

Uma Revisão Sistemática sobre a Aplicação de Tecnologia para o Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos

Rafael Gross^{1,2}, Ana Maria Monteiro²

¹ Fatec Jundiaí – Dep. Ary Fossen – Jundiaí - SP, Brasil

²Centro Universitário Campo Limpo Paulista – UNIFACCAMP
Campo Limpo Paulista - SP, Brasil.

rafaelgross123@gmail.com, ana.monteiro@faccamp.br

Abstract. *The article presents the results of a systematic review to analyze the state of the art of the computational technologies used to assist in the management of urban solid waste. Through the analysis of these results, it is possible to identify how computer science has contributed, mainly, with the use of decision support systems and geographic information systems to improve the management of urban solid waste.*

Resumo. *O artigo apresenta os resultados de uma revisão sistemática para analisar o estado da arte das tecnologias computacionais utilizadas para auxiliar no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos. Através da análise desses resultados pode-se identificar como a ciência da computação tem contribuído, principalmente, com o uso de sistemas de apoio à decisão e sistemas de informação geográfica para melhorar o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos.*

1. Introdução

O objetivo dessa revisão sistemática é analisar e verificar quais tecnologias têm sido utilizadas na gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), o que facilitaria a pesquisa de novas soluções para um futuro desenvolvimento de trabalhos nessa área.

A principal questão a ser respondida nesta revisão é: como a tecnologia, em especial os Sistemas de Apoio à Decisão (SAD), pode dar suporte à tomada de decisões na gestão de RSU? Assim, a partir dessa questão surgem outras questões associadas:

Q1- Como o mundo gerencia o problema dos RSU decorrentes do aumento do consumo?

Q2- Como a Ciência da Computação está contribuindo dentro da área de gestão de RSU?

Q3- Quais métodos e critérios estão sendo mais utilizados?

Q4- Em que etapas da gestão de RSU são adotadas as tecnologias e técnicas de apoio à decisão?

Na seção 2 é apresentado o contexto atual sobre o descarte de RSU, o que tem acontecido no âmbito mundial e em especial no Brasil. Na seção 3 é abordada a metodologia utilizada na revisão sistemática da literatura. Em sequência, na Seção 4 são apresentados os resultados da revisão e na Seção 5 são apresentadas algumas considerações finais sobre a pesquisa realizada.

2. Resíduos Sólidos Urbanos

Antes da Revolução Industrial, o lixo gerado pela atividade humana era reintegrado nos ciclos naturais. Porém, a Revolução Industrial e as posteriores revoluções técnico-científicas criaram novos produtos, muitos deles de difícil biodegradação. Já os sucessivos êxodos rurais que concentraram a população nas zonas urbanas, associado à evolução da engenharia alimentar, contribuíram para o aumento populacional, o que levou a um aumento gigantesco na quantidade de resíduos produzidos pelas atividades humanas, fazendo com que o meio ambiente não fosse mais capaz de assimilar esses resíduos (Conde, Stachiw, & Ferreira, 2014; Gotti & Souza, 2017).

O mundo produz, anualmente, cerca de 730 milhões de toneladas de RSU, o que equivale a cerca de 2 milhões de toneladas diárias. (Bilokon, 2017) Em grandes regiões metropolitanas, como a de Nova Iorque, a produção de RSU é de cerca de 5,11 milhões de toneladas anuais. América Latina contribui com 100 milhões de toneladas anuais de RSU.

Esse é um problema mundial e o Brasil não é uma exceção. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2019 a população brasileira era de cerca de 210 milhões de habitantes, e a produção de RSU era de 260.000 toneladas diárias, chegando ao montante de 95 milhões de toneladas anuais. A análise da produção regional de RSU no Brasil é apresentada na Figura 1.

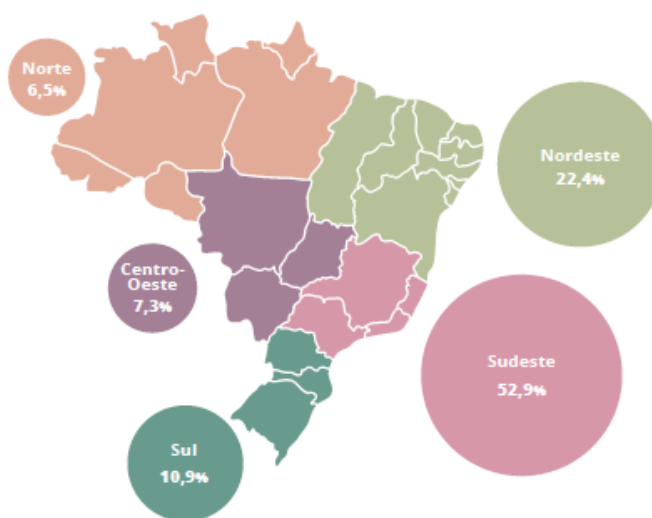


Figura 1 – Produção de RSU por região do Brasil
Fonte: ABRELPE (2018)

