

CIEA

Congresso Internacional de Engenharia Ambiental
&

10ª REA

Reunião de Estudos Ambientais

ANAIS

Artigos Completos

- VOLUME 3 -

**Sistemas e Técnicas de Tratamento e Disposição de
Resíduos Sólidos**

&

**Reaproveitamento ou Reutilização de Resíduos
Sólidos para geração de novos Produtos e Materiais**



Organizadores

Cristiano Poletto

Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves

Guilherme Fernandes Marques

José Gilberto Dalfré Filho

**ANAIS do Congresso Internacional de
Engenharia Ambiental & 10ª Reunião de
Estudos Ambientais
Artigos Completos**

- VOLUME 3 -

**Sistemas e Técnicas de Tratamento e Disposição de
Resíduos Sólidos**

&

**Reaproveitamento ou Reutilização de Resíduos
Sólidos para geração de novos Produtos e Materiais**



Gráfica & Editora

Toledo – PR

2020

Copyright © 2020, by Editora GFM.

Direitos Reservados em 2020 por **Editora GFM.**

Editoração: Cristiano Poletto

Organização Geral da Obra: Cristiano Poletto; Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves; Guilherme Fernandes Marques; José Gilberto Dalfré Filho

Diagramação: Juliane Fagotti

Revisão Geral: Espaço Histórico e Ambiental

Capa: Eventos Consulting Design Informática

CIP-Brasil. Catalogação na Fonte

Cristiano Poletto; Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves; Guilherme Fernandes Marques; José Gilberto Dalfré Filho (Organizadores)

ANAIS do Congresso Internacional de Engenharia Ambiental & 10ª Reunião de Estudos Ambientais – Artigos Completos – Volume 3 – Sistemas e Técnicas de Tratamento e Disposição de Resíduos Sólidos & Reaproveitamento ou Reutilização de Resíduos Sólidos para geração de novos Produtos e Materiais / Cristiano Poletto; Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves; Guilherme Fernandes Marques; José Gilberto Dalfré Filho (Organizadores) – Porto Alegre, RS: Editora GFM, 2020.

542p.: il.;

ISBN 978-65-87570-03-7

CDU 502.3/.7

É AUTORIZADA a livre reprodução, total ou parcial, por quaisquer meios, sem autorização por escrito da Editora ou dos Organizadores.



MAPEAMENTO DE ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

| ID 15517 |

1Fernando Corrêa Todeschini, 2Fernando Mainardi Fan

1Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: fernandotodes@gmail.com; 2Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: fernando.fan@ufrgs.br.

| RESUMO |

Este estudo propõe-se a realizar mapeamento de áreas mais suscetíveis a implantação de aterros sanitários no estado do Rio Grande do Sul através do uso de programas de geoprocessamento de forma a estruturar a tomada de decisão por meio de análises multicritério e por meio de associação de diferentes pesos de cada critério. Utilizou-se como método de pontuação o intervalo de um byte – de 0 a 255 – de forma a padronizar as diferentes características. Utilizou-se critérios de restrição – em que a suscetibilidade ambiental é nula – e critério de aptidão – em que são associadas as pontuações de suscetibilidade devido a características hierarquizadas, ou associadas a taxas de crescimento da suscetibilidade em relação à distância de pontos estradas, recursos hídricos e manchas urbanas. O método de ponderação considerou a escala do dado, a importância ambiental e a importância econômica do critério. O mapeamento final foi comparado com o mapa do Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Sul (PERS/RS), que no momento desse trabalho é utilizado no licenciamento de aterros sanitários. Foi possível concluir que a metodologia aplicada mapeia a mesma macrorregião geológica mais suscetível – planalto riograndense -, mas numa microanálise as áreas se diferem de forma ampla.

Palavras-chave: Suscetibilidade; Aterro Sanitário; Mapeamento

| INTRODUÇÃO |

Em 1990 o Brasil entrou na lista dos 10 maiores PIBs do mundo e não saiu dela desde então. O país já ocupou a 7ª maior economia mundial, hoje ocupa a 9ª colocação ao lado de França (7ª) e Itália (8ª). No entanto, se formos comparar o PIB per capita, que considera a relação da riqueza produzida no país com a sua população, essa colocação cai para 77ª (FMI, 2019). O dado ressalta a desigualdade social presente no país mesmo que esteja ao lado da colocação de países considerados desenvolvidos no primeiro dado apresentado também expressado pela posição do Índice de Desenvolvimento Humano brasileiro, cuja colocação não condiz com o PIB (PNUD, 2019). Tudo isso expõe as más condições de vida do brasileiro, que, entre vários indicadores sociais e econômicos, inclui condições de saneamento básico.



Em vista da mudança, a Lei nº 11.445/2007 estabelece diretrizes nacionais da Política Nacional de Saneamento Básico e é conhecida como o marco regulatório do saneamento básico no Brasil. Ela abrange os princípios para a universalização do acesso ao conjunto de serviços, infraestruturas e instalações de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem de águas pluviais urbanas (MMA, 2019).

Dentro desse escopo, em 2010 é instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) pela Lei 12.305, que visa enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos. A lei propõe um conjunto de instrumentos para o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos e a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos - aquilo que não poder reciclado ou reutilizado. Também cria metas para a eliminação dos lixões e institui instrumentos de planejamento nos níveis nacional, estadual, microrregional, intermunicipal e metropolitano e municipal; além de impor que empreendimento privados elaborem seus Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (MMA, 2019). Essas ações visam igualar o Brasil em relação aos serviços de saneamento básico comparando-os às principais economias do mundo e países desenvolvidos.

O gerenciamento de resíduos é definido como o conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento, destinação final ambientalmente adequada dos resíduos, e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Na região metropolitana do estado do Rio Grande do Sul, onde é gerada a maior quantidade de resíduos sólidos urbanos no estado, a sua destinação tornou-se onerosa para o orçamento dos municípios. Isso ocorre devido à distância dos pontos geradores em relação ao aterro sanitário destinado, Minas do Leão, ou seja, o resíduo é transportado cerca de 100 km para ser aterrado. Diversos outros municípios que se localizam ainda mais longe também destinam seus resíduos para o aterro.

Além da questão econômica, para a implantação de um aterro, é necessário seguir critérios descritos nas NBR 13.896 (ABNT, 1997), Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação, e NBR 15.849 (ABNT, 2010), Resíduos sólidos urbanos - Aterros sanitários de pequeno porte - Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento. No escopo estadual, há a Diretriz Técnica 04/2017 da FEPAM (2017), órgão responsável pelo licenciamento ambiental no Rio Grande do Sul. A diretriz estabelece critérios para o licenciamento ambiental da atividade de disposição final de resíduos sólidos urbanos.

É perceptível a preocupação da localização desses aterros, tanto no escopo ambiental, quanto no social. Ambientalmente, tem-se todos esses critérios para que os impactos negativos sejam minimizados. Esses impactos são a contaminação do: solo, água subterrânea, água superficial,



emissão gasosas, mal cheiro e etc. Após o período de operação, é necessário que aquela área impactada precise de monitoramento e acompanhamento, que é estabelecido pelas normas e diretrizes, ou seja, o uso dessa área se torna restrita em relação à saúde humana, à mudança de topografia, à instabilidade causada pela decomposição, à presença do resíduo e à possibilidade de interferência na vida animal e vegetal. Devido à possibilidade desses riscos envolvidos, geralmente, esses empreendimentos localizam-se longe de centros urbanos.

Para mapear as áreas mais suscetíveis para aterros sanitários, o estado do Rio Grande do Sul, através da Secretaria Estadual de Meio Ambiente - SEMA, firmou com o Ministério do Meio Ambiente – MMA no ano de 2011 o convênio SICONV nº. 764.224/2011 para a elaboração do Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Sul, em concordância com a supracitada legislação federal (FEPAM, 2019). Nele consta um mapa de áreas potencialmente favoráveis para a destinação de resíduos sólidos considerando os seguintes parâmetros:

- Aptidão natural dos solos, abrangendo a resistência natural do solo a impactos ambientais;
- Ocupação atual e uso dos solos;
- Infraestrutura de transporte existente;
- Áreas especiais, como unidades de conservação, áreas de uso sustentável, terras indígenas demarcadas, florestas públicas, entre outras (FEPAM, 2019).

O art. 4º da portaria nº 018/2018 da FEPAM (2018) estabelece:

- Estudo Prévio de Impacto Ambiental e respectivo Relatório de Impacto Ambiental – EIA/RIMA para os empreendimentos:

- Localizados em área de sensibilidade ambiental classificada como média ou alta independente do porte do aterro sanitário,

- Situados dentro dos limites do Bioma Mata Atlântica estabelecidos pelo Mapa de área de Aplicação da Lei nº 11.428 (BRASIL, 2006), cuja implantação implique em supressão da vegetação primária ou vegetação secundária em estágio avançado de regeneração.

