

**ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA EFICIÊNCIA NA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS  
URBANOS PARTIR DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)**

**ISLLA THAIRINE DA SILVA SOARES**  
UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO (UPE)

**JOSÉ LUIZ ALVES**  
UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO (UPE)

**ITALO CAVALCANTE DA SILVA SOARES**  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO (UFPE)

**SANDRO VALENÇA**  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO (UFPE)

# ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA EFICIÊNCIA NA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS A PARTIR DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)

## 1. Introdução

A gestão de resíduos sólidos é uma preocupação latente na sociedade moderna, visto que as taxas de geração de resíduos estão aumentando em todo o mundo (WORLD BANK, 2019). De acordo com o Banco Mundial, a geração anual de resíduos sólidos nas cidades mundiais se elevará em torno de 70% até o ano de 2050, quando comparado com os valores de 2016: saindo de um patamar produção de 2,01 bilhões de toneladas de resíduos sólidos por ano para uma estimativa de geração de 3,40 bilhões de toneladas anuais (KASA *ET AL*, 2018).

Nos municípios brasileiros, a coleta de resíduos domiciliares e públicos atingiu a ordem de 62,78 milhões de toneladas no ano de 2018 (SNIS, 2018). Segundo a ABRELPE (2018), no ano de 2018 houve uma produção de 79 milhões de toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil, e estima-se que em 2030 essa geração anual de RSU chegue a 100 milhões de toneladas.

Desde 2010, com a sanção da Lei nº 12.305/10, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), houve um esforço maior em reduzir a quantidade de resíduos produzidos no Brasil e em fornecer uma destinação ambiental adequada a eles. A regulamentação de um instrumento que estabelece diretrizes e metas de gerenciamento ambiental que devem ser adotadas em todo território nacional é um marco importante na busca por uma gestão integrada de gerenciamento de resíduos sólidos de maneira sustentável (Brasil, 2010). Apesar de promulgada há mais de 10 anos, a PNRS não conseguiu ser implementada por todos os municípios brasileiros (SELURB, 2019; BRASIL, 2020).

Alguns países, principalmente os desenvolvidos, apresentam uma gestão mais evoluída de resíduos sólidos. Na Europa, por exemplo, desde a década de 1990 que existem Diretivas que regulamentam o gerenciamento dos Resíduos Sólidos com metas e diretrizes norteadoras (UE, 1994; UE, 1999; UE, 2006; UE, 2008). E, além da questão legislativa, a conjuntura econômica favorece mudanças na gestão dos Resíduos Sólidos (MANNARINO; FERREIRA; GANDOLLA, 2016).

A gestão eficiente dos RSU se torna cada vez mais imprescindível às cidades devido ao panorama desordenado ao qual essa temática está associada. Os RSU são produtos inevitáveis à vida cotidiana, e por esse motivo precisam ser pensados e geridos de forma a minimizar os impactos negativos que provocam à sociedade e ao meio ambiente.

Como envolve danos ao ecossistema e à saúde pública, a gestão integrada de resíduos sólidos deve ser avaliada regularmente (WILSON *ET AL*, 2015; CHAVES; SIMAN; SENA, 2020). Existem indicadores de sustentabilidade para a gestão dos resíduos sólidos que favorecem a análise da gestão a partir das dimensões ambiental, econômica, social, institucional e cultural (POLAZ; TEIXEIRA, 2009; PEREIRA; CURI; CURI, 2018; BARROS; SILVEIRA, 2019).

Neste contexto, são necessárias ferramentas que apoiem a avaliação da eficiência da gestão dos RSU pelos governos locais (GOULART COELHO; LANGE; COELHO, 2016). Medir a eficiência da gestão de RSU é uma maneira de verificar os resultados positivos, de comparar com desempenhos melhores e de implementar novas soluções para as adversidades.

A Análise Envoltória de Dados (DEA, do inglês *Data Envelopment Analysis*) é um modelo de otimização linear que calcula e compara a eficiência entre Unidades Tomadoras de Decisão (DMU – do inglês *Decision Making Unit*), considerando múltiplas entradas e saídas no sistema (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978; GOBBI *et al*, 2019). Apesar de ser uma

metodologia vastamente utilizada em pesquisas acadêmicas em variadas aplicações (VARGAS; DURSKI SILVA; COELHO, 2020), ainda não há expressiva quantidade de publicações que aplicam o DEA para medir eficiência da gestão de RSU, ainda que esteja ganhando mais espaço entre esses pesquisadores (GIANNAKITSIDOU; GIANNIKOS; CHONDROU, 2020).

Este artigo está dividido em seis seções. A primeira concentrou-se em contextualizar o tema e apresentar o escopo do trabalho. Em seguida, o problema de pesquisa e o objetivo foram destacados. Na sequência, apresenta-se a fundamentação teórica. Os procedimentos metodológicos usados no estudo foram explicados no tópico quarto. A seção cinco trata de analisar e discutir os resultados encontrados. Por fim, a seção seis apresenta as conclusões.

## 2. Problema de Pesquisa e Objetivo

Um dos principais desafios ambientais atuais enfrentado pela sociedade é a problemática envolvendo os resíduos sólidos urbanos (RAMACHANDRA *et al.*, 2018). A gestão desses Resíduos Sólidos Urbanos deve ser realizada de maneira eficaz, a fim de minimizar os danos que o mau gerenciamento causa à sociedade e ao meio ambiente.

Este estudo tem por objetivo realizar uma pesquisa bibliométrica para explorar artigos científicos que adotaram a ferramenta de análise envoltória de dados (DEA) para mensurar a eficiência na gestão de RSU. São objetivos específicos do estudo (i) identificar quais os *inputs* e *outputs* foram utilizados nos artigos selecionados para a pesquisa e (ii) descrever quais os objetivos desses artigos da amostra. A utilização de uma metodologia que é flexível e adaptável a diversos pontos de adversidades dos mais variados campos de atuação torna a DEA um método conceituado para mensuração de produtividades e eficiências de um conjunto de DMUs (GIANNAKITSIDOU; GIANNIKOS; CHONDROU, 2020).

Conseguir constatar quais as entradas e saídas são relevantes à análise de gestão de Resíduos Sólidos municipais quando se aplica a DEA é de grande valia para os governos locais que buscam implementar uma gestão de RSU eficiente e sustentável. A partir da definição de variáveis pertinentes outrora validadas, há maior possibilidade de se avaliar a gestão dos RSU e de se elaborar um planejamento de aperfeiçoamento mais assertivo. Até porque um bom funcionamento da gestão municipal de RSU é “elemento central para uma boa qualidade de vida, um ambiente limpo e a conservação dos recursos naturais” (CAMPITELLI; SCHEBEK, p.2, 2020), então os governos necessitam estar atentos ao gerenciamento dos seus RSU.

