

Seleção de áreas adequadas para a instalação de aterro sanitário utilizando SIG e análise multicritério - estudo de caso: UGRHI 5 (Piracicaba/Capivari/Jundiá)

Luciana Maria Gasparelo Spigolon¹
Natália da Costa Souza²
Ana Paula Camargo Larocca¹
Mariana Abrantes Giannotti²
Mario Augusto Tavares Russo³
Joaquim Mamede Alonso³

¹Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo - EESC/USP
Av. Trabalhador São-carlense, 400 - CEP: 13566-590, São Carlos – SP – Brasil
luspigolon@usp.br, larocca.ana@usp.br

²Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - EPUSP
Av. Prof. Luciano Gualberto, Travessa 03, nº 380 - CEP: 05508 - 010, SP – Brasil
nataliacostaptr@usp.br, mariana.giannotti@usp.br

³Instituto Politécnico de Viana do Castelo – IPVC
Praça General Barbosa, CEP: 4900-347, Viana do Castelo - Portugal
mariorusso@estg.ipvc.pt, malonso@esa.ipvc.pt

Abstract. The selection of the suitable landfill sites can be viewed as a complex multicriteria decision making problem that requires an extensive evaluation process of potential landfill site and other factors. In this paper, the combination of GIS and the Analytic Hierarchy Process (AHP) are applied to select the best landfill site in Unit for Water Resources Management 5 (UWRM 5), located East of the state of São Paulo – Brazil. The justification for defining the area is given by the availability and easy access to spatial databases, the economy of the region (considered one of the most important in Brazil, accounting for 7% of GDP), population (covers 57 cities, with approximately 5 million of people), as well as having an area of approximately 14.040 km². Fourteen variables selected were recognized as most important, divided into, environmental, social and economic groups, and were evaluated by and were weighted according to the frequency of occurrence of the variable sets of criteria have been cited in the literature review. Weighted spatial layers were combined into a landfill suitability map which resulting in a final suitability map. According to the results, 48.7% of the area of WRMU 5 is medium suitable and suitable 38% for landfill siting. The low suitable areas cover 13.3%, inadequate areas 0,02%. Sites of character restriction will be conducted in future work. This caution is due to avoid possible failures in the spatial operation process.

Palavras-chave: household solid waste geographic information system (GIS), selection of suitable potential sites, criteria, resíduos sólidos domiciliares, aterro sanitário, sistema de informação geográfica (SIG), seleção de potenciais áreas adequadas, critérios.

1. Introdução

A complexidade em selecionar áreas para a instalação de aterros sanitários é senso comum na literatura sobre o assunto. Russo (2003) enfatiza que a escolha de locais candidatos à implantação de sistemas de tratamento de RSU, em que se inclui o aterro sanitário, é o obstáculo mais difícil de ultrapassar no desenvolvimento dessas infraestruturas sanitárias. Para Piedade e Aguiar (2010) a escolha do terreno revela-se bastante complexa, na medida em que é difícil encontrar um local que reúna todos os requisitos para a construção e operação deste tipo de infraestrutura. De acordo com o CEMPRE (2010) uma área adequada significa menores riscos ao meio ambiente e a saúde pública, mas, fundamentalmente, significa menores gastos com preparo, operação e encerramento do aterro. Outro aspecto a considerar é a rejeição da comunidade na instalação de infraestruturas não desejadas, esse tipo de comportamento é conhecido mundialmente pela expressão *Not In My Back Yard* (NIMBY).

Os trabalhos de viabilização exigem, assim, a compatibilização de vários fatores, buscando-se o equilíbrio entre aspectos sociais, alterações no meio ambiente e custos envolvidos (CEMPRE, 2010).

Nesse contexto, a aplicação de técnicas de geoprocessamento associadas a métodos análise multicritério para a seleção de áreas adequadas para a instalação de sistemas de tratamento e disposição final de RSU têm sido discutida por diversos autores: Vesiljević *et. al.* (2012); Gbanie *et. al.* (2012); Montañó *et. al.* (2012); Tavares *et. al.* (2011); Aragonés-Beltrán (2010); Delgado *et. al.* (2008) e Kontos *et. al.* (2005). As pesquisas, em sua maioria, enfatizam a capacidade de manuseio de dados espaciais em SIG's, sua eficácia de análise e rapidez de processamento, contextualizando-os nas questões que contemplam os desafios de conciliar o desenvolvimento econômico à conservação do meio ambiente.