A Figura 1 mostra que a região sudeste, a mais populosa do Brasil (IBGE, 2019), apresenta também o maior volume de produção de RSU, com volume maior do que o dobro da segunda maior produtora de RSU, a região nordeste (52,9% contra 22,4%, respectivamente) (ABRELPE, 2018). A cidade que mais acumula RSU é São Paulo, com uma produção diária em torno de 18.000 toneladas, uma média de 1,6 kg por habitante/dia (IBGE, 2019). Considerando os 11 milhões de habitantes da cidade de São Paulo, sua produção diária em 50 anos seria o suficiente para cobrir toda a área do município com uma camada de 1 metro de RSU (Bilokon, 2017).

Baseado nos estudos sobre a contextualização dos resíduos sólidos no Brasil pode-se afirmar que há um grande aumento desse tipo de material sendo que seu gerenciamento ainda é ineficaz, surgindo assim à necessidade de procurar novas soluções. Considerando a evolução dos recursos computacionais, é possível desenvolver uma pesquisa sobre como a Ciência da Computação pode auxiliar nessa questão. Para iniciar uma pesquisa desse tipo, primeiramente deve ser está uma pesquisa sobre o estado da arte em trabalhos relacionados com essa problemática.

3. Metodologia Revisão Sistemática

Segundo Staples e Niazi (2008), a etapa de planejamento numa revisão sistemática é a fase de concepção na qual se representam formalmente as questões de pesquisa relevantes e irrelevantes através dos termos de inclusão e exclusão, definindo-se o propósito da investigação e as bases-fontes de pesquisa (bibliotecas digitais nacionais e internacionais) para buscar respostas através de artigos, documentos e relatórios científicos. Nessa etapa há uma concentração maior de reflexão sobre o tema de investigação, pois se define o porquê da pesquisa.

As plataformas ou bases de pesquisas científicas usadas na revisão são bibliotecas digitais indexadas que contém publicações de diversas áreas, como a da Ciência da Computação, da tecnologia da informação e o meio ambiente, com acervos digitais de jornais, revistas, conferências da área científica do mundo inteiro. Seus bancos de dados são usados como fontes de referências confiáveis, com conteúdos esclarecedores e de apoio aos pesquisadores. Alguns deles são de acesso público, outros são vinculados a instituições de ensino que mantém contrato de uso. Será usada nessa revisão as plataformas IEEE¹, ACM², SpringerLink³ e Google Scholar⁴.

A *string* padrão utilizada para a procura de publicações foi: (I) (recycling OR recyclable OR recycled OR "solid waste" OR sustainability OR waste solid OR "reusable cooperative" OR "recycling wastes" OR "waste collector" OR "waste management" OR "electronic waste") AND ("decision support system" OR "decision support" OR "business intelligence" OR "bi" OR "information technology" OR it OR "Data mining" OR "analytical processing" OR "analytical procedure" OR "machine learning" OR "geographic information system" OR GIS OR "geoprocessing" OR "Geographical Information System") AND (tool OR system OR software OR application OR model OR modeling OR technique OR method OR project)

A *string* para a exclusão de publicações foi (E) (chemical OR organics OR water OR hospital OR medical OR carbon OR agriculture OR electrical energy OR gas OR nanoparticles OR radioactive OR gaseous)

Nesse trabalho, no levantamento e escolha das palavras-chaves apropriadas para o objetivo e questão de pesquisa houve alteração dos termos de inclusão e exclusão, conforme as *strings* de pesquisa eram aplicadas nas plataformas de busca. Entre os motivos que levaram a essas mudanças foram:

- Termos superficiais ou muito específicos: o número de publicações retornadas pode ser limitado ou excedente, de acordo com a forma de combinar a expressão lógica da *string*. Por exemplo, "sustentabilidade" é um termo muito abrangente e pertencente a várias ciências, portanto superficial, o que gera um

¹ <https://ieeexplore.ieee.org/>

² <https://dl.acm.org>

³ <https://link.springer.com>

⁴ <https://scholar.google.com.br>

número elevado de publicações.