## 3. Fundamentação Teórica

### RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotados pelo Governo Federal, isoladamente ou em regime de cooperação com outros entes federados ou particulares, com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos, define Resíduo Sólido como:

[...] material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

Em relação aos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), a PNRS (2010) explica que são os resíduos resultantes das atividades domésticas e da limpeza urbana, gerados na varrição,

limpeza de logradouros e vias públicas. Os RSU podem ser classificados como matéria orgânica, papel e papelão, plástico, vidro, metais e outros, a depender de sua composição.

A gestão dos resíduos sólidos envolve coleta, transporte, tratamento e destinação final ambientalmente adequada. Mas para ser considerada uma gestão de RS integrada deve-se levar em consideração os aspectos sociais, ambientais e econômicos que abarquem o setor de saneamento básico como um todo, juntamente com o desenvolvimento de políticas públicas intersetoriais (MAIELLO; BRITTO; VALLE, 2018). A complexidade que envolve o tema, para muitos estudiosos, se dá pelo fato de ter que abranger diferentes agentes na gestão (MARCHI, 2015; CASTILLO-GIMÉNEZ; MONTAÑÉS; PICAZO-TADEO, 2019).

Apesar disso, são os sistemas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos uma das maneiras mais eficazes de conseguir uma tratativa sustentável à problemática envolvendo os RS (REICHERT; MENDES, 2014), da forma como é aplicado em alguns países como Áustria e Alemanha (GIANNAKITSIDOU; GIANNIKOS; CHONDROU, 2020; CASTILLO-GIMÉNEZ; MONTAÑÉS; PICAZO-TADEO, 2019).

Além da importância pela ótica ambiental, os resíduos sólidos são importantes indicadores socioeconômicos, no que diz respeito à quantidade e ao tipo de rejeitos produzidos por uma população (NASCIMENTO *et al.*, 2015). Por isso, o processo de produção, tratamento e destinação dos RS é uma questão de fundamental importância para a sociedade entender e atuar sobre problemáticas desta ordem.

#### ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

Análise Envoltória de Dados (do inglês *Data Envelopment Analysis* – DEA) é uma ferramenta matemática, desenvolvida por Charnes, Cooper e Rhodes, (1978), que mede a eficiência relativa de unidades produtivas. A produtividade é auferida a partir de entradas (*inputs*) que são consumidas no processo e das saídas (*outputs*) que se tem como resultado. O principal objetivo do DEA consiste em comparar um número de unidades tomadoras de decisão – DMU (da sigla em inglês *Decision Making Units*), que realizam tarefas similares e se diferenciam na quantidade de insumos consumidos e das saídas produzidas (MELLO *et al.*, 2005).

As DMUs são as unidades de trabalho comparadas entre si. Para calcular a eficiência relativa entre as DMUs em análise, as variáveis de entrada / insumos do sistema (*inputs*) e as de saída/produtos do sistema (*outputs*) devem ser definidas pelo decisor. As DMUs realizam tarefas similares e o que as diferenciam são as quantidades dos insumos consumidos e os produtos que cada uma gera (CARMO; TÁVORA JUNIOR, 2003). As Unidades Tomadoras de Decisão são consideradas eficientes quando obtêm um índice igual a 1,0 na fronteira de eficiência.

A DEA é uma técnica adequada à realidade das unidades produtivas no apoio às decisões de natureza multicritério por considerar a complexidade dos negócios (SOUZA *et al.*, 2017), já que são utilizadas múltiplas entradas no processo com múltiplas saídas em forma de bens/serviços.

Adotar a ferramenta DEA, que utiliza padrões de problemas de programação linear para determinar a eficiência, permite que se obtenha os resultados pretendidos por meio da utilização de parâmetros objetivos (COLIN, 2007), que poderão ser comparados com outros resultados que se submetam aos mesmos *inputs* e *outputs*. O respaldo científico de um modelo matemático anteriormente testado e validado é evidente. Além disso, dentre os métodos não-paramétricos, a DEA é a metodologia mais representativa para avaliar eficiências de concessionárias de serviços de RS (SIMÕES; MARQUES, 2012).

#### 4. Metodologia

Para o desenvolvimento deste artigo utilizou-se o método de análise bibliométrica para investigar as produções científicas que utilizaram a ferramenta DEA na análise da eficiência na gestão de RSU. A análise bibliométrica consiste em uma análise quantitativa de publicações e pesquisas científicas em relação a um objeto de estudo e é uma metodologia amplamente aceita pela comunidade acadêmica (ARAÚJO, 2006; SILVA, HAYASHI, HAYASHI, 2011; LOPEZ *et al.*, 2020). Por meio da bibliometria é possível examinar a produção científica utilizando-se de estatística descritiva.

Para tanto, foi utilizada a base de dados *Web of Science* como referência para a análise dos artigos que versam sobre a temática a ser analisada. A escolha por esse portal baseou-se na reputação e relevância que ele possui na esfera acadêmica e pelo criterioso protocolo de seleção dos artigos para indexação em sua base de dados, sendo uma das principais fontes de dados científicos disponíveis para consulta acadêmica (LOPEZ *et al.*, 2020; MONGEON, PAULHUS, 2015). Além disso, a WOS é uma base de dados internacional, o que possibilita realizar pesquisas sobre o tema ao redor do mundo.

A seguinte combinação de descritores foi utilizada na busca dos artigos nas bases de dados: "data envelopment analysis" AND "solid waste\*" AND "management". Os termos foram empregados na língua inglesa visto que se trata de uma base internacional. O operador lógico "AND" foi aplicado na pesquisa para que fossem exibidos apenas artigos convergentes entre si, de forma a delimitar o tema investigado.

Como resultado aos descritores foram exibidos 66 artigos científicos. Para ater-se ao tema em estudo, realizou-se a leitura de todos os resumos e a leitura parcial e/ou total dos artigos, de maneira que fosse possível selecionar a amostra final dos documentos, de acordo com os objetivos pré-estabelecidos.

