

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS POR
MEIO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS**DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.5.22.VIII-004>**Renata Cereda (*), Érica Pugliesi**

* Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), renatacereda@estudante.ufscar.br

RESUMO

A técnica de Análise Envoltória de Dados (DEA) permite analisar o panorama atual da gestão resíduos sólidos, tanto para um município específico, como para uma bacia hidrográfica, um estado ou até mesmo para todos os estados da federação. Essa pesquisa objetiva analisar a capacidade de evitar desperdício de recursos e tempo de um dos instrumentos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS): o plano de resíduos sólidos. DEA é uma técnica não-paramétrica que utiliza a programação linear para calcular e comparar as eficiências de diferentes sistemas produtivos, por meio da construção de uma fronteira de eficiência. Será utilizado como implementação computacional o Sistema Integrado de Apoio à Decisão (SIAD) que permitirá analisar a eficiência das Unidades Tomadoras de Decisão (Decision Making Unit – DMU). Serão mensuradas a relação das saídas pelas entradas, cujo objetivo é de estabelecer um sistema de monitoramento com indicadores que contribuam para redução da poluição, para a preservação dos recursos naturais, redução da quantidade de resíduos em aterros e promova ações sobre a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos.

PALAVRAS-CHAVE: Gestão de Resíduos Sólidos, Planos de Resíduos Sólidos, Análise Envoltória de Dados, Sistema Integrado de Apoio à Decisão.

ABSTRACT

The Data Envelopment Analysis (DEA) technique enables the analysis of the current solid waste management overview, either for a specific municipality, a watershed, a state, or even for all federation states. This research aims to analyze the capability of avoiding both time and resource waste of one of the National Solid Waste Policy (PNRS) instruments: the solid waste plan. DEA is a non-parametric technique that uses linear programming in order to calculate and compare different production systems efficiencies by building an efficiency frontier. The Integrated Decision Support System (SIAD) will be used as a computational implementation for analyzing the Decision-Making Units (DMU) efficiency. The ratio between outputs and inputs will be measured in order to establish a monitoring system with indicators that contribute to the pollution reduction, natural resources preservation, landfills waste amount reduction, and the promotion of actions to support shared responsibility for the products cycle life.

KEY WORDS: Solid Waste Management, Solid Waste Plans, Data Envelopment Analysis, Integrated Decision Support System.

INTRODUÇÃO

Há mais de 10 anos de sancionada a Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010 que Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), regulamentada por meio do Decreto nº 7.404/2010. O desenvolvimento econômico e tecnológico ante o crescimento da produção contribui para o aumento da quantidade e diversidade de resíduos sólidos.

Em meio a pandemia Covid-19, na qual historicamente estamos presenciando, os resíduos sólidos tem sido um bem econômico, de valor social, gerador de trabalho e renda. O gerenciamento desses resíduos torna-se parte fundamental na cadeia de recuperação de recursos (FIDELIS E COLMENERO, 2017).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispõe de princípios, objetivos e instrumentos, bem como diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos. De acordo com a PNRS deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

O que incumbe ao Distrito Federal e aos municípios a gestão integrada dos resíduos sólidos gerados em seus respectivos territórios. Um dos instrumentos da PNRS são os planos de resíduos sólidos que assegura ampla publicidade ao conteúdo, bem como controle social em sua formulação, implementação e operacionalização (BRASIL, 2010).

Para analisar o enfrentamento dessa questão de Resíduos Sólidos, essa pesquisa abordará uma técnica de Análise Envoltória de Dados (Data Envelopment Analysis - DEA) que mede a eficiência das Unidades Tomadoras de Decisão (Decision Making Unit – DMU) ou seja será atribuído um score para cada DMU (VIEIRA, 2019).



A Análise Envoltória de Dados (DEA) é uma técnica não-paramétrica que utiliza a programação linear para calcular e comparar as eficiências de diferentes sistemas produtivos, seja de bens ou de serviços, através da construção de uma fronteira de eficiência (BARBOSA e FUCHIGAMI, 2018).