Dessa forma, o objetivo do artigo é utilizar o SIG para identificar áreas adequadas para a instalação de aterro sanitário a partir da seleção de critérios ambientais, sociais e econômicos. Tal procedimento conta com técnicas de análise multicritério (*Analytic Hierarchy Process - AHP*), álgebra de mapas e revisão da literatura disponível a respeito dos indicadores de critérios de classificação de adequabilidade de áreas.

2. Metodologia de trabalho

A metodologia para desenvolvimento do artigo baseou-se em 4 etapas distintas resumidas pelo fluxograma metodológico ilustrado pela Figura 1. O detalhe de cada etapa será descrito nos subitens a seguir.

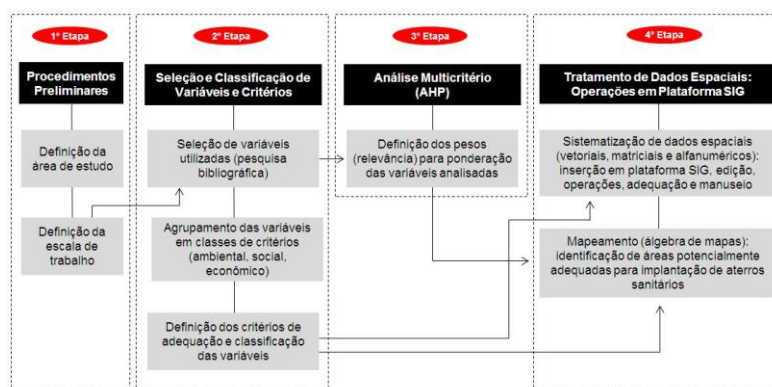


Figura 1: Fluxograma metodológico

2.1. Etapa 1: Procedimentos preliminares: definição da área de estudo e escala de trabalho

A área de estudo do presente artigo é a Unidade de Gerenciamento de Recurso Hídrico Piracicaba/Capivari/Jundiá (UGRHI – 5) localizada a leste do Estado de São Paulo. A Figura 2 ilustra a UGRHI - 5 com seus rios principais, os municípios e UGRHI's limítrofes.

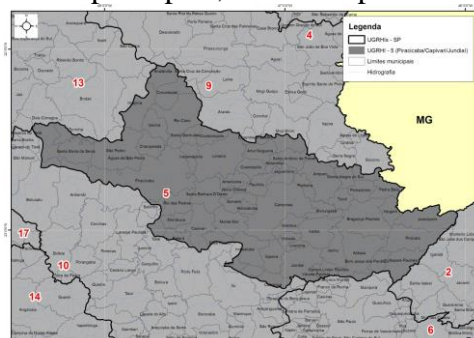


Figura 2: Área de estudo (UGRHI – 5 - PIRACICABA/CAPIVARI/JUNDIAÍ)

A justificativa para definição da área dá-se pela disponibilidade e acesso facilitado a banco de dados espaciais e pela economia da região (considerada uma das mais importantes do Brasil, representando 7% do PIB nacional) e populacionais (abrange 57 municípios, com aproximadamente 5 milhões de habitantes). A região possui uma área aproximadamente 14.040 km². Por conta da diversidade de dados fornecidos e, frente à dificuldade de trabalho em uma única escala cartográfica, admitiu-se, como escala final, a de menor detalhamento oriunda dos mapeamentos intermediários e das bases cartográficas utilizadas.

2.2. Etapa 2: Seleção e classificação de variáveis e critérios

Para a presente pesquisa, foram consultadas publicações referentes ao tema para identificação das principais considerações a cerca das variáveis de maior relevância em estudos similares. A seleção das fontes consultadas baseou-se na data de publicação das pesquisas, relevância da aplicação, experiência dos especialistas na área e objetivos propostos pelo estudo. A Tabela 1 apresenta a seleção de variáveis utilizadas, a relação das referências consultadas e a ocorrência (percentual de frequência das variáveis no universo de pesquisas consultadas).

