



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

KEILANE DOS SANTOS VIEIRA

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS NO BRASIL**

Caruaru

2019

KEILANE DOS SANTOS VIEIRA

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO GERENCIAMENTOS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS NO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Otimização e Gestão da Produção.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Paula Henriques Gusmão de Araújo Lima.

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Paula Silva - CRB/4 - 1223

V657a Vieira, Keilane dos Santos.
 Análise da eficiência do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. /
 Keilane dos Santos Vieira. – 2019.
 103 f.; il.: 30 cm.

 Orientadora: Ana Paula Henriques Gusmão de Araújo Lima
 Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Programa de
 Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2019.
 Inclui Referências.

 1. Gestão integrada de resíduos sólidos (Brasil). 2. Limpeza urbana (Brasil). 3.
 Saneamento (Brasil). 4. Eficiência organizacional (Brasil). 5. Avaliação (Brasil). 6.
 Política pública. I. Lima, Ana Paula Henriques Gusmão de Araújo (Orientadora). II.
 Título.

CDD 658.5 (23. ed.)

UFPE (CAA 2019-067)

KEILANE DOS SANTOS VIEIRA

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS NO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Aprovada em: 25/04/2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Ana Paula Henriques Gusmão de Araújo Lima (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Thárcylla Rebecca Negreiros Clemente (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Renata Maciel de Melo (Examinador Externo) Universidade
Federal de Pernambuco

*À minha vó,
Aos meus pais, meus irmãos e sobrinhos.*

AGRADECIMENTOS

Eu, primeiramente gostaria de agradecer aos meus pais, meu irmão e irmãs pelo o apoio financeiro, emocional e por me aguentar durante essa árdua trajetória, sem eles chegar até aqui não seria possível. E gostaria de agradecer minha vó, que me deixou antes que eu terminasse esta pesquisa, mas que esteve comigo grande parte do caminho.

Gostaria de agradecer aos meus amigos Wesley Oliveira, Layra Lima, Juliana Kluck, Stefane Clarindo, Angela Teixeira e Laís Gomes, cada um de vocês e de forma diferente tornaram todo esse período de quase dois anos tolerável, divertido e menos complicado. Agradeço, também, a minha orientadora Prof^a. Ana Paula Henriques Gusmão de Araújo Lima, pelos conselhos, paciência e mais importante por ter me ajudado a tornar esta pesquisa possível.

Agradeço a todos os meus colegas de classe, vocês foram minha família por algum tempo e tenho um carinho enorme por todos vocês.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro e gostaria de agradecer, também ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – Campus Agreste (PPGEP-CAA) por ter me acolhido e me proporcionado uma vivência acadêmica que ainda não havia conhecido, e agradeço profundamente à banca pelos comentários e sugestões que enriqueceram ainda mais esta pesquisa. Deixo aqui meu muito obrigada a todos os docentes do PPGEP – CAA e ao secretário do programa, George Andrade.

“O homem não pode ser libertado pela mesma injustiça que o escravizou.”
(BROWN, 2014, p. 345)

RESUMO

O Gerenciamento dos Resíduos Sólidos (GRS) consiste em uma das atividades mais importantes executadas pelo poder público, nele está englobada uma série de etapas visando garantir que os resíduos sólidos sejam coletados, transportados e encaminhados para as destinações corretas, incluindo a disposição adequada dos mesmos. A falta ou a gestão ineficiente dos resíduos sólidos pode acarretar diversos impactos negativos ao meio ambiente, ao bem-estar e à saúde humana, tornando necessário assegurar que o GRS ocorra de forma adequada e eficiente. O Brasil passou cerca de duas décadas de discussões para finalmente estipular uma lei para regulamentar o GRS, isto ocorreu através da Lei 12.305 de 2010, denominada de Política Nacional dos Resíduos Sólidos. A legislação trouxe consigo conceitos, objetivos, metas, instrumentos, diretrizes entre outros, que foram estipulados como forma de melhorar a prestação dos serviços do GRS. Desde 2010, o Brasil vem então tentando se adequar as diretrizes estipuladas pela lei, demonstrando assim que o país está à procura de melhorar a gestão de seus resíduos sólidos. Esta pesquisa com intuito de constatar o panorama atual do GRS no Brasil propõe através da utilização da abordagem DEA (Análise Envoltória de Dados) medir e avaliar a eficiência de três processos contidos no GRS no país. Os processos analisados neste estudo consistem do Processo de Coleta dos Resíduos Sólidos; Processo de Limpeza Pública; e Processo de Disposição Final. Cada processo foi analisado separadamente, cada um contendo diferentes inputs e outputs, esta pesquisa propôs ainda sanar uma lacuna na literatura propondo os inputs e outputs para medir a eficiência do Processo de Disposição Final isto em conjunto com a utilização de outputs indesejáveis para este processo. Realizou-se o cálculo da eficiência através do modelo DEA BCC com orientação a outputs, utilizando dados dos anos de 2013 a 2016 dos 27 estados brasileiros, resultando em 12 execuções separadas. Os resultados obtidos através da abordagem DEA forneceram uma visão do desempenho dos estados brasileiros, permitindo realizar inferências sobre a eficiência dos mesmos para o período analisado. Notou-se que para o Processo de Coleta o Brasil se encontra relativamente eficiente, pois, os estados obtiveram resultados razoáveis de eficiência para todos os anos, tendo suas eficiências ultrapassando 70% nos resultados gerais. Os processos de Disposição Final e Limpeza Pública obtiveram os resultados mais críticos, sendo este último, claramente não visto como uma prioridade pelo poder público. Esta pesquisa, a partir dos resultados, procura proporcionar um entendimento do desempenho do Brasil num período de quatro anos com relação ao seu GRS.

Palavras-chave: Gerenciamento dos resíduos sólidos; Política Nacional dos Resíduos Sólidos; Análise da eficiência; DEA.

ABSTRACT

The Solid Waste Management (SWM) consists of one of the most important activities carried out by the public power, which includes a series of steps to ensure that solid wastes are collected, transported and sent to the correct destinations, including their proper disposal. The lack or inefficient management of solid waste can have a number of negative impacts on the environment, human well-being and health, making it necessary to ensure that the SWM takes place properly and efficiently. Brazil has spent about two decades of discussions to finally stipulate a law to regulate the SWM, this occurred through Law 12.305 of 2010, known as National Policy of Solid Waste (NPSW). The legislation brought concepts, objectives, goals, instruments, guidelines, among others, which were stipulated as a way to improve the provision of SWM services. Since 2010, Brazil has been trying to adapt the guidelines stipulated by the NPSW law, thus demonstrating that the country is looking to improve the management of its solid waste. This research, in order to verify the current SWM scenario in Brazil, proposes the use of the DEA approach (Data Envelopment Analysis) to measure and evaluate the efficiency of three processes contained in the SWM in the country. The processes analyzed in this study consist of the Solid Waste Collection Process; Public Cleaning Process; and Final Disposal Process. Each process was analyzed separately, each containing different inputs and outputs, this research proposed to address a gap in the literature by proposing the inputs and outputs to measure the efficiency of the Final Disposal Process in conjunction with the use of undesirable outputs for this process. The efficiency calculation was performed using the DEA BCC model with output orientation, using data from the years 2013 to 2016 of the 27 Brazilian states, resulting in 12 separate executions. The results obtained through the DEA approach provided a view of the performance of Brazilian states, allowing inferences to be made about their efficiency for the period analyzed. It was noted that for the Collection Process, Brazil is relatively efficient, since the states obtained reasonable efficiency results for each year, with their efficiencies exceeding 70% in the overall results. The Final Disposition and Public Cleaning processes obtained the most critical results, the latter being clearly not seen as a priority by the public authorities. This research, based on the results, seeks to provide an understanding of Brazil's performance over a period of four years in relation to its SWM.

Keywords: Solid waste management; National Policy of Solid Waste; Efficiency analysis; DEA.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Hierarquia do Gerenciamento dos Resíduos Sólidos.....	22
Figura 2 –	Linha do Tempo dos Resíduos Sólidos no Brasil.....	24
Gráfico 1 –	Representação da Fronteira de Eficiência.....	31
Gráfico 2 –	Relação entre os conceitos de produtividade e eficiência.....	32
Fluxograma 1 –	Fluxograma do processo produtivo de uma DMU.....	33
Fluxograma 2 –	Fluxograma da Aplicação da abordagem DEA.....	35
Gráfico 3 –	Alcance da Fronteira de Eficiência.....	37
Figura 3 –	Divisão da revisão da literatura.....	43
Figura 4 –	Estrutura da Metodologia utilizada nesta pesquisa.....	52
Figura 5 –	Divisão das etapas de Aplicação da DEA.....	54
Gráfico 4 –	Quantidade de municípios brasileiros presentes no Snis-RS (2013-2016)	56
Gráfico 5 –	Número de municípios contidos no Diagnóstico do ano de 2016 comparados com o número de municípios existentes nos Estados agrupados por Região.....	57
Mapa 1 –	Scores de eficiência para os estados brasileiros calculados através do DEA BCC-O para o Processo de Coleta, para os anos de a) 2013, b) 2014, c) 2015 e d) 2016.....	77
Mapa 2 –	Scores de eficiência para os estados brasileiros calculados através do DEA BCC-O para o Processo de Limpeza Pública, para os anos de a) 2013, b) 2014, c) 2015 e d) 2016.....	79
Mapa 3 –	Scores de eficiência para os estados brasileiros calculados através do DEA BCC-O para o Processo de Disposição Final, para os anos de a) 2013, b) 2014, c) 2015 e d) 2016.....	80
Mapa 4 –	Número de vezes que cada DMU foi considerada eficiente.....	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Estudos utilizando a abordagem DEA no GRS.....	46
Tabela 2 –	<i>Inputs e Outputs</i> para medir a eficiência do Processo de Coleta dos Resíduos Sólidos.....	59
Tabela 3 –	Estatística descritiva das variáveis utilizadas para análise da eficiência do processo de coleta para os anos de 2013-2016.....	61
Tabela 4 –	Matriz de correlação entre as variáveis do Processo de Coleta (2016).....	62
Tabela 5 –	<i>Inputs e Outputs</i> para medir a eficiência do Processo de Limpeza Pública.....	63
Tabela 6 –	Estatística descritiva das variáveis utilizadas para análise da eficiência do processo de limpeza pública para os anos de 2013-2016.....	64
Tabela 7 –	Matriz de correlação entre as variáveis do Processo de Limpeza Pública (2016).....	65
Tabela 8 –	<i>Inputs e Outputs</i> para medir a eficiência do Processo de Disposição Final.....	67
Tabela 9 –	Estatística descritiva das variáveis utilizadas para análise da eficiência do Processo de Disposição Final para os anos de 2013-2016.....	67
Tabela 10 –	Matriz de correlação entre as variáveis do processo de disposição final (2016).....	69
Tabela 11 –	Resultados do modelo DEA BCC-O para o processo de coleta (2013-2016).....	72
Tabela 12 –	Resultados do modelo DEA BCC-O para o Processo de limpeza pública (2013-2016).....	73
Tabela 13 –	Resultados do modelo DEA BCC-O para o Processo de Disposição Final (2013-2016).....	75
Tabela 14 –	Eficiências dos estados por processo e por ano.....	83
Tabela 15 –	Resumo das informações encontradas sobre os PERS	

	analisados.....	84
Tabela 16 –	Síntese das informações obtidas através dos PERS de cada estado.....	86
Tabela 17 –	Estados com os piores resultados para todos os processos e anos	91

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
AC	Acre
AL	Alagoas
AM	Amazonas
AP	Amapá
BA	Bahia
BCC	Banker, Charnes e Cooper
CCR	Charnes, Cooper e Rhodes
CE	Ceará
CRS	<i>Constant Returns to Scale</i>
DEA	Análise Envoltória de Dados
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i>
DF	Distrito Federal
DMU	<i>Decision Making Unit</i>
DMU	Unidades de Tomada de Decisão
ES	Espírito Santo
et al.	E outros
FUN_COL	Funcionários da coleta
GO	Goiás
GRS	Gerenciamento dos Resíduos Sólidos
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
MA	Maranhão
MG	Minas Gerais
MS	Mato Grosso do Sul
MT	Mato Grosso
Núm. Eff.	Número de vezes que um estado foi eficiente
PA	Pará
PB	Paraíba
PDGIRS	Plano Distrital de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

PE	Pernambuco
PERS	Plano Estadual dos Resíduos Sólidos
PI	Piauí
Plansab	Plano Nacional do Saneamento Básico
PMGIRS	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PNMA	Política Nacional de Meio Ambiente
PNRS	Política Nacional dos Resíduos Sólidos
POP_ATEND	População Atendida
POP_EST	População do estado
PPL	Problema de Programação Linear
PR	Paraná
QTD_COL	Quantidade de resíduos coletados
QTD_COL_LP	Quantidade de resíduos da limpeza pública
QTD_CONTROL	Quantidade de resíduos encaminhada à aterros controlados
QTD_LIXÃO	Quantidade de resíduos encaminhada à lixões
QTD_OUTRAS	Quantidade de resíduos não encaminhada à lixões, aterros sanitários ou controlados
QTD_SANITARIO	Quantidade de resíduos encaminhada à aterros sanitários
QTD_TOTAL	Quantidade total de resíduos recebidos nas unidades de processamento
QTD_VEIC	Quantidade de veículos
RDO	Resíduo Domiciliar
RJ	Rio de Janeiro
RN	Rio Grande do Norte
RO	Rondônia
RPU	Resíduo Público
RR	Roraima
RS	Rio Grande do Sul
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SARJETA_VAR	Sarjeta varrida
SC	Santa Catarina
SE	Sergipe
SEMMA	Secretaria Estadual de Meio Ambiente

SGRS	Sistema de Gerenciamento dos Resíduos Sólidos
Sinisa	Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento Básico
SINIR	Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos
Snis	Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento
SP	São Paulo
TO	Tocantins
TRAB_CAP	Trabalhadores da capina
TRAB_VAR	Trabalhadores da varrição
UF	Unidade Federativa
VRS	<i>Variable Returns to Scale</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	OBJETIVO GERAL.....	19
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	20
2	FUNDAMENTAÇÃO TÉORICA.....	21
2.1	GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS.....	21
2.1.1	Gerenciamento dos Resíduos Sólidos no Brasil.....	23
2.2	ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS – DEA.....	30
2.2.1	Conceitos Gerais.....	30
2.2.2	Abordagem DEA.....	36
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	43
3.1	EFICIÊNCIA DO GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS.....	43
3.2	UTILIZAÇÃO DA DEA NA ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DO GRS.....	45
3.2.1	Conclusões da Revisão da Literatura.....	49
4	METODOLOGIA.....	51
5	APLICAÇÃO DA ABORDAGEM DEA.....	54
5.1	DEFINIÇÃO DO OBJETIVO DA ANÁLISE DEA.....	55
5.2	DELIMITAÇÃO DAS DMU'S.....	56
5.3	DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS (INPUTS/OUTPUTS).....	59
5.3.1	Processo de Coleta dos Resíduos Sólidos Urbanos.....	59
5.3.2	Processo de Limpeza Pública.....	63
5.3.3	Processo de Disposição Final.....	66
5.4	AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA.....	69
5.4.1	Justificativa da Utilização do Modelo DEA.....	69
5.4.2	Aplicação.....	72
5.5	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	76
5.6	COMPARATIVO ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS E AS METAS ESTIPULADAS PELOS PERS.....	82
6.	CONCLUSÃO E SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS.....	94
6.1	LIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	98
6.2	SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS.....	99

REFERÊNCIAS.....	100
-------------------------	------------

1 INTRODUÇÃO

Historicamente, os resíduos sólidos sempre foram um resultado indesejável de grande parte das atividades humana, diversos fatores como crescimento populacional, globalização, urbanização, entre outros, resultaram no aumento na quantidade e na diversidade dos resíduos sólidos gerados (CHEN et al., 2010). É correto afirmar que quase todas as cidades ao redor do globo possuem problemas relacionados a seus resíduos, isto devido ao crescimento populacional e a melhora nos padrões de vida (KALINCI; DINCER, 2018).

O Brasil é o quinto maior país do mundo com base em características geográficas. Ele também representa o sexto maior do mundo em economia (DE SOUSA JABBOUR et al., 2014). O país está dividido em 27 estados, com mais de 5 mil municípios, e uma população estimada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de cerca de 209 milhões de habitante em 2018. Comparando a sua projeção populacional à estimativa de que cada habitante seja responsável pela geração de cerca de 1 kg de resíduos sólidos urbanos diariamente (ABRELPE, 2016) equivale assumir que cerca de mais de 200 mil toneladas de resíduos sólidos urbanos são geradas por dia no país.

Como gerir uma carga de mais de 200 mil de toneladas diárias produzidas no Brasil, recai na responsabilidade do poder público. Segundo Guerrini et al. (2017) o poder público possui diversas escolhas para aprimorar a eficiência do Gerenciamento dos Resíduos Sólidos (GRS), dentre elas, inclui-se, inovações tecnológicas, treinamento de pessoas e o desenvolvimento de um sistema de controle para incorporação eficaz e eficiente de processos.

O Brasil, em contraste aos países da Europa e América do Norte, demorou a desenvolver uma lei própria para regulamentar o GRS no Brasil. A Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), Lei 12.305 de 2010 (BRASIL, 2010), surgiu cerca de vinte anos depois dos inícios dos estudos sobre como gerir os resíduos sólidos no país, dado através do Projeto de Lei 203 de 1991. Através da PNRS, o poder público se tornou responsável por lidar adequadamente com os resíduos, com a limpeza pública e com a disposição final dos resíduos, incluindo a erradicação da disposição final dos resíduos sólidos em lixões, substituindo-os por aterros sanitários combinados com a coleta seletiva dos resíduos (BESEN; FRACALANZA, 2016).

MARINO et al. (2018) expressa que, para o atendimento dos requisitos apresentados na PNRS, ações estratégicas locais devem ser bem definidas e gerenciadas pelos municípios. Isto porque as administrações municipais são responsáveis pela implementação adequada da PNRS, e que, devido ao grande número de municípios existentes no Brasil uma gestão

centralizada dos resíduos sólidos é quase inviável. Os estados, por sua vez, segundo a PNRS (BRASIL, 2010) é responsável por elaborar os Planos Estaduais dos Resíduos Sólidos que consiste em uma condição para que os mesmos tenham acesso aos recursos da União, tais recursos devem ser destinados a empreendimentos e atividades relacionadas ao GRS.

O gerenciamento ineficiente dos resíduos sólidos pode conduzir a degradação ambiental e ao desequilíbrio ecológico, e conseqüentemente, afetar a saúde de milhares de pessoas, especialmente aquelas que estiverem localizadas em áreas mais pobres (VISHWAKARMA et al., 2015). Dessa forma, o GRS trata-se de um dos serviços mais importantes para as cidades, e por esse motivo, é de responsabilidade do poder público manter as cidades nas condições higiênicas e estéticas adequadas para seus habitantes (SÁNCHEZ, 2006). Logo, melhorar a eficiência do GRS deve ser o objetivo principal dos *stakeholders* da gestão dos resíduos (SIMÕES et al., 2012).

Na literatura é notável o crescimento de estudos focando os custos e eficiência dos serviços do GRS, isto devido as recentes preocupações com os gastos públicos que têm tornado a análise da eficiência destes serviços um tópico considerado importante (DI FOGGIA; BECCARELLO, 2018).

Pesquisas abordando estratégias técnicas e organizacionais objetivando a melhor da eficiência econômica no GRS têm crescido exponencialmente (SIMÕES et al., 2012), demonstrando assim uma preocupação recente sobre o tópico. Uma proporção relevante destes estudos é composta pelos chamados estudos de *benchmarking*, cujo objetivo final é identificar e descrever as melhores práticas, a abordagem DEA (*Data Envelopment Analysis* – Análise Envoltória de Dados) é considerada um dos métodos largamente utilizado nesta área (SARRA et al., 2017).

Há diversas definições de *Benchmarking* na literatura, segundo Lema e Price (2002), ele consiste em um processo proativo que objetiva garantir que as melhores práticas sejam seguidas e um ambiente sujeito às mudanças constantes, ele é responsável por fornecer uma ferramenta de gestão para medir e comparar qualquer atividade de uma organização com o melhor desempenho, seja externo ou interno, e, dessa forma resulta em um desempenho aprimorado continuamente. Dessa forma os estudos de *benchmarking* procuram ou identificar as melhores práticas ou avalia-las. Dentre as metodologias utilizadas, a abordagem DEA se destaca por diversos motivos, quais se destacam: habilidade de identificar fontes e quantidades de ineficiências relativas em cada uma das unidades produtivas do conjunto de comparação; Ordenar as unidades pelos seus valores de eficiência; avaliar o sistema de gestão das unidades do conjunto de comparação; dentre outros.

Desde a publicação da PNRS o Brasil vem traçando um caminho árduo a adequação à lei, isto em conjunto com a preocupação concernente para melhoramento da eficiência no GRS no país. Desta forma, entende-se que a avaliação de desempenho no GRS, em específico a aplicação de técnicas de *benchmarking* são importantes para tentar analisar o panorama atual do país com relação à gestão de seus resíduos sólidos. Nota-se na abordagem DEA uma ferramenta capaz de proporcionar um *insight* sobre o GRS do Brasil após a PNRS, e dessa forma, realizar uma investigação de como os resíduos sólidos têm sido gerido desde então.

Esta pesquisa propõe aplicar a abordagem DEA para medir e analisa a eficiência de processos contidos no GRS no país. A motivação desta pesquisa, recaí na escassez de estudos focando na análise da eficiência do GRS no Brasil e na importância do GRS como ferramenta para o bem-estar humano e do meio ambiente. Diante disso, faz-se necessário compreender, como o Brasil após cerca de 9 anos desde da publicação da lei voltada somente aos resíduos sólidos, como se encontra a situação atual do país com relação ao GRS. As subseções a seguir melhor descreverão os objetivos desta pesquisa bem como sua estrutura.

1.1 OBJETIVO GERAL

Esta pesquisa tem como objetivo geral medir e avaliar a eficiência do Gerenciamento dos Resíduos Sólidos (GRS) nos estados brasileiros, no período de 2014 a 2016. Isto através da utilização da abordagem DEA, uma técnica de cálculo de eficiência, introduzida por Charnes, Cooper e Rhodes (1978).

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Mediante ao objetivo geral, este estudo apresenta como objetivos específicos, que dão suporte ao mesmo:

- Identificação das características do GRS no Brasil;
- Análise dos processos que compoem a GRS e que sejam relevantes no processo de avaliação;
- Análise da eficiência dos estados brasileiros, com relação à GRS, utilizando-se a abordagem DEA;
- Análise e discussão dos resultados obtidos;

- Fornecimento de uma análise comparativa dos resultados obtidos sob a ótica da PNRS;

Para atingimento dos objetivos descritos, realizou-se uma série de etapas que consistiram desde o levantamento da literatura, o estabelecimento da metodologia, a fundamentação teórica baseada no GRS e na abordagem DEA, dentre outras. A subseção seguinte, apresentará como o trabalho está estruturado.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em sete capítulos principais.

O primeiro capítulo consiste das informações introdutórias desta pesquisa, nele estão contidos o objetivo geral, os objetivos específicos e a estrutura do trabalho.

O segundo capítulo compreende a Fundamentação Teórica a ser utilizada, nele são abordados conceitos importantes sobre o Gerenciamento dos Resíduos Sólidos (GRS) no Brasil e sobre a abordagem DEA, ambos necessários para a melhor compreensão do que este estudo se propõe a realizar.

O terceiro capítulo apresenta a Revisão da Literatura que compreende pesquisas realizadas no âmbito da Análise da Eficiência do GRS e a utilização da abordagem DEA para essa finalidade.

O quarto capítulo consiste da Metodologia utilizada, onde realizou-se a classificação desta pesquisa e apresentou-se os passos para a reprodução da mesma.

O quinto capítulo representa a aplicação da abordagem DEA em si. O mesmo encontra-se dividido em subcapítulos que melhor demonstram os passos utilizados nesta aplicação. Nele é possível identificar a execução das diversas etapas requeridas pela abordagem, englobando o levantamento dos dados e das variáveis utilizadas, a escolha do modelo, o cálculo da eficiência e a apresentação dos resultados, dentre outras etapas.

O capítulo sete apresenta as Considerações Finais deste estudo, inclui-se no mesmo sugestões de trabalhos futuros e algumas das dificuldades e limitações encontradas no decorrer do desenvolvimento do trabalho.

Por fim, o capítulo sete contém as Referências Bibliográficas utilizadas neste trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção procura apresentar o embasamento teórico desta pesquisa. Com essa finalidade, inicialmente, buscou-se realizar o levantamento das características do GRS dispostas na literatura de forma geral, e, de forma mais específica, de como o Brasil lida com a temática do GRS através de sua legislação. Por fim, tentou-se compreender a abordagem DEA, seus conceitos, nomenclatura e modelos, visando estabelecer qual a forma mais adequada de aplicá-la nesta pesquisa. Portanto, os subcapítulos seguintes apresentam estas informações supracitadas de forma mais detalhada.

2.1 GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

O Gerenciamento dos Resíduos Sólidos (GRS) de forma ampla pode ser definido como uma área de estudo associada com o controle, geração, armazenagem, coleta, transferência e transporte, processamento e disposição dos resíduos sólidos, de maneira que estas atividades estejam de acordo com os princípios da manutenção da saúde humana, economia, engenharia, conservação do meio ambiente, estética e outras considerações ambientais, e que também estejam de acordo com as necessidades humanas (MURALIKRISHNA; MANICKAM, 2017).