A técnica de programação linear é utilizada para calcular o peso que cada variável exerce sobre o resultado. O peso estimado irá maximizar a eficiência das unidades (DMU) analisadas (BARBOSA e FUCHIGAMI, 2018).

A eficiência pode ser determinada pela capacidade de evitar desperdício de recursos e tempo, para que seja produzido um resultado determinado. Matematicamente, trata-se da mensuração da relação das saídas ou outputs (aquilo que deveria ser produzido ou objetivo a ser atingido) pelas entradas ou inputs (recursos utilizados para atingir os objetivos especificados), o que permitirá identificar nas organizações tanto públicas como privadas, suas principais dificuldades e propor metas para que a DMU avaliada atinja a fronteira de eficiência (BARBOSA e FUCHIGAMI, 2018).

Como implementação computacional para a Análise Envoltória de Dados será utilizado um software SIAD – Sistema Integrado de Apoio à Decisão que permite inserir até 100 DMU's e 20 variáveis, entre inputs e outputs (MELLO et al, 2003).

OBJETIVOS

Objetivos gerais

Esta pesquisa tem por objetivo geral avaliar os serviços relacionados à limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), fazendo uso da técnica de Análise Envoltória de Dados (DEA) que determina a eficiência de Unidades Tomadoras de Decisão (DMU) atribuindo um score para cada unidade avaliada. A princípio o objeto de análise será o Município de Araraquara – SP, podendo se estender a mais Municípios da região ou da mesma Bacia Hidrográfica.

Objetivos específicos

- Definir quais DMU's serão analisadas;
- Determinar quais os pesos dos inputs e outputs relevantes as DMU's selecionadas;
- Aplicação da técnica DEA para o cálculo de eficiência por meio da utilização de um software de Sistema Integrado de Apoio à Decisão – SIAD;
- Analisar os resultados obtidos e avaliar como está a situação atual da aplicação e as barreiras da legislação vigente quanto à gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Legislação e Resíduos Sólidos

A PNRS torna-se um marco regulatório no setor, integrando a Política Nacional do Meio Ambiente (Lei Federal nº 6938/1981), articulando-se com a Lei Federal de Saneamento Básico (Lei nº 14.026/20), com desdobramentos nas Leis Federais de Consórcios Públicos (Lei nº 11.107/05); de Parceria Público-Privada (Lei nº 11.079/04); do Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/01), e da Lei de Educação Ambiental (Lei nº 9.795/99), entre outras afins.

Os resíduos sólidos também são aplicados às normas estabelecidas pelos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS), do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (SUASA) e do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (SINMETRO) (BRASIL, 2010).

Neste contexto, a PNRS dispõe de princípios, objetivos e instrumentos, bem como diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos. Faz-se destaque especial para o princípio da responsabilidade compartilhada, que deve, conforme previsto em lei, adotar a prática da logística reversa e proceder à análise do ciclo de vida de seus produtos, desde a extração dos insumos para gerar os artefatos, passando pelo consumo, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição, com o devido controle social (BRASIL,2010; ARARAQUARA,2014).

Estão sujeitos à observância desta Lei, as pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, responsáveis, direta ou indiretamente, pela geração de resíduos sólidos (BRASIL,2010).

De acordo com a PNRS os resíduos sólidos são definidos 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 técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

Um dos instrumentos da PNRS são os planos de resíduos sólidos que têm como principal objetivo subsidiar o planejamento e a gestão de resíduos sólidos nas esferas Federal, Estadual e Municipal – sendo considerados condição fundamental para Estados e Municípios terem acesso a recursos da União, destinadas a empreendimentos e serviços relacionados à limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos, ou para serem beneficiados por incentivos ou financiamentos de entidades federais de crédito ou fomento para tal finalidade, bem como a recursos do Fundo Estadual de Prevenção e Controle da Poluição (BRASIL, 2010).

Ainda, neste contexto, são priorizados no acesso aos recursos da União os Municípios que optarem por soluções consorciadas intermunicipais para a gestão de resíduos sólidos, implantarem a coleta seletiva com a participação de cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis (BRASIL, 2010).

