

## Análise de decisão multicritério (MCDA) e Sistema de Informações Geográficas (SIG) como ferramentas na resolução de problemas de localização de resíduos sólidos.

Raphael Lúcio Reis dos Santos<sup>1</sup>

Conrado de Souza Rodrigues<sup>2</sup>

### Gerenciamento de Resíduos Sólidos e Líquidos

#### *Resumo*

Identificar áreas de deposição para resíduos sólidos e gerenciá-los adequadamente assegurando o cumprimento de fatores ambientais, econômicos e sociais é uma tarefa desafiadora para muitos países em desenvolvimento. O gerenciamento de resíduos sólidos municipais tornou-se mais complexo e dispendioso com o rápido desenvolvimento socioeconômico e o aumento do volume de resíduos. Planejar uma estratégia regional sustentável de gerenciamento de resíduos é um passo crítico para os tomadores de decisão. Este trabalho busca apresentar o estado da arte da utilização das ferramentas de análise de decisão multicritério (MCDA) e sistema de informação geográfica (SIG) na resolução de problemas de localização de resíduos sólidos, incluindo os resíduos de construção e demolição (RCD), por meio de revisão bibliográfica sistemática. Os resultados indicaram que as ferramentas foram utilizadas de forma integrada em diversos estudos para a localização de locais adequados para destinação de resíduos sólidos, como por exemplo aterros sanitários. A identificação de locais adequados para destinação dos resíduos sólidos contribui para a implantação de infraestrutura que respeite os aspectos ambientais, econômicos e sociais; sendo importante auxílio aos tomadores de decisão. Todavia, notou-se a ausência de estudos que utilizem estas ferramentas aplicadas aos resíduos de construção e demolição (RCD). Desta forma, recomenda-se a aplicação de MCDA e SIG para resolução de problemas de localização dos resíduos gerados pela construção civil.

Palavras-chave: Análise de decisão multicritério; Gerenciamento de resíduos sólidos; Resíduos da construção civil; Resíduos sólidos; Sistema de Informações Geográficas.

## INTRODUÇÃO

Pires (2013) argumenta que o aumento da geração de resíduos sólidos (RS) é um dos principais problemas que as administrações públicas enfrentam devido ao aumento populacional e ao aumento dos padrões de consumo dos últimos anos. Sendo assim, de acordo com Neto (2009), a disposição final dos RS nos centros urbanos necessita ser

<sup>1</sup>Discente do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. CEFET-MG, [raphaelreisantos@hotmail.com](mailto:raphaelreisantos@hotmail.com).

<sup>2</sup>Prof. Dr. do CEFET-MG, Departamento de Engenharia Civil, [crodrigues@civil.cefetmg.br](mailto:crodrigues@civil.cefetmg.br).

discutida de maneira séria, tendo em vista que, de forma geral, os resíduos sólidos provocam problemas de saúde pública, ocupação do espaço, degradação de recursos naturais e desequilíbrios ambientais (OLIVEIRA, 2012; NAGAPAN *et al.*, 2013).

Os resíduos sólidos possuem como destinação final os aterros sanitários, aterros controlados e lixões (JUCÁ, 2003; JACOBI e BESEN, 2011); ou em muitos casos são depositados de forma irregular, como por exemplo: em terrenos baldios, próximos a estradas, vias públicas e cursos d'água (SOUZA *et al.*, 2004; PAZ *et al.*, 2018).

O tratamento tradicional dos resíduos sólidos e despejo dos mesmos tem alguns desafios ambientais importantes (OJHA *et al.*, 2007), sobretudo pelas preocupações para a saúde ambiental (JAVAHERI *et al.*, 2006). Tais desafios ambientais, combinados com aspectos econômicos e sociais, assim como a disponibilidade de terra, são relevantes na indicação de áreas de recepção e disposição de resíduos sólidos (KHAN *et al.*, 2018).