A partir das leituras, houve a exclusão de 45 artigos científicos dos 66. Assim, a amostra final para a realização deste estudo foi de 21 produções científicas. A exclusão dos 45 artigos resultou da não consonância deles com a delimitação da temática a que o presente estudo se propõe a observar. Os artigos excluídos versavam sobre resíduos sólidos industriais/empresariais em portos; eficiência energética; emissão de gases; e sistemas de incineração de RS. Títulos que dedicaram sua análise à gestão de recicláveis, de resíduos perigosos, de lixo eletrônico, de resíduos de desastre também não foram considerados. Além disso, muitos estudos valeram-se dos RS apenas como um componente na abordagem de um tema mais amplo (eficiência de sustentabilidade, serviço de água e esgoto, desempenho ambiental, indicador econômico). Temas como cooperativas, comparação entre desempenho de serviço público e privado e entidades reguladoras, local de instalação de RS, sistema logístico, e criação de cenários não foram incluídos no conjunto de artigos selecionados pela divergência ao mote em questão. Assim, a amostra para a realização do estudo foi de 21 artigos científicos, cujos autores, títulos e ano de publicação estão descritos na Tabela 1, abaixo:

TABELA 1 – Amostra de artigos científicos selecionados para a realização do estudo

Autor(es)	Título	Ano de Publicação
Sarkis, J.	A comparative analysis of DEA as a discrete alternative multiple criteria decision tool	2000
Sanchez, I. M. G.	Efficiency of solid waste collection in Spain	2006
Garcia-Sanchez, I. M.	The performance of Spanish solid waste collection	2008

Marques, R. C.; Simões, P.	Incentive regulation and performance measurement of the Portuguese solid waste management services	2009
Simões, P.; Witte, K.; Marques, R. C.	Regulatory structures and operational environment in the Portuguese waste sector	2010
Chen, C. C.	A performance evaluation of MSW management practice in Taiwan	2010
Huang, Y. T.; Pan, T. C.; Kao, J. J.	Performance assessment for municipal solid waste collection in Taiwan	2011
Benito-Lopez, B.; Moreno-Enguix, M. D.; Solana-Ibanez, J.	Determinants of efficiency in the provision of municipal street-cleaning and refuse collection services	2011
Dai, C.; Li, Y. P.; Huang, G. H.	An interval-parameter chance-constrained dynamic programming approach for capacity planning under uncertainty	2012
Rogge, N.; Jaeger, S.	Evaluating the efficiency of municipalities in collecting and processing municipal solid waste: a shared input DEA-model	2012
Simoës, P.; Cavalho, P.; Marques, R. C.	The Market Structure of Urban Solid Waste Services: How Different Models Lead to Different Results	2013
Rogge, N.; Jaeger, S.	Measuring and explaining the cost efficiency of municipal solid waste collection and processing services	2013
Benito, B.; Solana, J.; Moreno, M. R.	Explaining efficiency in municipal services providers	2014
Struk, M.; Matulova, M.	The application of two-stage data envelopment analysis on municipal solid waste management in the Czech Republic	2016
Spallini, S.; Viola, D.; Leogrande, D.; Maria, V. A.	The efficiency of the municipal waste management model in the Italian Municipalities	2016
Alfiero, S.; Elba, F.; Esposito, A.; Resce, G.	The Impact of Environmental Factors on the Measurement of Managerial Efficiency In the Italian Waste Management Sector: Framework and Empirical Evidence	2017
Mohamed, S. R.; Ghazali, N. F. M.; Mohd, A. H.	The Input and Output Management of Solid Waste using DEA models: A case study at Jengka, Pahang	2017
Tuzuner, Z.; Alp, I.	Comparison of Solid Waste Management Performances of Turkey and EU countries associated with Malmquist Index	2018

Yang, Q.; Fu, L. M.; Liu, X. X.; Cheng, M.Y.	Evaluating the Efficiency of Municipal Solid Waste Management in China	2018
Romano, G.; Molinos-Senante, M.	Factors affecting eco-efficiency of municipal waste services in Tuscan municipalities: An empirical investigation of different management models	2020
Giannakitsidou, O.; Giannikos, I.; Chondrou, A.	Ranking European countries on the basis of their environmental and circular economy performance: a DEA application in MSW	2020

Fonte: Autoria própria (2020).

O período das publicações não foi um critério de exclusão de artigos, uma vez que se levou em consideração a coleção inicial da base de dados (1945) até a data em que foram realizadas as pesquisas (agosto de 2020). Além disso, todas as bibliotecas da base foram pesquisadas, para se ter um panorama geral da produção científica sobre a temática em análise.

A tabulação dos dados e informações coletados, a partir da seleção dos artigos, foi realizada no *software* Microsoft Excel (2013). Informações de autoria, títulos, resumos, objetivos, palavras-chave, ano de publicação, revista de publicação, áreas do conhecimento, instituições participantes na produção, países envolvidos nas pesquisas, *inputs* e *outputs* usados nos trabalhos foram organizados para a utilização de análises quantitativas e suas representações, como gráficos e tabelas.

O *software* gratuito utilizado no mapeamento científico das redes bibliométricas foi o VosViewer versão 1.6.15, devido a seu satisfatório e pertinente desempenho na análise e visualização dos dados. A partir dele, os mapas bibliométricos podem ser examinados em detalhes e podem fornecer diferentes apreciações de acordo com a necessidade de cada pesquisa (VAN ECK; WALTMAN, 2009).

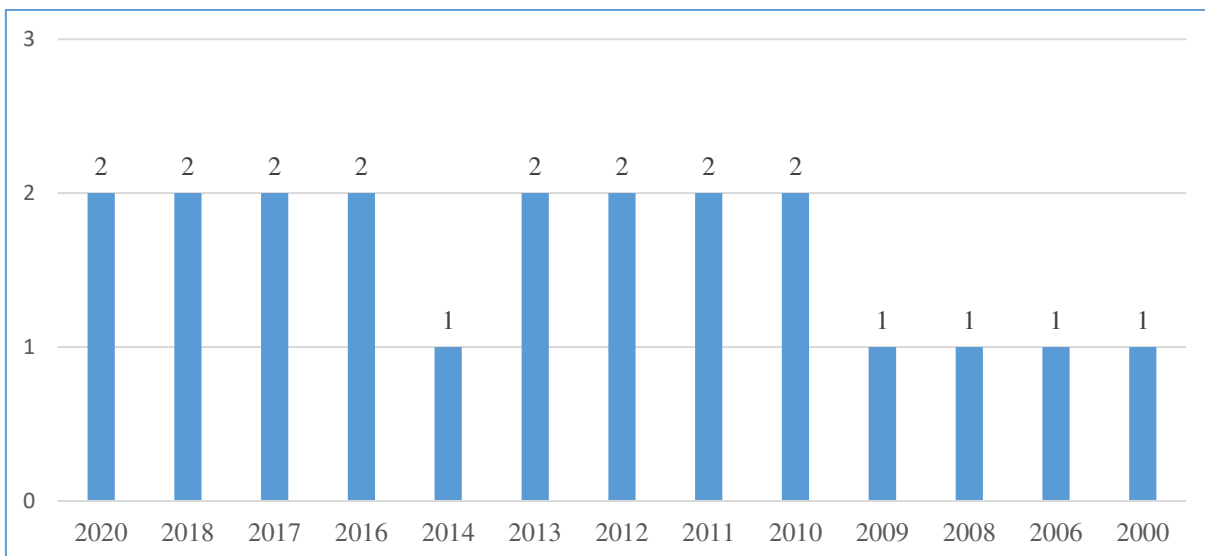
A partir dos resultados compilados e dos mapas concebidos pelos *softwares*, foi realizada uma análise crítica para explorar a produção científica selecionada acerca do objetivo deste estudo. Esta etapa empenhou-se em interpretar as informações, perceber particularidades em relação à temática estudada, encontrar padrões e repetições entre eles.