São planos de resíduos sólidos:

- a) *O Plano Nacional de Resíduos Sólidos;*
- b) *Os planos estaduais de resíduos sólidos;*
- c) *Os planos microrregionais de resíduos sólidos e os planos de resíduos sólidos de regiões metropolitanas ou aglomerações urbanas;*
- d) *Os planos intermunicipais de resíduos sólidos;*
- e) *Os planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos;*
- f) *Os planos de gerenciamento de resíduos sólidos (BRASIL, 2010).*

A existência de um PMGIRS não exime o município ao licenciamento ambiental de aterros sanitários e de outras infraestruturas e instalações operacionais integrantes ao serviço público de limpeza e manejo de resíduos sólidos. O PMGIRS deve ser disponibilizado para o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos (SINIR), na forma de regulamento (BRASIL, 2010).

Análise Envoltória de Dados - DEA

A Análise Envoltória de Dados surgiu a partir do trabalho de Charnes, Cooper e Rhodes (1978), quando eles tentavam comparar a eficiência de escolas americanas que se distinguiam por ter ou não aderido a um programa de acompanhamento discente criado por Rhodes. A dificuldade do trabalho de Charnes, Cooper e Rhodes eram a de estabelecer pesos adequados a cada uma das variáveis do meio escolar (número de professores, notas dos alunos, saúde mental dos discentes, número de laboratórios, horas/aula etc.), essa inserção de pesos com base apenas no julgamento do decisor poderia comprometer toda a confiabilidade dos resultados (BARBOSA e FUCHIGAMI, 2018).

Diante de tal fato, Rhodes começou a pesquisar formas de calcular a eficiência destas instituições de ensino de forma que seus resultados obtivessem maior grau de confiabilidade e aceitação. Em suas pesquisas Rhodes deparou-se com a pesquisa de Farrel (1957) que estabelecia os pressupostos básicos para calcular a eficiência através da criação de uma fronteira (BARBOSA e FUCHIGAMI, 2018).

Charnes, Cooper e Rhodes (1978) baseando-se na pesquisa de Farrel (1957) atribuíram novos aspectos ao modelo e então surgiu a Análise Envoltória de Dados, do inglês Data Envelopment Analysis conhecida por DEA (BARBOSA e FUCHIGAMI, 2018).

A Análise Envoltória de Dados trata-se de um conjunto de operações matemáticas que utiliza a programação linear, não paramétrica para calcular e comparar as eficiências de diferentes sistemas produtivos, seja de bens ou de serviços, através da construção de uma fronteira de eficiência. Essa técnica de programação linear, estima peso às variáveis que maximizam as eficiências das unidades analisadas, que na DEA são chamadas de DMU (Decision Making Units). Portanto, cada DMU, tem a sua eficiência maximizada (BARBOSA e FUCHIGAMI, 2018)

Para compreender o que é eficiência e quais os modelos DEA existentes, nos subitens a seguir serão apresentados alguns conceitos fundamentais.

Conceito de Eficácia

Eficácia pode ser entendida como capacidade de desenvolver tarefas ou objetivos de modo competente. Mello et al. (2005) consideram que a eficácia está ligada apenas ao que é produzido, sem levar em conta os recursos usados para produção, ou seja eficácia é a capacidade de uma unidade produtiva atingir a produção.



Conceito de Produtividade

Produtividade pode ser compreendida pela razão entre o que foi produzido em quantidade (outputs) e o que foi gasto para produzir (inputs) (MELLO et al., 2005).

Conceito de Eficiência

Eficiência é conceituada como a capacidade de realizar tarefas ou trabalhos de modo eficaz e com o mínimo de desperdício. Mello et al. (2005) consideram que eficiência é um conceito relativo, pois compara o que foi produzido (outputs) com os recursos disponíveis (inputs) com o que poderia ser produzido (outputs) dada a mesma quantidade de recursos (inputs).

Para compreender como os conceitos de eficácia, produtividade e eficiência estão correlacionados, a abordagem DEA apresenta uma técnica para a comparação de eficiências.

A **Figura 1** representa, três unidades produtivas (A, B e C) e suas respectivas eficiências (inputs/outputs), o gráfico demonstra o quanto de insumos foram utilizados para produzir as saídas. A Curva S é denominada de fronteira de eficiência (VIEIRA, 2019).