- Licenciamento Ambiental Ordinário (Licença Prévia): para aterros sanitários de mínimo, pequeno e médio porte, localizados em área de sensibilidade ambiental classificada como baixa ou muito baixa; Relatório Ambiental Simplificado - RAS, para os demais casos. (FEPAM, 2018).

Neste sentido, o presente trabalho visa contribuir para esta linha de pesquisa e atuação no mercado, com a proposta de uma alternativa de mapa de locação de aterro para todo o RS ao aplicar outros fatores que contribuam numa nova classificação. A análise será feita a partir de Sistema de Informação Geográfica (SIG) e programas de geoprocessamento de forma que seja possível integrar diferentes imagens e dados espaciais.



| MATERIAIS E MÉTODOS |

A metodologia do Mapeamento das Áreas de Aptidão para Disposição Final de RSU se deu da seguinte forma: (1) Definição dos critérios de restrição e aptidão; (2) Aquisição dos dados dos critérios definidos; (3) Processamentos dos dados; (4) Padronização das características para pontuação entre 0 a 255; (5) Ponderação dos critérios; (6) Agregação dos critérios; e (7) Análise do resultado.

O Software utilizado para o processamento dos dados foi o ArcGIS 10.5 desenvolvido pela empresa ESRI. A fonte de dados, bem como a descrição e escala estão descritos na Tabela 1

Tabela 1- Dados utilizados.

Dados	Fonte	Descrição	Escala/Resolução
Manchas Urbanas	SEMA RS	SEMA RS (2018) - Base Cartográfica do Estado do Rio Grande do Sul (BCRS25) - Localidades - Área Edificada	1:25.000
Sistema Viário	SEMA RS	SEMA RS (2018) - Base Cartográfica do Estado do Rio Grande do Sul (BCRS25) - Sistema de Transportes - Trecho Rodoviário	1:25.000
Recursos Hídricos	SEMA RS	SEMA RS (2018) - Base Cartográfica do Estado do Rio Grande do Sul (BCRS25) - Hidrografia - Ordem Trecho Drenagem; Trecho Massa de Água; Massa de Água	1:25.000
Terreno Sujeito a Inundações	SEMA RS	SEMA RS (2018) - Base Cartográfica do Estado do Rio Grande do Sul (BCRS25) - Hidrografia - Terreno Sujeito à Inundação	1:25000
Pedologia	IBGE	IBGE (2019) - BDIAWeb - Pedologia	1:250.000
Hidrogeologia	CPRM	CPRM (2010) - Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul	1:750.000
Áreas Protegidas	FEPAM/PERS e MMA	FEPAM (2014) Mapa Vetorial - Diretrizes para Licenciamento de Resíduos e MMA (2019)	Sem escala
Uso do Solo	Mapbiomas	Projeto MapBiomas (2018) - Coleção 2018 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil	30 metros
Declividade	NASA/SRTM	Shuttle Radar Topography Mission Global 1 arc second. (2013)	30 metros
Fraturas	CPRM	CPRM (2010) - Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul	1:750.000

Fonte: Autor



Os critérios legais e normativos considerados foram: ABNT NBR 13896 de 1997, Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação; ABNT NBR 15849 de 2010, Resíduos Sólidos Urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretriz para localização, projeto, implantação, operação e encerramento; Diretriz Técnica (DT) 04/2017 da FEPAM; e a Lei Federal 12.725/12. A partir disso os critérios foram divididos entre critérios de restrição, cuja implantação tem uma chance nula; e de aptidão, cuja implantação tem chances mais prováveis ou menos prováveis devido à características do critério.

Definição dos Critérios de Restrição: foram estabelecidas as situações em que não se é permitido implantação de aterros sanitários. Os critérios restritivos são: Recursos Hídricos, Sistema Viário, Manchas Urbanas, Áreas Protegidas, Terrenos Sujeitos a Inundações.

Recursos Hídricos: Todas as legislações, normas e diretrizes estabelecem uma distância mínima de 200 metros das coleções hídricas ou cursos da água. A Base Cartográfica do Rio Grande do Sul da SEMA/RS (BCRS25) apresenta em sua pasta de hidrografia os recursos hídricos classificados devido a sua ordem. Os trechos de drenagem de ordem 1 e 2 estabelecem um distanciamento médio menor do que 1 km entre outros trechos de drenagem na maioria do estado, dificultando assim o estabelecimento de regiões mais aptas para implantação de aterros sanitários, assim optou-se por suprimir os recursos hídricos de ordem 1 e 2. Além disso, a escala do presente trabalho em conjunto com a escala detalhada desse dado torna limitante o mapeamento considerando tais trechos. Também há chances destes apresentarem caráter intermitente, ou seja, não apresentam escoamento superficial durante todo o ano. A mesma base cartográfica possui o mapeamento de Massas de Água, essas também foram adicionadas como restrições.

Sistema Viário: os aterros sanitários devem manter uma distância mínima de 20 metros a partir da faixa de domínio de rodovias e estradas vicinais. Tal critério é determinado pela Diretriz Técnica 04/2017 da FEPAM (FEPAM, 2017), contudo, tomando como base os estudos de Vieira (1999), Waquil et al. (1998) e Tronca (2018) foi adotado um critério restritivo mais conservador: 100 metros do eixo de rodovias federais, de rodovias estaduais e de estradas municipais. O valor também foi adotado por se tratar de um mapeamento em escala estadual. As estradas cujo de propriedade privada apresentadas na Base Cartográfica do Rio Grande do Sul da SEMA/RS (BCRS25) não foram consideradas, visto que tais formas de acessos não são de acesso público e geralmente apresentam condições mais precárias.

Mancha Urbana: Tanto a NBR 15.849/10 (BRASIL, 2010), quanto a NBR 13.896/97 (BRASIL, 1997), recomendam uma distância mínima da área útil do aterro a núcleos populacionais vizinhos de 500 m. Já a Diretriz Técnica 01/2017 da FEPAM estabelece que o aterro sanitário deverá atentar



para um distanciamento mínimo de residências de 500 metros de núcleos populacionais e 2000 metros de área urbanizada. Na Base Cartográfica do Rio Grande do Sul da SEMA/RS (BCRS25) e arquivo Localidades - Área Edificada não apresenta diferenciação entre núcleos populacionais e área urbanizada, portanto optou-se na realização de distanciamento de 500 metros.

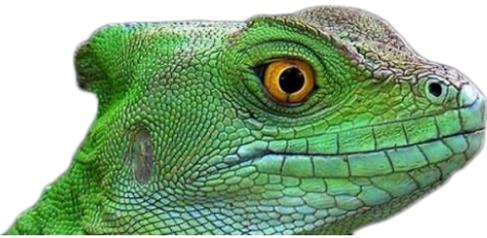
Áreas Protegidas: A Diretriz Técnica 01/2017 da FEPAM estabelece diversas considerações em relação às Áreas Protegidas. O item 7.1.26 da DT 01/2017 estabelece que se deve considerar preservação ao longo dos cursos d'água, nascentes permanentes ou temporárias, topos de morros e demais áreas de preservação permanente, estando estas cobertas ou não por vegetação nativa.

Como já explicado, as nascentes permanentes ou temporárias devem ser avaliadas no processo de licenciamento numa escala mais local do empreendimento. É importante salientar que através de uma análise realizada pelo autor do trabalho, o PERS, atualmente utilizado no licenciamento desse tipo de empreendimento, é ainda mais generalista do que esse trabalho propõe. Portanto cabe uma avaliação secundária o cumprimento dessa norma.

O item 7.1.29 da DT 01/2017, estabelece que se deve considerar Unidades de Conservação no entorno do empreendimento em um raio de 10 Km nos âmbitos Estadual e Municipal, e quando no âmbito Federal observar a legislação vigente. Serão utilizados a base da FEPAM que delimita as Unidades de Conservação e que são utilizados no licenciamento de empreendimento no momento que esse trabalho foi realizado. Também foi considerado a base cartográfica do Ministério do Meio Ambiente para o estabelecimento das unidades de conservação, no entanto não foi encontrado o ano que a base representava. Avaliou-se a base de dados e foi reparado que a base continha informações complementares à BCRS25 (SEMA/RS, 2018).

Terrenos Sujeitos a Inundações: Locais sujeitos a inundações não são adequados para a implantação de aterros, dessa forma utilizou-se a Base Cartográfica do Rio Grande do Sul da SEMA/RS (BCRS25) que continha mapeado essas áreas. Apesar da DT 04/2017 da FEPAM em seu item 7.1.8 determinar que seja respeitado um tempo de retorno de 100 anos, optou-se por utilizar o dado oficial da SEMA/RS, pois mapear os locais sujeitos a esse evento não é o objetivo do presente trabalho.

