, drenagem superficial e cobertura diária e final, desta maneira a determinação da localização de implantação de um aterro sanitário deve ser feita de maneira rigorosa para que a área escolhida tenha capacidade de conter todos esses sistemas, além de apresentar as outras características necessárias, tais como o distanciamento populacional.

No tocante aos processos de seleção de áreas para a implantação de aterros sanitários, Oliveira, Boin e Felício (2017) recomendam a utilização de critérios técnicos para que o processo de seleção seja correto e não gere danos ao meio ambiente. Assim, têm-se um avanço de novas tecnologias de geoprocessamento e de Sistema de Informações Geográficas (SIG), de modo a avaliar situações ambientais com boa precisão e sem grandes esforços humanos para a coleta e organização dos dados obtidos (FELICORI *et al.*, 2016).

Ademais, em virtude da complexidade associada à avaliação de características ambientais e as decisões que permeiam esse meio, são comumente utilizadas técnicas e ferramentas que possibilitem análises mais holísticas e precisas. A análise multicritério atua como uma das ferramentas auxiliaadoras nesse sentido. Costa *et al.* (2018) caracterizam a análise multicritério como um conjunto de técnicas que auxiliam na tomada de decisão em uma situação complexa, fazendo com que escolha seja baseada em critérios significativamente relevantes para a problemática trabalhada, assim esse tipo de análise pode

também ser aplicada dentro do ambiente SIG, utilizando dados geográficos vinculados à avaliação de critérios (SILVA JUNIOR, 2016).

Em consenso com o relatado, o arquipélago do Marajó (PA), herdeiro de recursos naturais e culturais únicos no mundo, ainda enfrenta muitas dificuldades para cumprir o que dispõe a PNRS, dada a situação que seu povo vivencia quanto aos serviços de coleta e disposição final de resíduos sólidos.

Lima *et al.* (2005) declaram a relevância ecológica da Ilha do Marajó para o estado do Pará quanto a implementação de planos de gestão ambiental e hídrica, uma vez que o local possui potencial natural duplamente empregado por meio das atividades pesqueira, pecuária (em especial a bubalina) e extrativismo vegetal. Adicionalmente, a Ilha é uma Área de Proteção Ambiental, chamada de APA Marajó, criada a partir do Art. 13, § 2º, da Constituição do Estado do Pará de 1989.

O mais alarmante é que esta região se classifica como Área de Preservação Ambiental do Marajó (APA Marajó), e ao mesmo tempo que enfrenta a contaminação por resíduos sólidos, tem restrições quanto a instalações de empreendimentos do porte de aterros sanitários (PARÁ, 2017).

O Inventário da Oferta Turística (PARÁ, 2012), relata uma situação ainda comum no município de Salvaterra quando diz que “O lixo arrecadado é depositado em local distante da cidade (estrada do Bacabal)” e complementa afirmando que até cinzas de lixo hospitalar é enviado e depositado à vila de Bacabal (terra quilombola). Além disso, as autoras Ogorodnik *et al.* (2022) indicam que a Secretaria de Obras, Transporte e Urbanismo (SOTUR) é a responsável pela coleta e transporte dos resíduos sólidos urbanos de todo o município, e frisaram que a destinação final dos RSS, tem-se que estes são queimados a céu aberto no lixão da cidade.

Dessa forma, tendo-se ciência da precária organização do manejo dos resíduos sólidos produzidos nos dois municípios e da importância ambiental da região, observa-se os grandes desafios para a destinação correta dos resíduos sólidos produzidos.

Em face disso, este trabalho teve como objetivo a aplicação de um método de seleção de áreas que apresentem maior aptidão para a implantação de um aterro sanitário nos municípios de Salvaterra e Soure, na Ilha do Marajó – estado do Pará, fazendo uso de ferramentas de geoprocessamento e critérios ambientais específicos.

MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento da pesquisa, reuniu-se pesquisas que envolvessem os aspectos relacionados às técnicas de disposição de resíduos sólidos, bem como os utilizados em análise de viabilidade ambiental de aterros sanitários.

Quanto ao geoprocessamento, as atividades foram desenvolvidas no software ArcGIS® 10.5. Foram usados dados em arquivo *shapefile* oriundos de informações disponibilizadas por sites governamentais como: Agência Nacional de Águas (ANA), Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE) e Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará (SEMAS-PA). Igualmente, imagens de satélite oriundas da Agência Espacial Europeia (satélite Sentinel-2) foram usadas na metodologia, bem como a ferramenta Google Earth Pro® que serviu de suporte a pesquisa.

Informações ambientais (meio físico, biótico e socioeconômico) foram definidas como critérios ambientais, os quais foram obtidos em dados *shapefile*.

Em relação a metodologia utilizada na seleção da melhor alternativa locacional para a implantação do aterro sanitário, foram formulados e definidos critérios ambientais (técnicos e econômicos), tendo como base estudos semelhantes adaptados às características locais da área de estudo. Após a definição dos critérios, realizou-se a ponderação, seguindo os preceitos do Processo de Análise Hierárquica (PAH).

ÁREA DE ESTUDO

Os municípios Salvaterra e Soure situam-se na Ilha do Marajó (Figura 1), no estado do Pará. Esta Ilha também é chamada de APA Marajó – Área de Proteção Ambiental do Marajó - desde 1989, além de tudo, ambos os municípios constituem a Reserva Extrativista (RESEX) Marinha de Soure, Parque Ecológico da Mata do Bacurizal e o Lago Caraparu em Salvaterra.