A análise de decisão multicritério é bastante utilizada em problemas relacionados à localização de infraestruturas e podem ser usadas para localização de uma única infraestrutura, de múltiplas infraestruturas e de infraestruturas desejáveis ou indesejáveis (FARAHANI *et al.*, 2010).

De acordo com Calijuri *et al.* (2007), há muito tempo os sistemas de informações geográficas são utilizados como ferramentas de apoio à decisão em função da sua possibilidade de manipular grande quantidade de dados e de realizar análises de forma eficiente (custos baixos e curto espaço de tempo). Essas vantagens potenciais foram verificadas na aplicação de SIG para resíduos sólidos (TAVARES *et al.*, 2009).

Silva (2014) argumenta que a integração de MCDA e SIG permite uma abordagem mais ampla do problema e promove uma melhor adequação ao processo de tomada de decisão. Portanto, objetiva-se neste trabalho apresentar o estado da arte da utilização de MCDA e SIG integrados como ferramentas no auxílio ao gerenciamento dos resíduos sólidos.

## METODOLOGIA

Definiu-se a estrutura metodológica proposta por Ensslin e Ensslin (2008 apud

AZEVEDO, 2013):

- i. Objetivo da pesquisa: Exploratória.
- ii. Natureza da pesquisa: Conceitual.
- iii. Lógica da pesquisa: Indutiva e Dedutiva.
- iv. Processo da pesquisa: Qualitativa.
- v. Resultado da pesquisa: Básica.
- vi. Procedimentos técnicos: Pesquisa bibliográfica.
- vii. Instrumentos: Livros, artigos, relatórios e planos de gestão.

Foi realizada pesquisa bibliográfica em diferentes bases de dados (Catálogo de teses e dissertações da Capes, Google scholar, Scielo e Scopus). Foi realizada a busca por combinações de palavras chaves que permitiram selecionar os trabalhos que apresentavam aplicações das ferramentas de análise de decisão multicritério (MCDA) e sistema de informação geográfica (MCDA) aplicados à resolução de problemas de localização de resíduos sólidos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na pesquisa bibliográfica realizada foi possível verificar trabalhos que apresentaram aplicações das ferramentas de análise de decisão multicritério (MCDA) e sistema de informação geográfica (MCDA) aplicados à resolução de problemas de localização de resíduos sólidos. A Tabela 1 indica os principais trabalhos selecionados.

Siddiqui *et al.* (1996) relatam a utilização de MCDA integrada com SIG para a localização ideal de instalações de tratamento de resíduos sólidos, principalmente de aterros sanitários em Oklahoma. Um método baseado em um banco de dados digital SIG integrado com análise de decisão multicritério foi utilizada para a determinação de áreas mais adequadas para recepção de aterros sanitários na Grécia (KONTOS *et al.*, 2005).

O estudo realizado por Higgs (2006), assim como o de Siddiqui *et al.* (1996) utilizou de forma integrada MCDA e SIG para resolução de problemas de localização relacionados a indicação de aterros sanitários. Calijuri *et al.* (2007) também utilizaram análise de decisão multicritério aliada com SIG para determinação de locais para instalação de aterro com o objetivo de destinar adequadamente os resíduos sólidos urbanos de uma cidade paulista.

Tabela 1: Pesquisas com MCDA-SIG na área de resíduos sólidos.