Estima-se que o GRS consista do serviço que praticamente todas as cidades do mundo deveriam fornecer aos seus habitantes. Mesmo que os níveis de serviço, os impactos ambientais e os custos variem dramaticamente entre municípios, o GRS é sem argumento o serviço mais importante fornecido por eles e o mesmo serve como um pré-requisito para ações de outros municípios (HOORNWEG; BHADA-TATA, 2012).

O GRS, inclusos os resíduos sólidos urbanos, incorpora uma série de características inter-relacionadas, que necessitam de uma completa cooperação e colaboração entre as partes envolvidas para que sejam eficientes. O GRS inclui aspectos de geração dos resíduos, composição, coleta, reciclagem (caso exista), pré-tratamento, tratamento, e, por fim, disposição final. Os aspectos gerenciais do GRS requerem envolvimento de diversos setores como, setor legal, econômico, governamental, político, administrativo e ambiental (PERIATHAMBY, 2011). Segundo Muralikrishna e Manickam (2017) os sistemas envolvidos no GRS necessitam ser simples, acessíveis, sustentáveis (financeiramente, ambientalmente e socialmente) e não devem fazer distinção, provendo serviços a todos que necessitam.

A maneira como o GRS é abordada ao redor do globo varia de acordo com o país. Na Europa, por exemplo, a Diretiva 2008/98/EC (EUROPEAN UNION, 2008) apresenta

diversas considerações com relação ao GRS, dentre os quais se destacam algumas, tais como: a inclusão do princípio do poluidor pagador, que obriga o gerador de resíduos e o detentor de resíduos a gerir seus respectivos resíduos de forma que garanta a proteção da saúde humana e do meio ambiente; e introduz a responsabilidade estendida do produtor (*Extended Producer Responsibility*) que incentiva aos fabricantes a desenvolverem produtos que considerem a utilização consciente de recursos e a reciclagem dos componentes durante todo o ciclo de vida do produto, dentre outros. Um outro ponto levantado na diretiva refere-se a chamada hierarquia dos resíduos (ou hierarquia da gestão dos resíduos), que segundo a mesma, deve ser posta em prática com a finalidade de minimizar os efeitos negativos da geração e da gestão dos resíduos com relação à saúde humana e o meio ambiente.

A hierarquia da gestão dos resíduos foi primeiramente citada no início da década de 70, prevalecendo até os dias atuais (HOORNWEG; BHADA-TATA, 2012). Observa-se na Figura 1 a hierarquia do GRS.

Figura 1 – Hierarquia do Gerenciamento dos Resíduos Sólidos



Fonte: A Autora (2019)

Nota: Hoornweg e Bhada-Tata (2012)

A Figura 1, apresenta a hierarquia do GRS (gestão dos resíduos), observa-se que a mesma consiste em uma pirâmide com sete alternativas que representam as direções possíveis para se destinar os resíduos sólidos. Na base da pirâmide encontra-se a alternativa menos recomendável ou não recomendável para os resíduos que seria o Aterro Controlado,

considerada uma forma inadequada de disposição dos resíduos, onde a única preocupação com relação à proteção do meio ambiente e da saúde humana consiste em recobrir os resíduos com solo (BRASIL, 2011). De forma análoga, no topo da pirâmide, nota-se a redução da geração dos resíduos como alternativa fortemente recomendada mais indicada, pois, visa diminuir a quantidade de resíduos a serem destinados as demais alternativas. Entre a base e o topo encontram-se as demais alternativas, seguindo de forma crescente em direção ao topo da alternativa menos adequada para a mais adequada. As alternativas não recomendadas consistem de opções cuja prioridade não está de acordo com os princípios do GRS .

Segundo de Hoornweg e Bhada-Tata (2012) a hierarquia do GRS, no início era voltada para os “3R’s - Redução, Reúso e Reciclagem”, atualmente, no entanto, frequentemente utiliza-se o quarto “R” de Recuperação. Os autores acrescentam que a hierarquia atende as considerações financeiras, ambientais, sociais e gerenciais relacionadas aos resíduos sólidos.

A regulamentação da gestão dos resíduos sólidos varia enormemente entre países. Simões e Marques (2009), por exemplo, citam que, as últimas décadas têm sido de grandes mudanças para o GRS na Europa, isto devido à pressões da União Europeia. No Brasil, regulamentação dos resíduos sólidos ocorreu a cerca de 9 anos, isto através da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) Lei nº 12.305, publicada em agosto de 2010 (BRASIL, 2010). Desde então, o país enfrenta grandes desafios e mudanças para adequação à mesma. Diante disto e com o objetivo de melhor compreender o GRS no Brasil, a próxima seção focará em apresentar o que está disposto sobre o GRS no país, focando-se em estabelecer o que a legislação regulamentadora dos resíduos sólidos no país, a PNRS, estipula em seu conteúdo.

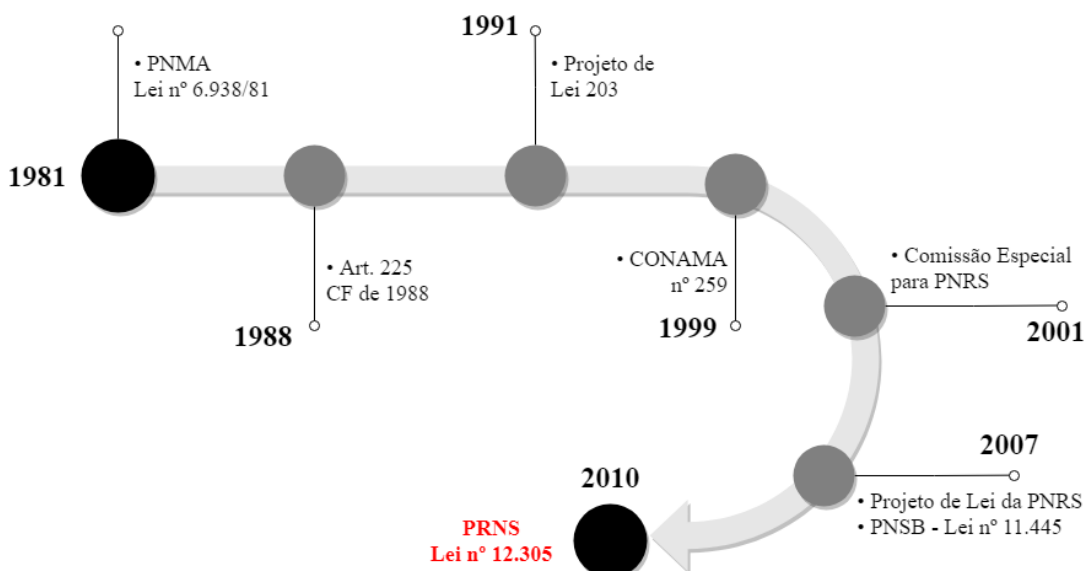
2.1.1 Gerenciamento dos Resíduos Sólidos no Brasil

O Brasil é um país em desenvolvimento com uma renda média relativamente alta, mas, que com relação à geração de resíduos sólidos urbanos (*per capita*) se equipara aos países desenvolvidos (CETRULO et al., 2018). Atualmente, um dos maiores desafios das cidades brasileiras é gerenciar adequadamente mais de 180 mil toneladas de resíduos sólidos urbanos coletados diariamente pelo país (BESEN; FRACALANZA, 2016).

Considera-se que o marco regulatório para o saneamento básico conjuntamente com a regulação do GRS é relativamente novo no Brasil e pode ser considerado um avanço significativo com relação às leis anteriores vigentes no país (BESEN; FRACALANZA, 2016). A regulamentação do GRS, ocorreu através de um processo gradativo de diversos

acontecimentos e de desenvolvimento de várias leis que antecederam a lei própria para essa finalidade. Na Figura 2 é apresentada a linha do tempo a respeito da regulamentação do GRS no Brasil.

Figura 2 – Linha do Tempo dos Resíduos Sólidos no Brasil



Fonte: A Autora (2019)

Nota: Ministério do Meio Ambiente (2019)

Nota-se na Figura 2, os acontecimentos que precederam a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305, publicada em agosto de 2010 (BRASIL, 2010). Tais acontecimentos, serviram de base para a estruturação do conteúdo apresentado na lei. O marco inicial, considerado nesta pesquisa, como um dos precursores para a PNRS foi a publicação da Lei nº 6.938 de 1981 (BRASIL, 1981), a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) que, mesmo que seu conteúdo não seja particularmente direcionado aos resíduos sólidos, procura, estabelecer uma conexão com o manutenção do meio ambiente para o bem coletivo. Seguindo o mesmo princípio da PNMA, a Constituição Federal Brasileira, publicada em 1988 (BRASIL, 1988), que estabelece que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”, o que de forma indireta, também é assegurado pelo o GRS urbanos.

Na Figura 2, é possível observar também, que em 1991 fora apresentado o Projeto de Lei 203, responsável por dispor sobre acondicionamento, coleta, tratamento, transporte e

destinação dos resíduos de serviços de saúde. Anos depois, em 1999, o plenário aprovou a proposição Conama 259 intitulada Diretrizes Técnicas para a Gestão de Resíduos Sólidos, no entanto, a mesma não chegou a ser publicada, demonstrando assim que o Brasil ainda não havia chegado a uma conclusão sobre como gerenciar seus resíduos sólidos. Em 2001, no entanto, iniciou-se as discussões para a elaboração da PNRS, isso através de uma Comissão implementada somente para essa finalidade. Logo, em 2007, dois fatos importantes ocorreram que deram um pontapé final para a conclusão da PNRS. Deu-se a atualização do Projeto de Lei de 1991, cujo mesmo encontrava-se fortemente vinculado à Política Nacional de Saneamento Básico, Lei nº 11.445, publicada no mesmo ano. Por fim, nos anos seguintes o conteúdo da PNRS passou a ser avaliado nas esferas políticas competentes até que, em agosto de 2010, a PNRS foi publicada e regulamentada, como legislação oficial do país para lidar com o GRS urbanos.

A Política Nacional dos Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), procurou reunir dentro de seu conteúdo um conjunto de metas, diretrizes, princípios, instrumentos, dentre outras ferramentas, objetivando a gestão integrada e adequada dos resíduos sólidos em todas as esferas do poder público. Para isto a mesma definiu uma gama de objetivos, dentre os quais, destaca-se:

- Proteger a saúde pública e a qualidade do meio ambiente;
- Incentivo à não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;
- Gestão integrada de resíduos sólidos;
- Articulação entre as diferentes esferas do poder público, e destas com o setor empresarial, com vistas à cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de resíduos sólidos;

Para a adequação aos objetivos da PNRS a mesma necessitou de definir os instrumentos, ou seja, as ferramentas que auxiliariam a atingir os mesmos. Dessa forma, a Lei em seu Art. 8º definiu 19 instrumentos diferentes que deveriam ser implementados em todo o território nacional, dentre os quais destaca-se:

- Os planos de resíduos sólidos – Planos nacionais, estaduais, intermunicipais, municipais e de gerenciamentos dos resíduos sólidos;
- Os inventários e o sistema declaratório anual de resíduos sólidos;

- O Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (Sinir);
- O Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (Sinisa);
- O incentivo à adoção de consórcios ou de outras formas de cooperação entre os estados.

A PNRS (BRASIL, 2010), trouxe consigo diversos conceitos importantes, a mesma, estipula em seu Art. 3º que o **Gerenciamento dos Resíduos Sólidos**, consiste em um conjunto de ações relacionadas as fases de “coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos”, (BRASIL, 2010) e acrescenta que, compreende-se por Resíduo Sólido:

“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)

A PNRS, classifica os resíduos sólidos em duas classes principais, a primeira quanto à **origem** do resíduo a segunda quanto à **periculosidade**, as mesmas estão divididas em:

Origem:

- **Resíduos domiciliares:** provindos de residências;
- **Resíduos de limpeza urbana:** resultados da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e de outros serviços de limpeza urbana;
- **Resíduos sólidos urbanos:** consistem dos resíduos domiciliares em conjunto com os de limpeza urbana;
- **Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços:** consistem dos resíduos gerados nessas atividades;
- **Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico:** resíduos gerados nessas atividades, como no tratamento de água e esgoto;
- **Resíduos industriais:** resíduos resultados dos processos produtivos e industrias;
- **Resíduos de serviços de saúde:** resíduos gerados nos serviços de saúde, hospitais, ambulatórios, entre outros;

- **Resíduos da construção civil:** os resíduos gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil;
- **Resíduos agrossilvopastoris:** resultado das atividades agropecuárias e silviculturais;
- **Resíduos de serviços de transportes:** os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- **Resíduos de mineração:** os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;

Periculosidade:

- **Perigosos:** representam risco à saúde humana ou à qualidade ambiental, os resíduos que apresentarem propriedades específicas se enquadram nesta classe, sendo elas: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade;
- **Não Perigosos:** aqueles que não se enquadram na classe anterior;

Diante da gama de resíduos gerados diariamente no Brasil aqueles cuja responsabilidade recaí somente ao poder público consiste dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), onde, segundo a PNRS (BRASIL, 2010), o poder público a nível estadual e municipal é responsável pela gestão integrada dos resíduos sólidos gerados em seus territórios, considerando o controle e fiscalização dos órgãos responsáveis. Sendo, portanto, os responsáveis pela estruturação das etapas contidas no GRS.

Dentre as fases contidas no GRS citadas no Art. 3º da PNRS, a coleta dos resíduos, juntamente com a limpeza urbana, são duas das atividades que são de responsabilidade do poder público, sendo de forma direta ou indireta. Diante disto, o Plano Nacional do Saneamento Básico – Plansab (BRASIL, 2013), plano que auxilia na implementação das diretrizes da PNRS, estipula que o atendimento adequado para o manejo dos resíduos sólidos, consista de: coleta direta para a zona urbana diariamente ou em dias alternados; e para a zona rural coleta direta ou indireta; estipula os resíduos de ambas áreas devem possuir destinação adequada; qualquer atendimento inferior ao disposto no Plansab é considerado como deficit no atendimento da coleta. Entende-se por coleta direta aquela cujo o atendimento é por domicílio, também chamada de porta-a-porta, de forma similar, o atendimento indireto consiste da coleta em pontos fixos, muitas vezes sendo a realidade de muitas periferias brasileiras.

Os serviços de limpeza pública, por sua vez, estão incluídos no Art. 7º, no inciso III da Política Nacional de Saneamento Básico (BRASIL, 2007), onde dentro das atividades do serviço de limpeza pública e de manuseio de resíduos, incluem atividades de “varrição, capina e poda de árvores em vias e logradouros públicos e outros eventuais serviços pertinentes à limpeza pública urbana”.

Uma distinção importante, também apresentada pela PNRS é a diferença entre a destinação final ambientalmente adequada e a disposição final ambientalmente adequada. A lei dispõe que a destinação final está relacionada a todos os demais destinos cujo resíduo pode ser direcionado, podendo ser ele, reutilizado, recuperado, entre outros. Por sua vez, a disposição final, refere-se a distribuir os rejeitos (quando não há outra forma de aproveitamento do resíduo) em aterros, preferencialmente, aterros sanitários. A PNRS (BRASIL, 2010), acrescenta em seu Art. 47, que é proibida a destinação ou disposição em corpos hídricos, a céu aberto, é vedada a queima a céu aberto e em equipamentos cuja finalidade seja outra e outras formas dispostas pelo poder público.

A Lei também trouxe consigo uma medida audaciosa para extinção dos lixões, a forma menos aconselhável para disposição final dos resíduos. No Artigo 54º da PNRS (BRASIL, 2010), estipulava-se um prazo de quatro anos a partir da data de vigor da mesma para a implantação da disposição final ambientalmente correta dos rejeitos, ou seja, aterros. No entanto, segundo ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2016), a disposição final dos resíduos coletados em 2016 apresentou um agravamento com relação aos índices anteriores analisados pela mesma, mesmo 6 anos após a PNRS, cerca de 41,6% do resíduo coletado ainda é disposto em lixões ou aterros controlados, ambas destinações contrárias ao disposto em lei.

A ABRELPE (2016) relatou também que para o ano de 2016, o Brasil registrou um índice de cobertura da coleta dos resíduos sólidos de cerca de 91%, tal índice quando comparado ao ano anterior representou uma melhora na prestação desse serviço. No entanto, observa-se diante desse dado, que cerca de 9% dos resíduos gerados em 2016 não foram coletados, e consequentemente, podem ter sido dispostos de forma irregular ocasionando assim, impactos negativos ao meio ambiente e à saúde pública. Dessa forma, procurar maneiras de estender os serviços de coleta a um índice de cobertura de 100% deve representar uma prioridade para o poder público.

Mesmo que o Gerenciamento dos Resíduos Sólidos seja considerado de suma importância, informações globais confiáveis sobre o mesmo não são encontradas com facilidade. Geralmente, as informações encontradas são inconsistentes, incomparáveis e/ou

incompletas (HOORNWEG; BHADA-TATA, 2012). Objetivando atuar nesta lacuna, a PNRS (BRASIL, 2010) em seus Art. 71 ao 76, estipulou as diretrizes para um sistema unificado de informações sobre os RS chamado de Sistema Nacional de Informações Sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR) que, segundo a própria lei, deveria entrar em vigor dois anos a contar da publicação da mesma.

Em seu Art. 75, a PNRS estipula que: “a coleta e sistematização de dados, a disponibilização de estatísticas e indicadores, o monitoramento e a avaliação da eficiência da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos serão realizados no âmbito do Sinisa” (BRASIL, 2010), o Sinisa consiste no Sistema Nacional de Informações Sobre o Saneamento Básico. No entanto, ambos sistemas foram idealizados em um terceiro, o Snis – Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento, disponibilizado pelo Ministério das Cidades no endereço eletrônico <http://www.snis.gov.br/>. O Snis disponibiliza informações anualmente sobre os resíduos sólidos nos documentos chamados de “Diagnóstico Anual dos Resíduos Sólidos”, tais documentos, vem sendo elaborado desde 2002, a última publicação do mesmo foi realizada em 2016.

O Gerenciamento dos Resíduos Sólidos representa um dos maiores desafios para as zonas urbanas ao redor do globo. A falta de um programa de GRS eficaz e eficiente, faz com que os resíduos advindos das atividades humanas resultem em riscos à saúde e ao meio ambiente. O Brasil, há pouco tempo traçado seu caminho em direção a uma gestão adequada de seus resíduos, ainda há muito que deve ser feito para garantir que os mais de 200 milhões de habitantes do país tenham acesso apropriado aos serviços de manejo dos resíduos sólidos. Estima-se que o Brasil gere atualmente cerca 78,3 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos por ano (ABELPRE, 2017) sendo que grande parte destes resíduos ainda são destinados à formas inadequadas de disposição final e uma parcela nem sequer é coleta. Um GRS bem estruturado e capaz é essencial para que o país se adéque aos requerimentos das leis e para que atenda todos aqueles que necessitam dos serviços de manejo dos resíduos sólidos.

Os resíduos sólidos urbanos representam a maior carga do poder público com relação ao GRS. O mesmo é produzido diariamente em todas as residências do país, entende-se, portanto, que compreender o quão eficiente tem sido realizada a gestão destes resíduos no Brasil é primordial para o aperfeiçoamento da gestão dos resíduos no Brasil. Portanto, esta pesquisa, irá focar nos resíduos sólidos urbanos e os processos presentes dentro do GRS para estes resíduos.

A gestão dos resíduos é uma tarefa essencial, pois, tem, consequências para a saúde pública e bem-estar, qualidade e sustentabilidade do ambiente urbano (VISHWAKARMA et

al., 2015). No Brasil, o GRS é de extrema importância para o cenário da gestão dos resíduos brasileiros, não somente pelas suas consequências, mas também porque sua política de resíduos sólidos é relativamente nova. A PNRS, não estipulou em seu conteúdo, estudos visando medir a eficiência das metas e objetivos dispostas pela mesma, apenas cita em conteúdo a obrigatoriedade dos estados de fornecerem periodicamente informações sobre seus resíduos ao Sinir e também de 4 em 4 anos a atualização do Plano Nacional dos Resíduos Sólidos, contendo um panorama atualizado dos resíduos sólidos.

Entende-se que a avaliação de desempenho no GRS, em específico a aplicação de técnicas de *benchmarking* são importantes para tentar contrariar a falta de incentivo e inovações, característicos dos sistemas de GRS. Diante disso, esta pesquisa, através da abordagem DEA, uma técnica de *benchmarking* já utilizada anteriormente no GRS, objetiva medir e analisar a eficiência dos processos contidos no GRS no Brasil. A abordagem DEA nesta pesquisa será utilizada como uma ferramenta de diagnóstico da PRNS, para se identificar como se encontra o país diante desta temática após sua publicação, e, desta forma poder constatar se melhoras já ocorreram neste período posterior a PNRS. A próxima seção vem a melhor detalhar a abordagem DEA abordando algumas das suas características e conceitos pertinentes a esta pesquisa.

2.2 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS – DEA

A Análise Envoltória de Dados, em inglês denominada de *Data Envelopment Analysis* (DEA), nesta pesquisa referida somente como DEA, será abordada em duas subseções para proporcionar um melhor entendimento das características desta técnica de cálculo de eficiência. Dessa forma, inicialmente apresenta-se alguns conceitos gerais importantes que são utilizados como base para a compreensão da abordagem DEA. Por último, apresentamos a abordagem DEA em si, seus modelos, características e afins. Portanto, estas informações são apresentadas nas subseções a seguir.

2.2.1 Conceitos Gerais

Existem diversos conceitos contidos dentro da abordagem DEA que são importantes para a utilização da mesma. O conceito de eficiência é um dos mais importantes. Segundo Peña (2008), a eficiência está relacionada com a capacidade de combinar de forma ótima os recursos produtivos juntamente com os métodos requeridos no processo de produção, de

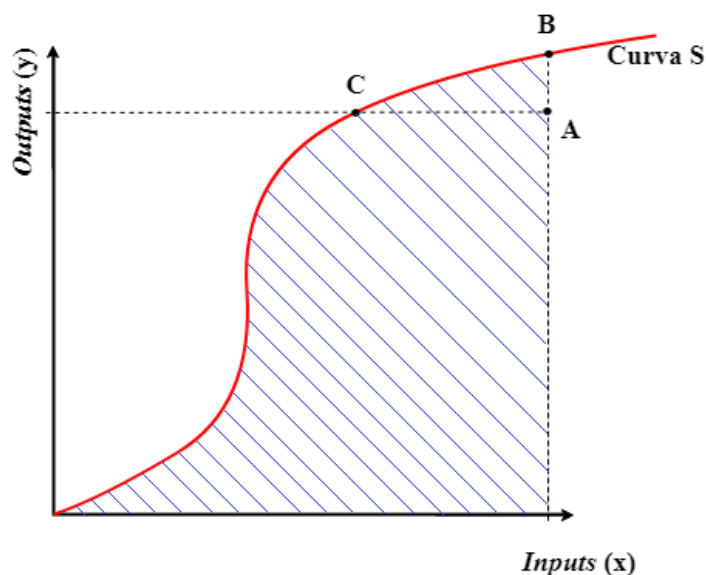
forma que, resultem no máximo de saídas. Sintetizando, Peña (2008) afirma que “a eficiência é a capacidade de fazer certo as coisas, de minimizar a relação de entradas-saídas”, e acrescenta que, o foco da eficiência é otimizar a utilização das entradas.

Segundo Mello et al. (2005) a definição de eficiência está relacionada aos conceitos de eficácia e produtividade. Os autores apresentam que:

- Eficácia: corresponde a habilidade de certa unidade produtiva fornecer os produtos que tinha como objetivo, não considerando os recursos utilizados;
- Produtividade: representa a razão entre o que foi produzido (*output*) com o que foi utilizado (*inputs*);
- Eficiência: conceito relativo, que de forma sucinta, realiza a comparação com o que foi produzido (*outputs*) com os recursos disponíveis (*inputs*) com o que poderia ser produzido (*outputs*) dada a mesma quantidade de recursos (*inputs*).

Diante disso, uma forma de compreender a abordagem DEA é vê-la como uma técnica para a comparação de eficiências. Pode-se melhor observar como os conceitos de eficácia, produtividade e eficiência estão correlacionados através dos Gráficos 1 e 2.

Gráfico 1 – Representação da Fronteira de Eficiência



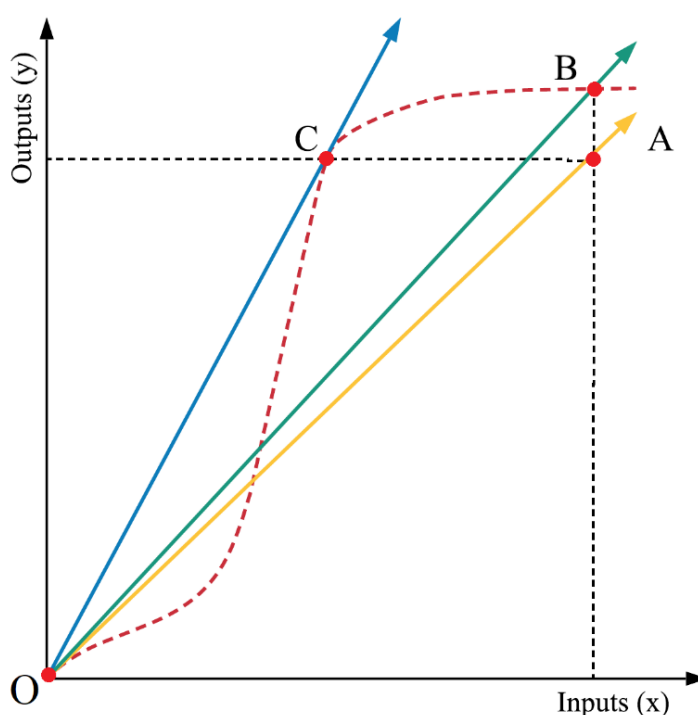
Fonte: A Autora (2019)

Nota: Mello et al. (2005).