Tabela 1. Seleção de variáveis, referências consultadas e frequência de ocorrência

GRUPO	VARIÁVEIS	REFERÊNCIAS	FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA (%)
AMBIENTAL	Áreas suscetíveis à erosão	[2]; [4]; [5]; [6]; [7]; [9]	50,00
	Vulnerabilidade ao lençol freático	[1]; [2]; [3]; [6]; [9]; [10]; [11]	58,33
	Cobertura e uso do solo	[1]; [2]; [3]; [4]; [5]; [6]; [7]; [8]; [9]; [10]; [11]	91,67
	Recursos Hídricos	[1]; [2]; [3]; [5]; [6]; [10]; [11]	58,33
	Unidades de Conservação	[2]; [4]; [5]; [6]; [9]; [10]	50,00
	Tipo de Solo	[1]; [2]; [3]; [5]; [6]; [7]; [10]; [11]	66,67
	Clima	[5]; [6]; [12]	25,00
SOCIAL	Distância de aeródromo	[1]; [3]; [10]	25,00
	População afetada	[1]; [2]; [3]; [4]; [5]; [6]; [7]; [8]; [9]; [10]; [12]	91,67
	Impacto visual	[7]; [9]	16,67
ECONÔMICO	Distância ao centro geométrico de coleta	[1]; [3]; [4]; [5]; [6]; [7]; [8]; [9]; [12]	75,00
	Infraestruturas existentes	[1]; [2]; [3]; [4]; [5]; [6]; [8]; [9]; [10]	75,00
	Distâncias das maiores rodovias	[1]; [2]; [3]; [4]; [5]; [6]; [7]; [9]; [10]	75,00
	Declividade do terreno	[2]; [3]; [6]; [7]; [8]; [9]; [10]; [11]; [12]	75,00

Referências: [1] IBAM (2001); [2] Vesiljević *et al.* (2012); [3] Gbanie *et al.* (2012); [4] INR (2002); [5] Piedade e Aguiar (2010); [6] Korucu *et al.* (2012); [7] Perpiña *et al.* (2013); [8] Tavares *et al.* (2011); [9] Aragonés-Beltrán (2010); [10] Delgado *et al.* (2008); [11] Kontos *et al.* (2005); [12] ABNT NBR 13.896/97. * o campo ocorrência (%) representa o percentual de frequência das variáveis no universo de pesquisas consultadas.

Para as 14 variáveis selecionadas, foram definidos 3 grupos de critérios: ambiental, social e econômico. O grupo de critério ambiental está relacionado a fatores que possam causar impacto ao meio ambiental ou, às condições físicas do local. O grupo de critério social está relacionado a fatores que possam interferir na segurança e bem estar das pessoas que vivem próximo da área ou frequentam locais nas proximidades. O econômico está relacionado ao custo de instalação do aterro, ou seja, a proximidade de infraestruturas disponíveis, topografia do terreno, além dos custos de transportes relacionados à distância aos polos geradores de RSD e o tipo de acesso ao aterro sanitário. A definição das classes de adequação dos grupos de critérios baseou-se na resolução CONAMA 4/95 e nas considerações de Montañó *et al.* (2012), Vesiljević *et al.* (2012) e Tavares *et al.* (2011). Os grupos de critérios e as variáveis que os compõem foram classificados em quatro categorias de adequação: (1) inadequada, (2) baixa adequação, (3) média adequação e (4) adequada. A Tabela 2 apresenta a descrição das variáveis, bem como as medidas utilizadas e os intervalos considerados para a classificação das categorias de adequação.

2.3 Etapa 3: Análise Multicritério (AHP - *Analytic Hierarchy Process*)

Os métodos de análises multicritérios são procedimentos metodológicos de cruzamento de variáveis amplamente aceitos nas análises espaciais com SIG. Para o presente trabalho, adotou-se como procedimento a aplicação da técnica AHP (*Analytic Hierarchy Process*). O AHP é um método de análise multicritério baseado na decomposição e síntese das relações entre as variáveis e grupos de critérios, resultando na priorização dos seus indicadores, aproximando-se de uma melhor resposta de medição única de desempenho. É baseada na escala de julgamento definida por Saaty (1977).