Aeródromos: a Lei Federal 12.725/12 estabelece como Área de Segurança Aeroportuária uma área circular definida a partir do centro geométrico da maior pista do aeródromo ou do aeródromo militar, com 20 km de raio, cujo uso e ocupação estão sujeitos a restrições especiais. Nessas áreas, não são permitidas atividades atrativas de fauna ou com potencial de atração, como vazadouros de resíduos sólidos e atividades semelhantes, e aterros sanitários e assemelhados, conforme a citada lei.



Definição dos Critérios de Aptidão: serão apresentados os critérios de aptidão considerados para esse trabalho, assim como o processo de padronização considerados. A padronização é utilizada de forma que as características distintas utilizados no trabalho possam ser passíveis de avaliação conjunta. O processo de padronização também faz com que cada variável de análise seja hierarquizada internamente (TRONCA, 2018). As características de cada critério de aptidão foram convertidas para o valor de um byte, entre 0 e 255, em que 0 significa menor aptidão de implantação de aterros sanitários e 255, máxima aptidão de implantação de aterros sanitários.

Declividade: A NBR 13.896/2010 (BRASIL, 2010) recomenda locais com declividade superior a 1% e inferior a 30 %. Já a DT 04/2017 da FEPAM recomenda que a área escolhida esteja situada em regiões entre 2% e 20%, intervalo escolhido para o presente trabalho. O fator de declividade também possui outras características que devem ser avaliadas, locais de menor declividade necessitam de menos obras para terraplanagem e favorecem as movimentações de solo e de resíduo. Também possuem menor tendência de erosão e oferecem condições menos críticas ao sistema de drenagem de chorume e de desvio de água pluvial. Em contra partida, declividades muito baixas podem oferecer riscos de alagamento.

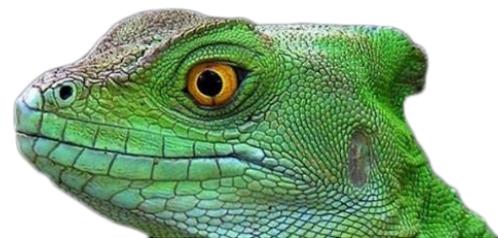
A hierarquização utilizada neste trabalho é sugerido por Tronca (2018), que utiliza a classificação de declividade por Ramalho Filho e Beek (1995), conforme mostra a Tabela 2, respeitando o intervalo determinado na DT 04/2017 da FEPAM.

Tabela 2 - Valores de Aptidão para o fator declividade.

Declividade	Classificação	Valor de Aptidão
0 - 2 %	Suave	0
2 - 3 %	Suave	255
3 - 8 %	Suavemente Ondulado	215
8 - 13 %	Moderadamente Ondulado	190
13 - 20 %	Ondulado	100
20 - 45 %	Fortemente Ondulado	0
45 - 100 %	Montanhoso	0
> 100%	Escarpado	0

Fonte: Tronca (2018)

Assim atribuiu-se valores maiores para os locais entre 2 -3 % e decrescendo ao decorrer do aumento da declividade. Os mapas de declividade foram elaborados com base nos Modelos Digitais de Terreno STRM (Shuttle Radar Topography Mission), de resolução de 30 metros, da agência norte-americana USGS (United States Geological Survey).



Pedologia: Dentre as diversas características do solo e do terreno que podem influir na retenção ou na lixiviação, na erosão e no escoamento superficial, são importantes os seguintes fatores: profundidade do solo (definindo o volume de solo disponível para o armazenamento e a distância da água subterrânea), o teor de argila no solo (influindo no volume de poros e na capacidade de sorção), a drenagem do solo (definindo a proximidade do lençol freático e a condição de saturação do solo). O estabelecimento dos graus de limitação para cada característica do solo permite definir classes de aptidão dos solos com vistas à aplicação de resíduos. Segundo este critério, o risco de danos ambientais cresce com o aumento do de limitação nas características do solo ou do terreno (STRECK et al., 2018).

As informações de classificação do solo e textura da EMBRAPA (2013) foram avaliadas em conjunto com o livro Solos do Rio Grande do Sul 3ª Edição de 2018 (STRECK et al., 2018), o qual apresenta um capítulo de avaliação da aptidão dos solos para aplicação de resíduos. Os autores do livro dividem o solo em 4 categorias: adequada, regular, restrita e inadequada.

Adequada: os solos possuem boa capacidade de sorção de nutrientes (e contaminantes), e o escoamento superficial é facilmente controlável por práticas mecânicas de conservação - Latossolos, Nitossolos e Argissolos argilosos. Regular: solos que requerem práticas de contenção de enxurradas, podendo receber aplicações menores de resíduos ou com menor frequência em comparação com a adequada - Latossolo de textura média e Argissolos com mudança estrutural abrupta e profundidade < 100 cm. Restrita: as condições do solo dificultam a retenção (sorção) de nutrientes e o controle do escoamento superficial, ou aumentam o risco de erosão e de contaminação das águas superficiais e subsuperficiais - Argissolos de textura arenosa, Chernossolos e Luvisolos com restrições de profundidade, Chernossolos, Planossolos e Vertissolos com limitações pela presença de argilas expansivas ou drenagem imperfeita, Neossolos Quartzarenicos Orticos e Neossolos Regolíticos por restrições quanto à sua profundidade. Inadequada: solos que praticamente não permitem a construção de barreiras físicas para o controle de enxurradas em áreas declivosas, ou são sujeitos a inundação em áreas baixas, favorecendo a contaminação das águas pelos resíduos - Planossolos, Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos, Neossolos Flúvicos, Gelissolos e Organossolos (STRECK et al., 2018). A base de dados utilizada apresentou um total de 51 classificações de solos no Rio Grande do Sul, contando áreas urbanas, dunas, afloramentos de rocha. Já adotando-se as características de textura, resultou num total de 98 classificações que foram pontuadas.

Hidrogeologia: A hierarquização levou em conta o tipo de aquífero e as rochas ou sedimentos que estão associados. Dessa forma foi possível avaliar a vulnerabilidade dos aquíferos associados a



cada sistema. As informações foram obtidas através do Mapa Hidrogeológico do Rio Grande Do Sul na escala de 1:750.000 (CPRM, 2005). A base de arquivos, CPRM (2010) - Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul possui diversas informações e uma delas é respectivo à hidrogeologia. A pontuação final é apresentada na Tabela 3. A hierarquização levou em conta o tipo de aquífero e as rochas ou sedimentos que estão associados. Dessa forma foi possível avaliar a vulnerabilidade dos aquíferos associados a cada sistema. As informações foram obtidas através do Mapa Hidrogeológico do Rio Grande Do Sul na escala de 1:750.000 (CPRM, 2005). A base de arquivos, CPRM (2010) - Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul possui diversas informações e uma delas é respectivo à hidrogeologia.

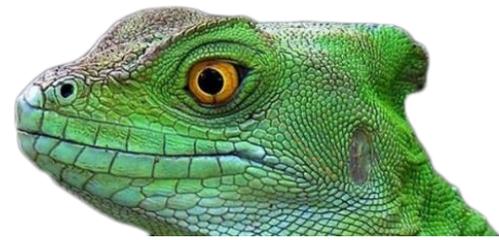
Os aquíferos associados a sedimentos são os menos propícios a instalação de aterros, pois em geral, são associados a sedimentos que possuem maior permeabilidade e a aquíferos livres com níveis de água mais próximos da superfície. Esses englobamos Sistemas Aquíferos Quaternário Costeiros, Sistemas Aquíferos Deltaicos e o Sistemas Aquíferos Quaternário Indiferenciado e Sistemas Aquífero Quaternário Costeiro

Os aquíferos associados a rochas sedimentares são os menos propícios, mas um pouco menos vulneráveis que os anteriores. Em geral são aquíferos associados a camadas de arenitos, podem ter aquíferos livres, semiconfinados a confinados com profundidades dos níveis de água variáveis, mas um pouco mais profundos que a classe anterior. Essa classe engloba Sistemas Aquífero Guarani (Botucatu, Piramboia, Guará, Santa Maria, Sanga do Cabral e entre outros) e o Sistemas Aquífero Palermo/Rio Bonito.

Os aquíferos associados a rochas vulcânicas possuem uma suscetibilidade moderada, pois englobam aquíferos livres a confinados associados às fraturas e estruturas de rochas vulcânicas. Essas rochas apresentam estruturas com entradas e níveis de água localizadas em profundidades variáveis. Essa classe engloba o Sistema Aquífero Serra Geral I e II

Os aquíferos associados às rochas graníticas/metamórficas geralmente englobam os aquíferos livres a confinados (cobertos) associados as fraturas das rochas. Essas rochas apresentam menos estruturas que as vulcânicas, com entradas de água localizadas em profundidades variáveis e com níveis de água localizados em profundidades também variáveis. Nessas formações hidrogeológicas, a implantação de aterros sanitários seria mais adequada do que a anterior. A classe é representada pelo Sistema Aquífero Embasamento Cristalino.