## 5. Análise dos Resultados

A amostra utilizada nessa pesquisa é composta por 21 artigos indexados na WOS. Foram levados em consideração aqueles que convergiam para o objetivo de medir a eficiência da gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos por meio da DEA.

De forma geral, a DEA ainda não é uma ferramenta vastamente utilizada para se medir a eficiência dos RSU. A partir do gráfico 1 é possível analisar que o primeiro estudo com tais características indexado na WOS foi em 2000 e, que ao longo dos anos, não houve um aumento significativo no número de produções científicas nela publicadas, possuindo, inclusive, alguns anos em que não houve registro de trabalhos.

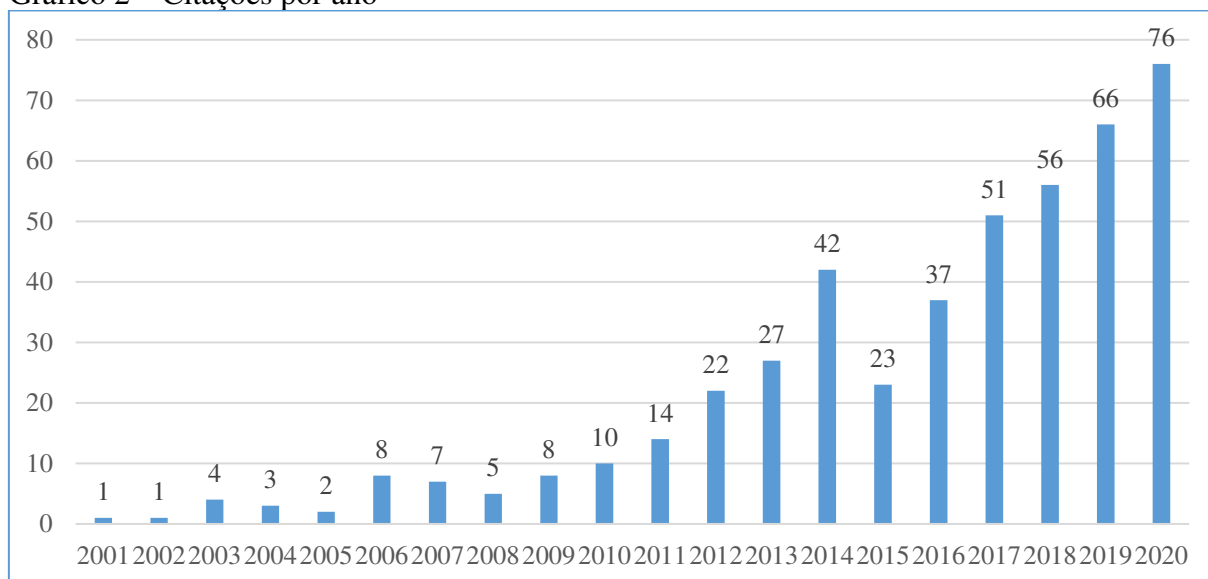
Gráfico 1 – Quantidade de artigos por ano de publicação



Fonte: Autoria própria (2020)

Apesar de não haver uma crescente indexação de artigos que se utilizam da DEA para mensurar a eficiência da gestão de RSU, houve uma crescente citação dos artigos estudados ao longo dos anos (gráfico 2). Mesmo em anos em que não foi publicado artigos com a temática analisada, os artigos anteriormente publicados foram citados.

Gráfico 2 – Citações por ano

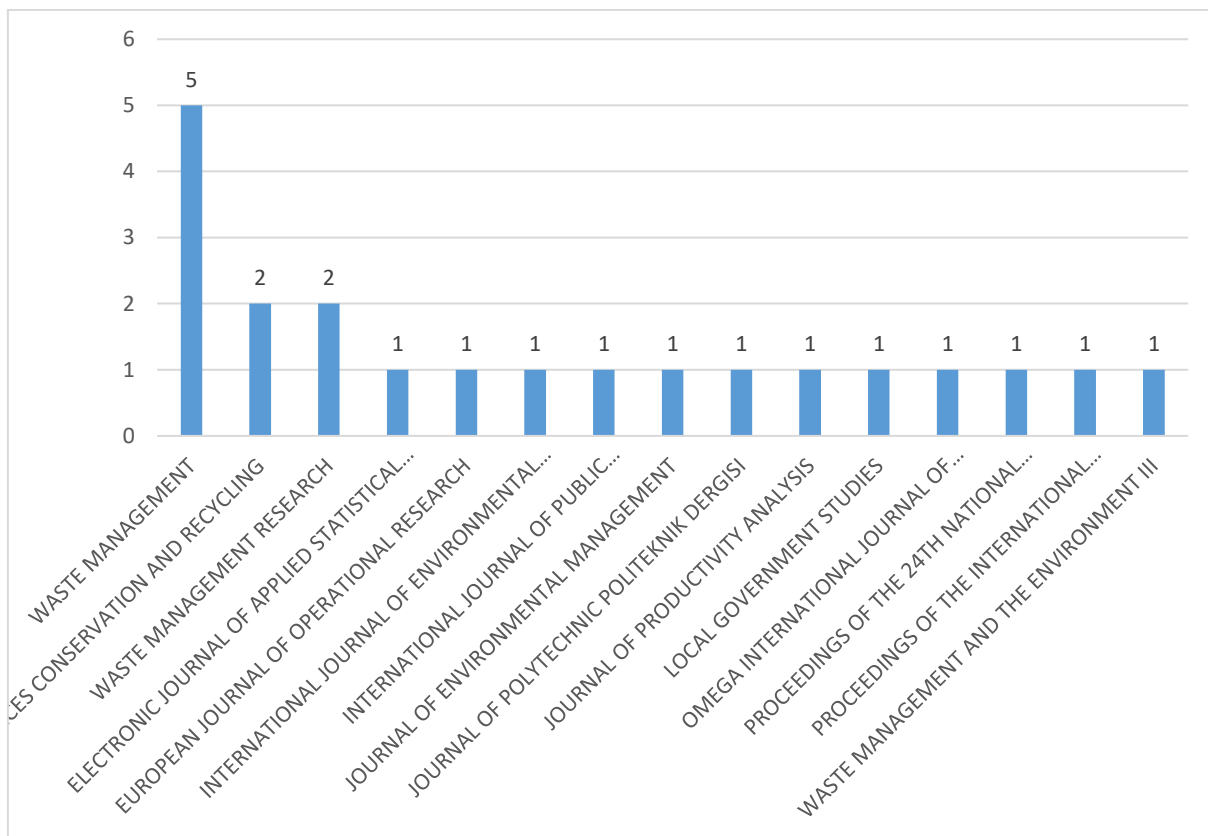


Fonte: Autoria própria (2020)

A amostra dos 21 artigos foi publicada em 15 periódicos distintos (gráfico 3). As revistas que mais se destacaram em quantidade de indexações sobre a temática estudada foram a *Waste Management*; a *Resources Conservation and Recycling*; e a *Waste Management Research*. A primeira e a terceira revistas dedicam-se à apresentação e discussão de assuntos relacionados a resíduos sólidos; a segunda, ao manejo sustentável e à conservação de recursos naturais. Por ser um objeto de estudo não recorrente, as publicações acontecem, principalmente, em revistas que dialogam diretamente com a temática. Os demais periódicos publicaram 1 artigo cada.