Observa-se no Gráfico 1, três unidades produtivas (A, B e C) e suas respectivas eficiências (*output/input*), que representam o quanto de insumos foram utilizados para produzir as saídas; conjuntamente com a Curva S, denominada de fronteira de eficiência, a

mesma indica o valor máximo que foi produzido (*output*) para cada quantidade de recurso (*input*) empregado, observa-se portanto, que as unidades produtivas B e C são unidades consideradas eficientes, pois estão localizadas na Curva $\underline{S}$. A região abaixo desta curva, denominada de conjunto viável de produção, e nela estão contidos os valores para as eficiências das demais unidades do conjunto, sendo elas, portanto, ineficientes. Em comparativo observa-se no Gráfico 2 as relações entre os conceitos.

Gráfico 2 – Relação entre os conceitos de produtividade e eficiência



Fonte: Mello et al. (2005)

Observa-se na Gráfico 2, três unidades produtivas: A, B e C, como dito anteriormente B e C são eficientes, no entanto, apenas C é a mais produtiva. Mello et al. (2005) apresentam que, através da comparação entre os coeficientes angulares da origem (O) a cada ponto na curva (B e C) é possível aferir qual a unidade mais produtiva, dada pela reta que possuir maior coeficiente. Neste caso, segundo os autores, sendo C a unidade mais produtiva, dentre as avaliadas, a reta OC tem por coeficiente angular a derivada da função *output/input*, caso a mesma exista, e, ainda classificam A, como uma unidade não produtiva e não eficiente.

As unidades produtivas dentro da abordagem DEA tem nomenclatura própria. O conjunto de entidades comparáveis pela qual a abordagem DEA trabalha é denominado de

conjunto de DMU's, do inglês denominado de *Decision Making Units* (Unidades de Tomada de Decisão), nesta pesquisa doravante se utilizará o termo DMU para se referir as mesmas.

O termo DMU foi primeiramente introduzido no trabalho de Charnes, Cooper e Rhodes, (1978). Segundo Golany e Roll (1989), as DMU's devem possuir algumas características para serem consideradas um grupo homogêneo de unidades, e, conseqüentemente poderem ser analisadas através da ótica da DEA, as características são: 1) as unidades devem desempenhar as mesmas funções e com objetivos similares; 2) as unidades devem estar sobre as mesmas “condições de mercado”, fator importante para a análise da eficiência de unidades sem fins lucrativos (hospitais públicos, escolas, etc.); 3) as variáveis para a análise da eficiência (*inputs* e *outputs*) para todas as unidades do conjunto de DMU's devem ser idênticas, variando somente em intensidade e magnitude. Desta forma, apresenta-se no Fluxograma 1 o processo produtivo desempenhado por uma DMU.

Fluxograma 1 – Fluxograma do processo produtivo de uma DMU



Fonte: A Autora (2019)

Como observado no Fluxograma 1, a unidade produtiva, denominada pela abordagem DEA de DMU é a responsável por utilizar os recursos (*inputs*) e produzir *outputs*, que consistem nas saídas do processo produtivo. Através destas entradas e saídas do processo é possível aferir a produtividade de cada DMU, possibilitando o cálculo da eficiência da mesma com relação às demais DMU's do conjunto através da DEA.

A relação *inputs/outputs* que possibilita o cálculo da eficiência de um DMU, pode ser vista da seguinte forma, quando uma DMU é responsável por converter x insumos em y saídas, a sua eficiência pode ser aferida pelo o quociente de produtividade dada por y/x , para múltiplos insumos e saídas, equivale em calcular o seguinte quociente (Equação 2.1) (PESSANHA et al., 2013):

$$eficiência = \frac{u_1 y_1 + u_2 y_2 + \dots + u_m y_m}{v_1 x_1 + v_2 x_2 + \dots + v_s x_s} = \frac{U * Y}{V * X} \quad (2.1)$$

Dado:

$U = (u_1, u_2, \dots, u_m)$ - conjunto de vetores que denotam os pesos atribuídos aos *outputs*;

$V = (v_1, v_2, \dots, v_s)$ - conjunto de vetores que denotam os pesos atribuídos aos *inputs*;

DEA é uma abordagem utilizada para aferir a eficiência de unidades produtivas (DMU's), para isso, no entanto, faz-se necessário compreender o que necessariamente consiste na eficiência calculada pela mesma.

Segundo Simões e Marques (2009) a eficiência técnica, explica a capacidade de cada DMU de utilizar o mínimo de *inputs* para um dado nível de *outputs* ou vice e versa. A eficiência técnica, por sua vez, pode ser dividida em dois componentes, a eficiência técnica pura e a eficiência de escala. A eficiência técnica pura refere-se a utilização dos recursos produtivos de maneira mais tecnologicamente eficiente, segundo Hosseinzadeh-Bandbafha et al. (2018), a mesma está relacionada a habilidade dos gestores em empregar os recursos da DMU.

A eficiência de escala demonstra os níveis operacionais identificados na fronteira de eficiência e permite determinar se o retorno de escala encontra-se crescendo, decrescendo ou constante em diferentes segmentos da fronteira de eficiência (GARCÍA-SÁNCHEZ, 2008), a mesma é resultado da divisão entre a eficiência técnica pura e a eficiência técnica (AVKIRAN, 2001).

Existem três fases principais que devem ser executadas em um estudo de eficiência utilizando a abordagem DEA, e elas consistem em (GOLANY; ROLL, 1989):

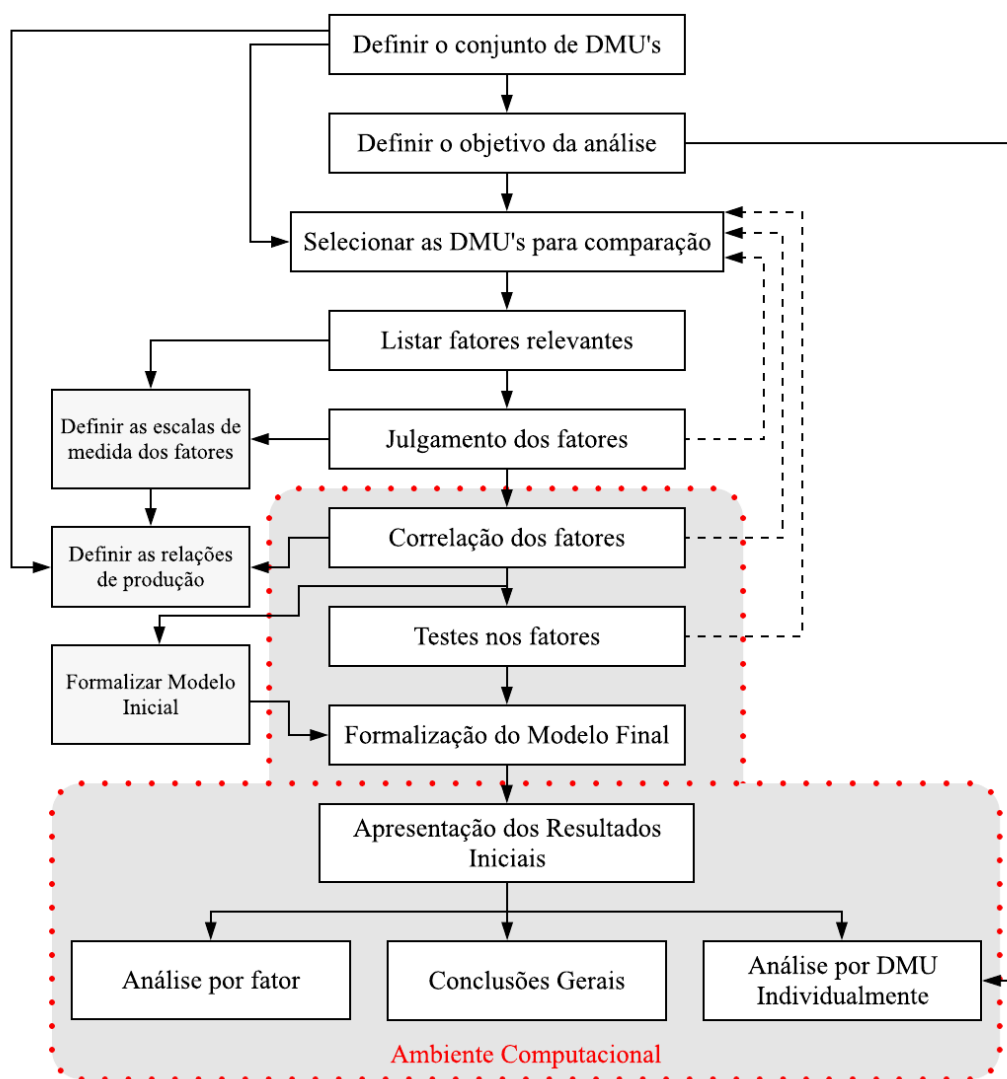
1. Definição e seleção das DMU's a serem analisadas;
2. Determinação dos *inputs* e *outputs* que são relevantes e adequados para se medir à eficiência relativa das DMU's selecionadas;
3. Aplicação dos modelos DEA e a análise dos resultados.

Estas três etapas principais, podem ser destrinchadas em outras mais detalhadas, como apresentadas no Fluxograma 2.

O Fluxograma 2 apresenta um fluxograma com as etapas para aplicação da DEA proposta por Golany e Roll (1989), segundo os mesmos as etapas são extensões das três fases principais citadas anteriormente.

Inicialmente, para os autores deve haver um grupo homogêneo de unidades, para atender esta permissão, as unidades devem desempenhar as mesmas tarefas e terem objetivos similares. Com relação a escolha das DMU's a serem analisadas duas premissas devem ser consideradas: a primeira refere-se aos limites organizacionais, físicos ou regionais que definem as unidades individualmente; a segunda refere-se ao período de análise, que devem ser considerados como “naturais”, como, por exemplo, ciclos sazonais ou períodos de auditorias. Os fatores para a análise, inicialmente, devem ser abrangentes, e que, a partir das etapas de refinamento como julgamento; correlação que inclui a definição de se o mesmo será um *input* ou *output*; e testes com os mesmos, vem a serem definidos os adequados a serem utilizados na aplicação.

Fluxograma 2 – Fluxograma da Aplicação da abordagem DEA



Fonte: A Autora (2019)

Nota: Golany e Roll (1989)

Por fim, a apresentação dos resultados varia de acordo com a definição do objetivo da análise, inicialmente e pode abranger análises mais específicas, como a utilização de diferentes modelos DEA. De forma sucinta, as etapas apresentadas no Fluxograma 2 são uma generalização das etapas utilizadas para a aplicação da abordagem DEA, no entanto, aplicações diversas podem não seguir completamente o proposto pelos autores. A próxima seção apresentará sobre a abordagem DEA em si.

2.2.2 Abordagem DEA

A abordagem DEA é baseada no conceito teórico de fronteira de produção de Farrell (1957), a mesma é considerada como uma metodologia bem difundida para a avaliação da eficiência relativa de um conjunto de entidades comparáveis através de modelos específicos de programação matemática (ZHOU; ANG; POH, 2008). Alguns definem DEA como uma técnica não paramétrica baseada em Programação Linear introduzida por Charnes, Cooper e Rhodes, (1978).

Segundo Rogge e De Jaeger (2013) uma das características principais da DEA trata-se da natureza não-paramétrica, que não requer um conhecimento profundo ou preciso sobre a relação produtiva entre *inputs* e *outputs*, não requerendo suposições sobre qual seria a importância relativa dos pesos dos mesmos. DEA somente assume que a informação relativa aos pesos serão retiradas depois, isto através dos dados utilizados.

Golany e Roll (1989) apontam que a DEA pode ser utilizada por uma variedade de motivos, dentre os quais eles destacam: a capacidade de identificar as fontes de ineficiências, ordenamento das DMU's, a avaliação do gerenciamento, avaliação da eficiência de programas ou políticas, a criação de uma base quantitativa para a alocação de recursos e a identificação de unidades eficientes, dentre outros. De maneira sucinta, o modelo DEA gera uma fronteira de eficiência (produção), onde as unidades produtivas consideradas eficientes estarão alocadas (FIDELIS; COLMENERO, 2018).

Existem diferentes modelos DEA e para diferentes finalidades, dependendo da escolha do usuário. Os modelos DEA considerados tradicionais consistem no modelo desenvolvido por Charnes, Cooper e Rhodes, (1978), denominado de CCR; e do modelo desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper (1984), denominado de BCC. A principal diferença do modelo DEA CCR para o modelo BCC consiste no tratamento dos retornos de escala, enquanto o primeiro considera o retorno de escala constante (*Constant Returns to Scale* - CRS), o

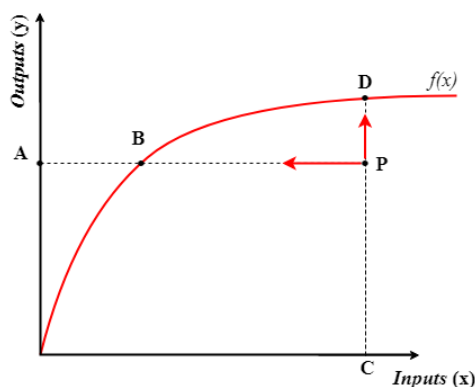
segundo o trata como o retorno de escala variável (*Variable Returns to Scale – VRS*) (BANKER; CHARNES; COOPER, 1984).

Para o Retorno Constante de Escala (CRS), obtido através do modelo CCR, assume-se que não há uma relação significativa entre as escalas de operação e eficiência, significando que, DMU's com dimensões maiores são eficientes quantos as DMU's de dimensões menores. Por outro lado, o Retorno de Escala Variável (VRS), modelo BCC, significa que quando há um aumento das entradas espera-se que resulte aumento desproporcional nos outputs. Sendo, este último, preferível quando é constatada uma correlação significativa entre o tamanho da DMU e sua eficiência em um conjunto grande de DMU's (AVKIRAN, 2001).

Para uma DMU ser considerada eficiente no modelo CCR significa que a mesma possui eficiência de escala e eficiência puramente técnica. Por outro lado, no modelo BCC, para uma DMU ser considerada eficiente a mesma só necessita possuir eficiência técnica pura (GARCÍA-SÁNCHEZ, 2008).

Há duas formulações para os modelos DEA, tanto para o CCR quanto para o BCC. Uma põem ênfase na redução dos *inputs* e a outra no melhoramento dos *outputs*, pode se observar estas duas formulações no Gráfico 3 proposto por Mello et al. (2005). Ambas as formulações apresentam resultados similares no modelo CCR, no entanto, no modelo BCC não se aplica esta característica (GARCÍA-SÁNCHEZ, 2008). As duas formulações para a abordagem DEA são apresentadas no Gráfico 3. Nele tem-se, a fronteira de eficiência definida por $f(x)$ e uma DMU ineficiente denominada de P. Para a DMU P tornar-se eficiente necessita ou caminhar até o ponto B, nesse caso, ao reduzir os recursos mantendo sua produção, formulação esta denominada de orientada a *inputs*. Outra opção, seria P caminhar até o ponto D, isto através do aumento de seus produtos, formulação denominada de orientada a *output*.

Gráfico 3 – Alcance da Fronteira de Eficiência



Fonte: A Autora (2019)

Nota: Mello et al. (2005)

O modelo proposto por Charnes, Cooper e Rhodes, (1978) advoga que a medida de eficiência de cada DMU é obtida como a razão máxima entre as saídas ponderadas e as entradas ponderadas, sujeitas à restrição de que as razões para cada DMU sejam menores ou iguais a 1. Segundo Mello et al. (2005) o modelo original proposto no trabalho de Charnes, Cooper e Rhodes, (1978) trata-se de um problema de programação fracionária, que deve ser solucionado para cada uma das DMU's do conjunto e pode ser convertido em um problema de programação linear (PPL), para que isso ocorra é necessário que o denominador da função objetivo seja igual a uma constante, normalmente igual à unidade. Diante disso, nesta pesquisa o foco será o modelo cuja conversão já consiste em um PPL.

Considerando o problema de aferir a eficiência de um conjunto de DMU's de tamanho N , onde cada DMU é responsável por usar m fatores de produção $x_{1j}, \dots, x_{mj}$ para produzir $y_{1j}, \dots, y_{nj}$ serviços ou produtos. Logo, para o cálculo a eficiência relativa de uma DMU k , as formulações matemáticas básicas para os modelos orientado a *inputs* (Equação 2.2) e orientado a *output* (Equação 2.3), respectivamente, consistem em:

$$\max Eff_k = \sum_{r=1}^m u_r y_{rk} \quad (2.2)$$

sujeito a:

$$\sum_{i=1}^n v_i x_{ik} = 1;$$

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ij} \leq 0, \forall j$$

$$u_r, v_i \geq 0; \forall r, i$$

dado:

$y = \text{outputs}; x = \text{inputs};$

$u, v = \text{pesos};$

$r = 1, \dots, m; i = 1, \dots, n$

$j = 1, \dots, N$

Modelo CCR – orientado a *outputs* é dado por:

$$\min Eff_k = \sum_{r=1}^n v_r x_{rk} \quad (2.3)$$

sujeito a:

$$\sum_{i=1}^m u_i y_{ik} = 1;$$

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ij} \leq 0, \forall j$$

$$u_r, v_i \geq 0; \forall r, i$$

dado:

$y = \text{outputs}; x = \text{inputs};$

$u, v = \text{pesos};$

$r = 1, \dots, m; i = 1, \dots, n$

$j = 1, \dots, N$

O objetivo do modelo CCR é escolher o conjunto de pesos implícitos que maximizem o índice de eficiência da DMU k , de forma que nenhuma outra DMU seja mais de 100% eficiente como esse mesmo conjunto de pesos. Como a razão possui valores variando de 0 a 1, as DMU's para serem consideradas eficientes devem possuir *scores* de eficiência iguais a 1 (GARCÍA-SÁNCHEZ, 2008). O modelo CCR está relacionado ao cálculo da eficiência técnica e da fronteira de eficiência (VISHWAKARMA et al., 2015). Como dito anteriormente, a eficiência técnica pode ser subdividida em duas componentes, a eficiência técnica pura e a eficiência de escala.

O modelo tradicional conhecido por BCC, desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper (1984), foi proposto como uma forma de separar as eficiências técnicas e de escala sem alterar as condições para utilização da abordagem DEA. Segundo os autores, as ineficiências técnicas são identificadas como falhas para atingir os melhores níveis de *output* ou uso excessivo dos *inputs*.

Banker, Charnes e Cooper (1984) modificaram o modelo CCR que considera retorno escala constante (CRS), para considerar situações com retornos de escalas variáveis (VRS), dando origem ao modelo BCC. Matematicamente, isto ocorreu através de uma restrição de convexidade na formulação original do CCR. A adição de uma restrição de convexidade relaxa a hipótese de retornos constantes (VISHWAKARMA et al., 2015). Ao tornar a fronteira de produção convexa, através do VRS, o modelo BCC faz com que as DMUs que operam valores baixos de insumos (*inputs*) tenham retornos crescentes de escala e as que operam com altos valores tenham retornos decrescentes de escala (MELLO et al., 2005). De

forma geral, o modelo BCC mede a eficiência técnica pura, relacionada somente com os problemas administrativos (gerenciais) e técnicos, bem como, relacionados a eficiência de escala (LIN; LEE; CHIU, 2009). Dessa forma, matematicamente as orientações a *inputs* (Equação 2.4) e a *outputs* (Equação 2.5) para o modelo BCC, consistem em:

$$\max Eff_k = \sum_{r=1}^m u_r y_{rk} - u_k \quad (2.4)$$

sujeito a:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n v_i x_{ik} &= 1; \\ \sum_{r=1}^m u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ij} - u_k &\leq 0 \forall j \\ u_r, v_i &\geq 0; \forall r, i \end{aligned}$$

dado:

$y = \text{outputs}; x = \text{inputs};$

$u, v = \text{pesos};$

$r = 1, \dots, m; i = 1, \dots, n$

$j = 1, \dots, N$

Modelo BCC – orientado a *outputs* é dado por:

$$\min Eff_k = \sum_{r=1}^m v_r x_{rk} - v_k \quad (2.5)$$

sujeito a:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} &= 1; \\ \sum_{r=1}^m u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ij} - v_k &\leq 0, \forall j \\ u_r, v_i &\geq 0; \forall r, i \end{aligned}$$

dado:

$y = \text{outputs}; x = \text{inputs};$

$u, v = \text{pesos};$

$r = 1, \dots, m; i = 1, \dots, n$

$$j = 1, \dots, N$$

Segundo Sarra et al. (2017), o modelo DEA CCR produz uma avaliação da geral da eficiência. O modelo BCC, por outro lado, fornece uma estimativa somente da eficiência gerencial na escala de operação para cada unidade, isolando assim os efeitos da eficiência de escala.

Segundo Mello et al., (2005) os modelos DEA tradicionais compartilham entre si algumas propriedades, sendo elas: 1) 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; 2) 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; 3) independente do modelo, a DMU que representar o melhor resultado entre os *inputs* e *outputs* será sempre considerada como eficiente; 4) a seleção prévia das variáveis a serem utilizadas na abordagem DEA independem da escolha do modelo.

A escolha de qual modelo DEA utilizar está contido no tipo de análise que se deseja realizar. Portanto, pode-se desejar aumentar a produtividade sem aumentar o número de insumos, dessa forma opta-se por um modelo orientado a *input*. Analogamente, quando se deseja minimizar as entradas sem reduzir a produtividade, opta-se por um modelo orientado a *outputs* (PEÑA, 2008), é importante considerar que para determinados tipos de análise, os *inputs* não podem ser controlados.

Dependo da análise desejada, um outra alternativa é a escolha entre utilizar o Retorno Constante ou Variável de Escala (CRS e VRS, respectivamente). O primeiro assume que não há relação significativa entre a escala de operação e a eficiente, significando que, DMU's com dimensões maiores são eficientes quantos as DMU's de dimensões menores. Por outro lado, o Retorno de Escala Variável (VRS) significa que quando há um aumento das entradas espera-se que resulte em um aumento desproporcional nos *outputs*. Sendo, este último, preferível quando é constatada uma correlação significativa entre o tamanho da DMU e sua eficiência em um conjunto grande de DMU's (AVKIRAN, 2001).

Na literatura, uma opção viável, trata-se da que abstém de se escolher entre o CRS e o VRS trata-se de uma abordagem que opta por utilizar os dois modelos e, então, comparar os *scores* de eficiência, exemplos desta aplicação pode ser observar nos trabalhos de García-Sánchez (2008) e Vishwakarma et al. (2015). Segundo Simões (2009), as eficiências calculadas por esses dois modelos, podem ser desagregadas em dois componentes, um devido

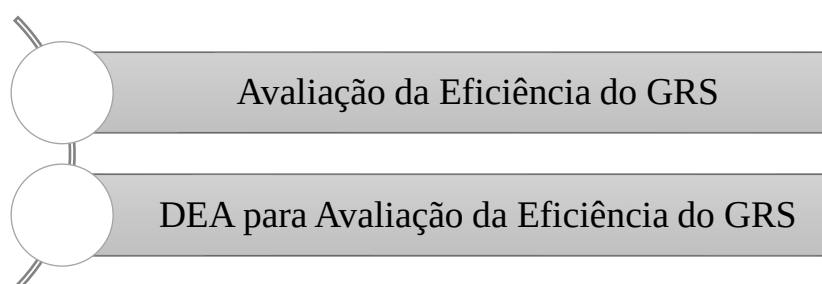
à eficiência de escala e outro devido à eficiência técnica pura. Caso exista diferença entre às duas eficiências obtidas para a mesma DMU, indica que existe ineficiência de escala da mesma, e que pode ser calculada pelos resultados obtidos dos diferentes métodos. A eficiência de escala calcula o grau de economias constatado se a DMU estivesse operando em escala ótima.

Grande parte da literatura sobre a eficiência no gerenciamento dos resíduos, têm empregado a abordagem DEA em diferentes aplicações, com diferentes objetivos (ROGGE; DE JAEGER, 2013). Sua elevada aplicabilidade está relacionada com suas várias vantagens para o GRS, isto dado através da sua capacidade de: identificar as melhores práticas (*benchmarking*) a serem seguidas pelas demais DMU's, na habilidade de poder determinar qual a estrutura organizacional mais eficiente (pública x privada), dentre outros. Diante disso, a seção seguinte procurará realizar o levantamento bibliográfico dos estudos utilizando a abordagem DEA na gestão dos resíduos sólidos e, que servirá de base para esta pesquisa.

3 REVISÃO DE LITERATURA

O foco da revisão da literatura é fornecer conhecimento para proporcionar a elaboração da contextualização da pesquisa e sua base teórica, isto através da identificação do “estado da arte” ou de fontes pertinentes a pesquisa (PROVDANOV; FREITAS, 2013). Diante disso, esta seção procura apresentar a revisão da literatura utilizada como base para esta pesquisa. Optou-se por dividir a revisão da literatura em duas partes de acordo com a Figura 3.

Figura 3 – Divisão da revisão da literatura



Fonte: A Autora (2019)

A Figura 3 apresentou a divisão adotada para a revisão da literatura. A etapa de avaliação da eficiência do GRS engloba os estudos levantados na literatura que estão relacionados ao aferimento da eficiência da gestão dos resíduos, abordando as metodologias utilizadas e os indicadores para a análise do desempenho. A segunda parte procura apresentar as aplicações da abordagem DEA utilizadas para medir a eficiência do GRS, focando em destacar as localidades estudadas, os períodos de avaliação e as variáveis utilizadas na literatura. Com base nessa subdivisão, as subseções a seguir apresentam com mais detalhes cada uma das partes descritas anteriormente.