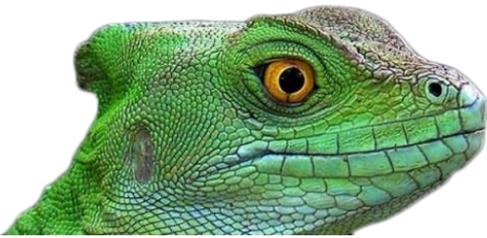
Aquíferos associados a Rochas Sedimentares com granulometria fina seriam os mais propícios, pois há pouca ocorrência de água subterrânea. As rochas em geral são de granulometria fina (argilitos, folhelhos) e há baixa permeabilidade. Os aquíferos têm baixa produção e estão associados,



geralmente, a fraturas, com níveis estáticos mais profundos. Essa classe engloba os Aquitardos Permianos e Aquicludes Paleozoicos.

Tabela 3 - Pontuação dos Sistemas Aquíferos.

Sistema Aquífero	Produtividade	Valor de Aptidão
Aquicludes Eo-Paleozoicos	Aquíferos Praticamente Improdutivos Em Rochas Com Porosidade Intergranular Ou Por Fraturas	255
Aquitardos Permianos	Aquíferos Limitados De Baixa Possibilidade Para Água Subterrânea Em Rochas Com Porosidade Intergranular Ou Por Fraturas	255
Sistema Aquífero Embasamento Cristalino I	Aquíferos Com Média A Baixa Possibilidade Para Águas Subterrâneas Em Rochas Com Porosidade Por Fraturas	191
Sistema Aquífero Embasamento Cristalino II	Aquíferos Limitados De Baixa Possibilidade Para Água Subterrânea Em Rochas Com Porosidade Intergranular Ou Por Fraturas	191
Sistema Aquífero Embasamento Cristalino III	Aquíferos Praticamente Improdutivos Em Rochas Com Porosidade Intergranular Ou Por Fraturas	191
Sistema Aquífero Serra Geral I	Aquíferos Com Alta A Média Possibilidade Para Águas Subterrâneas Em Rochas Com Porosidade Por Fraturas	127
Sistema Aquífero Serra Geral II	Aquíferos Com Média A Baixa Possibilidade Para Águas Subterrâneas Em Rochas Com Porosidade Por Fraturas	127
Sistema Aquífero Serra Geral III	Aquíferos Praticamente Improdutivos Em Rochas Com Porosidade Intergranular Ou Por Fraturas	127
Sistema Aquífero Basalto Botucatu	Aquíferos Praticamente Improdutivos Em Rochas Com Porosidade Intergranular Ou Por Fraturas	96
Sistema Aquífero Botucatu	Aquíferos Praticamente Improdutivos Em Rochas Com Porosidade Intergranular Ou Por Fraturas	96
Sistema Aquífero Botucatu Piramboia	Aquíferos Com Média A Baixa Possibilidade Para Águas Subterrâneas Em Rochas E Sedimentos Com Porosidade Intergranular	64
Sistema Aquífero Botucatu - Guara I	Aquíferos Com Alta A Média Possibilidade Para Águas Subterrâneas Em Rochas E Sedimentos Com Porosidade Intergranular	64
Sistema Aquífero Palermo Rio Bonito	Aquíferos Com Média A Baixa Possibilidade Para Águas Subterrâneas Em Rochas E Sedimentos Com Porosidade Intergranular	64
Sistema Aquífero Sanga Do Cabral Piramboia	Aquíferos Com Média A Baixa Possibilidade Para Águas Subterrâneas Em Rochas E Sedimentos Com Porosidade Intergranular	64
Sistema Aquífero Santa Maria	Aquíferos Com Alta A Média Possibilidade Para Águas Subterrâneas Em Rochas E Sedimentos Com Porosidade Intergranular	64
Sistema Aquífero Quaternário Barreira Marinha	Aquíferos Com Alta A Média Possibilidade Para Águas Subterrâneas Em Rochas E Sedimentos Com Porosidade Intergranular	0
Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I	Aquíferos Com Alta A Média Possibilidade Para Águas Subterrâneas Em Rochas E Sedimentos Com Porosidade Intergranular	0
Sistema Aquífero Quaternário Costeiro II	Aquíferos Com Média A Baixa Possibilidade Para Águas Subterrâneas Em Rochas E Sedimentos Com Porosidade Intergranular	0



Sistema Aquífero	Produtividade	Valor de Aptidão
Sistema Aquífero Quaternario Indiferenciado	Aquíferos Com Alta A Média Possibilidade Para Águas Subterrâneas Em Rochas E Sedimentos Com Porosidade Intergranular	0
Sistema Aquífero Sedimentos Deltaicos	Aquíferos Com Alta A Média Possibilidade Para Águas Subterrâneas Em Rochas E Sedimentos Com Porosidade Intergranular	0

Fonte: Autor

Optou-se também por aumentar a pontuação do Sistema Aquífero Basalto Botucatu e do Sistema Aquífero Botucatu, pois apresentam característica de produtividade mais adequado para a implantação de aterros. O aumento da pontuação se deu ainda respeitando a hierarquia estabelecida.

Fratura: As fraturas delimitadas representam uma maior possibilidade de ocorrência de água subterrânea, assim como maior possibilidade de existência de outras fraturas. Dessa maneira atribuiu-se um perímetro de 200 metros ao redor das fraturas delimitadas pela base vetorial da CPRM de Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul (2010). Os locais fora do alcance do perímetro possuem pontuação máxima. Já os locais dentro do perímetro possuem pontuação nula.

Uso do Solo: Para a avaliação do uso do solo, utilizou-se o mapeamento feito pelo Projeto MapBiomias (2019) – Coleção 2018

da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. . Todo processo é feito com extensivos algoritmos de aprendizagem de máquina (machinelearning) através da plataforma Google Earth Engine que oferece imensa capacidade de processamento na nuvem (MapBiomias, 2019). No ano de 2018 para o estado do Rio Grande do Sul, o uso do solo é composto pelas classes apresentadas na Tabela 4. A tabela já apresenta os valores de aptidão estabelecida pelo autor desse trabalho.

Segundo Kampf et al. (2008), as limitações do solo ao uso agrícola coincidem, geralmente, com as limitações na sua aptidão para o descarte de rejeitos. Assim, locais caracterizados como terras agrícolas, foram classificados com valores de máxima aptidão, bem como as pastagens.

A classificação atribuída foi conservadora quanto às formações naturais. Os campos são muito representativos no bioma pampa, que é predominante no estado. Em vista da conservação da paisagem natural, atribuiu-se valor de aptidão 0, assim como formação florestal, praia e dunas e para as áreas úmidas. Os três últimos são extremamente desfavoráveis: praias e dunas pela permeabilidade alta do solo e condições desfavoráveis para construções estáveis sem utilização de técnicas avançadas de construção; já as áreas úmidas possuem uma grande biodiversidade presente nela tanto vegetal quanto animal que devem ser mantidas e preservadas, além disso a presença de água desfavorece esse tipo de empreendimento.



Para as florestas plantadas foi atribuída pontuação máxima, pois normalmente refletem áreas de silvicultura onde o ciclo de corte é curto, assim por já terem substituído as formações naturais, assim como pastagens e agricultura, atribuiu-se valor máximo, 255.

Tabela 4 - Valores de Aptidão para o Uso do Solo.

Classificação	Valor de Aptidão
Formação Florestal	0
Floresta Plantada	255
Área úmida Natural não Florestal	0
Formação Campestre (Formação Natural)	0
Afloramento Rochoso	50
Pastagem	255
Cultura Anual e Perene	255
Mosaico De Agricultura e Pastagem	255
Praia e Duna	0
Infraestrutura Urbana	0
Mineração	255
Outra Área não Vegetada	0
Rio, Lago e Oceano	0

Fonte: Autor

Os afloramentos rochosos foram considerados de baixa suscetibilidade, mas não nula, pois teria possibilidade da presença de fraturas, além do que haveria muitos custos para transporte de solo argiloso, que é amplamente utilizado nesse tipo de empreendimento.

Uso de solo pela Mineração são locais que já são normalmente muito degradados e que já sofreram diversas mudanças no uso do solo e paisagem natural. Atribuiu-se valor máximo em vista de uma possível utilização desses locais já degradados para a atividade de aterro sanitário, não sendo necessário utilização de locais não degradados. Além disso esses locais sofreram revolvimento da pedologia local devido à escavação.

Foi estabelecido para a classe de Outras Áreas não Vegetadas o valor de 0, pois essas regiões podem apresentar erosão do solo em estágio avançado, formando areais, ou serem depósitos de sedimentos ao longo da calha de rios. Na primeira possibilidade o local encontra-se degradado pela erosão, uma característica não desejada para implantação de aterro, assim como locais perto de cursos hídricos.