De acordo com os dados do IBGE (2022), os dois municípios juntos contêm uma população estimada 48.605 habitantes e uma extensão territorial de 5.056 km², sendo 23.424 habitantes e 1.206 km², e 25.181 habitantes e 3.850 km² em Soure.

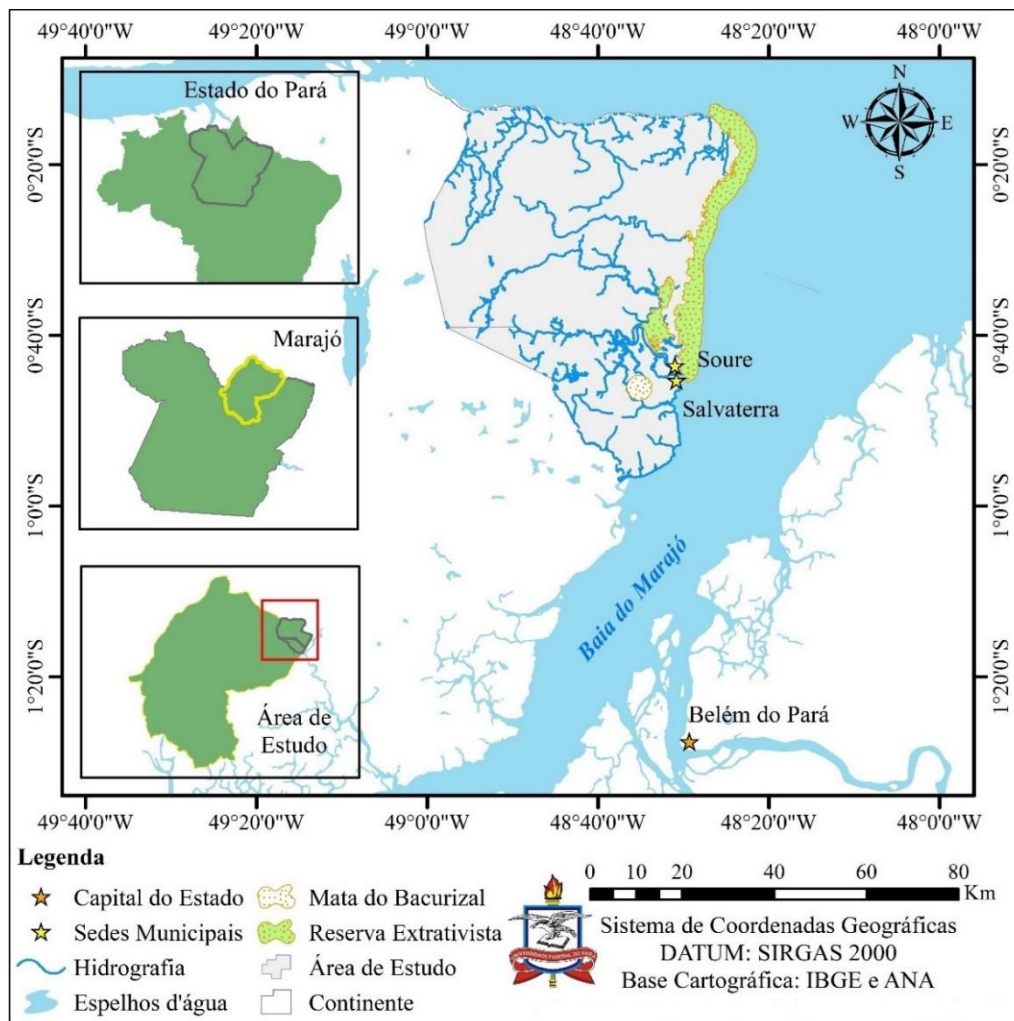


Figura 1. Mapa de Localização da Área de Estudo. Fonte: Autores (2023).

Segundo Oliveira, Mattos e de Santana (2016) e Nascimento, da Cruz Calvi (2019), as principais fontes de renda na região vem por meio das atividades de pecuária (gado, bubalinos e os derivados da carne e do leite), bem como as atividades pesqueiras, bem como os cultivos de arroz e abacaxi, característicos do município de Salvaterra, e em Soure, a produção do coco. Outra atividade fonte de renda para os municípios é o turismo cultural e o ecoturismo atribuído a beleza natural desses municípios.

A área de estudo apresenta diversidade abundante quanto as características ambientais, em função disso as características vegetação e tipologia foram resumidas nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Informações relativas ao tipo de vegetação existente na área de estudo.

TIPO DE VEGETAÇÃO	PROPRIEDADES
Floresta Ombrófila Densa	Formação alta e densa, entre 20 a 30 metros, rica em espécies vegetais. Ocorrem, principalmente, em solos como Latossolos e Argissolos, ambos Amarelos e Vermelho-Amarelos. Possuem baixa fertilidade natural.
Formações Pioneiras de Influência Fluvial e Fluviomarina	Vegetação da restinga, a vegetação do mangue e dos campos salinos e as comunidades aluviais. Ocorrem em áreas adjacentes aos cursos d'água e rios de pequeno e médio porte, tendendo a se apresentarem sobre solos formados por deposição fluvial ou lençol freático alto.
Vegetação Secundária	Vegetação resultante de processos naturais de sucessão, após supressão total ou parcial de vegetação primária por ações antrópicas ou causas naturais.
Savana	Constituída essencialmente por vegetação de pequeno porte (graminóides), antropizada ou não, formam fisionomia raquítica em terrenos degradados. Sua distribuição está relacionada a determinados tipos de solos, na maioria profundos.