3.1 EFICIÊNCIA DO GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Nesta seção realizou-se o levantamento de como a eficiência é tratada dentro da temática do GRS, como é abordada, qual o foco que é trabalhado dentro desta perspectiva, dentre outros. Diante disso, selecionou-se alguns artigos, que em seu contexto abordavam a combinação entre eficiência e o GRS. Deparou-se, através dos artigos analisados, com diferentes abordagens e em diferentes contextos. Com esta finalidade, esta seção procura apresentar alguns dos artigos como forma de apresentar o que tem sido estudado nesta área.

De forma geral, os artigos selecionados apresentaram uma visão holística do que foi levantado na literatura, observou-se estudos cuja finalidade consistiu em melhorar a eficiência de atividades específicas dentro do GRS, isto dado, através da aplicação de técnicas diferentes. Deparou-se também com estudos objetivando medir e analisar a eficiência de processos dentro do GRS, isto utilizando metodologias diferentes da abordagem DEA.

Na literatura pode-se observar exemplos de aplicações cuja finalidade é melhorar a eficiência de processos relacionados as atividades contidas no GRS. Hannan et al. (2018), por exemplo, com a finalidade de otimizar a rota de coleta de resíduos, e consequentemente melhorar a eficiência do processo de coleta, aplicaram o algoritmo de otimização por enxame de partículas (*Particle Swarm Optimization*) em um problema de roteamento de veículo capacitado para gerar rotas mais eficientes. De Oliveira Simonetto e Borenstein (2007), representam um outro exemplo de aplicação, os autores desenvolveram um sistema de apoio a decisão para o planejamento operacional dos sistemas de coleta de resíduos denominado de SCOLDSS, a principal funcionalidade do sistema consistiu na geração de alternativas para os processos de decisão, as alternativas estão relacionadas à alocação dos veículos da coleta seletiva e suas rotas e a quantidade de resíduo diária a ser direcionada às unidades de triagens, entre outras funções, eles realizaram uma aplicação na cidade de Porto Alegre, que como resultado mostrou-se mais eficiente que o planejamento operacional adotado pela cidade.

Segundo Pérez-López et al. (2016) a procura por uma eficiência melhor é um elemento chave para avaliar o desempenho do fornecimento de serviços públicos. No entanto, estes serviços podem ser providos de diferentes maneiras, o que influencia o nível de eficiência obtido. Dessa forma, os autores utilizaram uma técnica de meta fronteira, com fronteiras de ordem m , para medir a eficiência de diferentes maneiras de gerir os serviços de coleta dos RSU, com o objetivo de determinar qual forma é mais apropriada, isto aplicado a municípios na Espanha.

Di Foggia e Beccarello (2018) utilizaram uma combinação de mecanismos vindos da técnica denominada de *price cap*, conhecida como “preço máximo”, conjuntamente com a técnica paramétrica de eficiência média chamada de *yardstick competition* para estimar a eficiência produtiva dos serviços de coleta e disposição de resíduos sólidos de diferentes áreas territoriais da Itália.

De acordo com Guerrini et al. (2017) o grande problema na medição da eficiência do GRS é a construção de uma fronteira de eficiência e a identificação das variáveis exógenas que a afetam. Os autores ainda agruparam os estudos por eles levantados de acordo com o método adotado para a medição da eficiência. O primeiro grupo englobou aqueles que

utilizaram uma abordagem paramétrica, ou seja, que fazem suposições sobre os parâmetros de distribuição da população de onde os dados são retirados; o segundo grupo, no entanto, englobaram aqueles que utilizaram uma abordagem não paramétrica, que não requer suposições sobre a relação funcional entre custos e saídas e usa dados relativos a múltiplos *inputs* e *outputs*. Esta pesquisa procura utilizar uma abordagem que recaí no segundo grupo, e dessa forma, a próxima subseção irá apresentar alguns estudos pertinentes que utilizaram a DEA para a análise da eficiência do GRS.

3.2 UTILIZAÇÃO DA DEA NA ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DO GRS

Nesta seção realizou-se um levantamento na literatura objetivando constatar a utilização da abordagem DEA no contexto da análise de eficiência do GRS e se obteve como resultado, uma série de artigos envolvendo esta temática. Notou-se, antes de uma análise profunda, que a maioria dos estudos focava em analisar ou em único processo ou combinações de processos contidos no GRS, e que grande parte focou na análise da eficiência de custos dentro do GRS. O crescente número de estudos abordando a análise da eficiência de custos segundo Simões et al. (2012) é justificado pela relevância do tópico, dada as recentes preocupações com gastos públicos. Os artigos selecionados são apresentados na Tabela 1, contendo suas características principais.

Na literatura é possível encontrar diferentes aplicações utilizando a abordagem DEA em conjunto com o GRS. Procurou-se apresentar nesta pesquisa alguns dos estudos mais recentes encontrados na literatura e de forma cronológica, como apresentados na Tabela 1.

O primeiro estudo selecionado consistiu do estudo de Agovino et al. (2018), contido na Tabela 1, realiza a análise de eficiência através da abordagem DEA, inicialmente implementada para atribuir *scores* de eficiência para os administradores locais e para a população, após isto, o estudo testa a presença de interdependências espaciais no desempenho do gerenciamento dos resíduos dos governos e cidadãos, conjuntamente com a persistência de bom/mau desempenho na distribuição da gestão dos resíduos, isto para identificar agrupamentos de municípios que possuem melhores desempenhos.

A pesquisa realizada por Pérez-López et al. (2018) objetivou analisar os serviços de coleta dos resíduos sólidos através de uma versão modificada da abordagem DEA para o cálculo da eficiência a longo prazo, o intuito desta pesquisa é determinar a influência exercida de pelo tamanho do município e pela forma de gestão na eficiência destes serviços, durante um período.

Tabela 1 – Estudos utilizando a abordagem DEA no GRS

<i>Referência</i>	<i>Metodologia</i>	<i>País</i>	<i>DMU's</i>	<i>Ano/Período</i>	<i>Inputs</i>	<i>Outputs</i>
<i>Agovino et al. (2018)</i>	DEA BCC-O	Itália	130	2004-2011	Densidade Populacional; Porcentagem de mulheres residentes na área; Taxa de desemprego; Consumo per capita; Índice de qualidade institucional; Número de Instituições locais; Valor adicionado per capita;	Quantidade de Resíduos da Coleta Seletiva; Quantidade de Resíduo sem separação.
<i>Pérez-López et al. (2018)</i>	DEA modificado	Espanha	256	2000-2014	Gastos do município para o serviço de coleta.	Produção anual de resíduos; Produção anual de resíduos corrigida pela qualidade do serviço prestado; Número de containers.
<i>Fidelis e Colmenero (2018)</i>	DEA SBM (<i>Slack-Based Measure</i>) e o DEA Window	Brasil	7	2015	Coleta: Número de coletores; Número de veículos. Produção: Qtd. de trabalhadores; Qtd. coletada; Qtd de itens vendidos. Comercialização: Qtd. de itens vendidos; Qtd. de resíduos processados e comercializados; Preço médio mensal dos produtos; Inclusão Social:	Coleta: Qtd. coletada; Área coberta pela coleta; Número de residências atendidas Produção: Qtd. de resíduos processados e comercializados; Comercialização: Receita total da venda dos resíduos. Inclusão Social: Qtd. de resíduos processados e comercializados; Renda média dos catadores;

					Número de residências atendidas; Qtd. de itens vendidos; Qtd. coletada; Número de trabalhadores da cooperativa.	Receita total da cooperativa.
<i>Sarra et al. (2017)</i>	DEA-Input BCC e CCR	Itália	289	2011-2013	Valor anual gasto com os serviços sanitários do município (euros/ano).	Quantidade de resíduos da coleta seletiva (ton); Quantidade de resíduos não separados (ton).
<i>Vishwakarma et al. (2015)</i>	DEA CRS e VRS	Índia	22	2005	Valor das despesas; Número de trabalhadores; Número de veículos na coleta.	População; Área de serviço; Quantidade diária de resíduo coletado.
<i>Rogge e De Jaeger (2013)</i>	DEA shared-input	Bélgica	293	2008	Valor das despesas com a coleta e processamento dos resíduos sólidos.	Qtd. de resíduos orgânicos; Qtd. de resíduos de embalagens; Qtd. de resíduos verdes; Qtd. de resíduos volumosos; Qtd. de resíduos de responsabilidade do fabricante; Qtd. de outros tipos de resíduos.
<i>Simões e Marques (2009)</i>	DEA BCC e CCR orientado a <i>inputs</i> com estimador de <i>ordem-m</i> .	Portugal	29	2005	OPEX (despesas operacionais) CAPEX (despesas de capital)	Quantidade de resíduos tratados; Quantidade de resíduos reciclados.
<i>García-Sánchez (2008)</i>	DEA BCC e CCR orientado a <i>outputs</i> e <i>inputs</i>	Espanha	35	2000	Qtd. de veículos; Número de trabalhadores; Número de containers de lixo.	Qtd. de resíduos gerados; Qtd. de pontos de coleta; Densidade dos pontos de coleta; Quilometragem de sarjetas varridas;

Fonte: A Autora (2019)

Um estudo levantado que está relacionado aos resíduos da coleta coletiva consistiu do estudo de Fidelis e Colmenero, (2018) para a proposição de um método para auxiliar a análise do desempenho gerencial das cooperativas em suas atividades operacionais na cadeia de reciclagem. Os autores, dividiram as atividades da cadeia de reciclagem em quatro fases, cada uma dessas atividades teve suas eficiências calculadas e analisadas separadamente, para isto utilizou-se *inputs* e *outputs* diferentes para cada fase. O artigo realizou uma aplicação em cooperativas de médio porte, localizadas em Londrina – PR, foram investigadas 7 cooperativas em um período de 8 meses, para isso foi utilizado o modelo DEA SBM (*slack-based measure*) e o DEA Window.

O estudo de Sarra et al. (2017) destacou-se entre os demais por apresentar *outputs* indesejáveis em sua formulação. A pesquisa procurou apresentar uma avaliação conjunta de dois aspectos através de um modelo DEA modificado que incluiu resíduos não separados como um *output* indesejável a ser minimizado, considerado pelos autores como uma inovação no processo de análise de eficiência através da DEA. Os autores ainda apresentaram uma aplicação para 130 municípios localizados na região de Abruzzo, Itália. O foco principal da análise empírica do estudo foi nos aspectos dimensionais dos municípios e em como eles influenciavam a prestação dos serviços.

Nota-se, também, na Tabela 1 que a maioria dos estudos aqui apresentados foi realizado na Europa, com exceção do estudo de Vishwakarma et al. (2015), realizado na Índia, neste artigo, os autores utilizam três modelos DEA orientados a *input* para estimar as eficiências técnicas de 22 cidades indianas, para isso, os mesmos, utilizaram *inputs* diferentes mas, *outputs* iguais (população, área de serviço e quantidade de resíduo coletado) para cada um dos modelos.

Com relação à combinação de processos do GRS, cita-se o estudo de Rogge e De Jaeger (2013) os autores propuseram uma versão ajustada da DEA que permitissem uma análise da eficiência de custos de municípios com relação aos processos de coleta e processamento de seus resíduos sólidos, tornando a análise mais robusta e assim evitando o impacto de erros ou *outliers*. O artigo demonstra aplicabilidade do modelo através de uma aplicação em 293 municípios na Bélgica, para ano de 2008, os processos analisados pelos autores referiam-se a coleta e processamento de múltiplas frações dos resíduos sólidos urbanos, como observado através das variáveis presentes na Tabela 1.

Nesta pesquisa selecionou-se apenas dois estudos que foram publicados a mais de 5 anos. O primeiro consiste no estudo de Simões e Marques (2009) incluído devido à utilização do estimador de *ordem-m*, que consiste em uma alternativa pouco utilizada nos demais

estudos levantados, e, que de acordo os autores reduz o efeito de *outliers* no cálculo das eficiências. O segundo estudo trata-se do trabalho de García-Sánchez (2008), que se achou relevante para esta pesquisa por analisar mais de um processo do GRS.

O estudo de García-Sánchez (2008) procurou analisar os serviços de limpeza pública e coleta dos resíduos sólidos em 35 municípios da Espanha, para o ano de 2000. O autor utilizou os modelos DEA CCR e o DEA BCC, com orientação a *input* e *output*. O objetivo da pesquisa foi identificar os fatores que influenciavam a prestação destes serviços. Um estudo relevante por englobar mais de um processo consistiu do trabalho de García-Sánchez (2008) que em sua pesquisa procurou analisar os serviços de limpeza pública e coleta dos resíduos sólidos em 35 municípios da Espanha, para o ano de 2000 através dos modelos DEA CCR e BCC, com orientação a *input* e *output*, o objetivo da pesquisa foi identificar os fatores que influenciavam a prestação destes serviços nestes municípios.

As características principais do estudo de Simões e Marques (2009) podem ser observadas na Tabela 1, ele propôs a avaliar o desempenho dos serviços de resíduos urbanos em Portugal para o ano de 2005. Para isto os autores selecionaram 29 entidades gestoras e selecionaram como *inputs* os custos operacionais e de capitais utilizados na prestação dos serviços de resíduos e como *outputs* a quantidade de resíduos tratados e a quantidade de resíduos reciclados, para o cálculo da eficiência os autores utilizaram o modelo DEA com orientação a *inputs*, em conjunto com o estimador de *ordem-m*.

3.2.1 Conclusões da Revisão da Literatura

Pode-se notar através do levantamento da literatura realizado, que a atividade de coleta dos resíduos dos sólidos é comumente abordada nos estudos cujo foco é analisar eficiência do GRS em aplicações utilizando DEA. Notou-se também, que geralmente, analisa-se a coleta por si só ou combinada com algum outro processo. É perceptível no levantamento da literatura que a maioria das aplicações utilizando DEA para medir a análise da eficiência dos GRS está focada na análise dos custos.

O trabalho de Fidelis e Colmenero, (2018) foi o único na abrangência do levantamento da literatura desta pesquisa, que se notou que houve uma separação das atividades do GRS. O artigo separou as atividades em: 1) desempenho na gestão da coleta; 2) desempenho na gestão da produção; 3) desempenho na gestão do marketing dos resíduos; e 4) desempenho como um instrumento de inclusão social, geração de renda e na redução dos resíduos com potencial de reciclagem; sendo as mesmas analisadas de forma separada.

Existem algumas aplicações utilizando DEA para o cálculo da eficiência dentro da gestão dos resíduos em diversos países como apresentados anteriormente. No entanto, no que concerne o Brasil e o GRS do país, não foi possível constatar no levantamento da literatura, aplicações que:

- Englobassem mais de dois processos do GRS;
- Não estejam relacionados a análise da eficiência de custos do GRS;

O estudo Fidelis e Colmeeiro (2018), foi desenvolvido no Brasil, mas, não se enquadra nesta classificação, pois, os autores avaliaram a eficiência das atividades dentro de somente um processo (coleta seletiva) e para uma cidade. Desta forma, esta pesquisa, procura atuar nesta lacuna da literatura, se diferenciando dos demais, por incluir o cálculo e a análise da eficiência de diferentes processos do GRS no Brasil, e, por não estar focado na eficiência de custos como a grande maioria dos estudos levantados. Com base no levantamento, procurou-se definir e estrutura a metodologia a ser utilizada neste estudo, apresentada na próxima.

4 METODOLOGIA

Segundo Provdanov e Freitas (2013), a pesquisa científica tem como intuito conhecer de forma clara e concisa uma ou mais características de determinado tema, onde, o resultado da mesma deve fornecer informações que aprimorem o conhecimento humano. Com base nesta ressalva, esta pesquisa objetiva medir e analisar a eficiência do Gerenciamento dos Resíduos Sólidos no Brasil, através da abordagem DEA, e dessa forma, contribuir para uma visão mais estruturada de como o Brasil tem lidado com seus resíduos durante o período analisado.

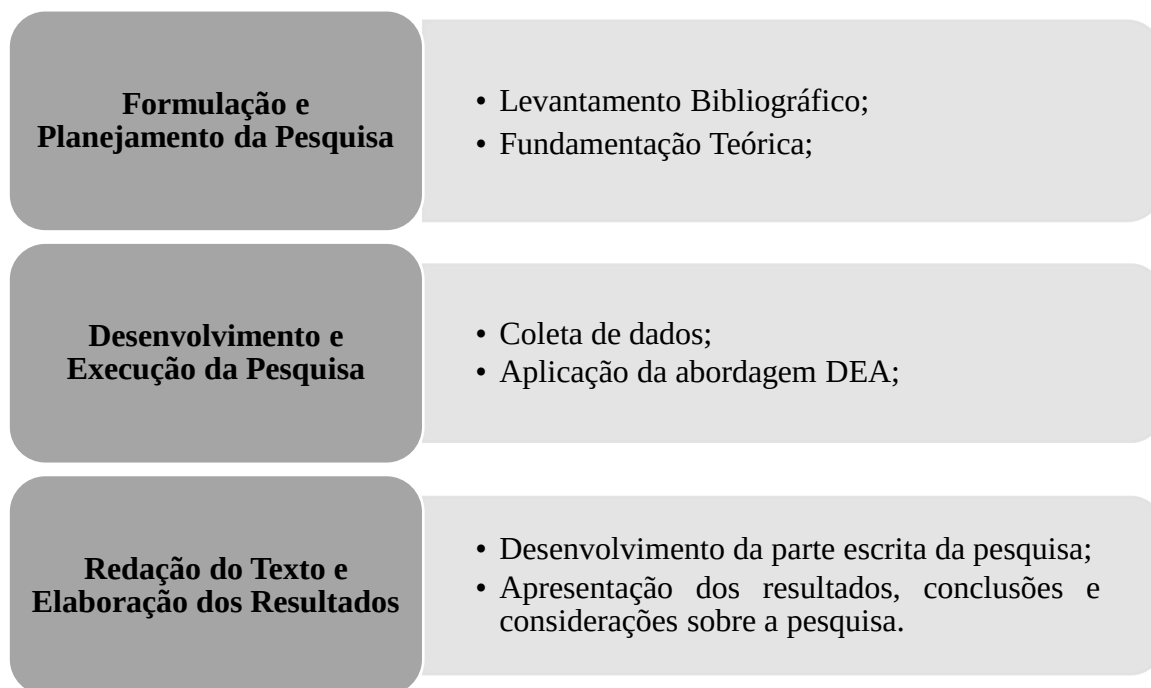
Do ponto de vista do seu objetivo, esta pesquisa inicialmente é caracterizada como uma pesquisa exploratória, pois, visa proporcionar informações sobre o tema de investigação, permitindo a definição e fixação dos objetivos, isto obtido através do levantamento bibliográfico; a mesma, também, pode se enquadrar em uma pesquisa explicativa, pois, procura identificar as causas que levam a determinados fenômenos, nesta aplicação procura-se compreender a evolução das DMU's com relação ao período analisado. Pesquisas explicativas são consideradas mais complexas, pois, devem “registrar, analisar, classificar e interpretar os fenômenos estudados e possuem como foco identificar seus fatores cruciais” (PROVDANOV; FREITAS, 2013).

Outro tipo de classificação de pesquisa científica proposta por Vergara (2009), estabelece classes baseadas em dois parâmetros, quanto aos fins e quanto aos meios. Quanto aos fins esta pesquisa se caracteriza como metodológica, pois, está associada a alternativas, maneiras e procedimentos objetivando a alcançar um determinado fim. Com relação aos meios, a mesma consiste como bibliográfica devido ao levantamento da literatura sobre o tema e investigação das contribuições encontradas; e experimental por lidar de forma direta com as variáveis pertinentes, elaborando o vínculo entre as causas e efeitos do tema estudado.

Esta pesquisa, sob o ponto de vista da abordagem do problema, se caracteriza como uma pesquisa quantitativa, pois, considera que os dados possam ser traduzidos em informações para classificação e análise das mesmas, geralmente requer uso de recursos e técnicas estatísticas (PROVDANOV; FREITAS, 2013).

Segundo Gil (2002), uma pesquisa se desenvolve durante um longo processo que envolve diversas etapas, das quais se inclui, uma formulação estruturada do problema com término na exposição dos resultados. Diante disso, as fases selecionadas para esta pesquisa foram uma adaptação das etapas propostas por Provdanov e Freitas (2013), apresentadas na Figura 4.

Figura 4 – Estrutura da Metodologia utilizada nesta pesquisa



Fonte: A Autora (2019)

Nota: Provdanov e Freitas (2013)

Como observado na Figura 4, a metodologia da pesquisa foi separada em três fases principais contendo subdivisões. A fase de formulação e planejamento da pesquisa, consistiu na etapa predecessora ao desenvolvimento deste trabalho, onde, realizou-se a revisão da literatura pertinente ao assunto e estabeleceu-se a fundamentação teórica. Para o levantamento da literatura, durante toda a pesquisa realizou-se buscas online de publicações que envolvessem o GRS, aplicações relacionadas a medição de eficiência do GRS, e, focou-se também nas aplicações que utilizavam a abordagem DEA para essa finalidade, sempre procurando informações complementares que contribuíssem para o desenvolvimento da pesquisa.

A fundamentação teórica partiu principalmente do estudo do GRS e caracterização do GRS no Brasil, o primeiro foi realizado através de uma extensa seleção de literaturas diversas; o segundo, procurou-se publicações em órgão públicos do Brasil, focou-se nas legislações vigentes no país, diagnósticos e panoramas anuais sobre os resíduos sólidos, pois, eles são a base do GRS no Brasil, e portanto, devem ser o guia para o levantamento da seção de fundamentação. A segunda parte da fundamentação teórica, baseou-se na abordagem DEA, buscou-se compreender sobre o tema, focando em seus conceitos, características,

requerimentos, modelos, isto utilizando referências dos desenvolvedores desta abordagem, juntamente com diversas aplicações desenvolvidas deste então.

A elaboração propriamente dita da pesquisa consiste na segunda etapa, que abrange a coleta e tratamento dos dados, bem como, a escolha do banco de dados utilizado; e a aplicação da abordagem DEA. A coleta de dados deu-se através da consulta a diversos órgãos envolvidos com a GRS no Brasil, como o Ministério do Meio Ambiente, IBAMA, entre outros, para constatar se havia a disponibilidade de dados que pudessem ser utilizados nesta pesquisa. Foi possível identificar somente um banco de dados cuja abrangência de informações poderia ser útil, consistindo do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento – Snis, disponibilizado pelo Ministério das Cidades (<http://www.snis.gov.br/>). O Snis tem como objetivo anualmente disponibilizar um documento chamado de “Diagnóstico Anual dos Resíduos Sólidos”, o mesmo vem sendo elaborado e publicado desde 2002, a última publicação do mesmo foi realizada em 2016. Conjuntamente com o Diagnóstico o Snis disponibiliza gratuitamente todas as tabelas utilizadas na confecção do material.

Para o tratamento dos dados foram analisados as planilhas disponibilizadas por esse sistema, inicialmente, planejou-se analisar a eficiência do GRS desde da PNRS, datada de 2010, para comparar a evolução do Brasil desde a implementação da mesma, no entanto, devido a *gaps* nos dados existentes, limitou-se o período de análise para os anos de 2013 a 2016 (último ano disponibilizado pelo Snis). Os *gaps* identificados consistiram de estados não respondentes, de várias lacunas nos valores, dentre outros.

Limitando-se o período de análise para quatro anos, 2013 a 2016, definiu-se como os mesmos seriam analisados. Optou-se por realizar uma análise anual das eficiências, pois, desta forma, seria possível verificar as mudanças ocorridas com relação ao desempenho das DMU's para o GRS no período analisado.

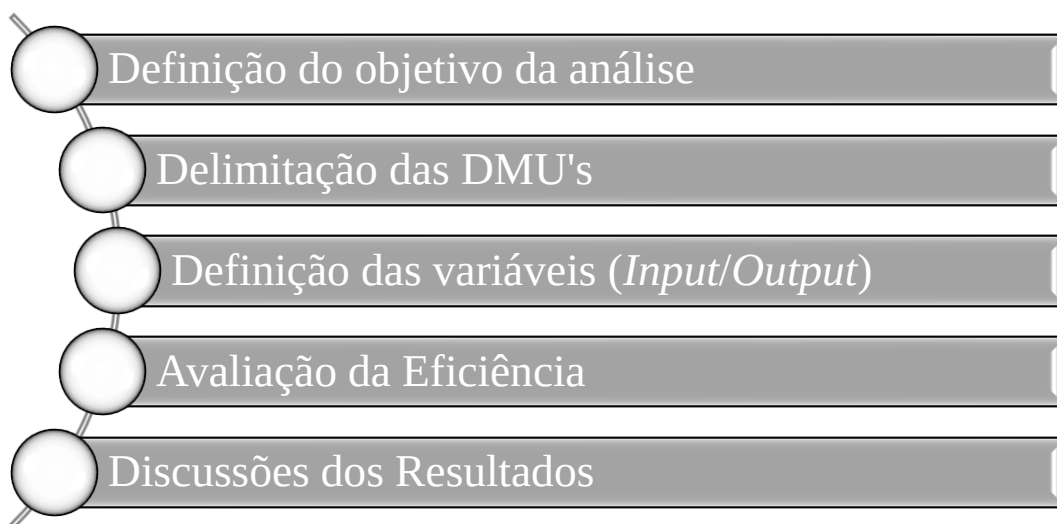
Partindo do Fluxograma da Aplicação da abordagem DEA (Fluxograma 2) apresentado, elaborou-se as etapas de aplicação da DEA para esta pesquisa, que consistiram de uma adaptação mais concisa das fases propostas por Golany e Roll (1989). Optou-se por apresentar a metodologia e a aplicação da abordagem DEA em uma seção separada, pois, entende-se que a aplicação seguida dos resultados e discussão dos mesmos, apresenta uma melhor compreensão da pesquisa.