Distância de Recursos Hídricos: Foi considerado um aumento da aptidão ao se distanciar de recursos hídricos. O aumento ocorre até um limite de 1000 metros onde o valor de aptidão se torna fixo, ou seja, 255. O começo da pontuação é respectivo ao distanciamento de 200 metros, que é a



restrição considerada. Quanto mais distante, menor é a chance de se ocorrer contaminações por meio da percolação do lixiviado.

Distância do Sistema Viário: O fator distância do aterro ao sistema viário onera consideravelmente os custos do aterro sanitário, uma vez que a abertura de um acesso para a área encarece os custos de implantação e de operação, além de que a abertura de estradas causa impactos ambientais no meio biótico local (TRONCA, 2018). Assim foi utilizado o mesmo princípio da restrição, no entanto com uma função decrescente, em que a pontuação diminui com a distância.

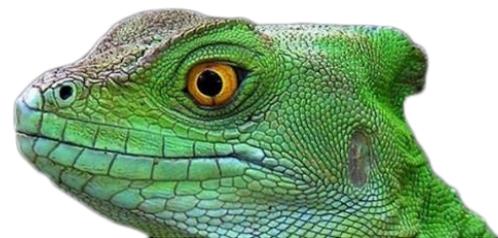
Quanto mais próxima de uma rodovia estiver a área em análise (limitado ao critério restritivo de 100 metros) mais apta ela será para a implantação do aterro, pois menores serão os custos de transporte, e não serão necessárias novas obras de rodovias (TRONCA, 2018). O valor mínimo atribuído foi de 3000 metros de distanciamento das rodovias municipais, estaduais e federais.

Distância de Manchas Urbanas: A distância em que a mancha urbana se encontra é uma das condições que mais impacta o meio ambiente e também a sociedade, o custo envolvido no transporte dos resíduos são muito altos, pois grande parte desses são levados a grandes distâncias, havendo gasto de combustíveis pelos transportes, assim como os impactos causados por isso. No entanto a proximidade destes de núcleos populacionais não é desejada pela população pela possibilidade de contaminação, aumento do fluxo rodoviário e possibilidade de mau cheiro. Portanto foi considerado os valores estabelecidos pela norma de distanciamento mínimo de 500 metros de núcleos populacionais, e, já como não foi possível diferenciar núcleos populacionais com as áreas urbanizadas, estabeleceu-se uma função linear crescente até o limite de 2000 metros – estabelecido pela DT FEPAM (2017). Esse valor foi mantido constante até um distanciamento de 5000 metros, e depois disso decresce até atingir o mínimo da pontuação em 15000 metros

Tabela 5 - Ponderação dos Fatores de Aptidão.

Fator	Valor 0-1	Peso
Declividade	1,00	0,16
Distância do sistema viário	0,75	0,12
Distância de manchas urbanas	1,00	0,16
Pedologia	0,90	0,144
Uso do solo	0,80	0,128
Distância de recursos hídricos	1,00	0,16
Hidrogeologia	0,60	0,096
Fraturnas	0,20	0,032

Fonte: Autor

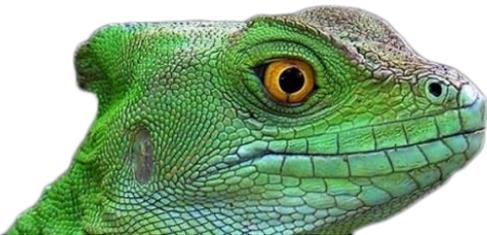


Ponderação e Agregação dos Dados: Estabeleceu-se um valor de importância de 0 a 1 para cada atributo considerando o grau de importância estabelecido pelo autor do trabalho, após estabeleceu-se uma porcentagem do atributo no valor final de um pixel. Os valores e as porcentagens são apresentados na **Tabela 5**. O mapa de aptidão para a instalação de aterros sanitários, obtido a partir dessa avaliação por múltiplos critérios, foi reclassificado em 4 intervalos. Para se fazer comparação com o mapa apresentado no PERS (2014) será usada a nomenclatura sensibilidade ambiental, o qual os menores valores do pixel (de 0 a 255) serão nomeadas de sensibilidade alta e os maiores valores, de sensibilidade muito baixa, sendo esse último a classificação em que a suscetibilidade para implantação de aterros é maior. Esse último representa as áreas onde a FEPAM requisita menos estudos ambientais. Utilizou-se as mesmas porcentagens de divisão de classes.

| RESULTADOS E DISCUSSÕES |

Os resultados dos processamentos são apresentados num único mapa composto pelos critérios de restrição e aptidão, assim como já separado nas classificações propostas para comparação com o PERS (Sema, 2018). O mapeamento é representado na Figura 1e resultou em maiores suscetibilidades à implantação de aterros na região norte do estado, localizado no planalto. Nessa região há uma grande densidade de manchas urbanas, assim como maior densidade de sistema viário. Há menos recursos hídricos comparando com a região central e o tipo de solo presente é favorável à essa atividade, apresentando textura muito argilosa e o uso da terra é predominado por uso agrícola de culturas anuais e perenes. Todos esses fatores descritos influenciaram para que essa região fosse mapeada como a mais apta. Os locais de maior suscetibilidade, ou seja, mais baixa sensibilidade ambiental são apresentados de forma mais detalhada comparando-se com a simbologia proposta na Nota Técnica da FEPAM (2019). A região do planalto mantém-se predominantemente mais suscetível à implantação de aterros sanitários com pequenas parcelas na depressão central. O uso do solo, a pedologia e a presença de mancha urbana e consequentemente, densidade de rodovias, foram determinantes para que esses locais estejam nessa classificação.

Numa macro avaliação, as duas metodologias (Figura 2) apresentam a região centro do planalto riograndense com sensibilidade ambiental mais baixa para implantação de aterros sanitário. Além disso, a metodologia empregada neste trabalho resultou em restrições maiores quando comparado ao PERS (2014) na região da depressão central, havendo menos regiões com classificadas como sensibilidade muito baixa, principalmente na porção leste dessa macrorregião



geológica próxima ao Lago Guaíba (Figura 3). Em relação ao escudo cristalino, a metodologia deste trabalho apresentou diminuição da sensibilidade ambiental.

No extremo oeste do estado, também localizado no planalto riograndense, nas duas metodologias há predomínio de sensibilidade ambiental alta, no entanto a metodologia deste trabalho apresenta mais regiões de média e baixa sensibilidade ambiental.

Enquanto no PERS aparenta ter a maioria das regiões classificadas em sensibilidade ambiental alta, este trabalho possui predomínio das regiões classificadas como baixas e médias.

Numa microanálise, o mapa do PERS (2014) apresenta regiões de muito baixa sensibilidade ambiental localizadas principalmente ao redor de rodovias. Já na metodologia deste trabalho, pelas ponderações consideradas, as regiões com mais baixa sensibilidade ambiental estão localizadas principalmente longe dos recursos hídrico, no mínimo 1 km de distância destes, característica visível na Figura 3.