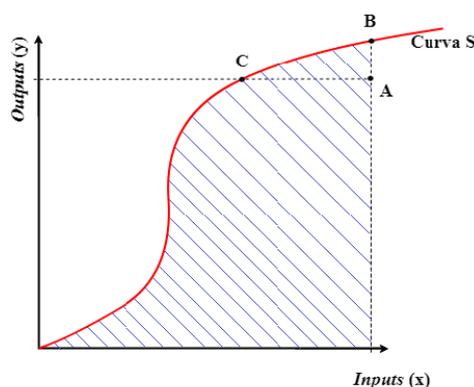


Figura 1 - Representação da Fronteira de Eficiência. Fonte: Vieira (2019).

Nota-se, que as unidades produtivas B e C são unidades consideradas eficientes, pois estão localizadas na Curva S (Fronteira da Eficiência) e a região abaixo desta curva é denominada de ineficientes (MELLO et al., 2005).

A **Figura 2** compara os coeficientes angulares das três unidades produtivas entre a origem O e os pontos A, B e C, observa-se que apenas a unidade C é a mais produtiva por possuir o maior coeficiente angular possível. Na técnica DEA as unidades produtivas são denominadas de Unidades Tomadoras de Decisão (MELLO et al., 2005).

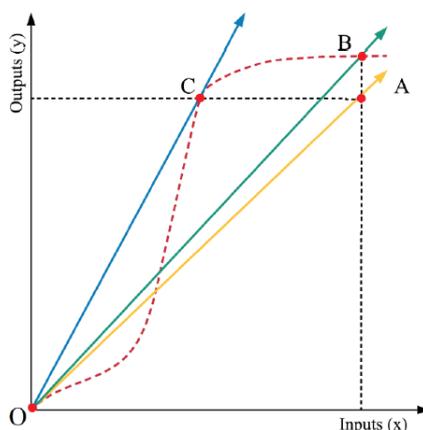


Figura 2 - Relação entre os conceitos de Produtividade e Eficiência. Fonte: Mello et al. (2005).

Para que uma unidade (DMU) ineficiente alcance a fronteira de eficiência, existem duas formas:



1. a redução de recursos (Inputs);
2. o aumento dos produtos (Outputs).

Na **Figura 3** a unidade P precisa reduzir os Inputs para se obter uma eficiência igual da unidade B. Ou, se preferir podem aumentar os Outputs para se obter uma eficiência igual da unidade D (MELLO et al., 2005).

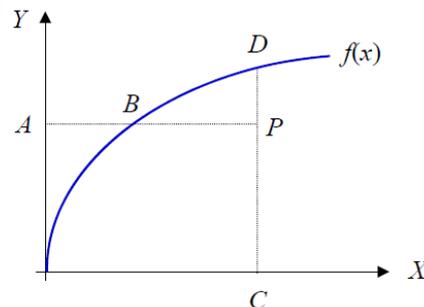


Figura 3 – Alcance da Fronteira de Eficiência. Fonte: Mello et al. (2005).

Utilizando-se a Análise Envoltória de Dados como economia de um recurso e de um produto, a **Figura 4** aborda um caso particular em que a Fronteira da Eficiência é uma reta que passa pela origem e de declividade igual a produtividade (MELLO et al., 2005).

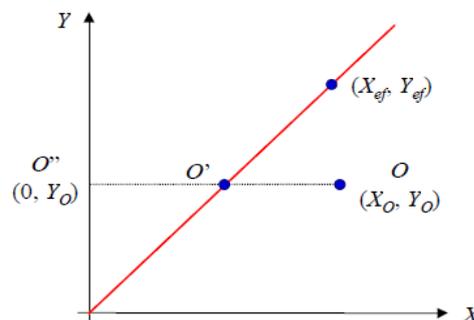


Figura 4 – Exemplo com input e output únicos. Fonte: Mello et al. (2005).