Fonte: EMBRAPA (2013).

Tabela 2. Informações relativas ao tipo de pedologia existente na área de estudo.

TIPO DE SOLO	PROPRIEDADES
Gleissolo	Possui constituição argilosa a arenosa, ocorrendo normalmente em áreas alagáveis devido à proximidade do lençol freático a que se associa este tipo de solo. Possui risco de inundações ou alagamentos frequentes.
Latossolo	O Latossolo presente na região, além da baixa fertilidade e da alta saturação por alumínio, apresenta permeabilidade restrita, em função da elevada coesão dos agregados, pois o solo é extremamente duro quando seco e possui lenta infiltração de água, sendo os de textura mais argilosa certa tendência ao selamento superficial. São constituídos de silte inferior a 20% e argila variando entre 15 e 80%, estando situados em relevo plano a suave-ondulado.
Plintossolo	Solos restritivos a percolação de água, constituído por minerais. Ocorrem em áreas deprimidas de relevo plano ou suave ondulado, que possuem escoamento lento de água. Apresentam potencial agrícola quando neste tipo de relevo, utilizado comumente no cultivo de arroz, entretanto considera-se de baixa fertilidade natural devido a elevada acidez. Por vezes podem ser usados na produção de material para base de estradas.

Fonte: EMBRAPA (2013).

Conforme Borges, Baraúna e Chotoe (2015), a direção predominante dos ventos é de Nordeste com velocidade média anual de 2,4 m/s. Nas verificações espaciais destas características também se faz presente a declividade, que varia entre 0% a 3% e 3% a 8%, configurando-se em relevos plano e suave-ondulado.

Ademais a região recebe grande influência dos recursos hídricos, uma vez que é a principal forma de acesso a ilha, impactando no turismo, na subsistência de comunidades ribeirinhas e pesqueiras, nas atividades de agricultura e pecuária, além da qualidade da água de consumo das populações, todas oriundas de poços. Em função destas características, ocasiona o surgimento de algumas características ambientais específicas como áreas alagáveis por longos e médios períodos.

CRITÉRIOS PARA IMPLANTAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO

De acordo com as informações disponíveis a respeito dos aspectos ambientais mais relevantes da área de estudo, definiu-se os critérios ambientais para análise da aptidão espacial da região acerca da referida atividade. Dessa forma, os critérios considerados mais importantes foram: pedologia, declividade, distância a cursos hídricos superficiais, tipo de vegetação, distância a núcleos urbanos, áreas sujeitas a inundação, facilidade de acesso e proximidade às áreas protegidas.

PONDERAÇÃO DOS CRITÉRIOS PARA IMPLANTAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO

Tendo em vista o grau de importância divergente entre os critérios escolhidos, bem como as suas características ambientais associadas, chamadas aqui de especificidades (ex. tipo de solo, tipo de vegetação etc.), os mesmos foram ponderados de maneira a possibilitar-se uma comparação quantitativa, no intuito de se atingir uma seleção de áreas mais precisa.

Os critérios foram ponderados de 1 a 5, de acordo com a importância que representam em relação aos impactos oriundos das atividades de um aterro sanitário, enquanto as suas respectivas características ambientais (especificidades) foram ponderadas entre 0 e 1 tendo em vista a sua capacidade de suporte a esses mesmos impactos.

Ressalta-se que a ponderação das especificidades levou em conta também o espaço em que ocupavam dentro das áreas por intermédio da multiplicação de sua porcentagem ocupada pelo seu respectivo peso.

Posteriormente, os pesos dos critérios foram multiplicados com os pesos atribuídos as suas especificidades, indicando assim a distribuição espacial das diferentes capacidades de suporte da região. Essa informação subsidiou a etapa de seleção de áreas por meio da

soma dos atributos ponderados em seu interior, agregando valores diferentes para cada área selecionada. Vale ressaltar também que foram somados “pontos” àquelas áreas que possuíam facilidades de acesso, bem como subtraiu-se “pontos” das que apresentaram fatores limitantes.

Os pesos foram atribuídos pelos próprios autores, em consonância com ponderações aplicadas em estudos semelhantes e de acordo com os conhecimentos revisados pelo referencial teórico a respeito das características ambientais particulares à região de estudo.

DIMENSIONAMENTO DA ÁREA MÍNIMA DO ATERRO SANITÁRIO

A ocupação espacial do aterro sanitário é um dado de suma importância para a avaliação da melhor alternativa, visto que áreas escolhidas comportam integralmente o referido empreendimento em seu interior, evitando sobreposições em áreas indesejadas. Em função disso, buscou-se informações confiáveis a respeito da população, conforme: o quantitativo populacional atualizado para embasar a estimativa da quantidade de resíduos a serem recebidos pelo aterro; a taxa de crescimento populacional anual para a determinação da população final atendida; e a geração per capita de resíduos sólidos para se acompanhar o fluxo das mudanças na geração de resíduos pela população.