A parte final descrita na Figura 4 consiste no desenvolvimento escrito da pesquisa, incluso a apresentação dos resultados, conclusões e considerações sobre a mesma, ambos tópicos apresentados nas seções seguintes, iniciando-se pela aplicação da abordagem DEA.

5 APLICAÇÃO DA ABORDAGEM DEA

Segundo a metodologia descrita na seção anterior, a aplicação do DEA será subdividida em etapas sequenciais baseadas no Fluxograma 2, como demonstrada na Figura 5.

Figura 5 – Divisão das etapas de Aplicação da DEA



Fonte: A Autora (2019)

Nota: Golany e Roll (1989)

Como apresentado na Figura 5, as etapas da aplicação da abordagem DEA consistirá em uma série de etapas sequenciais. Inicialmente, define-se o objetivo da análise que se baseia no que se deseja aferir através da abordagem DEA. Tendo em vista que o foco da pesquisa é realizar a avaliação do GRS no Brasil, baseou-se nas legislações vigentes para determinar a melhor maneira de abordar o GRS, entende-se que a melhor maneira de tratar o GRS é analisá-lo por processos separados.

Compreendendo o objetivo da análise, segue-se para a Delimitação das DMU's, ou seja, determinar sobre qual conjunto de unidades será realizada o cálculo das eficiências, para isto seguiu-se o disposto por Golany e Roll (1989), que as DMU's devem ser unidades que atuam realizando as mesmas atividades, com objetivos similares; e que possuam *inputs* e *outputs* iguais as demais do grupo, variando em intensidade.

A etapa de definição das variáveis refere-se ao levantamento dos *inputs* e *outputs* a serem utilizados na abordagem DEA. Tendo em vista, que se optou por abordar o GRS no Brasil em processos diferentes, esta etapa será também realizada para cada processo, isto devido aos mesmos serem distintos um dos outros. Compreende-se como necessário incluir

dentro desta etapa os testes de correlação dos fatores citados no Fluxograma 2, para isto, utilizou-se o teste de Correlação de Pearson, realizado através da Linguagem R (<https://www.r-project.org/>), utilizando o software RStudio, para cada processo, mas somente para o ano de 2016, que por ser o dado mais recente espera-se que melhor represente a situação atual do processo. Apresenta-se nesta seção também a estatística descritiva para cada um dos processos analisados.

A etapa de Avaliação da Eficiência, consiste na junção de duas outras etapas do Fluxograma de Golany e Roll (1989), as etapas de Formalização do Modelo e Apresentação dos Resultados. Nela justifica-se a escolha do modelo(s) e o(s) aplica para cada processo e ano. Para a execução da abordagem DEA utilizou-se a Linguagem R (<https://www.r-project.org/>), através do software RStudio, e em específico para o cálculo das eficiências utilizou-se o pacote “rDEA”.

Para a discussão dos resultados uma série de comparações foram realizadas, inicialmente, focou-se em realizar uma análise do desempenho dos estados por processos, separadamente. Em sequência, procurou-se levantar quais os estados que obtiveram melhores e piores desempenhos na análise, para possibilitar uma análise comparativa dos resultados obtidos com os Planos Estaduais de Resíduos Sólidos dos estados que se enquadraram nestas duas classes. Portanto, as próximas sessões seguem as etapas sequenciais supracitadas.

5.1 DEFINIÇÃO DO OBJETIVO DA ANÁLISE DEA

Diante do objetivo desta pesquisa em medir a eficiência do Gerenciamento dos Resíduos Sólidos no Brasil, muniu-se dos dados disponibilizados pelo Snis e analisou-se quais os que seriam válidos a serem utilizados. Como resultado escolheu-se utilizar os dados dos anos de 2013 a 2016, tendo em vista, que os mesmos possuem informações mais completas e recentes; e, adicionalmente, abrangem todos os estados do Brasil.

Partindo das atividades contidas nas legislações vigentes no Brasil relacionadas ao Gerenciamento dos Resíduos Sólidos, analisou-se a melhor forma de medir e analisar a eficiência do mesmo. Como resultado, optou-se por analisar o GRS através de diferentes processos englobando as atividades do gerenciamento dos resíduos. Dessa forma, analisaremos os desempenhos dos diferentes processos para obtenção e análise de suas respectivas eficiências. Os processos a serem analisados, portanto, serão:

- Processo de Coleta dos Resíduos Sólidos Urbanos;
- Processo de Limpeza Pública;

- Processo de Disposição Final.

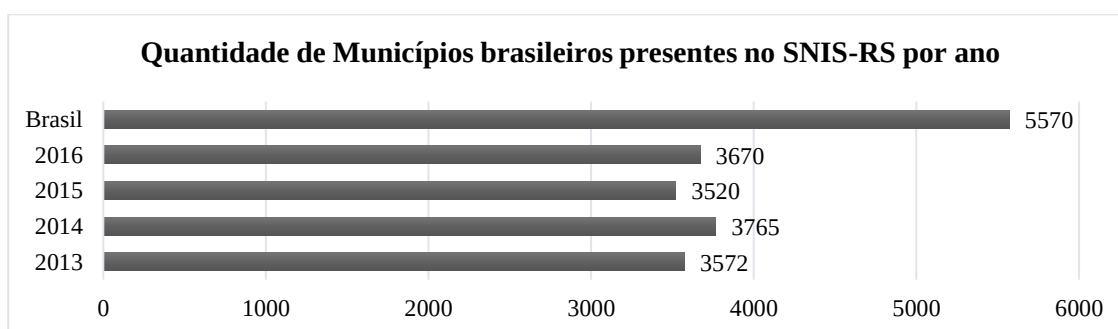
Devido à escassez de dados sobre a coleta seletiva, tendo em vista que a prática ainda não é vigente em muitos municípios brasileiros, optou-se, também, por não analisar a eficiência das atividades contidas na mesma. As próximas subseções abordarão a delimitação das DMUS's e descreverão as variáveis a serem utilizadas para medir a eficiência dos processos: Coleta dos Resíduos Sólidos Urbanos, Limpeza Pública e Disposição Final.

5.2 DELIMITAÇÃO DAS DMU'S

As Unidades de Tomada de Decisão (*Decision Making Units* – DMU's), referidas como DMU's, tratam-se de unidades produtivas que desenvolvem funções similares. Portanto, nesta seção através dos dados obtidos por meio do Snis, se delimitará as DMU's a serem utilizadas para medir a eficiência do Gerenciamento dos Resíduos Sólidos no Brasil.

Como enfatizado anteriormente, esta pesquisa propõe avaliar a eficiência do GRS no Brasil. No entanto, a larga extensão territorial do país e a pouca disponibilidade de dados pertinentes às atividades de GRS atuam como limitações para a análise da eficiência. O Snis, como mencionado na seção anterior, foi a única base cujos dados encontram-se parcialmente completos. O Brasil, atualmente possui cerca de 5.570 municípios, no entanto, não se possui informações sobre todos eles. Nos Diagnósticos Anuais dos Resíduos Sólidos dos anos de 2013 a 2016, disponibilizados pelo Snis, nota-se que uma grande quantidade dos municípios brasileiros forneceram dados sobre o manejo de seus resíduos, como pode ser observado no Gráfico 4, que apresenta a comparação entre a quantidade de municípios brasileiros existentes no país com aqueles respondentes aos Diagnósticos do Snis para todos os anos do período de análise.

Gráfico 4 – Quantidade de municípios brasileiros presentes no Snis-RS (2013-2016)



Fonte: A Autora (2019)

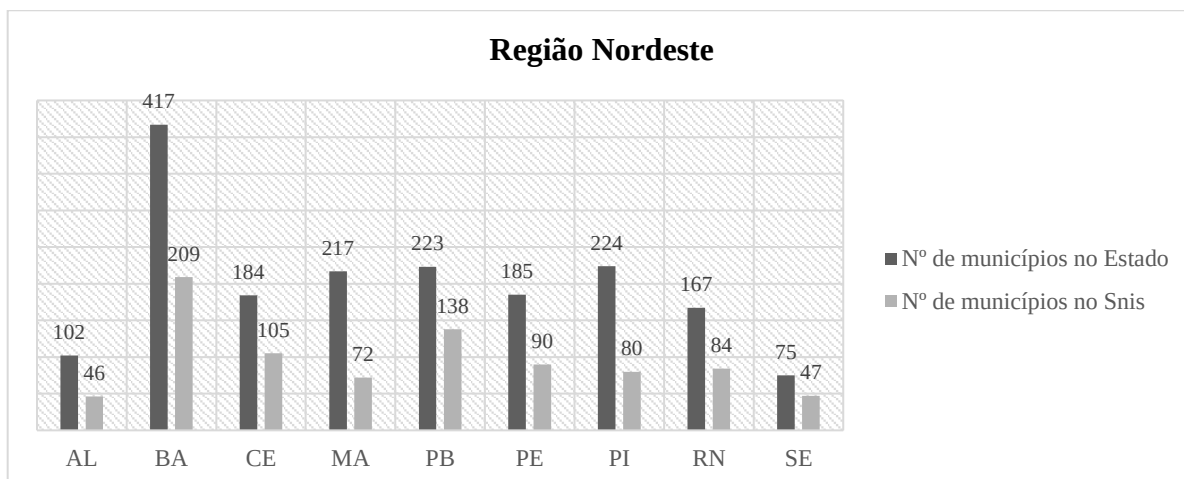
Nota: Snis (2016)

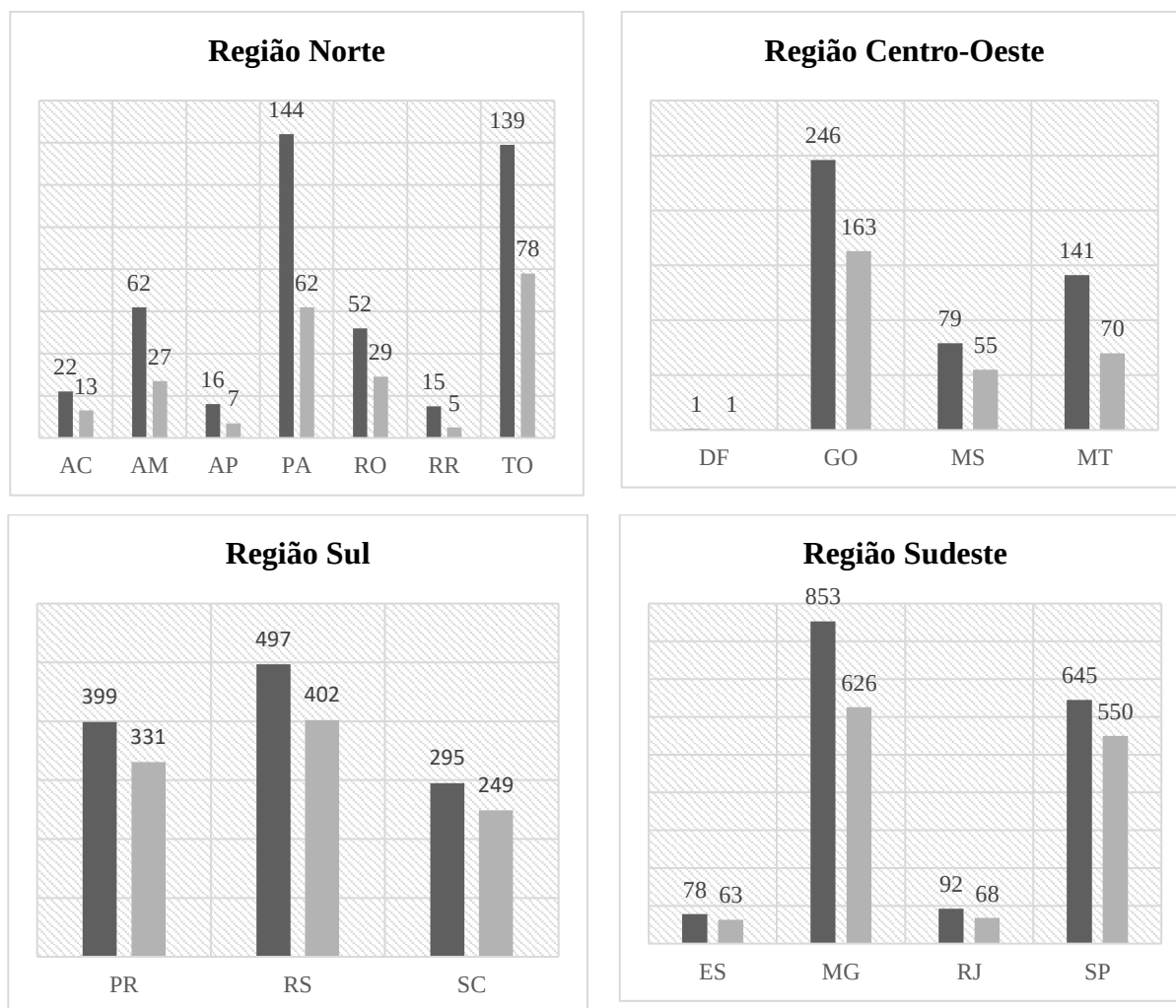
Nota-se no Gráfico 4, que para o período de 2013 a 2016 a quantidade de municípios presente nos relatórios do Snis foram superiores a 3 mil municípios para todos os anos, atingindo cerca de 55% do total de municípios existentes no Brasil, demonstrando assim, uma abrangência considerável de grande parte do território do país.

Baseando-se na premissa que as DMU's devem ser unidades que atuam realizando as mesmas atividades, com objetivos similares; e que possuam *inputs* e *outputs* iguais as demais do grupo, variando em intensidade. Entendeu-se que para melhor demonstrar as eficiências através da DEA, é viável utilizar como DMU's as 27 Unidades Federativas do Brasil, onde, as mesmas possuem ao menos um município contido nos Diagnósticos do Snis para cada um dos anos de 2013-2016. Para demonstrar o comparativo entre a quantidade de municípios respondentes ao Snis em 2016 com os existentes por estado elaborou-se o Gráfico 5.

O Gráfico 5 apresenta o número de municípios contidos no Diagnóstico do Snis para o ano de 2016, o último ano de publicação do mesmo, em relação à quantidade de municípios existentes no respectivo Estado. É possível visualizar a proporção entre a quantidade de municípios respondentes e aqueles existentes no estado para todas as regiões. É perceptível no Gráfico 5, que os estados da região Sul e Sudeste do Brasil, consistiram nos estados que obtiveram maior proporção de municípios respondentes para 2016, nota-se que para os estados das demais regiões, a proporção varia bastante, mas todos os estados estão representados no Snis. De forma geral, todos os estados são bem representados, os únicos estados cuja quantidade de municípios encontra-se abaixo de 40% do total são os Estados do Maranhão, Roraima e Piauí.

Gráfico 5 – Número de municípios contidos no Diagnóstico do ano de 2016 comparados com o número de municípios existentes nos Estados agrupados por Região





Fonte: A Autora (2019)

Nota: Snis (2016)

Com as DMU's delimitadas aos Estados brasileiros, foi necessário agrupar as informações dos municípios para seus respectivos Estados. Este agrupamento de informações permitiu que se obtivesse ao menos uma perspectiva global do Estado com relação ao manejo de seus resíduos. Um ponto a ser considerado com relação ao agrupamento de dados, trata-se de que alguns municípios forneceram informações parciais, o que de certa forma, acaba sendo ocultado pelo agrupamento dos mesmos.

Tendo em vista que esta pesquisa objetiva analisar a eficiência do GRS a nível nacional, utilizar como DMU's os estados brasileiros auxilia a melhor compreender quais regiões do país tiveram melhores resultados na aplicação de seus recursos para os anos analisados e dessa forma pode vir a auxiliar na criação de *benchmarking* para as DMU's que forem ineficientes. A seção seguinte apresenta o levantamento das variáveis a serem utilizadas em cada processo do GRS selecionado (Coleta, Limpeza Pública e Disposição Final).

5.3 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS (*INPUTS/OUTPUTS*)

Para medir e avaliar o GRS no Brasil, selecionou-se três processos contidos dentro do GRS, eles foram: Processo de Coleta dos Resíduos Sólidos Urbanos, Processo de Limpeza Pública e Processo de Disposição Final. Dessa forma, realizou-se para cada um dos processos o levantamento das variáveis a serem utilizadas para analisar cada processo. Segundo Peña (2008), os *inputs* e *outputs* “podem ser variáveis contínuas, ordinais ou categóricas, como também podem ser medidas em diferentes unidades (monetária, temporal, dimensões, etc.)”. Nesta pesquisa, no entanto, as variáveis selecionadas para cada processo seguiram os critérios de relevância e disponibilidade (LO STORTO, 2016).

5.3.1 Processo de Coleta dos Resíduos Sólidos Urbanos

A coleta dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) consiste em um serviço de utilidade pública que impacta o meio ambiente, a saúde pública e a aparência do município (GUERRINI et al., 2017). Diante disso, medir e analisar a eficiência do processo de coleta vem a atuar diretamente sobre os aspectos da prestação deste serviço bem como seus impactos ao meio ambiente e nas receitas dos municípios e estados. Esta seção, portanto, procura realizar o levantamento das variáveis que possam ser utilizadas para medir a eficiência do processo de coleta dos resíduos sólidos no Brasil.

Na literatura deparou-se com estudos visando medir a eficiência do processo de coleta dos resíduos sólidos com diferentes *inputs* e *outputs*. Diante disso, utilizando as informações encontradas na literatura, juntamente com as disponibilizadas através do Snis e das legislações brasileiras, realizou-se um levantamento de quais as variáveis poderiam ser utilizadas nesta pesquisa para medir a eficiência do processo de coleta dos resíduos. Elaborou-se, portanto, a Tabela 2 que apresenta as variáveis selecionadas, suas respectivas descrições, conjuntamente com o estudo na literatura que utilizou ou esta mesma variável ou similar.

Tabela 2 – *Inputs e Outputs para medir a eficiência do Processo de Coleta dos Resíduos Sólidos*

	Variável	Descrição	Referência
<i>Inputs</i>	FUN_COL	Soma de todos os trabalhadores qualificados como coletores e motoristas, alocados no serviço de coleta dos resíduos (funcionários).	García-Sánchez (2008)

	POP_EST	Valor declarado, da população total do estado (habitantes).	-
	QTD_VEIC	Soma dos veículos utilizados na coleta dos resíduos sólidos (veículos).	Fidelis e Colmenero (2018)
Outputs	QTD_COL	Valor anual da soma das quantidades totais de resíduos domiciliares (RDO) e resíduos públicos (RPU) coletadas (exceto cooperativas) (ton).	Vishwakarma et al. (2015)
	POP_ATEND	População atendida (urbana + rural) pelo serviço de coleta de RDO (habitantes).	Fidelis e Colmenero (2018)

Fonte: A Autora (2019)

A Tabela 2 apresenta as variáveis selecionadas para medir a eficiência do processo de coleta através da técnica DEA, as mesmas consistiram de 3 *inputs* e 2 *outputs* como descritos na Tabela 2. Com relação, aos *inputs*, a variável FUN_COL representa todos os trabalhadores envolvidos no processo de coleta dos resíduos, a mesma variável foi utilizada no trabalho de García-Sánchez (2008), no entanto, não especifica se são apenas coletores ou todos os envolvidos na coleta, nesta pesquisa optou-se por utilizar todos os funcionários envolvidos no processo.

A POP_EST, que consiste em todos os habitantes do estado, não foi possível encontrar referência da utilização da mesma na literatura, no entanto, nesta pesquisa considerou-se importante inclui-la devido ao disposto na lei de que todos os habitantes devem ser beneficiados do serviço de coleta ao menos uma vez na semana; e por fim, a quantidade de veículos utilizados na coleta (QTD_VEIC) que se inclui nesse valor, segundo os dados do Snis, caminhões compactadores; caminhões do tipo basculante, caminhões do tipo poliguindaste; e demais veículos envolvidos na coleta dos resíduos foi utilizado na pesquisa de Fidelis e Colmenero (2018).

Com relação aos *outputs* apresentados na Tabela 2, incluem, a quantidade de resíduos coletada (QTD_COL) em toneladas, incluindo os resíduos domiciliares e públicos, *output* utilizado em outros trabalhos na literatura, no qual destaca-se a pesquisa de Vishwakarma et al. (2015); com relação à população atendida (POP_ATEND), não houve referências exatas a utilização desta variável no levantamento da literatura realizado, no entanto, no trabalho de

Fidelis e Colmenero (2018) a mesma é similar a quantidade de residências servidas pela coleta dos resíduos. Realizou-se a estatística descritiva dos dados para o processo de coleta para o período de 2013 a 2016, apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 – Estatística descritiva das variáveis utilizadas para análise da eficiência do processo de coleta para os anos de 2013-2016

		2013	2014	2015	2016	
Inputs	FUN_COL	Min	130,00	114,00	111,00	127,00
		Média	2.899,59	3.039,19	2.867,82	2.693,04
		Máx	15.989,00	16.446,00	16.842,00	13.997,00
		Desvio P.	3.549,18	3.726,41	3.547,82	3.240,94
		Mediana	1.572,00	1.357,00	1.397,00	1.299,00
	POP_EST	Min	371.398,00	360.661,00	368.263,00	393.626,00
		Média	6.014.508,00	6.222.088,00	6.009.400,00	6.138.974,00
		Máx	40.467.421,00	41.387.529,00	41.181.232,00	41.549.432,00
		Desvio P.	8.134.186,00	8.270.678,00	8.245.616,00	8.328.244,00
		Mediana	3.112.444,00	3.149.127,00	2.914.830,00	3.075.143,00
	QTD_VEIC	Min	15,00	24,00	26,00	55,00
		Média	484,93	988,07	935,11	941,85
		Máx	2.815,00	6.185,00	6.085,00	6.062,00
Desvio P.		585,48	1.257,99	1.239,03	1.254,18	
Mediana		279,00	529,00	473,00	482,00	
Outputs	QTD_COL	Min	83.892,40	98.604,00	113.476,30	183.772,60
		Média	2.008.328,80	2.146.108,40	1.985.929,80	1.899.885,50
		Máx	13.116.739,90	14.611.499,80	13.277.831,20	12.750.973,40
		Desvio P.	2.623.127,30	2.919.838,30	2.669.288,20	2.577.446,80
		Mediana	1.125.074,50	1.227.245,80	1.111.176,00	935.037,40
	POP_ATEND	Min	339.590,00	339.459,00	356.862,00	355.615,00
		Média	5.557.849,00	5.767.012,00	5.571.894,00,00	5.614.757,00
		Máx	39.797.134,00	40.799.766,00	40.548.180,00	40.674.703,00
		Desvio P.	7.957.463,00	8.122.410,00	8.084.760,00	8.102.508,00
Mediana		2.742.028,00	2.795.324,00	2.738.601,00	2.655.979,00	

Fonte: A Autora (2019)

A Tabela 3 fornece a estatística descritiva dos dados utilizados para analisar o processo de coleta dos resíduos sólidos para os anos de 2013 a 2016. Observa-se que para a maioria das variáveis, com exceção da FUN_COL e da QTD_COL, houve um aumento de suas médias do início do período de análise para o fim do mesmo em 2016.

Para a QTD_COL houve uma diminuição nos valores médios da quantidade coletada de 2013 com relação a 2016, o que pode representar a utilização de outros tipos de destinação dos resíduos, tais como, a coleta seletiva. Não se exime que possa haver a falta de informação ou informações erradas por parte dos municípios respondentes ao Snis. Com relação a população atendida (POP_ATEND) não ocorreram mudanças significativas para seus valores médios no período de análise desta pesquisa.

Segundo García-Sánchez (2008) realizar o teste de correlação bivariada de Pearson para os *inputs* e *outputs* nos permite detectar fatores com a mesma significância, permitindo assim eliminar ou redefinir variáveis que não sigam a propriedade isotônica, que requer que não haja correlação negativa entre as variáveis. Diante disso, realizou-se para todos os processos o teste de Pearson para o ano de 2016 (mais atual) para verificar se há correlação entre as variáveis analisadas, para isto, utilizou-se uma planilha contendo os 27 estados brasileiros, seus respectivos *inputs* e *outputs* e seus valores. O teste de Pearson foi realizado através da Linguagem R (<https://www.r-project.org/>), através do *software* RStudio, e em específico se utilizou o pacote “stats”. Os resultados obtidos para o Processo de Coleta estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Matriz de correlação entre as variáveis do Processo de Coleta (2016)

	FUN_COL	POP_EST	QTD_VEIC	QTD_COL	POP_ATEND
FUN_COL	1,000	-	-	-	-
POP_EST	0,959	1,000	-	-	-
QTD_VEIC	0,952	0,991	1,000	-	-
QTD_COL	0,969	0,987	0,969	1,000	-
POP_ATEND	0,955	0,999	0,986	0,989	1,000

Fonte: A Autora (2019)

Observa-se na Tabela 4 que não houve correlação negativa entre os *inputs* e *outputs*. Portanto, não se fez necessário a exclusão ou redefinição de nenhuma das variáveis para o processo de coleta dos resíduos sólidos. Utilizou-se o ano de 2016 para os testes de correlação, por dois motivos, o primeiro, por ser o ano mais atual e que, portanto, mais se aproxima da realidade presente do GRS; e segundo por ser o ano cujos dados disponíveis se encontram mais completos.

A subseção a seguir realizará a descrição e o levantamento das variáveis para o Processo de Limpeza Pública.