De acordo com Barbosa e Fuchigami (2018) a DMU eficiente é representada pelo ponto de coordenada (X_{ef}, Y_{ef}) , o ponto O é uma DMU ineficiente, e que para atingir a eficiência precisa reduzir seus inputs mantendo os outputs ou, mantendo-se os inputs, aumentar seus outputs.

MODELOS DE ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS - DEA

Os modelos DEA compartilham entre si algumas propriedades, como:

- a) em qualquer modelo DEA, cada DMU determina seu respectivo conjunto de pesos, de modo que a torne a melhor opção viável dentre as demais, é possível que cada DMU possua um conjunto de pesos distintos;
- b) os modelos DEA não variam com a escala de medida utilizada, independente da unidade utilizada seu resultado não será modificado, por exemplo, usar m^2 ou km^2 para uma área;
- c) independente do modelo, a DMU que representar o melhor resultado entre os inputs e outputs será sempre considerada como eficiente;
- d) a seleção prévia das variáveis a serem utilizadas na abordagem DEA independem da escolha do modelo (VIEIRA, 2019).



Modelo CCR (CRS)

O modelo de Retorno Constante (CRS) tem como propriedade principal a proporcionalidade entre inputs e outputs na fronteira, ou seja, o aumento na quantidade dos inputs, provocará acréscimo proporcional no valor dos outputs. Esse modelo permite que cada DMU escolha os pesos para cada variável (entrada ou saída), porém os pesos aplicados às outras DMU's devem gerar uma razão inferior a 1 (MELLO et al., 2005).

Modelo BBC (VRS)

O modelo de Retorno de Escala Variável (VRS) significa que quando há um aumento das entradas espera-se que resulte em um aumento desproporcional nos outputs. Sua aplicação pode significar uma correlação significativa entre o tamanho da DMU e sua eficiência em um conjunto grande de DMU's (VIEIRA, 2019).

Mello et al. (2005) diz que o modelo BCC permite que DMU's que operam com baixos valores de inputs tenham retornos crescentes de escala e as que operam com altos valores tenham retornos decrescentes de escala.

SISTEMA INTEGRADO DE APOIO À DECISÃO – SIAD

O Sistema Integrado de Apoio à Decisão (SIAD) foi desenvolvido por Angulo Meza et al. (2004), o objetivo desse sistema é de calcular as eficiências de cada DMU. Este software estabelece as unidades benchmarks (ineficientes), também as folgas de cada DMU e retorna uma tabela com os pesos que foram atribuídos a cada uma das variáveis.

Nessa pesquisa utilizaremos uma versão do software disponibilizada através do site <http://www.professores.uff.br/joaocsmello/>, o sistema foi desenvolvido em Delphi 7.0 e deve ser usado em uma plataforma Windows, ele permite inserir até 100 DMU's e 20 variáveis, entre inputs e outputs. A **Figura 5** apresenta a tela inicial do Software SIAD v3.0.