A partir das informações descritas foi possível prosseguir com os cálculos do dimensionamento da área mínima necessária a ser ocupada pelo aterro. De acordo com Rocha, Brito Filho e da Silva (2017) e Silva Junior (2016), esses cálculos tem como base 4 etapas, dadas por: cálculo da população; cálculo da produção de RSU; cálculo do volume de RSU produzidos e; cálculo da área mínima para o aterro sanitário.

Ressalta-se que para o cálculo das etapas citadas acima, foram considerados os seguintes dados: dados da estimativa populacional dos municípios para o ano inicial de 2018 (IBGE); vida útil do aterro para 20 anos; geração per capita de resíduos sólidos para o Estado do Pará de 0,872 kg/hab.dia; peso específico do resíduo sólido compactado = 0,7 ton./m³ utilizado em Silva Junior (2016) e; altura das células de resíduos calculadas para 5 metros.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O método de seleção de áreas foi aplicado por meio da definição de critérios específicos submetidos aos procedimentos de aproximação e ponderação conforme descrito na metodologia.

A Tabela 3 apresenta o desdobramento da primeira aproximação. As especificidades dos critérios estabelecidos para análise foram classificadas em aptas, moderadas e inaptas. Nesse sentido, as áreas que continham especificidades consideradas inaptas foram excluídas, em contrapartida, as que possuíam apenas especificidades aptas e moderadas foram mantidas para o prosseguimento da análise.

Tabela 3. Classificação das Especificidades dos Critérios – Primeira Aproximação.

Critérios de seleção	Especificidades	Classificação
Pedologia	Latossolo*	Apta
	Plintossolo*	Moderada
	Gleissolo	Inapta
Tipo de vegetação	Savana*	Apta
	Vegetação Secundária*	Apta
	Floresta Ombrófila Densa**	Inapta
	Formações Pioneiras**	Inapta
Declividade	3 a 8%*	Apta
	0 a 3%*	Moderada
Distância a cursos hídricos	Superior a 0,5 km ^{*(1)}	Apta
	Inferior a 0,5 km ^{***(1)}	Inapta
Distância a núcleos urbanos	De 2 km a 5 km ^{*(2)}	Apta
	Superior a 5 km ^{*(2)}	Moderada
	Inferior a 2 km ^{***(2)}	Inapta
Área inundáveis	Área não sujeita a inundação*	Apta
	Área sujeita a inundação**	Inapta

Seleção de áreas*; Exclusão de áreas**

⁽¹⁾ [Calijuri, Melo e Lorentz (2020)]; ⁽²⁾ [Montaño *et al.*, (2012)].

Em seguida, após a exclusão das áreas inaptas realizou-se o procedimento chamado neste trabalho de “refinamento das áreas”. O referido procedimento tomou como base a

identificação de circunstâncias não reveladas nos *shapes* obtidos por meio da verificação de imagens de satélite, no programa Google Earth Pro® como: a presença de residências, campos produtivos ou mesmo áreas impróprias de utilização.

Nesse sentido, foram aplicadas as referidas circunstâncias buffers de 1 km, no entorno de suas delimitações, de modo que as áreas selecionadas até então fossem reduzidas ainda mais, aumentando significativamente a eficiência da análise. A Figura 2 mostra o resultado obtido com a exclusão e o refinamento das áreas.