Gráfico 3 - Artigos publicados por periódico

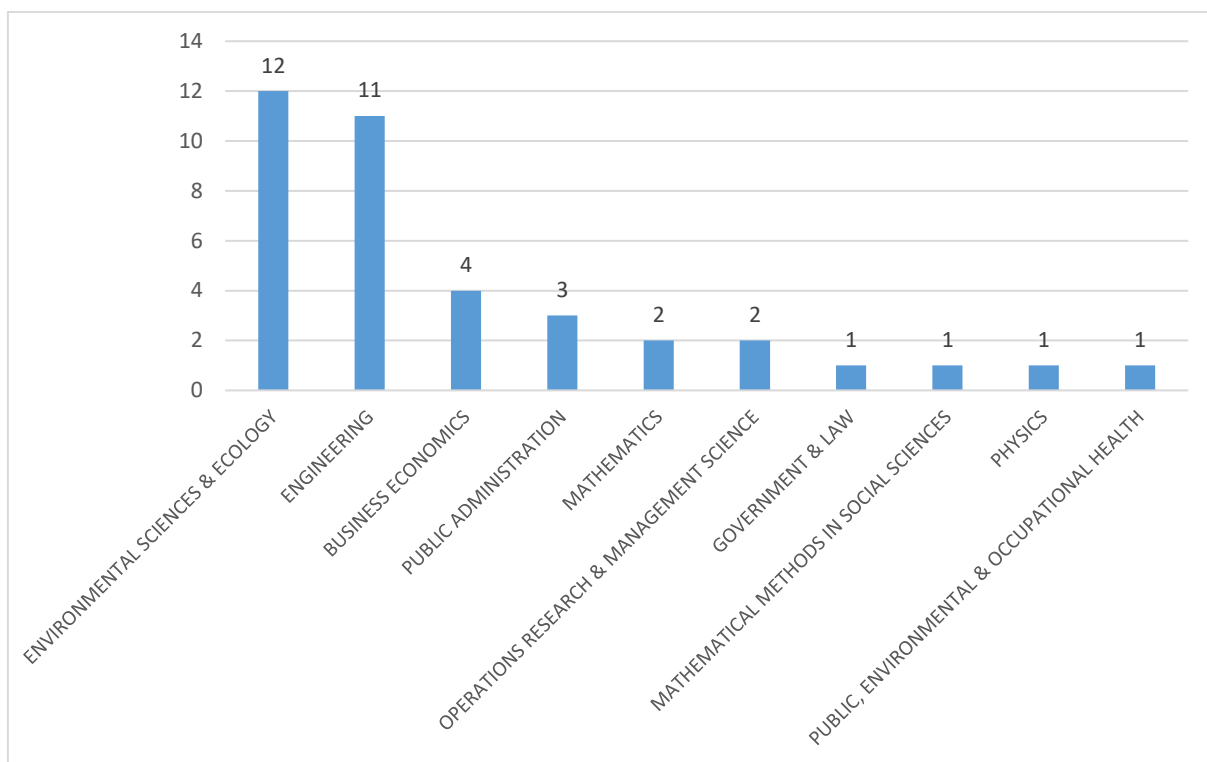




Fonte: Autoria própria (2020).

No que diz respeito às áreas de pesquisa que estudam a eficiência da gestão de RSU por meio da DEA, percebe-se que há diversidade e interdisciplinaridade. Pela classificação da WoS, as áreas de pesquisas mais recorrentes entre a amostra são “Ciências Ambientais e Ecologia” (com 12 artigos publicados) e “Engenharia” (com 11 artigos). Ainda há artigos categorizados nas áreas de “economia de Negócios”; “Administração Pública”; “Matemática”; “Pesquisa Operacional e Ciência do Gerenciamento”; “Governo e Direito”; “Física”; e, “Saúde Pública, Ambiental e Ocupacional”, conforme Gráfico 4. Ressalta-se a existência de artigos em mais de uma classificação de área de pesquisa.

Gráfico 4 - Artigos por área de pesquisa



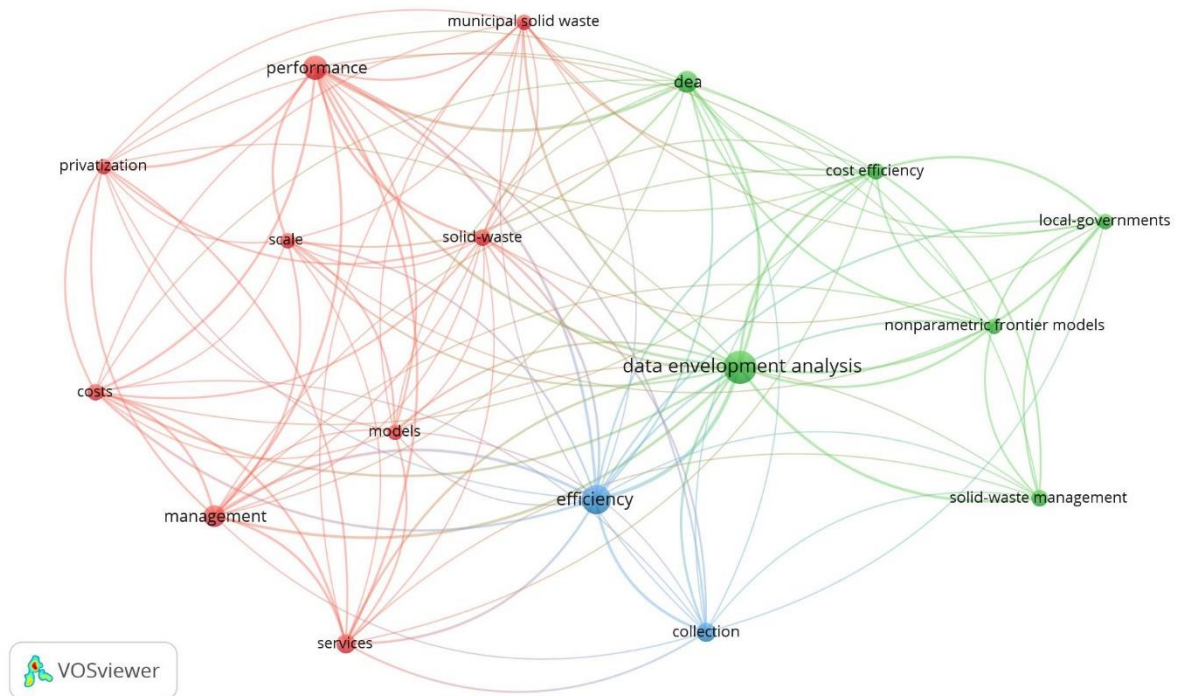
Fonte: Autoria própria (2020).