Tabela 2. Classificação e definição das categorias de adequação

CLASSES DE ADEQUAÇÃO - ÁREAS POTENCIAIS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERROS						
GRUPO	VARIÁVEIS	DESCRIÇÃO	INADEQUADO	BAIXA ADEQUAÇÃO	MÉDIA ADEQUAÇÃO	ADEQUADO
			1 - 1,75	1,76 - 2,5	2,6 - 3,25	3,26 - 4
AMBIENTAL	Áreas suscetíveis à erosão	Indicação de áreas com suscetibilidade a erosão, inundação e deslizamento de terra.	Reservatórios / Muito alta / Alta / Média-Textura média [1,0]	Medio-textura arenosa [2,0]	Baixa-Textura muito argilosa / Baixa-textura média [3,0]	Baixa-textura argilosa / Baixosolos hidromórficos / Baixosolos latossolo [4,0]
	Vulnerabilidade ao lençol freático	Indicação de áreas vulneráveis ao lençol freático, evitando assim a contaminação das águas subterrâneas.	Alta-Alta / Locais não definidos [1,0]	Alta-Baixa [2,0]	Baixo-Alta [3,0]	Baixa-Baixa/ Média-Alta/Média-Baixa [4,0]
	Cobertura e uso do solo	Avalia a classificação do uso do solo (urbano, urbanizável, industrial, rural, etc.).	Superfícies artificiais / Áreas não mapeáveis/Superfícies naturais [1,0]	-	Espeços abertos com pouca ou nenhuma cobertura vegetal [3,0]	Áreas agropastoris [4,0]
	Recursos Hídricos*	Corpos d'água superficiais (rios, represas, etc.).	Inferior a 300m [1,0]	-	-	Superior a 300m [4,0]
	Unidades de Conservação	Espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público.	Inferior a 300m [1,0]	-	-	Superior a 300m [4,0]
	Tipo de Solo	Considera-se desejável a existência, no local, de solos de características impermeáveis.	Gleissolos [1,0]	Cambissolos / Planossolos / Neossolos [2,0]	Argissolo/ Nitossolo [3,0]	Latossolos [4,0]
	Clima	Locais com alta precipitação não são adequados para a implantação de aterros sanitários por implicar em altos custos de drenagem da água e possibilidade de transportar o lixo gerado no aterro ao lençol freático.	-	-	Super-úmido [3,0]	Úmido [4,0]
SOCIAL	Distância de aeródromo	Resolução Conama 4/951 - raio de 20 km para aeroportos que operam de acordo com as regras de voo por instrumento (IFR); e II - 13 km para demais aeródromos	Inferior a 13.000m ou a 20.000m** [1,0]	-	-	Superior a 13.000m ou a 20.000m** [4,0]
	População afetada	Distância do limite da área útil do aterro a núcleos populacionais urbanos.	Inferior a 2.000m [1,0]	-	-	Superior 2.000m [4,0]
	Impacto visual	Objetiva a proteção estética de zonas habitadas e visualização a partir das rodovias.	-	Áreas visíveis [2,0]	-	Áreas não-visíveis [4,0]
ECONÔMICO	Distância ao centro geométrico de coleta	É desejável que o percurso que os veículos de coleta façam até o aterro, através das ruas e estradas existentes, seja o menor possível, com vistas a reduzir o custo de transporte do RSU.	Superior a 70.000m [1,0]	de 50.000 a 70.000m [2,0]	Entre 30.000 a 50.000m [3,0]	Inferior a 30.000m [4,0]
	Infraestruturas existentes	Rede elétrica.	-	Acima de 20.000m [2,0]	Entre 10.000 e 20.000m [3,0]	Inferior 10.000m [4,0]
	Distâncias das maiores rodovias	Quanto mais perto do aterro sanitário estão as estradas melhor será, para minimizar os problemas de tráfego e reduzir o consumo de combustível.	Superior a 5.000m [1,0]	Entre 1.000m e 5.000m [2,0]	Entre 500m e 1.000m [3,0]	Inferior a 500m [4,0]
	Declividade do terreno	Avalia os custos de investimentos relacionados com a topografia do terreno.	Superior a 20% [1,0]	Entre 15% - 20% [2,0]	Inferior a 2% ou entre 8% - 15% [3,0]	Entre 2 - 8% [4,0]

* Distância superior a 300 metros em relação aos corpos d'água superficiais (rios, represas, etc.)

** I - raio de 20 km para aeroportos que operam de acordo com as regras de voo por instrumento (IFR); e II - raio de 13 km para os demais aeródromos.