5.3.2 Processo de Limpeza Pública

Similarmente ao trabalho de García-Sánchez (2008) que propunha avaliar os serviços de limpeza das ruas e coleta de resíduos em municípios da Espanha através da DEA, nesta pesquisa objetivamos realizar a análise da eficiência desses dois processos, mas separadamente. Segundo García-Sánchez (2008) a limpeza das ruas (ou pública) consiste na lavagem mecânica das ruas e dos pavimentos, bem como esvaziar os contêineres de lixo instalados em vias públicas. No Brasil, no entanto, os serviços de limpeza pública são realizados sob uma ótica diferente.

Analisar a eficiência dos serviços de limpeza pública recai em uma área cujos dados disponíveis nos bancos de dados públicos, incluindo o Sins, são escassos, dificultando assim a escolha dos *inputs* e *outputs* para avaliar esta atividade. Dessa forma, baseando-se nos dados disponíveis no Snis, conjuntamente com as similaridades encontradas em alguns trabalhos na literatura, incluindo García-Sánchez (2008), definiu-se como *inputs* e *outputs* as variáveis apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Inputs e Outputs para medir a eficiência do Processo de Limpeza Pública

	Variável	Descrição	Referência
<i>Inputs</i>	TRAB_VAR	Quantidade de funcionários qualificados como varredores, alocados no serviço de varrição de vias e logradouros públicos. (trabalhadores).	Vishwakarma et al. (2015)
	TRAB_CAP	Quantidade de empregados, alocados no serviço de capina e roçada (trabalhadores).	
<i>Outputs</i>	QTD_COL_LP	Valor anual da soma das quantidades de resíduos provenientes das atividades de capina, varrição e poda coletadas (ton).	Rogge e De Jaeger (2012)
	SARJETA_VAR	Consiste na extensão anual total de sarjetas varridas de logradouros executados pelo poder público ou privado (km).	García-Sánchez (2008)

Fonte: A Autora (2019)

Na Tabela 5 se apresenta as variáveis selecionadas para avaliar a eficiência das atividades contidas no processo de Limpeza Urbana, dessa forma, selecionou-se dois *inputs* e

dois *outputs*. Os *inputs* selecionados consistiram dos funcionários atuantes nos processos de varrição e capina, TRAB_VAR e TRAB_CAP, respectivamente. O número de funcionários foi comumente usado como variável de *input* nos trabalhos levantados, no entanto, citou-se Vishwakarma et al. (2015), pois, este estudo está focado em analisar diferentes aspectos do GRS.

Selecionou-se como *outputs* a quantidade de resíduos provenientes dos serviços de limpeza pública em toneladas (QTD_COL_LP), encontrado frequentemente na literatura, como referência usou-se Rogge e De Jaeger (2012), pois, este estudo apresenta frações de resíduos, inclusive os resíduos provindos da poda e roçada; também usou-se a quilometragem de sarjetas varridas (SARJETA_VAR), não foi possível encontrar uma referência exata a esta variável, no entanto, cita-se a pesquisa de García-Sánchez (2008), que utiliza uma variável similar, denominada de “quilômetros de lavagem de superfície” que está relacionada com as atividades de limpeza pública na Espanha, entende-se que ambas variáveis se referem à abrangência da extensão territorial alcançada pelo serviço. Realizou-se a estatística descritiva das variáveis para os anos de 2013 a 2016 e o Teste de Correlação de Pearson para o ano de 2016, ambos utilizando a Linguagem R, como descrito na seção anterior. Sendo os mesmos apresentados nas Tabela 6 e 7, respectivamente.

Tabela 6 – Estatística descritiva das variáveis utilizadas para análise da eficiência do processo de limpeza pública para os anos de 2013-2016

			2013	2014	2015	2016
Inputs	TRAB_VAR	Min	107,00	89,00	69,00	79,00
		Média	3.529,11	3.660,52	3.034,44	2.916,78
		Máx	18.316,00	18.787,00	12.105,00	12.096,00
		Desvio P.	4.481,81	4.533,93	3.552,21	3.583,12
		Mediana	1.870,00	2.070,00	1.660,00	1.400,00
	TRAB_CAP	Min	102,00	94,00	0,00	80,00
		Média	2.159,41	1.834,00	1.556,37	1.489,30
		Máx	13.830,00	9.405,00	9.133,00	7.746,00
		Desvio P.	2.865,82	2.086,79	1.927,31	1.676,15
		Mediana	1.256,00	1.132,00	869,00	962,00
Outputs	SARJETA	Min	120,00	15.743,00	27.420,00	8.801,00
		Média	898.534,30	1.024.125,00	812.602,10	628.896,00
		Máx	7.088.358,00	7.024.752,00	1.071.222,50	3.604.019,00

		Desvio P.	1.440.467,90	1.580.111,10	987.879,30	809.337,60
		Mediana	313.832,00	344.966,00	301.134,00	344.284,00
	QTD_COL_LP					
		Min	3.994,00	2.690,00	0,00	0,00
		Média	320.387,93	367.332,06	293.290,28	255.603,30
		Máx	1.379.215,90	2.012.953,80	1.713.416,30	1.779.433,50
		Desvio P.	393.552,01	524.111,83	381.749,72	371.750,20
		Mediana	149.449,60	169.648,80	128.803,70	116.216,70

Fonte: A Autora (2019)

A Tabela 6 apresenta para o processo de limpeza pública, a estatística descritiva dos dados para o período de avaliação desta pesquisa. É possível constatar que os valores médios para a quantidade de trabalhadores na varrição e capina, TRAB_VAR e TRAB_CAP, respectivamente, diminuíram com relação ao tempo o que pode ser caracterizado como uma diminuição no quadro de funcionários trabalhando efetivamente nestas atividades, podendo os mesmos terem sido substituídos por frentes temporárias. Com relação aos *outputs*, SARJETA e QTD_COL_LP, nota-se que para ambas variáveis existem valores mínimos iguais a zero, um dos motivos que isto ocorra, pode ser devido a algum estado não fornecer informações corretas, ou no caso da variável QTD_COL_LP, o estado não tenha realizado a segregação dos resíduos da limpeza pública, o contabilizando apenas como resíduo comum ou domiciliar.

Tabela 7 – Matriz de correlação entre as variáveis do Processo de Limpeza Pública (2016)

	TRAB_VAR	TRAB_CAP	SARJETA	QTD_COL_LP
TRAB_VAR	1,000	-	-	-
TRAB_CAP	0,872	1,000	-	-
SARJETA	0,811	0,893	1,000	-
QTD_COL_LP	0,711	0,552	0,377	1,000

Fonte: A Autora (2019)

Na Tabela 7 observa-se que através do Teste de Correlação de Pearson não foi constatado correlação negativa entre as variáveis para o Processo de Limpeza Pública, não fazendo necessário a exclusão ou modificação de nenhuma variável.

A subseção a seguir realizará a descrição e o levantamento das variáveis para o Processo de Disposição Final.

5.3.3 Processo de Disposição Final

O método de disposição final dos resíduos sólidos em diversos países em desenvolvimento consiste principalmente de aterros sanitários e/ou lixões a céu aberto, isto basicamente devido a sua simplicidade e baixo custo de manutenção (KANAT, 2010). O Brasil, como um país em desenvolvimento não foge a esta regra, no entanto, tem procurado maneiras de melhorar sua gestão de resíduos sólidos, isto através de implementação de novas leis e decretos. No entanto, o disposto em lei ainda não condiz com a realidade do Brasil, tendo em vista que mesmo 6 anos após a PNRS, cerca de 41,6% do resíduo coletado ainda é disposto em lixões ou aterros controlados (ABRELPE, 2016). Dessa forma, visando medir e analisar como os estados brasileiros têm se empenhado neste processo, procurou-se uma forma de medir a eficiência do mesmo, isto através das destinações mais comumente adotadas no país (BESEN; FRACALANZA, 2016), sendo elas: **os lixões, os aterros controlados e os aterros sanitários.**

Com relação à seleção dos *inputs* e *outputs* para avaliar o processo de disposição final dos resíduos sólidos, enfrentou-se escassez de referências na literatura sobre os mesmos. No entanto, baseou-se em dois artigos para a elaboração das variáveis utilizadas neste processo. O primeiro estudo, foi o trabalho de Sarra et al. (2017) que utiliza para avaliar a eficiência de custos das DMU's, o valor gasto anualmente nos serviços sanitários como *input* e como *outputs* utiliza os resíduos separados (recicláveis) e os resíduos sem separação; e por fim, o estudo de Rogge e De Jaeger (2013) de forma similar ao anterior também utiliza os custos dos resíduos como entrada, mas, como saída ele utiliza quantidades de diferentes tipos de resíduos, tais como, resíduos de embalagens, resíduos verdes, resíduos volumosos dentre outros. Observa-se nestes dois estudos a utilização de um *input* para mais de um *output*.

Diante da indisponibilidade de estudos visando medir e avaliar o processo de disposição final, utilizou-se os dois artigos citados anteriormente como base para a seleção das variáveis desta pesquisa. A importância desses estudos consiste na maneira como os mesmos utilizaram como *outputs* frações de diferentes tipos de resíduos, e, os dados disponíveis no Snis, utilizados nesta pesquisa, possuem informações similares sobre as frações de resíduos destinadas para os diferentes tipos de disposição final. Dessa forma, este estudo propõe como forma de medir a eficiência do processo de disposição final, utilizar como *input* a quantidade de resíduos encaminhada às unidades de disposição final e como *output* as quantidades destinadas a cada tipo de disposição final, aterros sanitários, aterros controlados, lixões e outros tipos de

disposições que não se enquadrem nos anteriores. Apresenta-se os *inputs* e *outputs* selecionados para medir a eficiência do processo de disposição final dos resíduos na Tabela 8.

Tabela 8 – Inputs e Outputs para medir a eficiência do Processo de Disposição Final

	Variável	Descrição
Inputs	QTD_TOTAL	Soma da quantidade total de resíduos recebida nas unidades de processamento (ton).
	QTD_LIXÃO	Soma da quantidade de resíduos cuja a disposição final foi denominada de Lixão pelo órgão gestor (ton).
Outputs	QTD_CONTROL	Soma da quantidade de resíduos cuja a disposição final foi denominada de Aterro Controlado pelo órgão gestor (ton).
	QTD_SANITARIO	Soma da quantidade de resíduos cuja a disposição final foi denominada de Aterro Sanitário pelo órgão gestor (ton).
	QTD_OUTRAS	Parcela dos resíduos cuja a disposição final não ocorreu em lixões, aterros controlados ou aterros sanitários, podendo haver uma outra destinação não especificada. (ton).

Fonte: A Autora (2019)

Pode se observar na Tabela 8, que para avaliar a eficiência do processo de disposição final dos resíduos, adotou-se um *input* e quatro *outputs*. Os *outputs* QTD_SANITARIO e QTD_OUTRAS representam *outputs* desejáveis, ou seja, aqueles cuja destinações representam uma melhor solução para a disposição dos resíduos sólidos, por outro lado, QTD_LIXAO e QTD_CONTROL, representam os *outputs* indesejáveis, isso devido o disposto na lei que os considerarem como destinações não aconselháveis para disposição ambientalmente adequada para os resíduos. Realizou-se, portanto, a estatística descritiva das variáveis restantes, apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 – Estatística descritiva das variáveis utilizadas para análise da eficiência do Processo de Disposição Final para os anos de 2013-2016

		2013	2014	2015	2016
Inputs	TOT_CO				
	Min	174.615,40	164.747,00	185.120,60	196.648,10
	Média	2.733.286,90	2.722.344,50	2.888.752,30	2.531.554,00
	Máx	19.715.898,40	16.469.714,80	21.056.014,80	18.899.122,80

		Desvio P.	3.943.313,80	3.551.085,90	4.302.578,40	3.865.550,20
		Mediana	1.530.442,60	1.571.583,60	1.207.921,20	1.151.372,70
Outputs	QTD_LIXÃO	Mín	0,00	342,00	0,00	0,00
		Média	287.586,10	389.346,30	265.587,97	252.738,61
		Máx	1.154.900,80	2.522.942,30	1.244.766,20	1.214.208,30
		Desvio P.	288.141,30	524.344,10	292.657,10	287.554,29
		Mediana	228.151,80	233.164,20	198.897,60	159.155,90
	QTD_CONTR	Mín	0,00	0,00	0,00	0,00
		Média	476.249,10	341.537,80	382.656,36	246.516,20
		Máx	3.382.775,00	1.508.106,70	2.845.974,00	1.501.656,50
		Desvio P.	732.762,00	415.925,40	621.887,80	351.211,50
		Mediana	241.591,90	156.436,00	144.073,00	129.202,10
	QTD_SANIT	Mín	0,00	0,00	0,00	0,00
		Média	1.367.526,10	1.423.327,80	1.539.836,70	1.388.582,40
		Máx	11.507.725,70	9.521.957,50	11.836.054,00	9.561.781,40
		Desvio P.	2.393.762,00	2.149.176,60	2.509.659,50	2.087.008,80
		Mediana	534.731,30	625.790,00	640.705,30	766.893,40
	QTD_OUTRA	Mín	0,00	0,00	0,00	0,00
		Média	597.617,60	568.132,57	700.671,30	643.716,70
		Máx	7.342.790,10	5.993.791,00	8.107.783,30	8.173.873,20
		Desvio P.	1.456.039,00	1.268.242,71	1.695.317,10	1.661.663,00
		Mediana	149.518,40	65.919,00	153.807,20	54.692,00

Fonte: A Autora (2019)

A Tabela 9 apresenta a estatística descritiva para o processo de disposição final dos resíduos sólidos para o período de 2013 a 2016. Nota-se que os valores médios para as quantidades coletadas decresceram nos últimos anos, o que pode ser resultado de uma coleta menos eficiente, tendo em vista, que é pouco provável que a quantidade de resíduos gerados tenha diminuído. Com relação aos *outputs* nota-se que há estados que não dispõem seus resíduos em Aterros Sanitários ou Aterros Controlados, o que corresponde a quantidade mínima igual a zero para estas variáveis. De forma similar, para as quantidades dispostas em lixões nos anos de 2013, 2015 e 2016, houveram estados que não dispuseram seus resíduos nesta forma de disposição final e para outros tipos de disposição (QTD_OUTRAS), nota-se que para todos os anos houveram estados cuja as destinações se limitaram a somente lixões, aterros sanitários e controlados.

De forma geral, os valores mínimos iguais a zero apresentados na Tabela 9, representam que para o tipo de destinação e período, existem estados que não encaminharam seus resíduos para esta classe de disposição final. Realizou-se o teste de Correlação de Pearson para

processo de disposição final para o ano de 2016, utilizando a Linguagem R. Os resultados estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Matriz de correlação entre as variáveis do processo de disposição final (2016)

	QTD_TOT	QTD_LIXÃO	QTD_CONTROL	QTD_SANIT.	OUTRAS
QTD_TOT	1,000	-	-	-	-
QTD_LIXÃO	0,009	1,000	-	-	-
QTD_CONTROL	0,606	0,018	1,000	-	
QTD_SANIT.	0,986	0,006	0,556	1,000	
OUTRAS	0,959	-0,164	0,496	0,918	1,000

Fonte: A Autora (2019)

Nota-se na Tabela 10, que apresenta a correlação entre as variáveis calculadas através do teste de Pearson, que há correlação negativa entre as variáveis QTD_LIXÃO e OUTRAS, que representam, a quantidade de resíduos direcionadas a lixões e a quantidade de resíduos que possuem outras destinações, respectivamente. Tendo em vista que não pode haver correlação negativa entre *inputs* e *outputs*, optou-se por excluir a variável OUTRAS, devido à mesma possuir uma importância relativa menor que a quantidade de resíduos dispostas incorretamente representadas pela QTD_LIXÃO.

Tendo-se, portanto, realizado os levantamentos dos *inputs* e *outputs* para cada processo, testado sua correlação e analisado suas respectivas estatísticas descritivas, a próxima seção abordará o cálculo da eficiência em si, dado através da abordagem DEA.

5.4 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA

A avaliação da eficiência dada através da abordagem DEA nesta pesquisa, estará subdividida em duas partes. A primeira relacionada a justificativa da escolha do modelo utilizado; a segunda relacionada à aplicação do modelo selecionado e a apresentação dos *scores* de eficiência obtidos, ambas apresentadas nas próximas subseções.

5.4.1 Justificativa da Utilização do Modelo DEA

Partindo das informações anteriores sobre: a delimitação das DMU's utilizadas nesta pesquisa; os processos contidos no GRS conjuntamente com suas respectivas variáveis de *inputs* e *outputs*; e a delimitação do período de análise desta pesquisa (2013-2016). Esta

seção, portanto, realizará a escolha do(s) modelo(s) DEA a serem utilizados para medir a eficiência dos processos do GRS.

Ao observar os *inputs* e *outputs* levantados para análise da eficiência dos GRS no Brasil, nota-se, que os mesmos estão correlacionados com o cálculo da eficiência técnica dos processos. Pois, segundo Rogge e De Jaeger (2013), a eficiência técnica refere-se a relação entre os *inputs* físicos, tais como número de caminhões de lixo ou número de trabalhadores, com o nível dos *outputs*. Neste caso, o modelo BCC, desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper (1984), que realiza o cálculo da eficiência técnica pura, não considerando as ineficiências de escala, seria o mais indicado a ser utilizado nesta pesquisa. Sarra et al. (2017) acrescentam que o modelo BCC é preferível quando se procura considerar ineficiências no nível gerencial de uma atividade ou processo, o que também se enquadra no objetivo deste trabalho.

Uma outra forma de definir qual modelo utilizar se baseia no retorno de escala esperado para as DMU's, Benicio e De Mello (2015), apresentam que, para o modelo CCR, que assume retorno de escala constante, qualquer alteração nos *inputs* levará um resultado proporcional nos *outputs*, e que, por outro lado, o BCC, que assume retorno de escala variável, considera o fato de que em diferentes situações as condições que influenciam a produtividade são também diferentes. Nesta pesquisa, as DMU's consistem dos estados brasileiros que são unidades homogêneas no que concerne a prestação dos serviços do GRS, mas que atuam em escalas diferentes influenciadas pelo porte do estado. Num país como o Brasil onde se tem estados com grandes extensões territoriais como o Amazonas e Mato Grosso, mas que por outro lado não possuem a densidade demográfica de estados menores como São Paulo e Rio de Janeiro. Diante desta premissa, opta-se nesta pesquisa por utilizar o modelo DEA BCC que permite comparar unidades de realidades produtivas diferentes.

Definindo-se o modelo DEA BCC para análise da eficiência para os Processos de Coleta, Limpeza Pública e Disposição Final, necessita-se definir a orientação da análise, podendo assumir uma orientação a *inputs* ou orientação a *outputs*.

A escolha da orientação não obedece à uma regra, no entanto, há alguns fatores que devem ser considerados para definição da mesma. Primeiramente, dependendo da análise realizada e dos dados disponíveis, pode-se ou não ter o controle sobre os *inputs* ou sobre os *outputs*.

Hosseinzadeh-Bandbafha et al. (2018) advogam que, no sistema de gestão de resíduos é inviável se controlar os *outputs* quando os mesmos são representados pela quantidade de resíduos gerados, mas tem-se como ter o controle dos *inputs*. Quando os *outputs* não podem

ser controlados, mas os *inputs* sim, neste caso, é aconselhável a utilização de um modelo orientado a *inputs* para determinar a eficiência das DMU's. Na literatura a maioria dos estudos utilizando DEA para aferir a eficiência no GRS está focado na eficiência de custos, portanto, segue-se mais a orientação a *inputs*, onde ocorre a minimização dos mesmos.

Nesta pesquisa, diante das variáveis selecionadas, pode se realizar o cálculo da eficiência pelas duas orientações. Pode ser analisada pela orientação a *inputs*, devido os mesmos serem controlados pelos estados e municípios, como, por exemplo, número de funcionários. De forma análoga, pode ser analisada pela orientação a *outputs*, devido os mesmos estarem relacionados aos níveis de serviços prestados pelos estados à população, como, por exemplo, população atendida.

Compreende-se que nesta pesquisa, avaliar os níveis de serviços fornecidos pelos estados melhor refletem como o Brasil têm evoluído no GRS no período de estudo delimitado. Opta-se, portanto, por utilizar um modelo orientado a *outputs*, pois, através dos resultados pode se compreender como os estados tem utilizado os recursos providos pelo poder público na prestação dos serviços de Coleta, Limpeza Pública e Disposição Final dos resíduos.

O processo de Disposição Final dos resíduos possui *outputs* indesejáveis cuja racionalidade é que os mesmos sejam minimizados, sendo eles as formas inadequadas de disposição final, consistindo dos Lixões e Aterros Controlados. Na literatura, portanto, realizou-se o levantamento de três formas de tratar *outputs* indesejáveis. A primeira, utilizada no trabalho de Agovino et al. (2018), aplica uma abordagem de transformação monotônica decrescente (exemplo $1/y^b$) para os *outputs* indesejáveis. A segunda forma, utilizada no trabalho de Sarra et al. (2017), tratam o *output* indesejável como *input*, de forma, que o mesmo, para um modelo orientado a *input* seja minimizado. A terceira forma foi citada no trabalho de Scheel (2001) trata-se de uma abordagem sugerida por Koopmans (1951) a mesma consiste numa transformação chamada de *additive inverse*, que consiste em converter os *outputs* indesejáveis em *outputs* desejáveis através da alteração do sinal ($f(U) = -U$), segundo Scheel (2001), os resultados obtidos através desta abordagem são similares a abordagem que trata o *output* indesejável com *input*.

Diante das formas de tratar os *outputs* levantadas, optou-se por realizar o cálculo da eficiência pela abordagem que trata os *outputs* indesejáveis como *inputs*. Selecionou-se esta abordagem, primeiro, porque a mesma não requer alterações na ordem da disposição dos dados já adotada para os demais processos, e segundo, por se tratar de um método já bem

difundido na literatura. A próxima seção, consistirá na execução do modelo DEA BCC com orientação a *outputs* para cada um dos processos separadamente.

5.4.2 Aplicação

Sintetizando as informações obtidas anteriormente, delimitou-se as DMU's aos 27 estados brasileiros, cuja análise da eficiência será medida para os três processos dentro do GRS, sendo eles: Processo de Coleta, Processo de Limpeza Pública e Processo de Disposição Final. O período de análise desta pesquisa foi delimitado a 4 anos, abrangendo o período de 2013 a 2016, tal período foi definido através da disponibilidade dos dados para os mesmos. Diante da delimitação dos processos, se obteve as variáveis utilizadas para medir cada um deles, e por fim, decidiu-se por qual modelo DEA utilizar sendo o escolhido o modelo BCC com orientação a *outputs*.

Nesta seção, portanto, se apresentará a aplicação do modelo DEA BCC-O para cada processo. Para isso, utilizou-se a Linguagem R (<https://www.r-project.org/>), através do *software* RStudio, e em específico para o cálculo das eficiências utilizou-se o pacote “rDEA”, ambos disponibilizados gratuitamente. Realizou-se, portanto, a análise para cada processo e ano, resultando em 12 execuções separadas, 4 para cada processo, referente aos 4 anos analisados.

O primeiro processo analisado consistiu do Processo de Coleta, o mesmo conta com três *inputs* e dois *outputs*, os *scores* de eficiência obtidos para cada ano no período de análise são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Resultados do modelo DEA BCC-O para o processo de coleta (2013-2016)

Estado	2013	2014	2015	2016
AC	1,000	0,876	0,839	0,875
AL	0,919	0,901	1,000	0,902
AM	0,886	0,889	1,000	1,000
AP	1,000	1,000	1,000	1,000
BA	0,860	0,874	0,899	0,901
CE	0,970	1,000	1,000	1,000
DF	1,000	1,000	1,000	1,000
ES	0,962	0,964	0,958	0,941
GO	0,993	0,956	0,952	0,959
MA	0,790	0,805	0,700	0,813

MG	1,000	0,936	0,934	0,922
MS	0,933	0,915	0,886	0,894
MT	0,988	0,895	0,914	0,912
PA	0,827	0,821	0,836	0,831
PB	0,861	0,884	0,905	0,876
PE	0,922	0,919	0,925	0,931
PI	0,804	0,751	0,814	0,774
PR	0,936	0,944	0,933	0,924
RJ	1,000	1,000	1,000	1,000
RN	0,906	0,927	0,941	0,947
RO	1,000	0,974	0,891	0,865
RR	1,000	1,000	1,000	1,000
RS	0,959	0,963	0,950	0,934
SC	0,941	0,950	0,938	0,928
SE	0,904	0,920	0,920	0,892
SP	1,000	1,000	1,000	1,000
TO	0,845	0,848	0,832	0,859

Fonte: A Autora (2019)

A Tabela 11 apresenta os *scores* de eficiência calculados pelo modelo DEA BCC orientado a *outputs* para o Processo de Coleta dos Resíduos. Os estados considerados eficientes através do modelo são apresentados em vermelho na tabela. Nota-se que para os anos de 2013 e 2015 houveram cerca de 8 estados considerados eficientes para o processo. Para os demais anos, os resultados foram 7 estados para 2014 e 6 estados para 2016. Observa-se apenas cinco estados foram considerados eficientes para todos os anos da análise, sendo eles: Amapá, Distrito Federal, Rio de Janeiro, Roraima e São Paulo. Nenhum estado para o processo obteve um *score* de eficiência menor que 0,50, o que apresenta que a coleta no Brasil tem, de forma geral, sido bem consistente nos últimos anos e parcialmente efetiva, sendo que menos de 10% dos estados foram considerados eficientes.