Explorando os objetivos da amostra dos artigos em estudo, percebe-se que há uma unanimidade entre eles quando propõem medir a eficiência dos serviços de gestão de Resíduos Sólidos municipais, ou para a identificação e avaliação do desempenho, ou para a melhoria da performance. Algumas publicações, além de ter a intenção de determinar a eficiência na gestão dos RSU, possuíam a finalidade de examinar o modelo regulatório do país; relacionar os níveis de eficiência ao modelo de gestão municipal adotado; descrever o ciclo biológico dos RSU; e, avaliar a presença de economias de escopo no setor de resíduos.

Em relação à ferramenta DEA, alguns trabalhos explicitaram a sua utilização em seus objetivos. Um deles ressaltou que ela foi usada como uma nova abordagem para medir a ecoeficiência do serviço de gestão dos RSU; outros dois a aplicaram para desenvolver um método de programação dinâmica limitada ao acaso com parâmetro de intervalo (ICDP) e um indicador agregado (IA) apropriados para avaliar o desempenho da gestão de RSU; e, ainda, foi utilizada como auxiliar à decisão para avaliar informações de decisão de múltiplos critérios alternativos discretos.

As publicações analisadas utilizaram-se de 139 palavras-chave em suas produções. Ao explorar os termos que aparecem no mínimo 3 vezes nos documentos, foi selecionado uma co-ocorrência de 17 palavras-chave na amostra, em 3 clusters, como apresentado na Figura 1. A palavra-chave que mais teve recorrência foi “Análise Envoltória de Dados” com 15 ocorrências. Além de ser a ferramenta utilizada para determinar a eficiência dos RSU nos artigos, foi um dos descritores utilizados na seleção da amostra dos arquivos. Os dois próximos termos com maior número de ocorrência foram Eficiência (11) e Performance (8), que são diretamente relacionados aos objetivos dos artigos estudados.

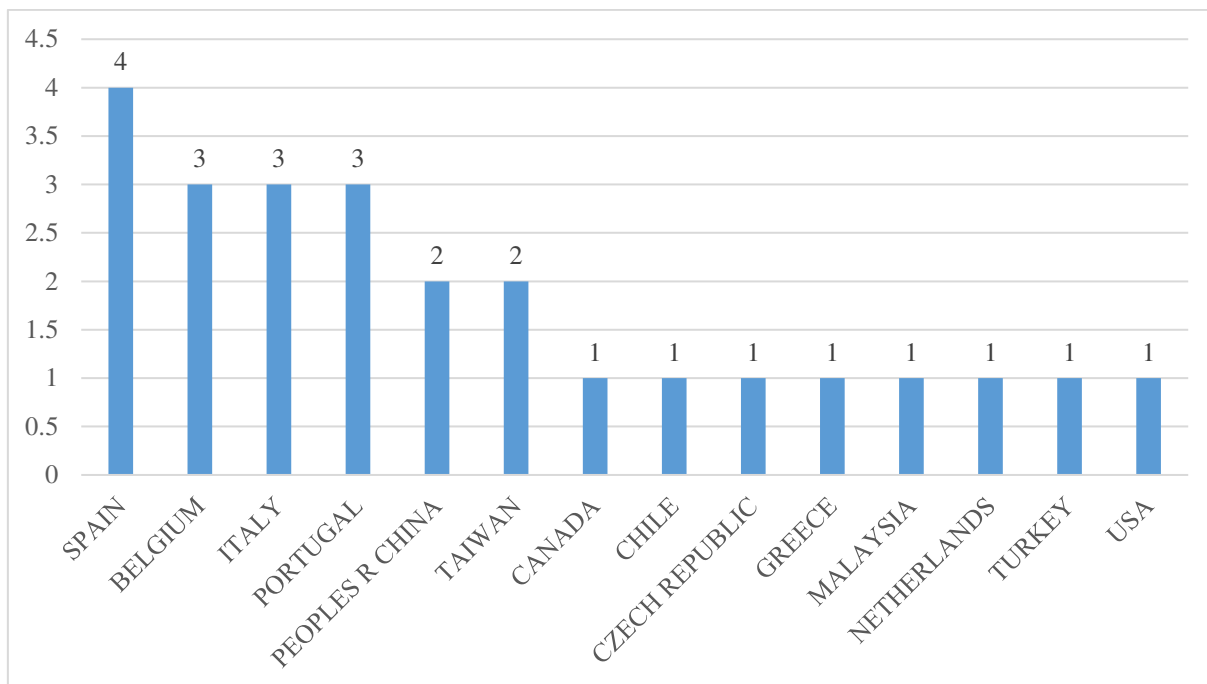
Figura 1 - Rede e ocorrência de palavras em títulos, resumos e palavras-chave



Fonte: Autoria própria a partir do VOSviewer (2020).

O gráfico 5 apresenta os países e regiões dos autores que publicaram os artigos em análise. Os países maiores produtores de pesquisas sobre a temática em estudo foram Espanha (4), Bélgica (3), Itália (3) e Portugal (3). Este resultado ratifica a relevância dada aos resíduos sólidos pela Europa. A China e Taiwan seguem o ranking de posições com 2 artigos cada um. Chile, República Tchêquia, Grécia, Malásia, Holanda, Turquia e Estados Unidos possuem uma publicação cada. Dos 21 artigos, três foram escritos em colaboração de mais de um país. Bélgica, Portugal e Holanda elaboraram “Regulatory structures and operational environment in the Portuguese waste sector”; Itália e Chile conceberam “Factors affecting eco-efficiency of municipal waste services in Tuscan municipalities: An empirical investigation of different management models”; e China e Canadá produziram em conjunto “An interval-parameter chance-constrained dynamic programming approach for capacity planning under uncertainty”.