A escala, conhecida como escala fundamental de Saaty fornece classificações utilizadas para a ponderação das variáveis par a par, com 1 significando a indiferença de importância de uma variável em relação a outra, e 9 significando a extrema importância de uma variável sobre outra, com estágios intermediários de importância entre 1 e 9. Esse processo resulta em uma matriz de comparação para a avaliação de cada grupo de critério. As matrizes serão preenchidas de acordo com a frequência de ocorrência que as variáveis dos grupos de critérios são citadas na revisão bibliográfica apresentada na Tabela 1. Considerou-se que os critérios que foram citados o maior número de vezes tem maior importância em relação a outros critérios que foram citados com menos frequência. A Tabela 3 apresenta a frequência que os critérios foram citados e a Tabela 4 apresenta a diferença entre as frequências de citações e a

pontuação atribuída. As variáveis com ocorrências iguais receberam a pontuação igual a 1, ou seja, tinham o mesmo grau de importância.

Tabela 3- Frequência de citação dos critérios nas referências consultadas.

Frequência	%	Frequência	%
12	100	7	58,3
11	91,7	6	50,0
9	75,0	3	25,0
8	66,7	2	16,7

Tabela 4 - Diferença entre as frequências de citações e a pontuação atribuída.

Diferença entre a frequência de citação dos critérios (%)	Peso	Diferença entre a frequência de citação dos critérios (%)	Peso
75	9		
66	8	25	4
59	7	17	3
50	6	16	3
42	5	9	2
41	5	8	2
34	4	Critérios citados com a mesma frequência	1
33	4		

Todo o processo de julgamento citado foi realizado no software *Expert Choice 11.5*, que utiliza o princípio do AHP para gerar os percentuais das relevâncias para os dados de saídas utilizados para na construção da expressão algébrica do processo de mapeamento.

2.4 Etapa 4: Tratamento de dados espaciais: operações em plataforma SIG

Nessa etapa estão incluídos todos os processamentos envolvendo dados espaciais e seu manuseio na plataforma SIG. Resumidamente, podemos dizer que todo o processo está dividido em 2 principais partes: sistematização de dados espaciais e alfanuméricos (inserção em plataforma SIG, edição, adequação e operações espaciais para classificação das categorias de adequação) e mapeamento (álgebra de mapas), que consiste na espacialização de áreas potencialmente adequadas para a instalação de aterros sanitários.

A base de dados organizada no presente trabalho dispõe dos dois tipos de estrutura de dados (espacial e alfanumérico), organizados e armazenados no programa *ArcGis 10.2*. A Tabela 5 traz o resumo dos dados com suas respectivas estruturas, fontes e autores e escalas originais de mapeamento. Por conta de algumas operações e análises espaciais necessárias, todas as bases cartográficas utilizadas foram projetadas no sistema de referência *Datum SIRGAS 2000* (oficial para projetos cartográficos no Brasil), Projeção Transversa de Mercator (UTM), zona 23S.

Ainda nessa etapa, chamou-se de edição e adequação de dados o processo de atribuição dos critérios de adequação ou inadequação definidos para as variáveis analisadas na investigação de áreas potenciais para instalação de aterros. Baseados na definição de critérios expostos na Tabela 2 foram realizados procedimentos de operações espaciais, tais como: recorte dos dados espaciais (ferramenta *clip - 3D Analysis Tools*) para isolamento da área de interesse; transformação de dados espaciais vetoriais em dados espaciais matriciais (ferramenta *polygon/polyline to raster - Conversion Tools*), para preparação dos dados para o processo de álgebra de mapas; reclassificação de *rasters* (ferramenta *reclassify - 3D Analysis Tools*), para alteração de valores das bases conforme critérios definidos; determinação de locais visíveis a partir dos mapeamentos de sedes municipais e de rodovias (ferramenta *viewshed - 3D Analysis Tools*); cálculo de medidas de distâncias euclidianas (ferramenta *distance - Spatial Analyst*) para definição de critérios que envolvem o distanciamento entre alguns padrões analisados (como centros geométricos de coleta de lixo e distância entre as principais rodovias) e análise de área de influência (ferramenta *distance - Analysis Tools*) para

delimitação de limites de áreas de critérios que remetiam a especificações quanto à área de abrangência (unidades de conservação e recursos hídricos).