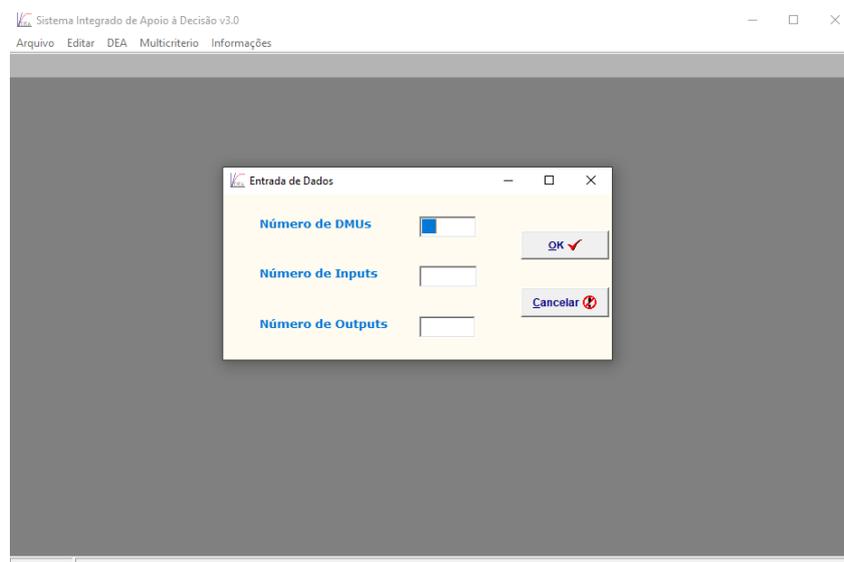


Figura 5 – Tela inicial SIAD v3.0. Fonte: Autora do trabalho

METODOLOGIA

Definição das DMU's a serem utilizadas

Para determinar o conjunto de DMU's que serão utilizadas, elas devem possuir o mesmo objetivo, trabalhar nas mesmas condições de mercado e ter autonomia na tomada de decisão.



Determinação dos pesos dos inputs e outputs

A determinação das variáveis de entrada e saída deve ser feita a partir do PMGIRS do município de Araraquara. Os inputs e outputs selecionados podem ser variáveis contínuas, ordinais ou categóricas, como também podem ser medidas em diferentes unidades como por exemplo: monetária, temporal e dimensional (VIEIRA,2019).

Aplicação da Abordagem DEA por meio do software SIAD

Após a definição das DMU's a serem utilizadas e a determinação dos pesos para cada DMU iremos inserir os dados no software SIAD. A inserção será realizada de forma manual e por meio de registros obtidos de dados sobre Resíduos Sólidos do município de Araraquara.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Espera-se com essa pesquisa obter resultados que possibilitem os gestores verificar a eficiência das Unidades selecionadas, na questão de Resíduos Sólidos.

A Análise Envoltória de Dados colabora na tomada de decisões, pois a aplicação dessa técnica atribuindo pesos às variáveis resultam em dados mais próximo possível da realidade – o que traz uma confiabilidade a esse método.

CONCLUSÃO

Serão analisados os resultados da aplicação do modelo DEA selecionado, dos métodos para a gestão dos resíduos sólidos urbanos, a aplicação do método para este contexto, as limitações do método, quais os benefícios e as dificuldades encontradas, como está a situação dos Resíduos Sólidos no âmbito municipal, se o município está atendendo às normas e legislação vigente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARARAQUARA. **Plano Municipal de Saneamento Básico. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos** - Departamento Autônomo de Água e Esgotos. Araraquara, SP, 2013.
2. ARARAQUARA. **Plano Municipal de Saneamento Básico. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos** - Departamento Autônomo de Água e Esgotos. Araraquara, SP, 2014.
3. BARBOSA, F.C., FUCHIGAMI, H.Y. **Análise Envoltória de Dados: Teoria e Aplicações práticas**. 1ªed. Itumbiara. Goiás, 2018.
4. BRASIL. **Decreto nº 7.404, de 02 de agosto de 2010. Regulamenta a Lei nº 12.305**. Brasília, Brasil. D.O.U. DE 23/12/2010.
5. BRASIL. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providencias**. Brasília, Brasil. D.O.U. DE 03/08/2010.
6. FIDELIS, R., COLMENERO, J.C. **Avaliar o desempenho das cooperativas de reciclagem em suas atividades operacionais na cadeia de reciclagem**. Londrina, Brasil, 2017.
7. MELLO, J.C.C.B.S. et al. **SIAD – Sistema Integrado de Apoio à Decisão: Uma implementação computacional de modelos de Análise de Envoltória de Dados**. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/256373425_SIAD_Sistema_Integrado_de_Apoio_a_Decisao_uma_implementation_computacional_de_modelos_de_analise_de_envoltoria_de_dados. Acesso em 05 de agosto de 2021.
8. SISTEMA INTEGRADO DE APOIO A DECISÃO (SIAD) – **Software v3.0**. Disponível em: <http://www.professores.uff.br/joaocsmello/>. Acesso: 09 de agosto de 2021.
9. VIEIRA, K.S. **Análise da Eficiência do Gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil**. Caruaru-PE, 2019. Disponível em: <https://attena.ufpe.br/bitstream/123456789/34082/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O%20Keilane%20dos%20Santos%20Vieira.pdf>. Acesso em 30/07/2021.