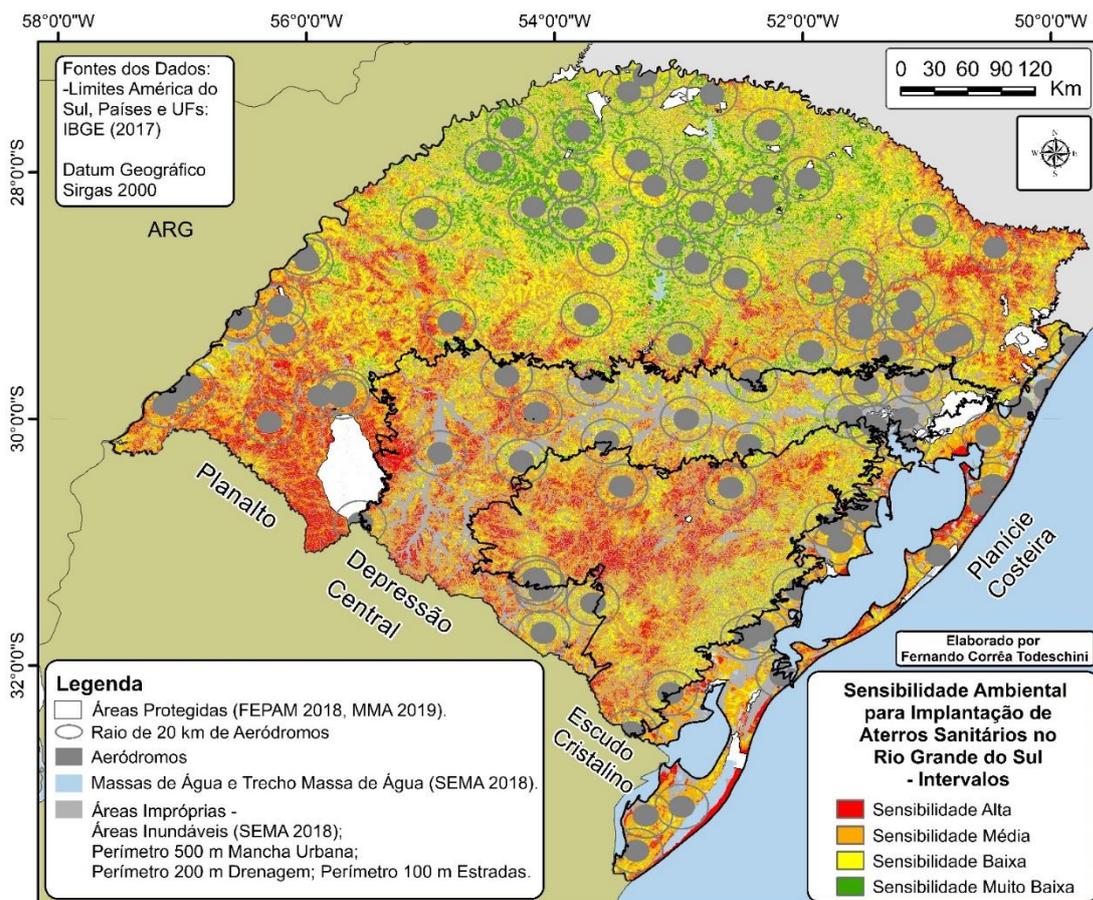


Figura 1 - Mapa Final de Áreas Ambientalmente Sensíveis à Implantação de Aterros Sanitários no Estado do Rio Grande do Sul com Critérios Restritivos. Fonte: Autor

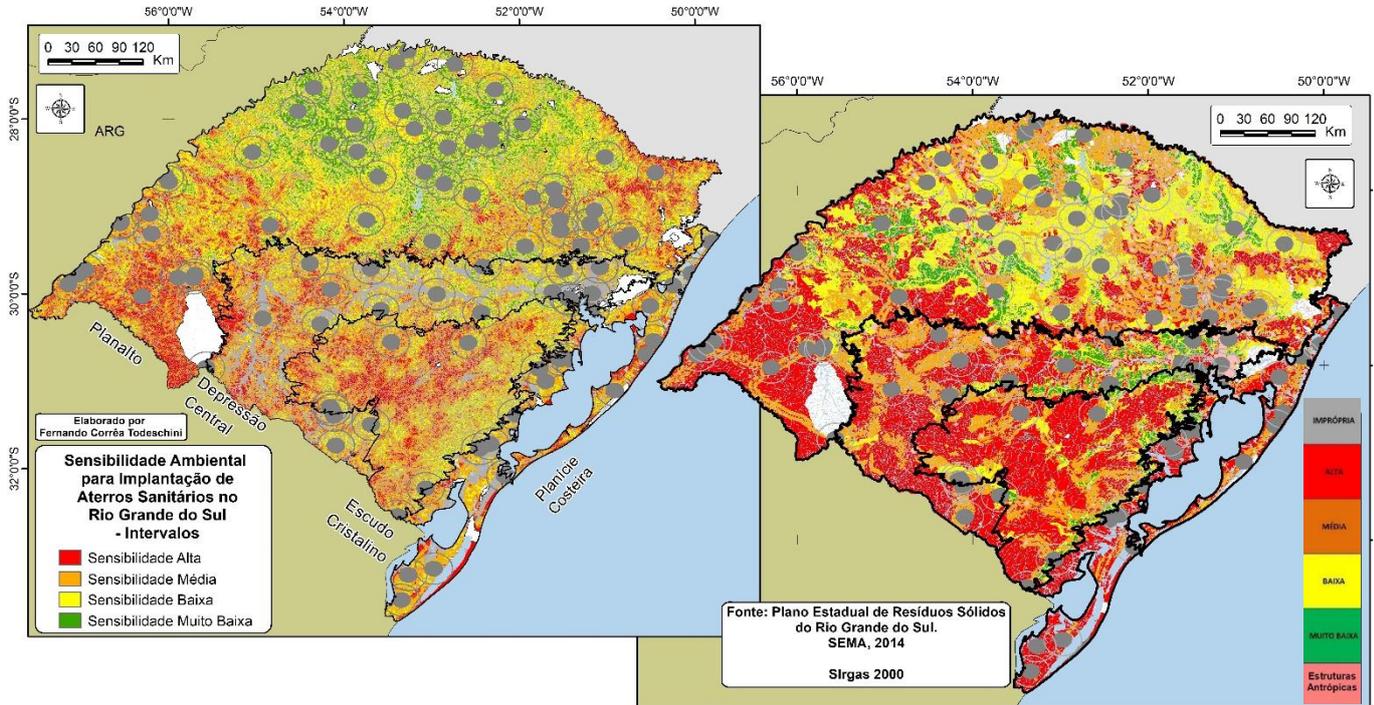
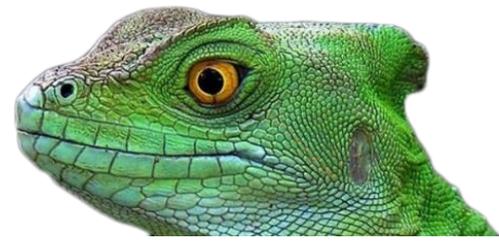


Figura 2 - Comparativo das Duas Metodologias. Fonte: Autor e Adaptado de SEMA (2014)

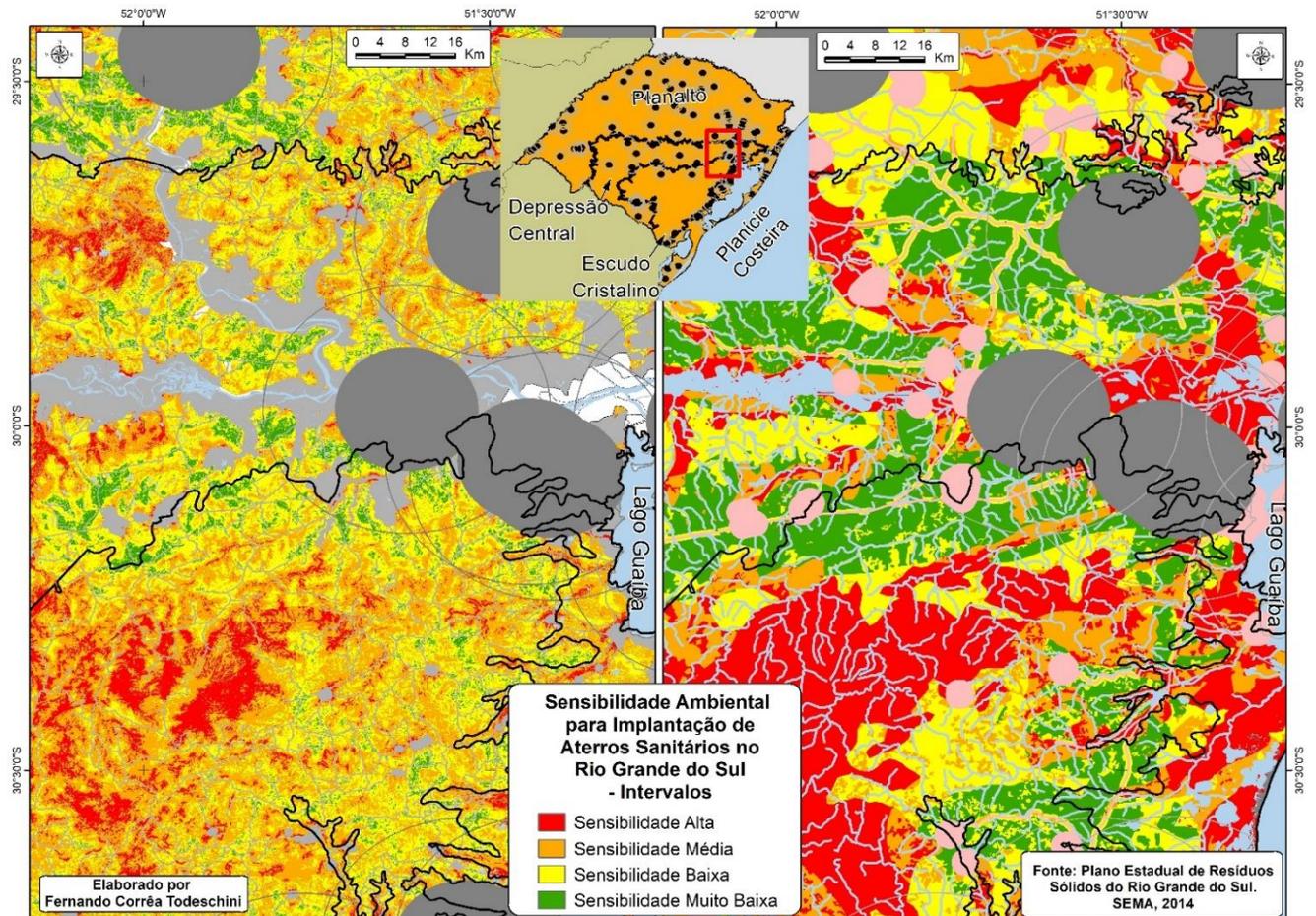


Figura 3 - Comparativo do Detalhamento das Duas Metodologias. Fonte: Autor e Adaptado de SEMA (2014)