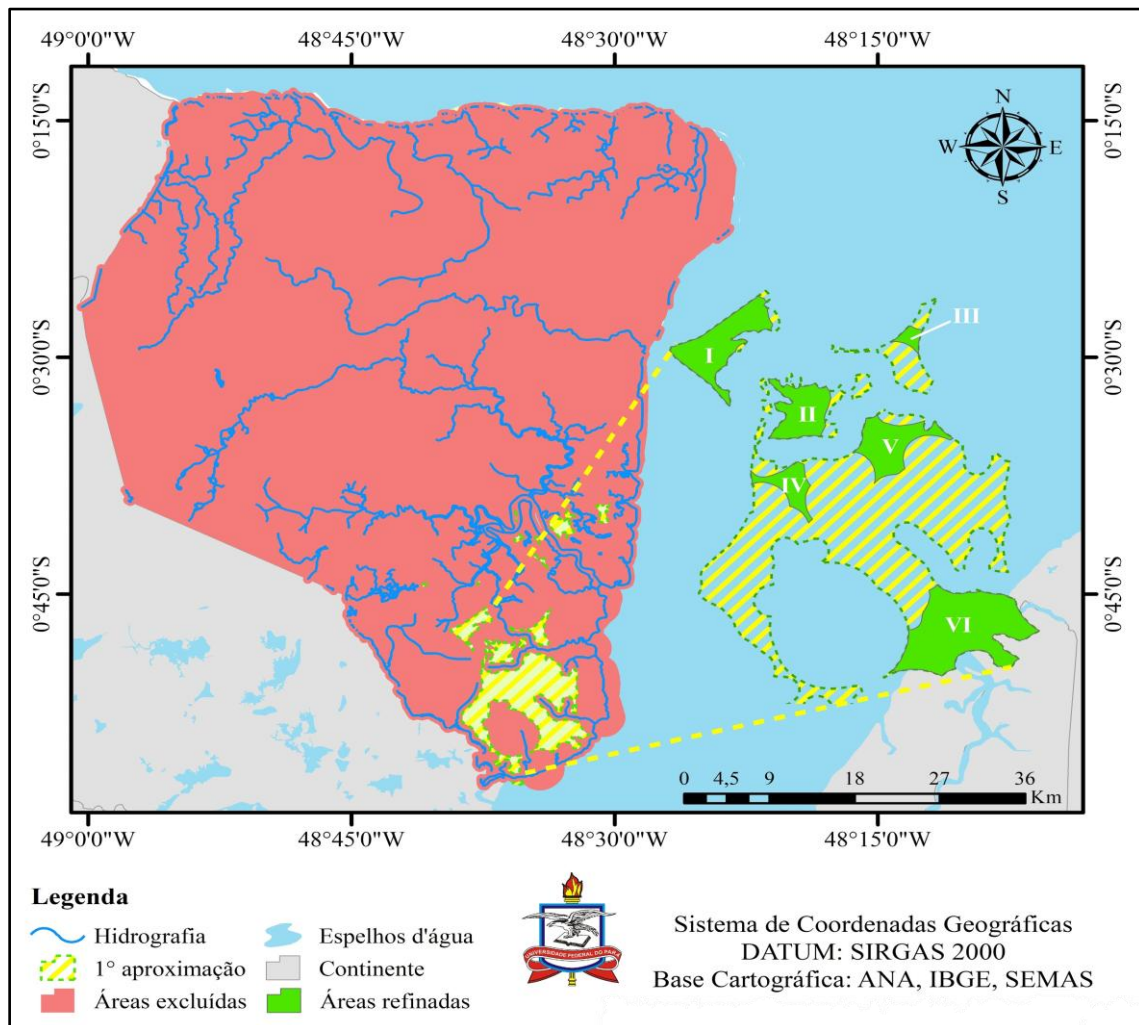


Figura 2. Resultado Obtido com a Exclusão e Refinamento das Áreas – 1° Aproximação.
Fonte: Autores (2023).

Após a primeira aproximação e o refinamento foram identificadas 6 áreas, da mesma maneira que se percebeu uma redução de 99,3% do toda da área análise, conforme

ilustra a Figura 2. A dificuldade de ser definida uma área totalmente apta a implantação de um aterro sanitário, em função dos diversos impedimentos, bem como os possíveis danos ambientais, é condizente com o relatado por Lourenço *et al.* (2015).

Na segunda aproximação, foram definidos os pesos e sub pesos aplicados às áreas aptas e moderadas. É importante que a atribuição de pesos para cada critério seja realizada de forma correta, pois são eles que representam o grau que uma variável vai influenciar na outra, podendo compensar ou interferindo na exclusão direta de áreas (WEBER; HASENACK, 2000). Desta forma, a atribuição de pesos e sub pesos resultou nas respectivas ponderações, conforme as especificidades encontradas dentro de seus limites (Tabela 4).

Tabela 4. Ponderação dos Critérios e suas Especificidades - Segunda Aproximação.

Critérios de seleção	Peso (1 a 5)	Especificidades	Sub peso (0 a 1)
Pedologia	4	Latossolo	0,85
		Plintossolo	0,60
Tipo de vegetação	3	Savana	0,70
		Vegetação Secundária	0,75
Declividade	1	3 a 8%	0,80
		0 a 3%	0,45
Distância a núcleos urbanos	3	Superior a 5 km	0,40
		De 2 km a 5 km	0,90

A Tabela 5 mostra com detalhes a ponderação realizada a partir das 6 áreas identificadas durante as aproximações.

Tabela 5. Ponderação de Áreas Seleccionadas.

Área	Pedol. Peso 4	%	Veget. Peso 3	%	Decliv. Peso 1	%	Distância a Núcleos Urbanos Peso 3	%	Fator Limitante /Facilidade de Acesso*	Pontuação Geral
I	0,60	100	0,70	100	0,45	100	0,40	100	-0,45	5,70
II	0,60	100	0,70	100	0,45	100	0,40	100	-0,42	5,73
III	0,85	100	0,75	100	0,80	100	0,90	100	-0,45	8,70
IV	0,85	100	0,70	100	0,45	100	0,40	100	-0,46	6,69
V	0,85	87	0,75	100	0,80	87	0,90	40	-0,45	7,62

	0,60	13		0,45	13	0,40	60			
VI	0,85	100	0,75	100	0,80	100	0,40	100	0,04	7,69

*Facilidade de Acesso = Proximidade a estradas e rodovias. Fator Limitante = Área alcançada pela ASA.

O fator pedológico foi o que apresentou o maior peso dentre os fatores analisados na ponderação final. Na pesquisa realizada por Oliveira, Alves e de Oliveira (2012) foi observado também essa maior relevância dada a pedologia.

A Figura 3 apresenta o mapa da espacialização do resultado final da ponderação das 6 áreas selecionadas.