Gráfico 5 – Países dos autores

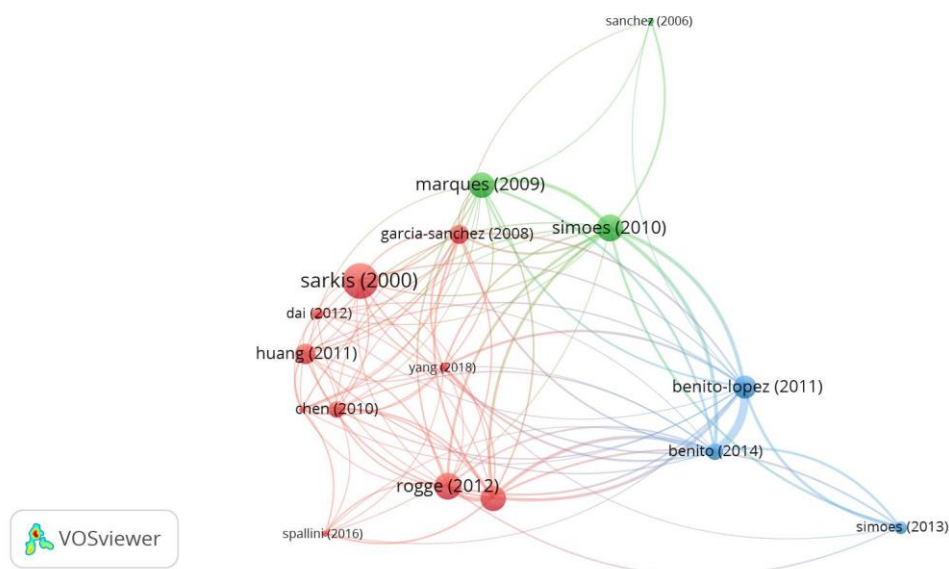


Fonte: Autoria própria (2020).

Os autores que mais se destacaram em quantidade de artigos publicados sobre RSU e DEA foram MARQUES, RC e SIMÕES, P, com 3 estudos, e ROGGE, N e DE JAEGER, S, que colaboraram em 2 artigos cada. Os demais pesquisadores produziram apenas um artigo. Tal fato pode ratificar a produção de pesquisas sobre a temática bastante dispersa.

A rede de acoplamento bibliográfico entre os autores da amostra é apresentada na Figura 2. Como critério de corte, foi considerado apenas artigos que tinham, no mínimo, uma citação, fornecendo como resultado 16 publicações em três clusters. Os artigos acoplados tratam de temas e conceitos correlatos, já que citam, simultaneamente, a mesma publicação. Em cada cluster, os pesquisadores tendem a referenciar os mesmos autores.

Figura 2 - Rede de acoplamento bibliográfico



Fonte: Autoria própria a partir do VOSviewer (2020).

A análise dos *inputs* e *outputs* utilizados na amostra das publicações também foi objeto de estudo do presente artigo. As entradas e saídas do sistema foram apreciadas com o intuito de se verificar quais as variáveis utilizadas para determinar a eficiência na gestão dos RSU e quais as mais recorrentes entre os trabalhos.

A quantidade de resíduos, seja gerada, coletada, reciclada e/ou tratada, aparece em 18 dos 21 artigos, como *input* e/ou *output*. Tal resultado ratifica que a quantidade de resíduos é um dado importante para estratégias de gestão de RSU na dimensão ambiental de indicadores. Sendo uma entrada do sistema, é fundamental considerar a produção dos RSU para conhecer os fatores que alimentam o processo. Quando se analisa como uma saída, a quantidade de resíduos revela a capacidade de processamento do sistema.

Outro dado recorrente entre as publicações analisadas são os custos e despesas relacionados à gestão dos RSU. Apenas 4 artigos não possuem em seus *inputs* e/ou *outputs* algum indicador de custo, despesa, investimento e/ou orçamento. A dimensão econômica dos indicadores, nesse caso, é relevante por se tratar de gestão de resíduos sólidos de municípios, regiões, países, que necessitam retornar à sociedade informações sobre os gastos.

Além dos dados acima mencionados, na amostra também foram considerados como *inputs*: funcionários/mão de obra associada à coleta de resíduos; equipamentos; veículos; frequência de coleta; efeitos globais e na saúde. Os demais *outputs* utilizados foram: população atendida; habitações e áreas cobertas; bueiros limpos; índice de qualidade construído sobre a adequação do serviço; capacidade das instalações; pontos de coleta; e, viabilidade técnica.

## 6. Conclusão

O estudo bibliográfico realizado neste artigo buscou entender a produção científica sobre a gestão dos resíduos sólidos urbanos por meio da ferramenta análise envoltória de dados (DEA). A partir das publicações do banco de dados Web of Science, analisou-se 21 publicações que discorrem sobre a temática proposta. Os artigos se prestam a analisar a eficiência dos custos e a eficiência operacional da gestão dos RS utilizando-se da metodologia DEA.

Os países que indexaram as maiores quantidades de artigos estão localizados na Europa, que é o continente que melhor gerencia seus RSU. Dentre os componentes utilizados como *input* e/ou *outputs*, há uma predominância na utilização da quantidade de resíduos e os custos envolvidos na gestão.

A quantidade de publicações sobre o objeto de estudo em questão não apresentou uma tendência de evolução ao longo dos anos, apesar de a quantidade de citações dos artigos terem demonstrado um crescimento no quantitativo. Depreende-se que a DEA ainda não é uma ferramenta vastamente utilizada para medir a eficiência da gestão dos RSU. Uma hipótese para esse resultado, que merece ser investigada em estudos futuros, está relacionada a ausência de conhecimentos técnicos e conceituais sobre a ferramenta DEA.

Considerando o pequeno universo de artigos na WOS que versam sobre a gestão dos RSU utilizando-se de uma ferramenta matemática, fica como sugestão a realização de novas pesquisas em outras bases de dados para que se verifique a ocorrência de outros *inputs* ou *outputs* além dos que já foram identificados nesta pesquisa utilizando a análise envoltória de dados – DEA – na gestão de resíduos sólidos urbanos. A alta geração de resíduos sólidos necessita de um planejamento adequado quanto ao manejo e disposição final desses RS, de forma integrada, como propõe a PNRS. Medir a eficiência das entidades nesse gerenciamento é um caminho interessante para entender o desempenho e melhorar a performance. Assim, essa pesquisa aponta a análise envoltória de dados como uma possibilidade para o adequado gerenciamento de resíduos, a partir da utilização de *inputs* e *outputs*, bem como a possibilidade de benchmarking entre as unidades tomadoras de decisão analisadas ou comparadas.

## Referências

ABRELPE – Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2018/2019**. São Paulo, 2019. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em: 15 mar 2020.

ARAÚJO, C. A. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. **Em Questão**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 11-32, 2006.

BARROS, R. T. DE V.; SILVEIRA, A. V. F. Uso de indicadores de sustentabilidade para avaliação da gestão de resíduos sólidos urbanos na Região Metropolitana de Belo Horizonte. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 2, p. 411-423, abr., 2019.

BRASIL. **Lei n. 12.305 de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a lei n.9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providencias. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília DF, 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, 2020.

CAMPITELLI, A.; SCHEBEK, L. How is the Performance of Waste Management Systems assessed globally? A Systematic Review. **Journal of Cleaner Production**, 122986, 2020.