Seguindo os cálculos para eficiência dos demais processos, o segundo analisado foi o processo de Limpeza Pública que incluiu dois *inputs* e dois *outputs*. Seguindo o disposto anteriormente, utilizou-se o modelo DEA BCC com orientação a *outputs*, e os resultados obtidos estão contidos na Tabela 12.

Tabela 12 – Resultados do modelo DEA BCC-O para o Processo de limpeza pública (2013-2016)

Estado	2013	2014	2015	2016
---------------	-------------	-------------	-------------	-------------

AC	0,492	1,000	1,000	0,722
AL	0,626	0,170	0,921	0,299
AM	0,364	0,647	0,964	1,000
AP	1,000	1,000	1,000	1,000
BA	1,000	1,000	1,000	1,000
CE	1,000	1,000	1,000	1,000
DF	1,000	1,000	1,000	1,000
ES	0,352	0,707	0,543	0,351
GO	0,704	0,588	0,740	0,713
MA	0,351	0,234	1,000	0,550
MG	0,691	0,545	0,824	0,719
MS	0,370	0,838	0,317	0,560
MT	0,265	0,431	0,384	0,380
PA	0,459	0,596	0,524	0,635
PB	0,178	0,265	0,228	0,680
PE	0,476	0,431	0,452	0,373
PI	0,711	1,000	1,000	0,823
PR	0,509	0,616	0,563	0,767
RJ	1,000	1,000	1,000	1,000
RN	0,342	0,528	0,620	0,426
RO	1,000	0,393	0,192	0,297
RR	1,000	1,000	1,000	1,000
RS	0,563	0,601	0,817	0,592
SC	0,365	0,426	0,400	0,399
SE	0,203	0,229	0,252	0,230
SP	1,000	1,000	1,000	1,000
TO	0,271	0,736	0,645	0,604

Fonte: A Autora (2019)

A Tabela 12 apresenta os scores de eficiência calculados pelo modelo DEA BCC orientado a *outputs* para o Processo de Limpeza Pública. Analogamente ao processo anterior, os estados considerados eficientes através do modelo são apresentados em vermelho na Tabela. Observa-se que para os anos de 2013 e 2016, 8 estados foram considerados eficientes, e que para os anos de 2014 e 2015, 9 e 10 estados foram considerados eficientes, respectivamente.

Nota-se, também, que diferente do processo anterior, o número de estados cujos *scores* de eficiência foram menores que 0,5, apresentados na tabela com preenchimento vermelho, aumentou consideravelmente, atingindo cerca de 33% dos resultados para o período de análise. Os estados de Mato Grosso, Pernambuco, Santa Catarina e Sergipe foram os piores avaliados para todo o período de análise.

O último processo analisado, portanto, consiste do Processo de Disposição Final, que como descrito na seção anterior, conta com *outputs* indesejáveis. Dessa forma, selecionou-se uma maneira de abordar os *outputs* indesejáveis, considerando-os como *inputs*. Os *scores* de eficiência obtidos aplicando o modelo DEA BCC com orientação a *outputs* para o processo de disposição final são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Resultados do modelo DEA BCC-O para o Processo de Disposição Final (2013-2016)

Estado	2013	2014	2015	2016
AC	0,236	0,379	0,606	1,000
AL	0,596	0,703	0,838	0,863
AM	0,000	1,000	1,000	0,965
AP	1,000	1,000	1,000	1,000
BA	0,610	0,873	0,836	0,676
CE	1,000	1,000	0,934	0,822
DF	0,000	0,000	0,000	0,000
ES	0,916	0,751	0,877	0,917
GO	0,902	0,851	0,859	0,847
MA	0,002	0,054	0,003	0,004
MG	0,793	0,802	0,845	0,843
MS	0,670	0,631	0,479	0,878
MT	0,107	0,192	0,110	0,151
PA	0,021	0,000	0,280	0,617
PB	0,800	0,945	0,696	1,000
PE	0,895	0,776	0,990	1,000
PI	0,035	0,038	0,030	0,001
PR	0,890	1,000	1,000	1,000
RJ	1,000	0,996	1,000	1,000
RN	0,528	0,441	0,510	0,471
RO	0,229	0,124	0,080	0,387

RR	0,000	0,000	0,000	0,000
RS	0,853	0,824	1,000	1,000
SC	1,000	1,000	1,000	1,000
SE	0,301	1,000	1,000	1,000
SP	1,000	1,000	1,000	1,000
TO	0,356	0,357	0,361	0,544

Fonte: A Autora (2019)

A Tabela 13 apresenta os *scores* de eficiência calculados através do modelo DEA BCC-O para o Processo de Disposição Final. De forma análoga aos processos anteriores, os estados considerados eficientes estão apresentados em letras vermelhas e aqueles cujo *score* de eficiência foi menor que 0,5 encontra-se com preenchimento vermelho. Nota-se que do ano de 2013 a 2016 houve um aumento no número de estados considerados eficientes, partindo de 5 estados eficientes em 2013 e chegando a 10 estados eficientes em 2016.

Nota-se também que existem uma gama de estados cuja eficiência não alcançou um *score* de 0,5. Cerca de 3 estados foram considerados eficientes para todos os anos, sendo eles: Amapá, Santa Catarina e São Paulo, de forma contrária, houveram estados cujo desempenho para todos os anos foram péssimos, sendo eles o Distrito Federal e Roraima, que obtiveram valores iguais a zero para todos os anos, significando que nestes estados todos os resíduos coletados são dispostos de forma contrária ao disposto na lei.

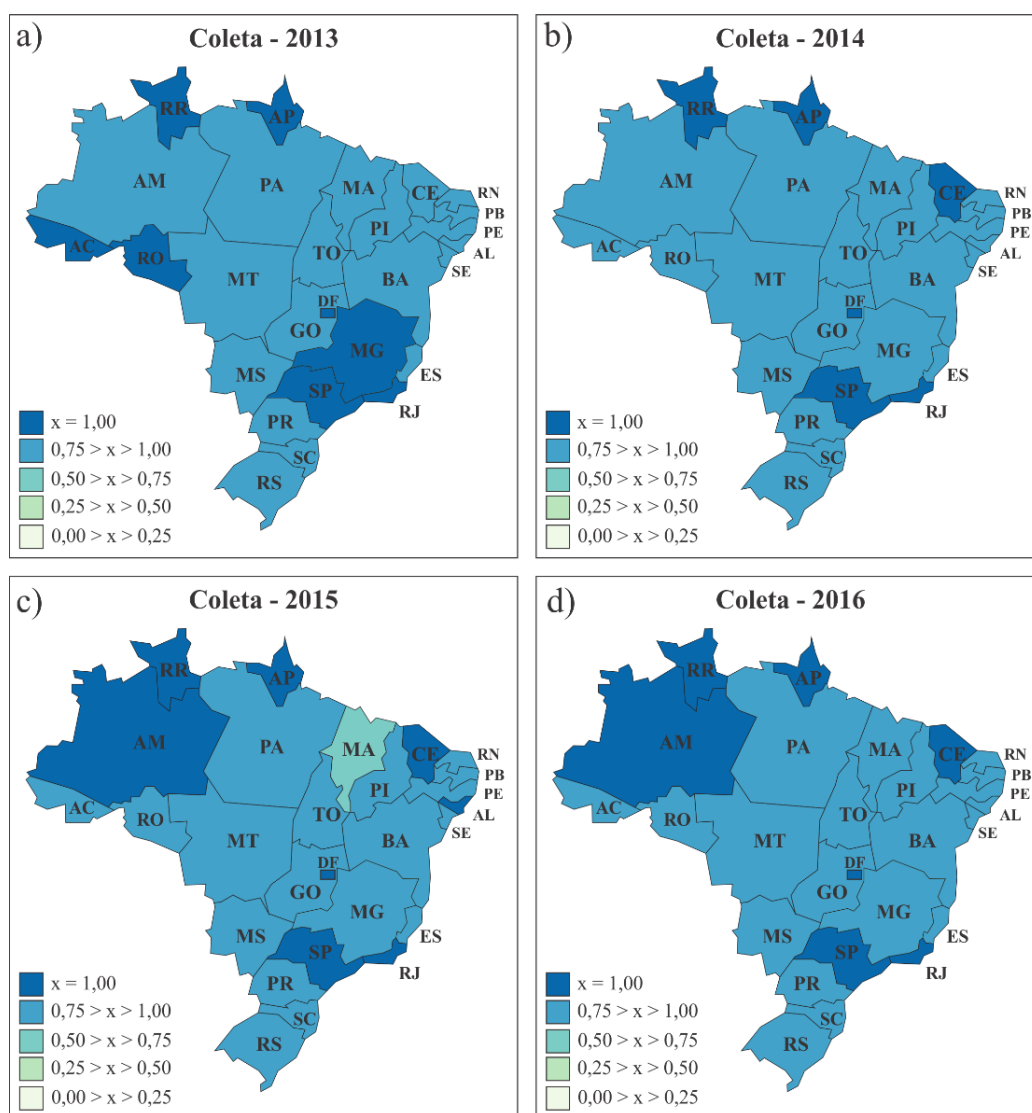
Efetuando-se os cálculos das eficiências para cada processo, a etapa seguinte consiste em realizar a análise dos resultados, para se constatar e analisar as informações obtidas através da execução do modelo. Dessa forma, a seção subsequente é responsável pela etapa de análise dos resultados.

5.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A abordagem DEA, como discutida anteriormente, trata-se de uma técnica de aferir a eficiência relativa, portanto, os resultados obtidos através dela se referem somente ao conjunto de DMU's analisadas e suas características, não podendo, ser utilizado como base para outros conjuntos de unidades. No entanto, nesta pesquisa, através dos resultados obtidos é possível se analisar quais estados obtiveram melhores desempenhos dadas as informações obtidas através do modelo DEA BCC-O, esta seção, portanto, procura realizar a análise dos resultados obtidos.

Os scores de eficiências obtidos através do modelo DEA BCC orientado a *outputs* forneceram os desempenhos dos Estados brasileiros para o período de quatro anos (2013-2016) em relação aos processos de Coleta, Limpeza Pública e Disposição Final, ambos contidos dentro do GRS. Tal resultado é importante para comparar quais estados melhor se enquadraram na PNRS e aprimoraram a gestão de seus resíduos para o período de análise. Dessa forma, elaborou-se uma série de mapas apresentando graficamente os resultados obtidos através do DEA BCC-O, para melhor visualização dos mesmos. O primeiro processo a ser expressado graficamente, constituiu do Processo de Coleta dos resíduos, como observado no Mapa 1.

Mapa 1 – Scores de eficiência para os estados brasileiros calculados através do DEA BCC-O para o Processo de Coleta, para os anos de a) 2013, b) 2014, c) 2015 e d) 2016



Fonte: A Autora (2019)

O Mapa 1 apresenta os *scores* de eficiência para os 27 estados brasileiros com relação a seus desempenhos no Processo de Coleta dos resíduos sólidos para os anos de 2013 a 2016. Nota-se, que para o ano de 2013 (Mapa 1.a) não houveram estados com *scores* menores que 0,75, estando a maioria das DMU's nesta faixa, com exceção das DMU's eficientes. Com relação à localização geográfica dos estados eficientes, pode-se observar que os mesmos encontram-se dispersos entre as regiões do país, nota-se, no entanto, que dentre os 8 estados eficientes, quatro estão localizados na Região Norte: Amapá, Acre, Roraima e Rondônia.

Para o ano de 2014 (Mapa 1.b) houveram poucas mudanças nos desempenhos dos estados. Ocorreu uma diminuição no número de estados eficientes, mas a maioria das DMU's permaneceu numa faixa de *scores* acima de 0,75.

Para os anos seguintes, 2015 e 2016, Mapa 1.c e Mapa 2.d, respectivamente, houveram poucas mudanças quanto as eficiências dos estados, destaca-se apenas que em 2015, o estado do Maranhão obteve um *score* de eficiência menor que 0,75, e os demais estados, ou foram dados como eficientes ou com *scores* acima de 0,75. De forma geral os resultados obtidos representam que com relação à coleta dos resíduos os estados brasileiros possuem uma gestão até eficientemente razoável da mesma.

Se representou graficamente os *scores* de eficiência para processo de Limpeza Pública através do Mapa 2.

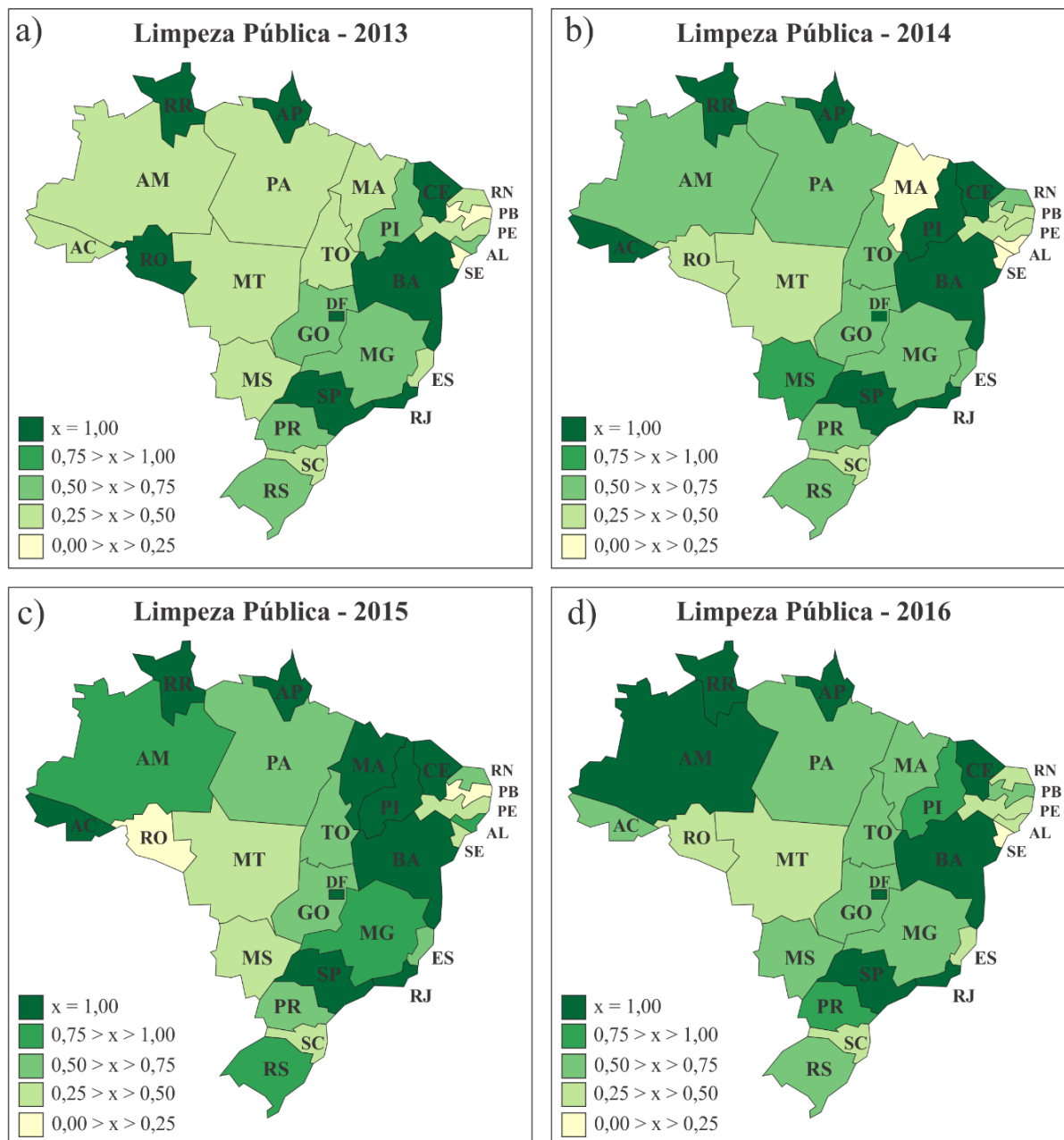
O Mapa 2, de forma análoga a anterior, apresenta os estados brasileiros com relação a seus desempenhos no Processo de Limpeza Pública para os anos de 2013 a 2016, calculados através do modelo DEA BCC-O. Nota-se que para o ano de 2013 (Mapa 2.a) grande parte dos estados obteve resultados abaixo de 0,5, representando quase cerca de 50% do total de estados, representando uma limpeza pública precária.

Observa-se, também, através do Mapa 2.a dispersão dos estados eficientes pelo país, a Região Norte, foi aquela que obteve uma maior variação nos resultados, contendo estados que foram eficientes para todos os anos (Amapá e Roraima) conjuntamente com estados que obtiveram *scores* baixos em alguns anos e melhores em outros, como o estados do Acre e do Amazonas, que para alguns anos tiveram resultados abaixo de 0,5 e outros foram considerados eficientes, demonstrando uma grande variação nos resultados obtidos através do modelo DEA BCC-O.

Nota-se, que para o período de análise o estado de Sergipe obteve a pior eficiência em para todos os anos, sendo que apenas em 2015, ficou na faixa de *scores* entre 0,25-0,50. É possível notar também, que os estados eficientes estão dispersos pelo país, sendo aqueles que

se mantiveram eficientes para todos os anos foram: Amapá, Bahia, Ceará, Distrito Federal, Rio de Janeiro, Roraima e São Paulo.

Mapa 2 – Scores de eficiência para os estados brasileiros calculados através do DEA BCC-O para o Processo de Limpeza Pública, para os anos de a) 2013, b) 2014, c) 2015 e d) 2016

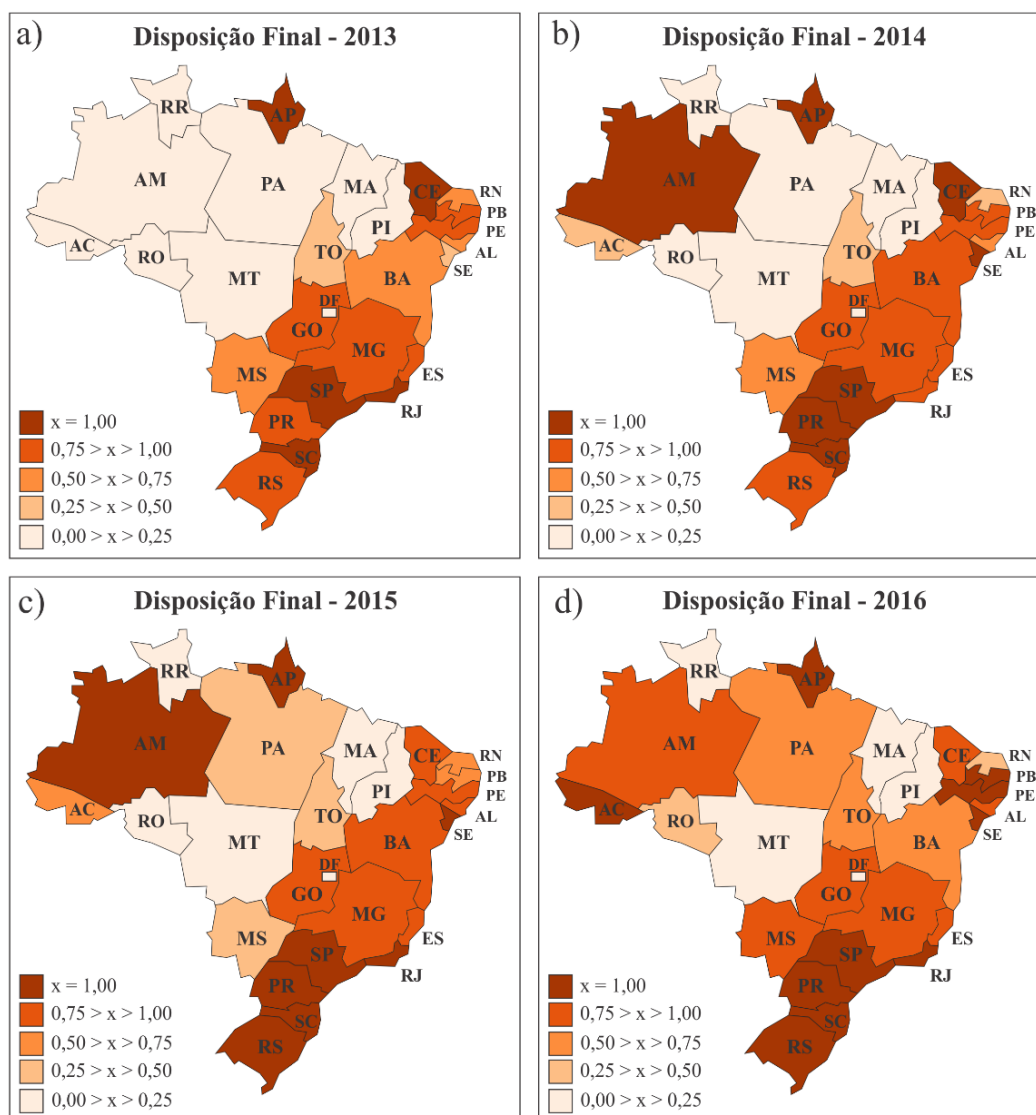


Fonte: A Autora (2019)

O Processo de Disposição Final é considerado um dos processos cuja preocupação na PNRS é amplamente discutido, e nesta pesquisa o mesmo obteve resultados críticos. O Mapa

3, portanto, apresenta o último processo analisado que consistiu no Processo de Disposição Final.

Mapa 3 – Scores de eficiência para os estados brasileiros calculados através do DEA BCC-O para o Processo de Disposição Final, para os anos de a) 2013, b) 2014, c) 2015 e d) 2016



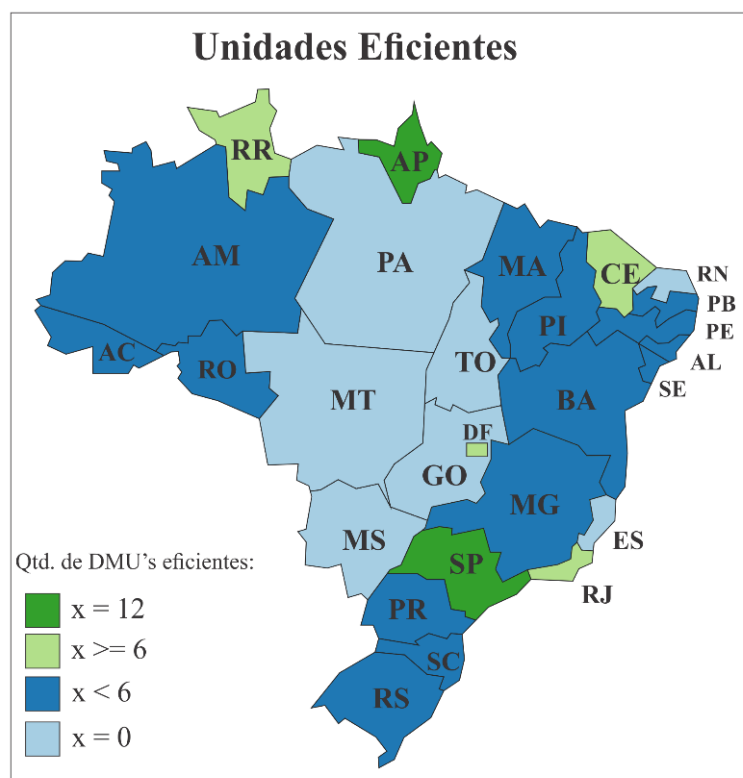
Fonte: A Autora (2019)

Os scores de eficiência para o Processo de Disposição Final para o período de 2013 – 2016 são apresentados no Mapa 3. É possível notar que para o ano de 2013, cerca de 9 estados obtiveram scores de eficiências abaixo de 0,25, ou seja, valores muito baixos para um processo imprescindível para o GRS no Brasil. Mesmo que para os anos de 2014 – 2016 houvera uma melhora nos desempenhos dos estados, o estado do Distrito Federal juntamente com outros quatro, até o ano de 2016, não obtiveram uma eficiência superior a 0,25, o que

representa, que até o último ano de análise desta pesquisa, os seus respectivos resíduos ainda eram dispostos de forma incorreta. Com relação aos estados eficientes, notou-se que o Amapá, conjuntamente com alguns estados do Sudeste como São Paulo e Rio de Janeiro, foram dados como eficientes para todos os anos do processo de análise. O ano de 2016 (Mapa 3.d) foi um ano de contrastes, com o maior número de estados considerados eficientes, mas também, com estados cuja eficiência encontra-se abaixo de 0,5. A Disposição Final, dentre os demais processos de Coleta e Limpeza Pública, apresenta ser o que mais requer melhora na eficiência.

Após a análise de cada processo separadamente, procurou-se agrupar os resultados de todos os anos e observar os estados que foram considerados eficientes mais vezes, para dessa forma, analisar quais deles possuem melhores práticas de gestão de seus resíduos e, de forma análoga, constatar aqueles que obtiveram resultados péssimos. Como resultado, elaborou-se o Mapa 4.

Mapa 4 – Número de vezes que cada DMU foi considerada eficiente



Fonte: A Autora (2019)

O Mapa 4 apresenta o número de vezes que cada estado que foi considerado eficiente através da análise dos três processos. Tendo-se, portanto, três processos (Coleta, Limpeza

Pública e Disposição Final) e o período de 4 anos (2013-2016), o limite de vezes o qual um estado pode ser considerado eficiente é de 12 vezes. Dessa forma, observa-se no Mapa 4, que apenas os estados do Amapá e São Paulo foram considerados eficientes de forma unânime para todos os processos e anos. Uma outra classificação feita foi dos estados que foram considerados eficientes ao menos a metade das vezes possíveis para todos os processos, como resultado se obteve os estados do Ceará, Distrito Federal, Rio de Janeiro e Roraima. No outro extremo, temos cerca de 7 estados que não foram considerados eficientes para nenhum processo. Dentre eles, destaca-se, Pará, Tocantins, Mato Grosso, dentre outros.