O processo de mapeamento utiliza-se de toda preparação de dados das etapas anteriores e da geração de produtos cartográficos através de operações espaciais de álgebra de mapas. O conceito de álgebra de mapas ou álgebra de campos pode ser visto como uma extensão da álgebra tradicional, com um conjunto de operadores e algoritmos matemáticos, em que as variáveis manipuladas são campos geográficos (Berry, 1993).

No programa *ArcGis 10.2* foi utilizada a ferramenta *raster calculator (Spatial Analyst)*, que constrói e executa uma única expressão de álgebra de mapas composta pelos valores fornecidos das ponderações resultantes da aplicação do método AHP.

Tabela 5. Relação de dados espaciais e alfanuméricos utilizados

DADOS	TIPO DE DADO	ESCALA	FONTE	AUTOR / DATA	INFORMAÇÕES ADICIONAIS
Áreas suscetíveis à erosão	Espacial	1:50.000	PCJ	DAEE, 2001	-
Áreas vulneráveis ao lençol	Espacial	1:50.000	PCJ	DAEE, 2001	-
Cobertura e uso do solo	Matricial	1:25.000	SMA	CEPLA	-
Recursos Hídricos	Espacial	1:50.000	PCJ	Projeto Piracema e DAEE	-
Unidades de Conservação	Espacial	1:25.000	PCJ	-	-
Tipo de Solo	Espacial	1:500.000	ESALQ	Oliveira et. al., 1999	-
Clima	Espacial	1:5000.000	IBGE	IBGE, 2006	-
Localização de aeródromo	Espacial	1:1.000.000	MT	Infraero, 2010	-
Área urbana	Espacial	1:250.000	PCJ	-	Extraído da malha municipal digital do Brasil
Impacto visual	Espacial	1:5000000	IBGE	IBGE, 2006	-
Sedes Municipais	Espacial	1:250.000	PCJ	-	Extraído da malha municipal digital do Brasil
Rede Elétrica	Espacial	1:1000.000	MT	ANEEL, 2010	-
Rede Viária	Espacial	1:250.000	MT	DNIT, 2009	-
Declividade do terreno	Matricial	1:50.000 (projeto GISAT)	SMA	-	-
População	Alfanumérico	Dado vinculado a uma informação de estrutura espacial	IBGE	CENSO, 2010	Informações disponíveis no Censo 2010

3. Resultados e Discussão

A aplicação da metodologia previamente descrita foi possibilitada pelo uso do programa *Expert Choice 11.5*, que utiliza o princípio da metodologia AHP. A matriz de comparação par a par e os coeficientes de ponderação dos fatores de decisão são apresentados na Figura 5.

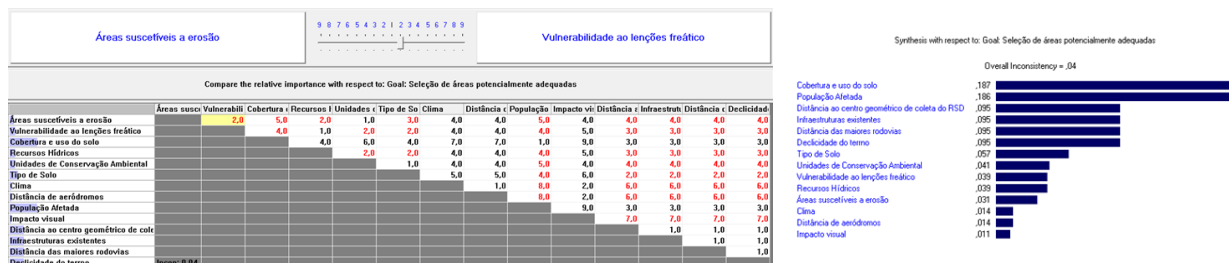


Figura 5: Matriz de julgamento das variáveis e coeficientes de ponderação das variáveis analisadas

Os coeficientes de ponderação dos fatores de decisão foram então empregados na ferramenta *raster calculator (Spatial Analyst)* do *ArcGis 10.2*. O resultado é um modelo que permite inserir os mapas geográficos em camadas para a tomada de decisão em nível hierárquico. O módulo automaticamente multiplica o peso resultante com o valor de cada célula no mapa *raster* e agrega os valores das células para cada um dos critérios para obter o valor final para cada célula. O resultado final é a geração do mapa de áreas potenciais para instalação de aterros sanitário (Figura 6).