Autores	Título
Siddiqui <i>et al.</i> (1996)	<i>Landfill siting using geographic information systems: a demonstration.</i>
Kontos <i>et al.</i> (2005)	<i>Siting MSW landfills with a spatial multiple criteria analysis methodology.</i>
Higgs (2006)	<i>Integrating multi-criteria techniques with geographical information systems in waste facility location to enhance public participation.</i>
Calijuri <i>et al.</i> (2007)	Identificação de áreas alternativas para disposição de resíduos sólidos na região do Baixo Ribeira do Iguape-SP.
Sener <i>et al.</i> (2010)	<i>Combining AHP with GIS for landfill site selection: a case study in the Lake Beyşehir catchment area (Konya, Turkey).</i>
Eskandari <i>et al.</i> (2012)	<i>An integrated multi criteria approach for landfill siting in a conflicting environmental, economical and socio-cultural area.</i>
Gorsevski <i>et al.</i> (2012)	<i>Integrating multi-criteria evaluation techniques with geographic information systems for landfill site selection: a case study using ordered weighted average.</i>
Khan <i>et al.</i> (2018)	<i>Optimal siting of solid waste-to-value-added facilities through a GIS-based assessment.</i>

Crítérios baseados em uso do solo, geologia, inclinação do terreno, distância de assentamentos, rede viária, águas superficiais e limitação de áreas protegidas foram utilizados por Sener *et al.* (2010) para definir locais adequados para implantação de aterros sanitários na Turquia. O uso integrado das ferramentas MCDA e SIG foi bem avaliado pelos autores, tendo em vista que, possibilita a exploração de problemas complexos e fornece retorno imediato para os decisores.

Eskandari *et al.* (2012) utilizaram um banco de dados SIG integrado com análise de decisão multicritério utilizando critérios econômicos, socioculturais e ambientais para definição de área para instalação de aterro sanitário. Para definição de local de instalação de aterro na Macedônia foram utilizados critérios ambientais e econômicos por meio das ferramentas integradas de MCDA e SIG (GORSEVSKI *et al.*, 2012).

Por fim, Khan *et al.* (2018) realizaram análise espacial por meio de SIG para identificar áreas mais adequadas para recepção de aterro sanitário também para selecionar restrições (locais inadequados a instalação dos aterros).

É notório que a utilização das ferramentas de análise de decisão multicritério com sistema de informações geográficas é bastante difundida para resolução de problemas de

localização relacionados à implantação de locais de descarte adequado de resíduos sólidos urbanos (CALIJURI *et al.*, 2007). Entretanto, ainda há poucos estudos destinados a resolução de problemas de localização que envolvem resíduo de construção e demolição (BANIAS *et al.*, 2010).

## CONCLUSÕES

Conclui-se que os avanços na tecnologia geoespacial, principalmente relacionados a incorporação de operadores multicritério nos sistemas de informações geográficas, permitiram a expansão da utilização integrada das ferramentas MCDA e SIG em diversas aplicações, incluindo resíduos sólidos. Desta forma, vários trabalhos utilizaram essas ferramentas integradas para resolução de problemas de localização voltados aos resíduos sólidos. A integração MCDA e SIG fornece um importante recurso que permite facilitar e acelerar a resolução dos problemas de localização.

Conforme exposto neste trabalho, há diversos trabalhos que utilizam as ferramentas MCDA e SIG integrados para resolução de problemas envolvendo resíduos sólidos (principalmente relacionados a problemas de localização de aterros sanitário para resíduos sólidos urbanos).

Todavia, há poucos estudos destinados a resolução de problemas de localização que envolvem resíduo de construção e demolição. Dessa forma, há a necessidade de desenvolver uma metodologia que utilize as ferramentas de MCDA e SIG para resolução de problemas de localização voltados para os resíduos de construção e demolição.

## REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, R. C. Um modelo para gestão de risco na incorporação de imóveis usando a metodologia multicritério para apoio a decisão construtivista (MCDA-C). Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.
- BANIAS, G. *et al.* Assessing multiple criteria for the optimal location of a construction and demolition waste management facility. *Building and environment*, v. 45, n. 10, p. 2317-2326, 2010.
- CALIJURI, M. L. *et al.* Identificação de áreas alternativas para disposição de resíduos sólidos na região do Baixo Ribeira do Iguape-SP. *Engenharia sanitária e ambiental*, v. 12, n. 3, p. 335-342, 2007.

- ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R. Notas de aula. Disciplina de Avaliação de Desempenho do Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção. UFSC, 2008.
- ESKANDARI, M. *et al.* An integrated multi criteria approach for landfill siting in a conflicting environmental, economical and socio-cultural area. *Waste management*, v. 32, n. 8, 2012.
- FARAHANI, R. Z. *et al.* Multiple criteria facility location problems: A survey. *Applied mathematical modelling*, v. 34, n. 7, p. 1689-1709, 2010.
- GORSEVSKI, P. V. *et al.* Integrating multi-criteria evaluation techniques with geographic information systems for landfill site selection: a case study using ordered weighted average. *Waste management*, v. 32, n. 2, p. 287-296, 2012.
- HIGGS, G. Integrating multi-criteria techniques with geographical information systems in waste facility location to enhance public participation. *Waste management & research*, v. 24, n. 2, p. 105-117, 2006.
- JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. *Estudos avançados*, v. 25, n. 71, p. 135-158, 2011.
- JAVAHERI, H. *et al.* Site selection of municipal solid waste landfills using analytical hierarchy process method in a geographical information technology environment in giroft. *Journal of environmental health science & engineering*, v. 3, n. 3, p. 177-184, 2006.
- JUCÁ, J. F. T. Disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. In: Congresso brasileiro de geotecnia ambiental - REGEO. 2003.
- KHAN, M. M. *et al.* Optimal siting of solid waste-to-value-added facilities through a GIS-based assessment. *Science of the total environment*, v. 610, p. 1065-1075, 2018.
- KONTOS, T. D. *et al.* Siting MSW landfills with a spatial multiple criteria analysis methodology. *Waste management*, v. 25, n. 8, p. 818-832, 2005.
- NAGAPAN, S. *et al.* Study's of sites construction waste in Batu Paha, Johor. *Procedia engineering*. Malásia, n. 53, p. 99-103, 2013.
- NETO, R. Banco de dados georreferenciado para aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos (AS-RSU) no estado da Bahia. 2009.
- OJHA, C.S. *et al.* Applying Fuzzy logic and the point count system to select landfill sites. *Environmental monitoring and assessment*, v. 135, n. 1-3, p. 99-106, 2007.
- OLIVEIRA; V. F. O papel da indústria da construção civil na organização do espaço e do desenvolvimento regional. The 4th International Congress University Industry Cooperation. Taubaté, 2012.
- PAZ, D. H. F. *et al.* GIS-based planning system for managing the flow of construction and demolition waste in Brazil. *Waste Management & Research*, v. 36, n. 6, p. 541-549, 2018.
- PIRES, C. S. O tratamento dos resíduos orgânicos como cumprimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos: Análise dos planos municipais da bacia do Alto Tietê. 2013.126 f. Dissertação (Mestre em Ciências) - Engenharia Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Carlos, São Carlos. 2013.
- SENER, S. *et al.* Combining AHP with GIS for landfill site selection: a case study in the Lake Beyşehir catchment area (Konya, Turkey). *Waste management*, v. 30, n. 11, p. 2037-2046, 2010.
- SIDDIQUI, M. Z. *et al.* Landfill siting using geographic information systems: a demonstration. *Journal of environmental engineering*, v. 122, n. 6, p. 515-523, 1996.
- SILVA, S. C. G. Sistema de Apoio à Decisão Espacial Multicritério na Localização de Centrais de Biogás. Tese (Doutorado). Universidade de Coimbra. 2014.
- SOUZA, U. E. L. *et al.* Diagnóstico e combate à geração de resíduos na produção de obras de construção de edifícios: uma abordagem progressiva. *Ambiente construído*, v. 4, n. 4, p. 33-46, 2004.
- TAVARES, G. *et al.* Optimization of MSW collection routes for minimum fuel consumption using 3D GIS modelling. *Waste management*, v. 29, n. 3, p. 1176-1185, 2009.