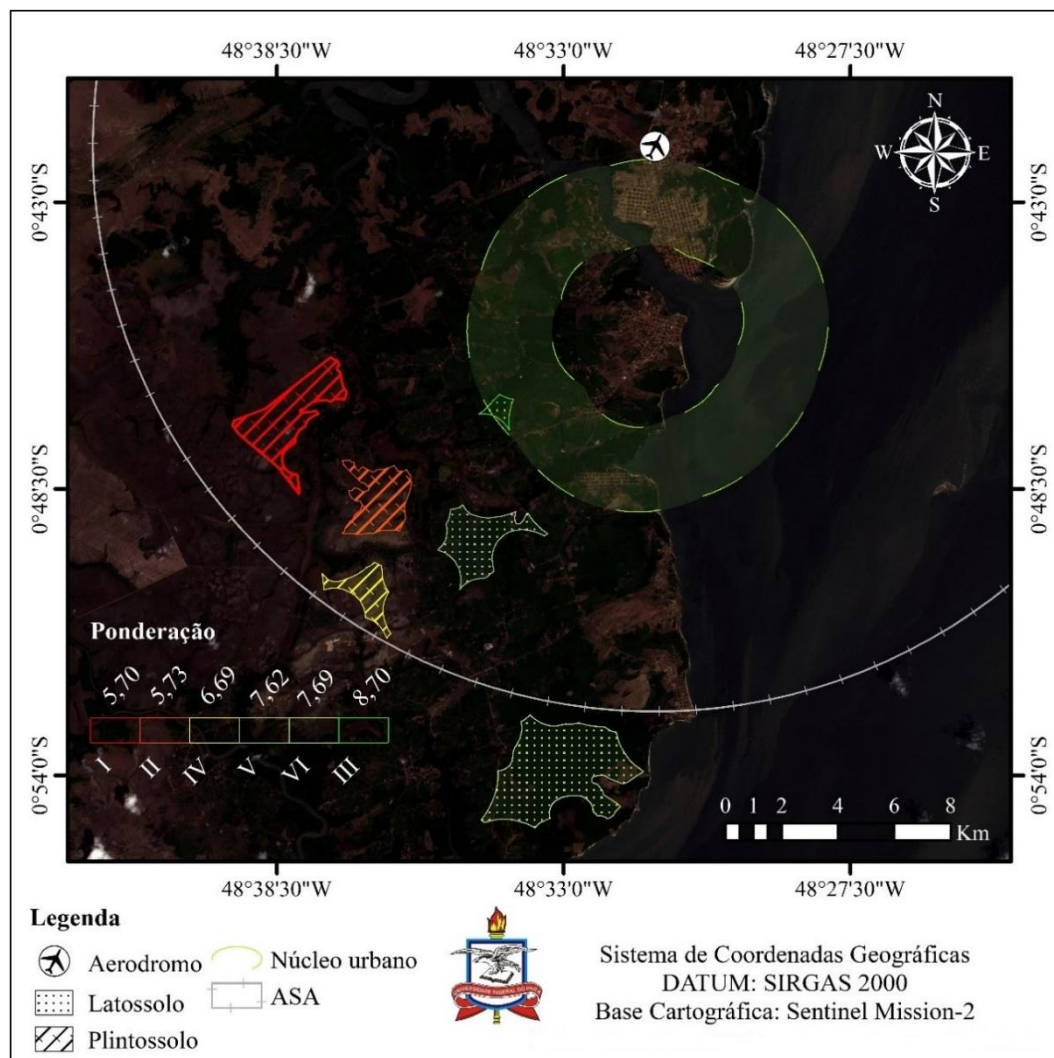


Figura 3. Mapa de ponderação das áreas selecionadas. Fonte: Autores (2023).

Observa-se na figura 3 uma cor representativa para cada área selecionada e refinada na etapa de aproximação, quanto a sua aptidão para localização do aterro sanitário, bem como o preenchimento conforme as características do solo que as dispõem (principal critério de análise). Também pode ser visto a delimitação da área de segurança aeroportuária e a faixa da distância considerada como ótima para localização do aterro, que se faz entre 2 a 5 km a partir do maior núcleo urbano, nesse caso, representado pelo núcleo de Salvaterra.

É importante ressaltar que a Área de Segurança Aeroportuária (ASA) é definida a partir do raio geométrico da maior pista do aeródromo com raio de 20 Km, onde o uso desse território é restringido e condicionado ao cumprimento de exigências normativas, a fim de que sejam minimizados os riscos de colisões de aeronaves com espécies de fauna no aeródromo (BRASIL, 2012).

A resolução nº 04/1995, do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), impedia a implantação de aterros sanitários em áreas de segurança aeroportuária, entretanto essa resolução fora revogada em 04 de abril de 2018 pela resolução nº 486 do mesmo órgão. Assim, em 2012 surge a Lei nº 12.725, que dispõe sobre o controle de faunas nas imediações de aeroportos, esta não apresenta explicitamente a proibição de aterros sanitários dentro da ASA, porém pode ser usada como empecilho no processo de licenciamento do empreendimento junto aos órgãos fiscalizadores.

Em um estudo de alternativas locais para implantação de aterros sanitários realizado por Montañó *et al.* (2012) as áreas localizadas dentro da ASA, ou seja, em um raio de 13 km no entorno do aeroporto, não foram consideradas inaptas, entretanto os autores ratificam a importância de ponderar esse fator na tomada de decisão final tanto por parte da parte interessada quando por parte do órgão licenciador.

Com base nas informações da Tabela 5 e na Figura 3, constatou-se que a área III é a mais apta, melhor dizendo, é a área mais resistente frente aos impactos ambientais provocados pela instalação e operação de um aterro sanitário.