| CONSIDERAÇÕES FINAIS |

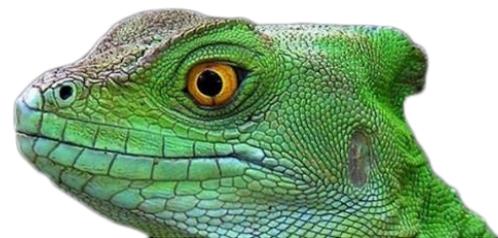
O emprego de geoprocessamento para classificação da sensibilidade ambiental de áreas para implantação de aterros sanitários mostrou-se ser de muita aplicabilidade. Esse tipo de análise anterior à implantação da atividade permite melhor avaliação dos locais no sentido econômico, tanto para o empreendimento, quanto para a sociedade, como também no sentido ambiental ao se definir locais onde a possibilidade de ocorrências de poluição e movimentação destes seja minimizada. Assim é possível racionalizar recursos financeiros e optar por locais mais adequados do ponto de vista operacional e técnico.

A metodologia utilizada nesta pesquisa pretendeu avaliar a sensibilidade ambiental para o estado a partir de parâmetros também utilizados em fontes bibliográficas que avaliam numa escala municipal. Ao se avaliar apenas parâmetros dentro de um município, a inexistência de classes na região pode acarretar numa diferente escala de pontuação. Por exemplo: no quesito da pedologia, num município onde há apenas argissolos de textura predominante argilosa/média, essa característica poderia ser classificada com pontuação máxima. Já no presente trabalho, atribuiu-se uma pontuação menor, pois, de modo geral, antes desses no estado existem Latossolos e Nitossolos de textura muito argilosa.

A resolução aplicada a essa pesquisa pode ser considerada superestimada devido às escalas das bases de dados. As fontes de Uso do Solo do Projeto MapBiomias (2018) e Modelo Digital de Elevação da SRTM (2013) são os de maior detalhamento – 30 metros. Seguidos pela Base Cartográfica do Estado do Rio Grande do Sul - BCRS25 (SEMA, 2018), cujas escalas são de 1:25.000. Após isso, as duas fontes de dados de menor escala respectivo à hidrogeologia e às fraturas tiveram decréscimo na influência do mapeamento e também pelas suas generalizações. Por outro lado, já como a avaliação se deu para todo o estado do Rio Grande do Sul, é possível aplicar esses dados de resolução menos detalhada.

Ao decorrer do avanço de pesquisas aeroespaciais do estado e maior disponibilidade de dados com melhor detalhamento é possível fazer novas propostas de ponderações dos fatores e melhorar a resolução resultantes. Além disso, quanto à hidrogeologia, se considerou diversas generalizações no que diz respeito às características dos aquíferos, sendo possível aplicar diferentes pontuação através do melhor entendimento das sensibilidades ambientais de cada formação hidrogeológica.

Atualmente, o processo inicial de licenciamento é realizado através da localização referente no mapeamento ocorrido no PERS. Havendo necessidade de análises posteriores quanto à alguns fatores como: proximidades de recursos hídricos, perímetro de Proteção de Poços entre outros listados na DT FEPAM (2017). Num cenário de uso da metodologia apresentada aqui, tais estudos



ainda seriam necessários apesar de mais restrições impostas, pois ainda assim alguns fatores não foram considerados ou generalizações foram impostas, como perímetro de proteção de poços, exclusão das ordens 1 e 2 dos recursos hídricos, distanciamento mínimo de 2 km de áreas urbanizadas, 2 metros de distância do lençol freático e 10 km de unidades de conservação estaduais e municipais.

Na hipótese de ser apresentado um mapeamento de áreas suscetíveis a inundações num tempo de retorno de 100 anos, critério citado no item 7.1.8 da DT 04/2017 da FEPAM, é possível estabelecer outras áreas restritivas que condizem mais com a diretriz. Quanto ao mapeamento de rede de drenagem, é importante se atentar aos critérios utilizados pela SEMA na definição da rede de drenagem, pois pode ocorrer variações no mapeamento das drenagens devido as mudanças sazonais do estado e característica intermitente e perene de recursos hídricos. Não foi encontrado material que descrevesse o método, assim é importante se atentar quanto à essa limitação. Além disso, os arquivos utilizados não representam as margens reais dos rios, sendo necessário também se atentar quanto ao distanciamento desses e a APP.

Ainda é possível mudar as ponderações impostas para cada fator através de considerações diferentes a cerca destes e após realizar uma análise estatística das mudanças impostas. Além disso, pode-se fazer uma conferência em campo das áreas aqui indicadas como de mais baixa sensibilidade ambiental, assim como os do PERS (2014) ou se fazer um estudo dos atuais aterros do estado em operação e onde estão localizados de acordo com as duas metodologias.

O mapa e arquivos das diretrizes para o Licenciamento Ambiental de Aterros Sanitários no Estado do Rio Grande do Sul pode ser visualizado no seguinte site: "<http://www.fepam.rs.gov.br/LICENCIAMENTO/AREA4/pch-cgh-eolica.asp>". Os links são: 1. Mapa PDF e 2. Mapa Vetorial (208 MB) (acesso em 01/05/2020).

Este artigo é fruto do trabalho de conclusão de curso (TCC) do autor deste trabalho. Todos os arquivos geospaciais utilizados na confecção do mapa final (Figura 1) de confecção do autor deste trabalho estão disponíveis no link <https://drive.google.com/open?id=19KbPPLx7P8E4wKkXqN8K8B0Ipmb1FZ9Q>. Os outros arquivos podem ser achados nas referências bibliográficas especificadas. No link também é disponível o arquivo pdf do TCC.



| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS |

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

_____. 2010. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15849**: Resíduos sólidos urbanos - Aterros sanitários de pequeno porte - Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento. Rio de Janeiro.

ABRELPE. 2017. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. Disponível em <http://abrelpe.org.br/pdfs/panorama/panorama_abrelpe_2017.pdf>. Acesso em 13 de dezembro de 2019.

AMADO, F. 2013. **Resumo Direito Ambiental - Esquematizado**. 1. ed. São Paulo: Editora Método.

BELLEZONI, R.A., IWAI, C.K., ELIS, W., PAGANINI, W .da S., HAMADA, J. 2011. **Investigação de um aterro sanitário de pequeno porte do estado de São Paulo e aspectos normativos**. 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES. Porto Alegre.

BORN, V. 2014. **Avaliação da aptidão de áreas para a instalação de aterro sanitário com o uso de ferramentas de apoio à decisão por múltiplos critérios**. Trabalho de Conclusão de Curso. UNIVATES, Lajeado.

BRASIL. 1954. **Lei nº 2.312**. Normas Gerais sobre Defesa e Proteção da Saúde. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1950-1959/lei-2312-3-setembro-1954-355129-publicacaooriginal-1-pl.html>>. Acesso em 13 de dezembro de 2019.

_____. 1981. **Lei nº 6.938**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1980-1987/lei-6938-31-agosto-1981-366135-publicacaooriginal-1-pl.html>>.

_____. 1988. **Constituição Federal**. <Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>.

_____. 1989. **Lei Nº 7.735**. Dispõe sobre a extinção de órgão e de entidade autárquica, cria o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L7735.htm>.

_____. 1990. **Decreto Nº 99.274**. Regulamenta a Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981, e a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõem, respectivamente sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/Antigos/D99274.htm>.