- Sinônimos: as palavras-chaves que designam uma ferramenta, tecnologia, ou mesmo um tipo de sistema possuem sinônimos e abreviaturas, como por exemplo, “sistema de apoio à decisão” também pode ser encontrado como “sistema de suporte à decisão”, “sistema estratégico” e “SAD”.

Os critérios de inclusão e exclusão foram definidos para refinar a escolha dos artigos relacionados à problemática em estudo, conforme apresentado na Tabela 2 e na Tabela 3.

Critério	Descrição	Peso
Inclusão	Pesquisa que envolva tecnologia da informação para gestão de RSU	3
	Pesquisa que envolva sistemas de apoio à decisão para gestão de RSU	3
	Estudo sobre protótipos para gestão de RSU utilizando sistemas de informação gerenciais.	2
	Estudo sobre técnicas de SAD para gerenciamento de RSU	2
	Estudo sobre SAD para gerenciamento de lixo.	1
	Estudo sobre logística reversa utilizando sistema de informação.	1
	Estudo que utilizem georreferenciamento para gerenciar RSU	1

Tabela 2 - Critérios de seleção de inclusão

Critério	Descrição	Peso
Exclusão	Artigos de diferentes idiomas além do inglês ou português.	-
	Artigos em outro eixo além da Ciência da Computação	-
	Artigos sem relação com a problemática.	-
	Artigos apenas sobre a área de gestão ambiental.	-
	Artigos sem relação com sistemas de informação e RSU	-
		-

Tabela 3 - Critérios de seleção de exclusão

Após definidos os itens da etapa de planejamento, foram feitas as buscas dos artigos utilizando a *string* de busca. Na primeira etapa foram obtidos 132 artigos e após uma análise do título, resumo e introdução dos trabalhos foram selecionados os mais relevantes utilizando os critérios de inclusão e exclusão e verificando o peso de sua prioridade, conforme mostrado na Tabela 2 e 3. Após realizada uma segunda etapa análise na qual os trabalhos foram lidos na íntegra, a quantidade de trabalhos foi reduzida para 24 artigos. Na Tabela 4 é apresentado o resultado das buscas segundo a base de pesquisa e a quantidade dos trabalhos selecionados.

Base de pesquisa	Resultado	Selecionadas
ACM	31	4
IEEE	64	10
Google Scholar	23	8
Springer	14	2
Total	132	24

Tabela 4 – Resultados das buscas e da sumarização preliminar

4. Resultado obtidos

Após a análise dos artigos selecionados na revisão sistemática, foram identificadas várias técnicas e modelos computacionais que contribuem com a gestão dos RSU urbanos, dentre eles: os sistemas de apoio à decisão (SAD), auxiliando no planejamento na gestão do RSU e os sistemas de informação geográfica (SIG) permitindo a identificação de RSU através do georreferenciamento e o geoprocessamento das áreas de deposição de resíduos.

Os SADs são muito utilizados devido à crescente preocupação mundial com a gestão de resíduos que impulsionou as empresas de coleta seletiva a adotarem sistemas de gestão que as auxiliassem a gerir seus processos. O principal objetivo nesta área consiste na coleta de todos os resíduos com uma frequência adequada e gastando um mínimo de recursos possíveis. As empresas passaram a registrar elevados volumes de dados, originando dificuldades na extração de informação importante para a tomada de decisão (Thorneloe, Jambeck e Weitz, 2007). Os SADs também são utilizados na otimização de rotas de coleta seletiva (Matos 2008).

Observou-se também os SADs podem ser utilizados para analisar alternativas tecnológicas na gestão e tratamento de RSU em situações envolvendo aspectos políticos, econômicos, ambientais e sociais, como apresentado no trabalho de Lima, Thomé, Reichert e Firmo (2014). Simonetto e Borenstein (2005) apresentam um SAD que auxilia na determinação da quantidade diária de resíduos sólidos que deve ser enviada a cada unidade de triagem, de modo a evitar o desperdício de mão-de-obra e reduzir a quantidade de resíduos enviada aos aterros.