O grupo dos critérios ambientais, o qual possui o maior número de critérios foi o grupo de maior importância (0,408). O grupo de critérios sociais foi o segundo grupo de maior importância (0,306), seguido do grupo dos critérios econômicos (0,285). Os valores da taxa

de consistência (CR) utilizada para a análise de consistência entre as comparações foram calculados pela metodologia de Saaty (1977), e resultou em um valor inferior a 0.1 (*Inconsistency* = 0,04) o que indica que o uso dos pesos foram adequados.

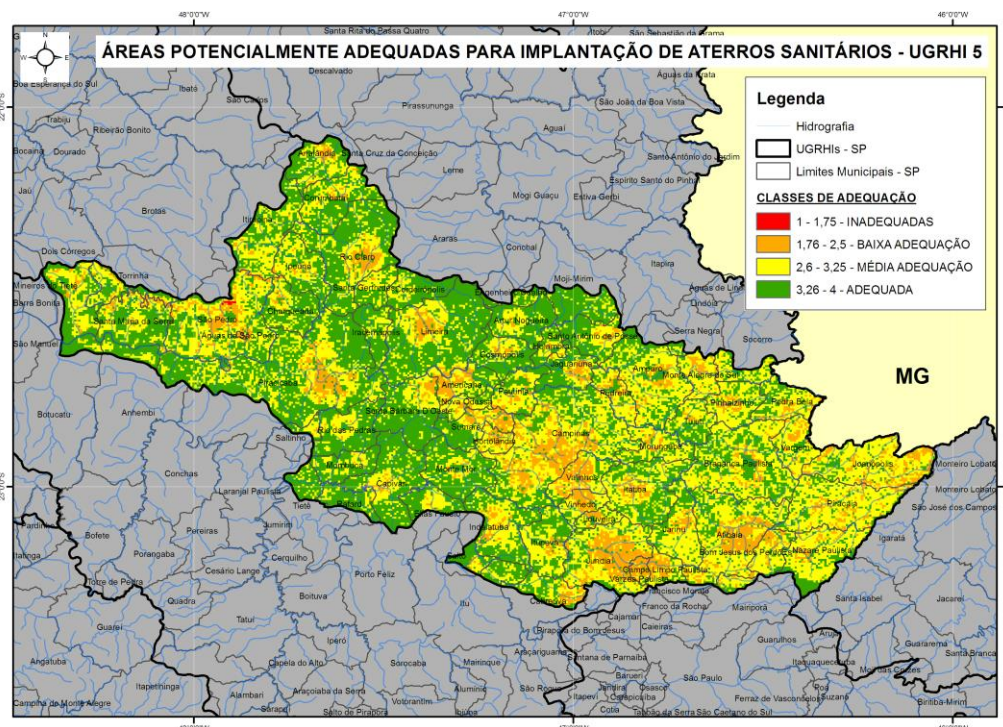


Figura 6: Áreas adequadas para a instalação de aterro sanitário na UGRHI 5.

As áreas de caráter de restrição, ou seja, cidades, rios, rodovias, aeródromos e áreas de proteção ambiental e seus respectivos limites de distância, normalmente são excluídas no início da pesquisa. No entanto esse passo de exclusão será realizado em trabalho futuro. Esse cuidado é devido a evitar possíveis falhas no processo de operação espacial.

Dessa forma o mapa final de adequação mostra que 86,7% da área da UGRHI 5 foi classificada como áreas de média adequação (48,7%) e adequada (38%). Da área remanescente 13,3% é considerada de baixa adequação, e 0,02% inadequada.

4. Conclusão

A identificação de áreas adequadas para instalação de aterros sanitários é um componente desafiador do processo global de gestão de resíduos. Este problema ambiental tem atraído pesquisadores do mundo todo e fortalecendo o uso de ferramentas espaciais e técnicas de tomada de decisão. A integração da técnica AHP e SIG aqui apresentadas combinam metodologia de apoio à decisão com poderosos recursos de visualização e mapeamento.