CARMO, C. M.; TÁVORA JUNIOR, J. L. Avaliação da eficiência técnica de empresas de saneamento brasileiras utilizando a metodologia DEA. **Anais do XXXI Encontro Nacional de Economia – ANPEC**, Porto Seguro, 2003.

CASTILLO-GIMÉNEZ, J.; MONTAÑÉS, A.; PICAZO-TADEO, A. J. Performance and convergence in municipal waste treatment in the European Union. **Waste Manag.**; 85:222-231, 2019.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision-making units. **European Journal of Operational Research**, v. 2, n. 6, p. 429-444, 1978.

CHAVES, G. DE L. D.; SIMAN, R. R.; SENA, L. G. Ferramenta de avaliação dos Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos: parte 1. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 1, p. 167-179, jan., 2020.

COLIN, E. C. **Pesquisa Operacional: 170 aplicações em estratégia, finanças, logística, produção, marketing e vendas**. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

GIANNAKITSIDOU, O.; GIANNIKOS, I.; CHONDROU, A. Ranking European countries on the basis of their environmental and circular economy performance: a DEA application in MSW. **Waste Management**, 109, 181–191, 2020.

GOBBI, C. N.; SANCHES, V. M. L.; GUIMARÃES, M. J. D. O. C.; DE FREITAS, M. A. V.; PACHECO, E. B. A. V. Efficiency in the environmental management of plastic wastes at Brazilian ports based on data envelopment analysis. **Marine Pollution Bulletin**, 142: 377-383, 2019.

GOULART COELHO, L. M.; LANGE, L. C.; COELHO, H. M. Multi-criteria decision making to support waste management: a critical review of current practices and methods. **Waste Management & Research**, 35(1), 3–28, 2016.

KAZA, S.; YAO, L. C.; BHADA-TATA, P.; VAN WOERDEN, F. **What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050**. Urban Development. Washington, DC: World Bank, 2018.

LÓPEZ, N. R.; MILÁN GARCÍA, J.; URIBE TORIL, J.; DE PABLO VALENCIANO, J. Evolution and latest trends of local government efficiency: Worldwide research (1928–2019). **Journal of Cleaner Production**, 121276, 2020.

MAIELLO, A.; BRITTO, A. L. N. DE P.; VALLE, T. F. Implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Rev. Adm. Pública**, Rio de Janeiro, v. 52, n. 1, p. 24-51, jan. 2018.

MANNARINO, C. F.; FERREIRA, J. A.; GANDOLLA, M. Contribuições para a evolução do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil com base na experiência Européia. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 2, p. 379-385, jun., 2016.

MARCHI, C. M. D. F. Novas perspectivas na gestão do saneamento: apresentação de um modelo de destinação final de resíduos sólidos urbanos. urbe, **Rev. Bras. Gest. Urbana**, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 91- 105, abr. 2015.

MELLO, J. C. C. B. S.; MEZA, L. A.; GOMES, E. G.; BIONDI NETO, L. Curso de análise de envoltória de dados. **Anais do Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**. Gramado, RS, Brasil, 37, 2005.

MONGEON, P.; PAUL-HUS, A. The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis. **Scientometrics**, 106(1), 213–228, 2015.

NASCIMENTO, V. F. et al. Evolução e desafios no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, v. 10, n. 4, p. 889- 902, dez. 2015.

PEREIRA, S. S.; CURI, R. C.; CURI, W. F. Uso de indicadores na gestão dos resíduos sólidos urbanos: uma proposta metodológica de construção e análise para municípios e regiões. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, 23(3), 471–483, 2018.

POLAZ, C. N. M.; TEIXEIRA, B. A. N. Indicadores de sustentabilidade para a gestão municipal de resíduos sólidos urbanos: um estudo para São Carlos (SP). **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 3, p. 411-420, set., 2009.

RAMACHANDRA, T. V.; BHARATH, H. A.; KULKARNI, G.; HAN, S. S. Municipal solid waste: Generation, composition and GHG emissions in Bangalore, India. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 82, 1122–1136, 2018.

REICHERT, G. A.; MENDES, C. A. B. Avaliação do ciclo de vida e apoio à decisão em gerenciamento integrado e sustentável de resíduos sólidos urbanos. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 3, p. 301- 313, set. 2014.

SELURB. ISLU – **Índice de Sustentabilidade e Limpeza Urbana**. 2019.

SILVA, M. R.; HAYASHI, C. R. M.; HAYASHI, M. C. P. I. Análise bibliométrica e cientométrica: desafios para especialistas que atuam no campo. **InCID: Revista de Ciência da Informação e Documentação**, 2(1), 110–129, 2011.

SIMÕES, P.; MARQUES, R. C. On the economic performance of the waste sector. A literature review. *Journal of Environmental Management*, 106, 40–47, 2012.

SNIS - Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. **Diagnóstico Anual de Resíduos Sólidos Urbanos** – 2018. Brasília, 2019. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/>. Acesso em: 05 mar 2020.

SOUZA, V.; MELO, A. DE S.; SOBRAL, M. F. F.; VALENCA, M. N. Uso da análise envoltória de dados para mensuração da sustentabilidade de hotéis-fazenda em Pernambuco. **Interações (Campo Grande)**, Campo Grande, v. 18, n. 1, p. 41-57, Mar. 2017.

UE - União Européia. Conselho da União Europeia. **Diretiva 94/62/EC** - Relativa à embalagens e resíduos de embalagens, 20 de dezembro de 1994. 1994.

UE - União Européia UE. Conselho da União Europeia. **Diretiva 1999/31/EC** - Relativa à deposição de resíduos em aterros, 26 de abril de 1999. 1999.

UE - União Européia UE. Conselho da União Europeia. **Diretiva 2006/12/EC** - Relativa aos resíduos. 05 de abril de 2006. 2006.

UE - União Européia. Conselho da União Europeia. **Diretiva 2008/98/EC** - Relativa aos resíduos e que revoga certas diretivas. 18 de novembro de 2008. 2008.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, 84(2), 523–538, 2009.

VARGAS, M. N.; DURSKI SILVA, V. M.; COELHO, A. S. Análise envoltória de dados (DEA) aplicada a portos: o estado da arte. **Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios**, [S.l.], v. 13, p. 78-109, jun. 2020.

WILSON, D.C.; RODIC, L.; COWING, M.J.; VELIS, C.A.; WHITEMAN, A.D.; SCHEINBERG, A.; VILCHES, R.; MASTERSON, D.; STRETZ, J.; OELZ, B. “Wasteaware” benchmark indicators for integrated sustainable waste management in cities. **Waste Management**, v. 35, p. 329-342, 2015.

WORLD BANK. **Solid waste management**. 2019. Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/brief/solid-waste-management>. Acesso em: 19 jul. 2020.