Por intermédio do dimensionamento da área mínima, necessária para o aterro sanitário comportar os resíduos produzidos pelos municípios durante os 20 anos de vida útil, chegou-se ao resultado de aproximadamente 0,1 km², valor semelhante ao encontrado por Carrilho, Candido e Souza (2018) para o município de Conceição das Alagoas em Minas Gerais, para 20 anos de vida útil do aterro, mesmo com a população do município sendo

menor que a metade da população da Ilha do Marajó, evidenciando a diferença de geração per capita de resíduos dentro do território brasileiro. Por tanto, foi possível verificar que todas as zonas analisadas eram possíveis de implementação do aterro, segundo o critério área mínima necessária para inserção do empreendimento.

Por fim, o estudo realizado pode ser usado como embasamento para futuros projetos de implantação de aterros na Ilha do Marajó, entretanto ratifica-se a importância do esclarecimento e da participação comunitária da população local na tomada de decisão em conjunto com os empresários interessados e os órgãos licenciadores, como salienta Gouveia (2012).

CONCLUSÃO

O método de aproximação permitiu reduzir a área de estudo em 99,3%, bem como apontar o município de Soure como inapropriado para a instalação de um aterro sanitário, tendo como base os critérios ambientais adotados nesta pesquisa.

A denominada área III foi admitida como a mais apta, uma vez que reuniu todas as características ambientais favoráveis a implantação do empreendimento. Por outro lado, esta encontra-se dentro da zona de segurança aeroportuária proveniente do aeródromo, de fato isso é um fator limitante, mas não um empecilho restritivo.

Contudo, os resultados obtidos nesta pesquisa foram satisfatórios. No restante é importante a elaboração de trabalhos técnicos a respeito desta temática, decorrente da vasta discussão a respeito da ausência de áreas ambientalmente adequadas para a disposição de RSU, e como forma de auxiliar o processo de análise, a utilização das ferramentas SIG juntamente com os instrumentos de apoio à decisão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **HidroWeb - Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br>.

ABRELPE. Associação Brasileira De Empresas De Limpeza Pública E Resíduos Especiais. **ABRELPE. Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil 2022**. São Paulo, set. 2022. Anual. ISSN 2179-8303.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR nº 8.419 de 1992, que dispõe sobre a Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.** Disponível em: <http://www.ipaam.am.gov.br/wp-content/uploads/2021/01/NBR-8419-92-Apresentacao-de-Projetos-de-Aterros-Sanitarios-de-Residuos-Solidos-Urbanos.pdf>.

Banco Mundial. **What a waste: A Global Review of Solid Waste Management.** World Bank, 2018. Disponível em: openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17388.

BORGES, Fabricio Quadros; BARAÚNA, Nayara Carmona; CHOTOE, Jonathas Ribeiro. Fontes renováveis de energia elétrica e qualidade de vida em comunidades na Ilha do Marajó, Pará. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 33, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v33i0.35447>.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n. 04 de 9 de outubro de 1995.** Dispõe sobre controle de atividades atrativas de pássaros em áreas de segurança aeroportuária. Conselho Nacional do Meio Ambiente, Brasília, 1995. Disponível em: www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=182.

BRASIL. **Lei Federal nº 12.725 de 16 de outubro de 2012.** Dispõe sobre o Controle da Fauna nas Imediações dos Aeroportos. Brasília, 2012. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12725.htm.

CALIJURI, Maria Lúcia; MELO, AL de O.; LORENTZ, Juliana Ferreira. Identificação de áreas para implantação de aterros sanitários com uso de análise estratégica de decisão. **Informática Pública**, v. 4, n. 2, p. 231-250, 2002.

CAMPOS, Heliana Kátia Tavares. Renda e evolução da geração per capita de resíduos sólidos no Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, p. 171-180, 2012. DOI: www.scielo.br/pdf/esa/v17n2/a06v17n2.

CARRILHO, Atalanta Nayara; CANDIDO, Humberto Gois; SOUZA, Amilton Diniz. Geoprocessing used in the selection of areas for deployment of landfill in the municipality of Conceição das Alagoas (MG), Brazil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 23, p. 201-206, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522018142980>.

CONDE, Thassiane Telles; STACHIW, Rosalvo; FERREIA, Elvino. Aterro sanitário como alternativa para a preservação ambiental. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia/Brazilian Journal of Science of the Amazon**, v. 3, n. 1, p. 69-80, 2014. Disponível em: www.periodicos.unir.br/index.php/rolindemoura/article/view/1183.

COSTA, Carlos Wilmer et al. Análise multicritério aplicada à seleção de áreas para implantação de aterros sanitários na Bacia do Ribeirão do Meio (Leme, SP), em escala 1: 50.000. **Sociedade & Natureza**, v. 30, p. 205-227, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/SN-v30n1-2018-9-X>.

EMBRAPA. Tipos de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro, 2013;3.

FELICORI, Thaís de Carvalho et al. Identificação de áreas adequadas para a construção de aterros sanitários e usinas de triagem e compostagem na mesorregião da Zona da Mata, Minas Gerais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, p. 547-560, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016146258>.

GIMENEZ BOSCOV, M. E. **Geotecnia Ambiental**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 248.