Segundo Savoshinsky, Zakharova e Pak (2018), os sistemas de informação geográfica e outras tecnologias, como RFID e GPS, podem ser usadas como uma ferramenta de apoio à decisão para o planejamento adequado do gerenciamento de resíduos sólidos. Zainab e Saad (2018) através de um sistema de redistribuição de caixas de coleta de lixo e melhor roteamento de caminhões em termos de distância e tempo, melhoraram a eficiência da coleta utilizando um sistema de apoio à decisão em conjunto com um sistema de georeferenciamento. Em outra abordagem, Labib (2017) desenvolveu um sistema de gerenciamento de resíduos inteligente baseado em SIG para cidades em desenvolvimento, nessa abordagem, através da Web 2.0, podem ser identificados os pontos de coleta mais próximos, facilitando assim a participação dos cidadãos no gerenciamento de RSU. Segundo o estudo de Melaré, Faceli e González (2014), a influência das tecnologias Web e o uso de SIG podem auxiliar a encontrar os pontos de descarte mais próximos em uma região.

5. Considerações finais

A revisão bibliográfica permitiu identificar como a Ciência da Computação tem contribuído na gestão de resíduos através do uso dos SADs, geoprocessamento e tecnologia Web, demonstrando que pode-se dar continuidade à pesquisa em relação a

como combinar essas tecnologias e utilizá-las para melhorar a gestão de RSU e o envolvimento da população nessa gestão.

Referências

- ABRELPE (2018). *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2017*. São Paulo.
- Bilokon, O. (2017). Lixo Urbano.(2017) Instituto de engenharia disponível em: <https://www.institutodeengenharia.org.br/site/wpcontent/uploads/2017/10/arqnot10955.pdf> acesso em : 30/06/2019.
- Conde, T. T., Stachiw, R., Ferreira, E. (2014). Aterro sanitário como alternativa para a preservação ambiental. *Revista Brasileira de Ciências da Amazônia*, p. 69-80.
- IBGE (2019). Brasil Panorama. Acesso em 20 de jul de 2019, disponível em Portal IBGE: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/>
- Gotti, I. A., & Souza, A. C. (2017). *Gestão Ambiental*. São Paulo: Editora e distribuidora Educacional SA.
- Labib, S. M. (2017). Volunteer GIS (VGIS) Based Waste Management: A conceptual design and use of Web 2.0 for Smart Waste Management in Dhaka City. *IEEE 2017. Third International Conference on Research in Computational Intelligence and Communication Networks (ICRCICN)*, p. 137 - 141
- Lima, J. D; Thomé; J. F., Reichert; G. A., Firmo, A. L. Uso de modelos de apoio a decisão para análise de alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos sólidos urbanos na Região Sul do Brasil. *Eng Sanit, Ambient, Rio de Janeiro* | v.19, n. 1 p. 33-42. Março 2014 – Disponível em : http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141341522014000100033&lng=en&nrm=iso
- Matos, N. R. (2008). *Mineração de Dados para suporte à decisão no processo da Recolha Selectiva – Optimização de Rotas*. Dissertação de mestrado, Universidade do Minho, Portugal.
- Melaré, A; González, S; Faceli, K. Ferramenta AcheSeuEcoponto: aproximando a população dos pontos de coleta de resíduos sólidos urbanos. In: *Workshop de Computação Aplicada à Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais (WCAMA), 2014, Brasília. Anais do V Workshop de Computação Aplicada a Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais, julho 2014, p. 35-44. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação*
- Savoshinsky, O; Zakharova, A; Pak, A. (2018). Fire Safety Management in Transportation of Municipal Wastes with the Use of Geographic Information Systems. *IEEE International Conference "Management of Municipal Waste as an Important Factor of Sustainable Urban Development" (WASTE), IEEE 2018.*
- Simonetto, E. D; Borenstein, D. Sistema de Apoio à Decisão para o Planejamento Operacional da Coleta Seletiva de Resíduos Sólidos. *Revista Científica*

Eletrônica de Engenharia da Produção 2004, V.4, N.4. Disponível:
<https://doi.org/10.14488/1676-1901.v4i4.1857>

Staples, M. e Niazi, M. Science direct: 2008, Experiences Using Systematic Review Guidelines. *Journal of Systems and Software*, V. 80, p. 1425-1437.

Thorneloe, S., Jambeck, J., Weitz, K. Application of the US decision support tool for materials and waste management. *Science Direct*, V. 27, I. 8, 2007, Pages 1006-1020.

Zainab, A. J; Saad , T. An Optimization Approach for Waste Collection Routes Based on GIS in Hillah-Iraq. *International Conference on Advanced Science and Engineering (ICOASE)*, p. 60-63. IEEE: 2018