O trabalho propõe soluções para auxiliar as estratégias da Política Nacional dos Resíduos Sólido considerando suas diretrizes. Dessa forma o objetivo principal deste estudo foi o de estabelecer um quadro de critérios para a instalação de aterros sanitários que possa ser aplicado em outras UGRHIs, estados e regiões do Brasil obedecendo as normas e regulamentações nacionais de modo que, considerados os critérios, o estudo de impacto ambiental solicitado pelo órgão ambiental responsável para a instalação do aterro sanitário seja atendido. As classificações apresentadas permitem o uso de um modelo relativamente uniforme baseado em SIG. É importante destacar que esse artigo utilizou a frequência dos critérios citados em normas, regulamentações a artigos científicos internacionais para a definição dos pesos dos critérios adotados, e que para trabalhos futuros, o ideal é que esses

pesos sejam obtidos através do conhecimento de especialistas da área, sociedade e pessoas envolvidas para um consenso mais favorável.

Agradecimentos

Os autores desejam expressar seus agradecimentos ao CNPq e CAPES pelas bolsas de estudos concedidas; à Agência das Bacias do PCJ pelo apoio a pesquisa desenvolvida.

Referências bibliográficas

ABRELPE - Associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. 10. Ed. Brasil, 2012.

Aragonés-Beltrán P., Pastor-Ferrando J. P., García-García F., Pascual-Agulló a. An Analytic Network Process approach for siting a municipal solid waste plant in the Metropolitan Area of Valencia (Spain). *Journal of Environmental Management*. v. 91, p. 1071–1086, 2010.

ABNT - Associação brasileira de normas técnicas. NBR 13.896: Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 1997.

Berry, K. K. Computer-assisted map analysis: potential and pitfalls. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Falls Church : ASPRS, v. 53(10), p. 1405-1410, 1991.

BRASIL, Resolução CONAMA nº 4 de 2 de outubro de 1995. Estabelece as áreas de segurança Portuária – ASAs.

CEMPRE - compromisso empresarial para reciclagem. lixo municipal: Manual de Gerenciamento Integrado. Coordenação: André Vilhena. 3. ed. São Paulo, ISBN 978-85-87345-02-8. 2010.

Comite das bacias hidrográficas dos rios piracicaba, capivari, jundiá. Situação dos recursos hídricos das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá UGRHI 5. Relatório Técnico Final, v. 1. Fehidro. 2012.

Delgado o. B.; Mendoza M.; Granados E. L., Geneletti d. Analysis of land suitability for the siting of inter-municipal landfills in the Cuitzeo Lake Basin, Mexico. *Waste Management*, v. 28, p. 1137–114, 2008.

Gbanie, S. P.; Tengbe, P. B.; Momoh, J. S.; Mebo, J.; Kabba, V. T. S. Modelling landfill location using Geographic Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA): Case study Bo, Southern Sierra Leone. *Applied Geography*, 2012.

IBAM- Instituto brasileiro de administração pública. Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2001.

INR - Instituto nacional de resíduos. Resíduos Sólidos Urbanos - Concepção, construção e exploração de tecnossistemas – Projetos, metodologias e tecnologias aplicadas em Portugal no período de 1996 a 2001. Portugal, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. ed. 1 Fev. de 2002.

Kontos, T. D.; Komilis, D. P.; Halvadakis C.P. Siting MSW landfills with a spacial multiple criteria analysis methodology. *Waste Management*. v. 25, n. 8, p. 818-832. 2003.

Korucu, M. K.; Erdagi, B. A criticism of applications with multi criteria decision analysis that are used for the site selection for the disposal of municipal solid wastes. *Waste Management*, v. 32, p. 2315-2323, 2012.

Montaño, M.; RanierI, V. E. L.; Schalch, V.; Fontes A. T.; Castro, M. C. A. A.; Souza, M. P. Integração de critérios técnicos, ambientais e sociais em estudos de alternativas locais para implantação de aterro sanitário. Artigo Técnico. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v. 17, n. 1, p. 61-70, jan 2012.

Perpiña, C.; Martínez-Llario, J. C.; Navarro Á. P. Multicriteria assessment in GIS environments for siting biomass plants. *Land Use Policy*, v. 31, p. 326-335, 2013.

Russo, M. A. T. Tratamento de Resíduos Sólidos. Universidade de Coimbra. Faculdade de Ciência e Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil. 2003.