GODECKE, Marcos Vinicius; NAIME, Roberto Harb; FIGUEIREDO, João Alcione Sganderla. O consumismo e a geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil. **Revista Eletrônica em gestão, educação e tecnologia ambiental**, p. 1700-1712, 2012. DOI: <https://periodicos.ufsm.br/index.php/reget/article/view/6380>.

GOUVEIA, Nelson. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência & saúde coletiva**, v. 17, p. 1503-1510, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-81232012000600014>.

IBGE. Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística (Brasil). Diretoria De Pesquisas. Coordenação de População e Indicadores Sociais. **Estimativas da população residente com data de referência 1º de julho de 2017**.

IBGE. Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística (Brasil); Diretoria De Pesquisas. Coordenação de População e Indicadores Sociais. **Estimativas da população 2022**.

JACOBI, Pedro Roberto; BESEN, Gina Rizpah. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estudos avançados**, v. 25, p. 135-158, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142011000100010>.

LIMA, A. M. M.; OLIVEIRA, L. L.; FONTINHAS, R. L.; LIMA, R. L. Ilha Do Marajó: Revisão Histórica, Hidroclimatologia, Bacias Hidrográficas E Propostas De Gestão. **Holos Environment**, v. 5, n. 1, p. 65-80, 2005.

LOURENÇO, Roberto Wagner et al. Metodologia para seleção de áreas aptas à instalação de aterros sanitários consorciados utilizando SIG. **Ciência e Natura**, v. 37, n. 3, p. 122-140, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/105902/2179460X15973>.

MONTAÑO, Marcelo et al. Integração de critérios técnicos, ambientais e sociais em estudos de alternativas locais para implantação de aterro sanitário. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, p. 61-70, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522012000100010>.

NASCIMENTO, Elcio Costa; DA CRUZ, Benedito Ely Valente; CALVI, Miqueias Freitas. Queijos diferentes, origem geográfica comum: história e tradição da produção dos queijos do Marajó. **Ateliê Geográfico**, v. 13, n. 3, p. 190-208, 2019.

DE OLIVEIRA, Cyntia Meireles; DE MATTOS, Carlos André Corrêa; DE SANTANA, Antônio Cordeiro. Aspectos produtivos e socioeconômicos do arranjo produtivo local bovino e bubalino no arquipélago do Marajó, estado do Pará. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 9, n. 1, p. 25-45, 2016. DOI: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2016v9n1p25-45>.

OGORODNIK, Maria Eduarda Assunção; BORGES, Heloiza Santos; CASTRO, Anne Sanches de; NASCIMENTO, Deyved Leonam Guimarães do; DOURADO JUNIOR, Octavio Cascaes; CHAVES, Andrea Fagundes Ferreira. Indicadores de sustentabilidade na gestão de resíduos municipais no município de Salvaterra (Ilha do Marajó-Pará). **Research, Society and Development**, v. 11, n. 10, p. 1-19, 2022. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i10.32812>.

OLIVEIRA, F. B. de; ALVES, M. de G.; OLIVEIRA, CHR de. Favorabilidade de áreas para implantação de aterros controlados no município de Campos dos Goytacazes/RJ utilizando sistema de informação geográfica. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 64, n. 1, p. 33-44, 2012. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/43775/23039>.

OLIVEIRA, Rodrigo Coladello; BOIN, Marcos Norberto; FELÍCIO, Munir Jorge. Teoria da paisagem aplicada à escolha de área para aterros sanitários. **Mercator (Fortaleza)**, v. 16, 2017. DOI: <https://doi.org/10.4215/rm2017.e16017>.

PARÁ. **Unidade de Conservação. Área de Proteção Ambiental do Marajó**. 2017. Disponível em: <https://ideflorbio.pa.gov.br/unidades-de-conservacao/8/area-de-protecao-ambiental-do-marajo#conteudo>.

PARÁ. Secretaria de Estado de Turismo do Pará. **Inventário da Oferta Turística de Salvaterra**. 2012. Disponível em: http://www.setur.pa.gov.br/sites/default/files/pdf/inventario_salvaterra.pdf.

PNRH. Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Brasil. Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, 2010. Available from: www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636.

ROCHA, C. H. B, BRITO FILHO, L. F.; DA SILVA, J. X. Geoprocessamento aplicado à seleção de locais para implantação de aterros sanitários: O caso de Mangaratiba – RJ. In: Xavier Da Silva, J; Zaidan, R. T. (Org.). Geoprocessamento & análise ambiental: aplicações. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

SEMAS. **Ilha do Marajó**. Arquivos em *shapefile*. Projeção SIRGAS 2000. Available from: portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#mapa784.

SILVA JUNIOR, A. N. **Utilização da Análise Multicritério Para Alocação de Área(s) Destinada(s) a Aterro Sanitário no Município de Santana-AP**. Repositório UNIFAP, Universidade Federal do Amapá, Macapá 2016.

WEBER, Eliseu; HASENACK, Heinrich. Avaliação de áreas para instalação de aterro sanitário através de análises em SIG com classificação contínua dos dados. **Porto Alegre: UFRGS,** 2000. Disponível em: www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/arquivos/Publicacoes/Congressos/2000/Weber_&_Hasenack_2000_Avaliacao_areas_aterro_sanitario_SIG.pdf.