_____. 1998. **Lei Nº 9.605**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm>.

_____. 2006. **Lei nº 11.428**. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Lei/L11428.htm>.

_____. 2007. **Lei nº 11.445**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm>.



- _____. 2008. **Decreto 6.514**. Vigência Dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6514.htm>.
- _____. 2010a. **Lei nº 12.305**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>.
- _____. 2010b. **Decreto nº 7.404**. Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm>. Acesso em 17 de outubro de 2019.
- CPRM. 2005. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa Hidrogeológico do estado do Rio Grande do Sul**. Disponível em <<http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/5249?show=full>>. Acesso em 01 de dezembro de 2019.
- CPRM. 2010. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Dados, Informações E Produtos. Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <<http://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html>>. Acesso em 17 de outubro de 2019.
- EMBRAPA. 2013. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos 5ª edição**. Brasília, DF : Embrapa, 2018. 356 p. : il. color. ; 16 cm x 23 cm
- ESRI. 2017. **ArcGIS Tutorials-ArcGIS 10.5**. Disponível em <<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.5/main/get-started/arcgis-tutorials.htm> >. Acesso em: 17 outubro. 2019.
- FAN. 2013. Ying; LI, H.; MIGUEZ-MACHO, Gonzalo. **Global patterns of groundwater table depth**. Science, v. 339, n. 6122, p. 940-943, 2013.
- FEPAM. 2001. FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIS ROESSLER. **Mapa de Classificação dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul quanto à Resistência a Impactos Ambientais**. Porto Alegre: FEPAM. 13 p. (n.publ.) Relatório final de consultoria elaborado por Nestor Kämpf. Mapa em meio digital, 2001.
- _____. 2017. FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIS ROESSLER. **Diretriz Técnica 04: Diretriz técnica para o licenciamento ambiental da atividade de disposição final de resíduos sólidos urbanos**. Porto Alegre.
- _____. 2018. FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIS ROESSLER. **Portaria nº18**. Porto Alegre.
- _____. 2019. FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIS ROESSLER. **Nota Técnica**. Mapa e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterros sanitários no estado do rio Grande do Sul - Avaliação regional de áreas para destinação de resíduos sólidos urbanos nota técnica. Porto Alegre.
- FMI. 2019. FUNDO MONETÁRIO INTERNACIONAL. **GDP, current prices. Billions of U.S. dollars**. Disponível em <<https://www.imf.org/external/datamapper/NGDPD@WEO/OEMDC/ADVEC/WEOWORLD>>. Acesso em 15 dezembro. 2019
- FRANÇA, J. L.; VASCONCELLOS, A. C. 2003. **Manual para normalização de publicações técnico-científicas**. 7. ed. Belo Horizonte: UFMG.
- GOMES, L. P., COELHO, O. W., ERBA, D. A., VERONEZ, M. 2001. **Critérios de seleção de áreas para disposição final de resíduos sólidos**. Andreoli, CV Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e



disposição final, 145-163. Critérios de seleção de áreas para disposição final de resíduos sólidos. Andreoli, CV Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final, p. 145-163.

GOMES, L. P.; MARTINS, F. B. 2003. **Projeto, implantação e operação de aterros sustentáveis de resíduos sólidos urbanos para municípios de pequeno porte**. CASTILHOS JUNIOR, A. B. Projeto, implantação e operação de aterros sustentáveis de resíduos sólidos urbanos para municípios de pequeno porte. Rio de Janeiro, ABES, Projeto PROSAB, 2003.

IBAMA. 2019. INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Sobre o Ibama**. Disponível em: <<https://www.ibama.gov.br/institucional/sobre-o-ibama>>. Acesso em 17 de novembro de 2019.

IBGE. 2019. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Banco de Dados de Informações Ambientais (BDiAWeb) – Pedologia**. Disponível em <<https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia>>. Acesso em 04 de dezembro de 2019.

KÄMPF, N. et al. 2008. **Metodologia para classificação de solos quanto à resistência a impactos ambientais decorrentes da disposição final de resíduos**. Fepam em Revista, Porto Alegre, v. 2, n.1, p.11-17, 2008.

LIMA, G. S. 1999. **Seleção de áreas para implantação de aterros sanitários: uma proposta baseada na análise do valor e lógica fuzzy**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil com ênfase em Geotecnia, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

LUPATINI, G. 2002. **Desenvolvimento de um Sistema de Apoio à Decisão em Escolha de Áreas para Aterros Sanitários**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Sanitária Ambiental. PPGEA, UFSC.

MapBiomass. 2019. **Site do Projeto MapBiomass**. Dados e informações. <<http://mapbiomas.org/o-que-e-o-mapbiomas>>. Acesso em 10 de dezembro de 2019.

MELO, A.L.O. de. 2001. **Avaliação e seleção de área para implantação de aterro sanitário utilizando lógica fuzzy e análise multicritério: uma proposta metodológica**. Aplicação ao município de Cachoeiro de Itapemirim. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MI. 1979. MINISTÉRIO DO INTERIOR. **Portaria MINTER nº 53**. Estabelece normas aos projetos específicos de tratamento e disposição de recursos sólidos, bem como a fiscalização de sua implantação, operação e manutenção. Disponível em: <<http://www.legislacaoambiental.com.br/system/files/lglLegislacao/2010/01/11/9886471E-A600-448C-B1BF-C0A4BEA79CD7.pdf>>. Acesso em 17 de novembro de 2019.

MMA. 2019. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos>>. Acesso em 17 de novembro de 2019.

MMA. 2019. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Download de Dados Geográficos – Áreas Especiais**. Disponível em <<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>>. Acesso em 10 de junho de 2019.

NARUO, M. K. 2003. **O estudo do consórcio entre municípios de pequeno porte para disposição final de resíduos sólidos urbanos utilizando Sistemas de Informação Geográficas**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil com ênfase em Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo.

SRTM. 2013. **NASA Shuttle Radar Topography Mission Global 1 arc second**. Distribuído por NASA EOSDIS Land Processes DAAC. Disponível em <<https://doi.org/10.5067/MEaSURES/SRTM/SRTMGL1.003>>. Acesso em 08 de agosto de 2019.



- NASCIMENTO, V.F. 2012. **Proposta para indicação de áreas para a implantação de aterro sanitário no município de Bauru-SP, utilizando análise multicritério de decisão e técnicas de geoprocessamento.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Estadual Paulista, Bauru.
- PNUD. 2019. PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Human Development Report 2019.** Disponível em <<http://hdr.undp.org/en/2019-report/download>>. Acesso em 26 dezembro 2019.
- RAMALHO FILHO, A; BEEK, K.J. 1995. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras.** 3ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPIS.
- SEMA/RS. 2014. SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos do RS.** Disponível em <<http://ww2.fepam.rs.gov.br/bcrs25/>>. Acesso em 10 de agosto de 2019.
- SEMA/RS. 2018. SECRETARIA ESTADUAL DO EMIO AMBIENTE. **Base Cartográfica do Estado do Rio Grande do Sul (BCRS24).**
- SEMA/RS. 2019. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA. SERVIÇOS E INFORMAÇÕES. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS).** Disponível em: <<https://www.sema.rs.gov.br/plano-estadual-de-residuos-solidos>>. Acesso em 17 de novembro de 2019.
- SENADO FEDERAL. 2019. SENADO FEDERAL EM DISCUSSÃO. **Prorrogação do prazo para fim dos lixões gera polêmica.** Notícia. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/emdiscussao/edicoes/residuos-solidos/propostas-gestao-eficiente-e-dinheiro-no-cuidado-do-lixo/prorrogacao-do-prazo-para-fim-dos-lixoes-gera-polemica>>. Acesso em 17 de novembro de 2019.
- SILVA, L. R. M., MATOS, E. T. A. R., FISCILETTI, R. M. S. 2017. **Resíduo sólido ontem e hoje: evolução histórica dos resíduos sólidos na legislação ambiental brasileira.** AREL FAAR, Ariquemes, RO, v. 5, n. 2, p. 126 - 142.
- STECK, Edeimar Valdir et al.; FLORES, Carlos Alberto; SCHNEIDER, Paulo (Clbs.) 2018 **Solos do Rio Grande do Sul.** 3 ed., ver. E ampl. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2018. 252p. il. Color. ISBN 978-85-98842-20-2.
- TRONCA, I. F. 2018. **Análise de planos municipais de saneamento básico e avaliação de áreas de aptidão para a disposição final de RSU.** Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da UFRGS, Porto Alegre.
- TSUHAKO, E. M. 2004. **Seleção Preliminar de Locais Potenciais à Implantação de Aterro Sanitário na Sub-Bacia de Itupararanga (Bacia do Rio Sorocaba e Médio Tietê).** Mestrado (Dissertação). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, 2004.
- VIEIRA, S.J. 1999. **Seleção de áreas para o sistema de tratamento e disposição final dos resíduos sólidos de Florianópolis/SC.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.
- WAQUIL, D. R. D., RODRIGUES, A. L. M., ANGHINONI, M. D. C. M., & ORLANDI FILHO, V. 1998. **Seleção de áreas para tratamento e disposição final de resíduos sólidos na região metropolitana de Porto Alegre, RS.** CPRM.
- WEBER, E.; HASENACK, H. 2000. **Avaliação de áreas para instalação de aterro sanitário através de análises em SIG com classificação contínua dos dados.** Porto Alegre: UFRGS, 2000.
- ZAGONEL, D. G., MARRA, A. B., LIMA, C. S., HEURICH, R., PUNTEL, H. G. 2016. **Diagnóstico da disposição final de resíduos sólidos urbanos gerados no estado do Rio Grande do Sul - 2014 e 2015.** 10º Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, PUCRS-RS.