Deve se atentar que, a abordagem DEA trata-se de uma ferramenta de diagnóstico e portanto, não prescreve nenhuma estratégia de reengenharia para tornar as DMU's ineficientes em eficientes. Tais estratégias para melhorar do desempenho das DMU's devem ser estudadas e implementadas pelas pessoas responsáveis pela gestão dos resíduos sólidos, isso através da compreensão das operações das unidades eficientes (VISHWAKARMA et al., 2015). Dessa forma, esta pesquisa além de buscar medir as eficiências dos estados brasileiros sobre o Gerenciamento dos seus respectivos resíduos sólidos, procura também compreender quais são as práticas dos estados que foram considerados eficientes. Diante disso, a próxima seção realizará o comparativo entre os estados eficientes de forma unânime (12 vezes), conjuntamente com os estados que foram considerados eficientes pelo menos 6 vezes, e os Planos Estaduais dos Resíduos Sólidos (PERS) do respectivo estado.

5.6 COMPARATIVO ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS E AS METAS ESTIPULADAS PELOS PERS

A Política Nacional dos Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), possui vários instrumentos cuja finalidade é estabelecer diretrizes para o GRS a nível nacional. Dentre os instrumentos da PNRS incluem-se os planos de resíduos sólidos, como os PERS.

Segundo a PNRS (BRASIL, 2010) os PERS trata-se de um dos requerimentos da União para que o Estado receba verbas para empreendimentos relacionados a gestão dos resíduos. O Plano Estadual, segundo a lei, deve ser elaborado por prazo indeterminado, compreender toda a extensão territorial do estado e possuir planejamento de atuação de vinte anos e ser revisado a cada quatro anos.

Diversas considerações da PNRS foram abordadas nesta pesquisa, dessa forma, fez-se necessário comparar os resultados obtidos através da ótica da mesma. Diante disso, utilizou-se como documento para comparação os PERS. Dentre o conteúdo mínimo estipulado para estar

contido no PERS inclui-se uma série de metas abrangendo as diretrizes da PNRS. Dessa forma, através da análise dos Planos Estaduais de cada estado pode se constatar quais estados estipularam metas que visasse melhorar a eficiência da gestão de seus resíduos e as colocaram em prática no período de diagnóstico desta pesquisa.

Para análise dos PERS, selecionaram-se os estados que obtiveram unanimidade em serem eficientes em todos os processos, ou seja aqueles que foram eficientes 12 vezes, juntamente com aqueles que foram eficientes mais de 6 vezes, e, achou-se válido avaliar aqueles que não foram eficientes nenhuma vez. O número de estados que se enquadraram nestas três classes consistiram de apenas 13, apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Eficiências dos estados por processo e por ano

UF	Coleta				Limpeza Pública				Disposição Final				Qtd. vezes que foi Eff.
	2013	2014	2015	2016	2013	2014	2015	2016	2013	2014	2015	2016	
AP	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	12
SP	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	12
RJ	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	11
CE	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,93	0,82	9
DF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8
RR	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8
ES	0,96	0,96	0,96	0,94	0,35	0,71	0,54	0,35	0,92	0,75	0,88	0,92	0
GO	0,99	0,96	0,95	0,96	0,70	0,59	0,74	0,71	0,90	0,85	0,86	0,85	0
MS	0,93	0,91	0,89	0,89	0,37	0,84	0,32	0,56	0,67	0,63	0,48	0,88	0
MT	0,99	0,89	0,91	0,91	0,27	0,43	0,38	0,38	0,11	0,19	0,11	0,15	0
PA	0,83	0,82	0,84	0,83	0,46	0,60	0,52	0,63	0,02	0,00	0,28	0,62	0
RN	0,91	0,93	0,94	0,95	0,34	0,53	0,62	0,43	0,53	0,44	0,51	0,47	0
TO	0,85	0,85	0,83	0,86	0,27	0,74	0,64	0,60	0,36	0,36	0,36	0,54	0

Fonte: A Autora (2019)

A Tabela 14, apresenta os *scores* de eficiência para os estados considerados eficientes de forma recorrente nesta pesquisa, observa-se que dos 6 estados selecionados, todos são eficientes para o processo de Limpeza para todos os anos. No entanto, para todos anos e processos apenas os estados do Amapá e São Paulo foram considerados eficientes.

Observa-se, também, que o Distrito Federal, ao contrário dos demais estados, obtivera o pior *score* de eficiência para todos os anos para o processo de Disposição Final e fora considerado eficiente para todos os demais. Observa-se também, que cerca de 7 estados não

foram eficientes nenhuma das 12 vezes possíveis. Diante destas informações, procurou-se encontrar os Planos Estaduais de cada um dos estados eficientes ao menos 6 vezes para análise, a síntese das informações encontradas é apresentada na Tabela 15.

Tabela 15 – Resumo das informações encontradas sobre os PERS analisados

Estado	PERS? Sim/Não	Data de Publicação
AP	Não	-
CE	Sim	Nov/14*
DF	Não	-
RJ	Sim	Ago/13
RR	Não	-
SP	Sim	2014

Fonte: A Autora (2019)

Com o intuito de realizar o levantamento dos Planos Estaduais de Resíduos Sólidos dos 6 estados analisados nesta seção, realizou-se uma pesquisa *online* nas plataformas do governo para encontrar informações sobre os mesmos, focou-se em plataformas nacionais como o Ministério do Meio Ambiente e Ministério das Cidades e a nível estadual, nas Secretarias de Meio Ambiente de cada estado. Notou-se grande dificuldade em obter os PERS dos estados. Dessa forma, as informações encontradas foram escassas para a comparação dos PERS, consequentemente, optou-se por apresentar na Tabela 15 apenas se o estado possuía ou não um PERS e sua respectiva data de publicação caso a mesma pudesse ser identificada no documento. Diante do levantamento executado, realizaram-se algumas análises sobre os documentos.

Não foi possível identificar a existência do Plano Estadual dos Resíduos Sólidos do Estado do Amapá através do levantamento nas plataformas do governo e do próprio estado. Como também não foi possível encontrar nenhum documento ou referência há alguma norma específica para o GRS no estado, tornando assim, inviável realizar uma análise das práticas do estado com relação aos demais analisados nesta seção.

O Estado do Ceará, com relação aos demais analisados nesta pesquisa é um precursor do GRS no Brasil, tendo sua Política Estadual dos Resíduos Sólidos, publicada 9 anos antes da Política Nacional dos Resíduos Sólidos. A Lei Estadual nº 13.103, de 24 de janeiro de 2001 homologou a Política dos Resíduos Sólidos do estado, mas com a implementação da PNRS fez-se necessário uma revisão da mesma, tendo as alterações republicadas em uma

nova lei em 2016. O estado do Ceará, portanto, teve uma vantagem com relação aos demais estados no que concerne o GRS, onde, através das informações obtidas desde a publicação da primeira versão da Política Estadual permitiu ao mesmo a elaboração do Plano Estadual dos Resíduos Sólidos publicado em 2014/2016.

O PERS do estado do Ceará, disponibilizado pela Secretária de Meio Ambiente do Ceará (SEMMA – CE), possui diversos volumes, cuja data inicial de publicação consiste em novembro de 2015, se estendendo para os anos seguintes. O conteúdo do PERS está contido em 5 cadernos temáticos, 3 volumes contendo os cenários mais um Resumo das informações contidas nos dois primeiros documentos. Com relação ao número de páginas do PERS, os cadernos temáticos possuem cerca de 230 páginas no total, e o volumes com os cenários, cerca de 840 páginas. Dentre os volumes disponibilizados, o Resumo de 140 páginas sintetizou todas as informações necessárias para se comparar com resultados obtidos através da abordagem DEA e com os demais estados.

Para o estado do Distrito Federal não foi possível encontrar *online* o Plano Estadual de Resíduos Sólidos, ou alguma referência sobre sua existência nas plataformas do governo. No entanto, encontrou o Plano Distrital de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PDGIRS), um documento extenso com cerca de 800 páginas, publicado em março de 2018 pelo Governo do Distrito Federal. Nele está contido um diagnóstico dos resíduos sólidos no Distrito Federal, conjuntamente com propostas para o enquadramento na PNRS, tais como a universalização e melhora nos serviços prestados.

O Plano Estadual dos Resíduos Sólidos do estado do Rio de Janeiro, consiste de um documento extenso dividido em 11 volumes que englobam diversas áreas como, proposições de cenários, diagnósticos dos resíduos, proposições de metas, sistemas de informações, dentre outros, conjuntamente com um Relatório Síntese que resume o que está contido nestes volumes. Nesta pesquisa, com o intuito de comparar os PERS dos estados eficientes, irá se focar em analisar o Relatório Síntese, por possuir o agrupamento das informações gerais do PERS e o Volume 8 que aborda a Proposições de Metas a serem alcançadas.

Para o estado de Roraima, de forma análoga ao estado do Distrito Federal, não foi possível encontrar em nenhuma plataforma do governo *online* o Plano Estadual dos Resíduos Sólidos. No entanto, encontrou-se o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) de Boa Vista, capital do estado. De forma diferente ao documento elaborado para o Distrito Federal, o PMGIRS não engloba demais municípios do estado, limitando-se a extensão territorial e ao Plano Diretor da cidade de Boa Vista. Para a finalidade desta pesquisa de comparar os Planos Estaduais com os resultados obtidos através da

abordagem, não cabe, portanto, analisar o PMGIRS de Boa Vista, por se tratar de um documento de nível municipal.

O Plano Estadual dos Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo, publicado em 2014, possui cerca de 350 páginas divididas em três volumes. O PERS de SP engloba está dividido em quatro partes: o Panorama dos resíduos, que apresenta o diagnóstico da situação atual da gestão dos resíduos no estado; um Estudo de Regionalização e a proposição de arranjos municipais; a Proposição de Cenários, com projeções de geração com um horizonte de 20 anos; e finalmente, Diretrizes, Metas e Ações para serem adotadas ao longo de dez anos na gestão dos resíduos. Nossa análise, portanto, estará focada nesta última parte.

Análise anterior sobre cada PERS e seu respectivo estado, deu a partida inicial para uma análise mais completa do que estes documentos apresentam sobre os processos analisados nesta pesquisa. Partindo das informações iniciais analisou-se cada documento separadamente e comparou-os entre si, a síntese das informações obtidas são apresentadas na Tabela 16. Optou-se por não realizar uma análise separada de cada processo devido que, nos PERS selecionados as informações se encontram estratificadas, e que, outras informações importantes sobre o GRS em geral poderiam também ser úteis para compreender quais estados tiveram melhores desempenhos na análise realizada nesta pesquisa.

Tabela 16 – Síntese das informações obtidas através dos PERS de cada estado

UF	Pontos Fortes	Pontos Fracos	Alinhamento com a PNRS
AP	-	✓ Não existe PERS, para que seja possível uma análise mais profunda do GRS no estado;	✓ Não, por não possuir PERS.
CE	✓ Existência de uma lei regulamentadora do GRS prévia a PNRS; ✓ Existência do PERS; ✓ Todos os volumes do PERS disponíveis <i>online</i>; ✓ Projeções populacionais até 2034; ✓ Proposição da criação de um Sistema de Gerenciamento dos Resíduos Sólidos (SGRS);	✓ Apenas 40% dos municípios com destinação ambientalmente correta dos rejeitos até 2027; ✓ Não faz alusão ao processo de Limpeza Pública;	✓ Sim, o PERS encontra-se bem completo e seguindo os requerimentos da PRNS.

	✓ Estipulação de metas para dois períodos, primeiro entre 2015-2018; segundo por 2019-2022; ✓ 100% dos Lixões encerrados até 2035; ✓ Incentivo a coleta seletiva;		
DF	✓ Existência do PDGIRS; ✓ Metas para o GRS estipuladas até 2037; ✓ Implementação de aterros; ✓ Estruturação da coleta seletiva; ✓ Criação de indicadores para medir o desempenho de várias atividades; ✓ Aborda todos os processos do GRS analisados nesta pesquisa;	✓ Não existe PERS; ✓ PDGIRS, publicado a 8 anos da PNRS;	✓ Sim, pois o documento segue as diretrizes da PNRS, especialmente, no processo de disposição final.
RJ	✓ Existência do PERS; ✓ Projeções populacionais até 2033; ✓ Foco no aumento da coleta seletiva e reciclagem; ✓ Implementação da Logística Reversa; ✓ Estabelece a obrigatoriedade dos municípios a elaborar os PMGIRS; ✓ Erradicação dos lixões até 2014; ✓ Fiscalização e tratamento ambientalmente adequado dos lixiviados;	✓ Não faz alusão ao Processo de Limpeza Pública de forma explícita;	✓ Sim, o PERS faz alusão e segue as diretrizes apresentadas no PRNS, e pode se considerar que com relação a disposição final é o mais audacioso quanto a metas para extinção de lixões;
RR	✓ Existência do PMGIRS de Boa Vista;	✓ Não existe PERS ou referência a elaboração do mesmo; ✓ Não existem planos estaduais e municipais de Saneamento Básico;	✓ Sim, o PMGIRS segue o descrito na PNRS sobre o conteúdo mínimo para o plano municipal.
SP	✓ Existência do PERS;	✓ Não faz alusão ao Processo de Limpeza	✓ Sim, o PERS segue o descrito na PNRS

✓ Projeções de geração dos resíduos com um horizonte de 20 anos; ✓ Proposição de um relatório da avaliação do PERS de 4 em 4 anos se iniciando de 2018; ✓ Meta de eliminar os lixões até 2014; ✓ Proposição da implantação da coleta seletiva em todos os municípios;	Pública de forma explícita;	sobre o conteúdo mínimo para o plano.
--	-----------------------------	---------------------------------------

Fonte: A Autora (2019)

Um dos problemas identificados nesta pesquisa consistiu na inexistência do PERS para alguns estados, como no caso do estado do Amapá, que em conjunto com o estado de São Paulo, foram os unanimemente eficientes; e, também, como no caso do estado de Roraima. Este último, ao contrário do estado do Amapá, foi possível identificar um outro documento que faz referência ao GRS mesmo que a nível municipal. Acredita-se que o PMGIRS da cidade de Boa Vista, capital do estado de Roraima, seja um passo em direção a elaboração do PERS do estado, tendo em vista que o conteúdo presente no mesmo segue o disposto na PNRS no que concerne a elaboração do panorama dos resíduos, aos estudos de regionalização e a proposição de metas, conteúdos também presentes nos PERS.

Como mencionado anteriormente o estado do Ceará já possuía uma Lei estadual anterior a PNRS, o que lhe concedeu uma certa experiência com relação ao GRS o que é provável que os demais estados não obtiveram. Dessa forma, seu PERS encontra-se mais numa fase de atualização do que proposição. A síntese das informações contidas na Tabela 16 com relação ao estado, apresentam alguns pontos positivos que podem justificar o desempenho do estado nesta pesquisa, com foco destaca-se, a proposição do SGRS que segundo o PERS (CE), fortaleceria o GRS do estado através do estímulo a disseminação das ações da PERS, isto através da capacitação técnica e da educação ambiental dos envolvidos no GRS no estado. Os pontos negativos identificados não conferem tanto prejuízo ao que o PERS (CE) aborda, mas, que para o objetivo desta pesquisa achou-se importante destacar. O primeiro com relação à destinação ambientalmente correta, que é explicitamente tratada na PNRS, o disposto sobre os 40% dos municípios do estado com destinação ambientalmente adequada até 2027 é um valor consideravelmente baixo com relação a outros estados que estipularam 100% como meta; segundo, nesta pesquisa analisou-se três processos do GRS, e

só foi possível identificar a Coleta e a Disposição Final no PERS (CE), não tendo sido citado o processo de Limpeza Pública.

Um dos problemas notados na análise da eficiência nesta pesquisa consistiu no mau desempenho do Distrito Federal com relação à Disposição Final dos rejeitos. O PDGIRS, por ser um documento mais atual apresenta algumas considerações importantes que pode representar mudanças na eficiência quanto a este processo, como pontos positivos, por exemplo, cita-se que em janeiro de 2017 iniciaram-se as operações do Aterro Sanitário de Brasília, o primeiro a estar operando no estado. Aterros sanitários, na PNRS, são considerados a forma mais indicada para a disposição final dos rejeitos, dessa forma, nota-se que é provável que a eficiência deste estado quanto ao processo de disposição final tenha sido melhorada. O PDGIRS possui a mesma finalidade do Plano Estadual dos Resíduos, e, assume-se que devido o Distrito Federal ser o estado com apenas um município, este documento em si, é equivalente ao PERS, considera-se um ponto negativo a não existência do PERS apenas para o âmbito desta pesquisa cujo foco é na comparação entre PERS's.

O PDGIRS apresenta uma série de metas para ambos os processos analisados nesta pesquisa, para isto, o documento realiza uma série de projeções populacionais, de geração de resíduos, entre outras, até o ano de 2037, ambas para elaborar planos de ação para a melhoria dos serviços prestados. Dentre as metas, destaca-se a implementação de dois aterros sanitários, Aterro Sanitário Norte e Aterro Sanitário Sul, juntamente com o já existente Aterro de Brasília, para a disposição final dos rejeitos; destaca-se também, a estruturação da coleta seletiva e a criação de indicadores para medir o desempenho de várias atividades. Dessa forma, observa-se o esforço do estado em melhorar a eficiência da gestão de seus resíduos, isto através de um documento bem estruturado e com objetivos bem definidos e plausíveis e abrangendo todos os processos analisados nesta pesquisa.

Destaca-se com relação ao estado do Rio de Janeiro algumas das metas contidas no PERS (RJ), as mesmas foram elaboradas visando um horizonte de 20 anos a contar de 2013, nele foram divididas entre as metas em questões que devem ser solucionadas imediatamente, e a curto, médio e longo prazo. Dentre as metas que concernem a esta pesquisa, destaca-se na Tabela 16, a erradicação dos lixões e a disposição final dos rejeitos em Aterros Sanitários, prevista como meta emergencial a ocorrer até 2014, mas a mesma não foi alcançada em sua totalidade até 2016, mas nota-se pelos resultados obtidos nesta pesquisa (Tabela 14) que o estado conseguiu com relação aos demais estados brasileiros ser considerado eficiente no processo de Disposição Final em 3 dos 4 anos da análise. Com relação à coleta dos resíduos sólidos, o PERS (RJ) estipula a implementação da Coleta Seletiva em todos os municípios do

estado iniciando-se em 2013; com relação ao processo de Limpeza Pública não foi citada nenhuma meta específica para o mesmo, mas foi abordado dentro de outros processos. No geral, nota-se que, em geral, o PERS do estado tem considerações viáveis sobre alguns dos processos que concernem esta pesquisa.

O estado de Roraima, como observado na Tabela 16, não possui muitos pontos que possam ser levantados para esta pesquisa. Inicialmente, por não haver PERS que permita a comparação com os estados que possuem este documento, e segundo, devido o único documento identificado tratar-se do PMGIRS da cidade de Boa Vista, ou seja, a nível municipal. No entanto, o que pode-se notar ao analisar o PMGIRS é que o mesmo trata de um documento extenso que segue o disposto como conteúdo mínimo pela PNRS e que pode ser um passo na direção ao PERS do estado, tendo em vista que os PMGIRS de outros estados, como São Paulo, compuseram o conteúdo do PERS do mesmo.

Os pontos positivos levantados na Tabela 16, com relação ao estado de São Paulo concentram-se basicamente na seção que aborda metas e ações para a gestão dos resíduos no estado de São Paulo. Nota-se que, ao que concerne os Processos analisados nesta pesquisa, o Estado possui um foco para a disposição final ambientalmente adequada, sendo este processo abordado em várias metas como a “Extinção dos lixões em 2014”, “Reabilitação de áreas de antigos lixões até 2025” e “Recuperação de gases de aterro sanitário até 2025”, dentre outras. Com relação aos pontos negativos, considera-se para esta pesquisa que não abordar o processo de Limpeza Pública, mesmo que de forma indireta, seja um quesito negativo com relação a alguns estados, como o Rio de Janeiro que aborda este processo de forma indireta.

De forma geral, o estado de São Paulo, como pode se notar nos resultados obtidos nesta pesquisa, possui um GRS bem estruturado cujas melhorias podem ter advindo do PERS, como de outros planos atuando conjuntamente.

Em comparativo aos estados que foram considerados eficientes em todos os processos e anos. Constata-se que diferente do estado do Amapá, o estado de São Paulo possui um PERS que atende o que a PNRS dispõe como conteúdo mínimo, bem como a abrangência territorial, dessa forma, pode-se considerar que na análise desta pesquisa, o estado brasileiro que possui o melhor desempenho de eficiência dos processos do GRS analisados nesta pesquisa, consiste do estado de São Paulo.

A não existência do PERS para o estado do Amapá impossibilitou a comparação do mesmo com relação aos demais estados selecionados como eficiente um maior número de vezes. No entanto, o estado ainda obteve um desempenho notável neste estudo, tornando necessário averiguar mais profundamente o que levou este estado a obter este resultado. Não

foi possível constar leis estaduais referentes ao GRS. No trabalho de Nery et al. (2016), que realiza um levantamento da situação do Amapá sobre o processo de disposição final dos resíduos sólidos, o estudo apresenta que, a capital do estado, Macapá é o único município que possui um Aterro Sanitário e atende mais um outro município. A pesquisa ainda reiteira que não há coleta seletiva no estado ou cooperativas de reciclagens.

Entende-se que a falta do PERS não influenciou para que o Estado do Amapá tivesse um mau desempenho no GRS, ou seja, levando a conclusão de que ter o PERS não garante a eficiência do estado. Assume-se que há outros aspectos que levaram o estado a possuir um bom desempenho na eficiência do GRS nesta pesquisa. No entanto, não foi possível encontrar mais informações além das apresentadas no estudo Nery et al. (2016).

De forma a complementar a análise dos resultados, achou-se plausível, analisar os estados que se encontravam no outro extremo dos resultados, ou seja, que foram ineficientes mais vezes. Para isto selecionou-se dois dos estados que obtiveram os piores resultados de eficiência para todos os processos e anos.

A escolha dos estados que obtiveram os piores resultados foi realizada sob duas óticas. Primeiro, considerando os estados que não foram eficientes para nenhuma das vezes possíveis, conjuntamente com as médias aritméticas dos seus *scores*. Realizou-se o cálculo da média aritmética para todos os estados ineficientes da Tabela 14, e destacou-se os estados do Pará e Mato Grosso cuja média aritmética de seus respectivos *scores* foram inferiores aos demais estados do grupo que não foram eficientes nenhuma vez, alcançando cerca de 0,54 e 0,48, respectivamente. Portanto, os mesmos foram selecionados e apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 – Estados com os piores resultados para todos os processos e anos

UF	Coleta				Limpeza Pública				Disposição Final				Qtd. Eff.
	2013	2014	2015	2016	2013	2014	2015	2016	2013	2014	2015	2016	
PA	0,99	0,89	0,91	0,91	0,27	0,43	0,38	0,38	0,11	0,19	0,11	0,15	0
MT	0,83	0,82	0,84	0,83	0,46	0,60	0,52	0,63	0,02	0,00	0,28	0,62	0

Fonte: A Autora (2019)

A Tabela 17 apresenta os estados que não foram considerados eficientes para nenhum processo ou ano. Diante dos estados selecionados, procurou-se informações sobre a existência dos PERS's de ambos. Constatou-se que o Mato Grosso não possui um PERS, ou algum documento que faz referência ao GRS no Estado. O Pará, no entanto, desde junho de 2014 possui um Relatório Síntese de um documento chamado de Plano de Gestão Integrada de

Resíduos Sólidos do Estado do Pará (PEGIRS). O PEGIRS encontra-se dividido em dois volumes, totalizando cerca de 400 páginas, o acesso a este documento foi efetuado pelo site do Ministério do Meio Ambiente e não pelas plataformas do Governo do Estado, não sendo possível encontrar o mesmo na Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Pará (SEMA-PA). Analisando os conteúdos existentes no documento, nota-se que o mesmo aborda praticamente todos os conteúdos mínimos de um PERS, tais como: diagnóstico dos resíduos sólidos, proposições de metas, arranjos municipais, dentre outros. Acredita-se, que o PEGIRS disponibilizado seja parte do PERS do estado ainda não publicado.

Com relação à abordagem do PEGIRS sobre os processos analisados nesta pesquisa, constatou-se que algumas metas foram estipuladas para os processos de Coleta e Disposição Final. Para Coleta, cita-se a melhoria e ampliação do atendimento da coleta dos resíduos sólidos, isto para que, a população urbana seja completamente atendida e a população rural tenha acesso a sistemas de entrega e transferência dos resíduos sólidos. Para o processo de Disposição Final, metas tais como a “Erradicação das áreas de disposição final inadequada até 2014” e “Disposição final ambientalmente adequada de rejeitos até 2014” foram estipuladas para ocorrer em 100% dos municípios do estado de 2016-2032. As proposições do PEGIRS foram audaciosas, mas, o que se constata através dos resultados nesta pesquisa é que, é possível que grande parte destas metas até 2016 (último ano da análise) não foram implementadas, especialmente para o processo de Disposição Final que obteve resultados precários para todos os anos analisados.

De forma geral, considerando que dentre os dois estados com os piores resultados nesta pesquisa o Pará é o único a possuir um documento que faz referência aos resíduos sólidos, o mesmo possui vantagem com relação ao estado do Mato Grosso no quesito GRS, o que pode ter refletido na média calculada através dos *scores*. Devido não ser possível identificar um documento equivalente ao PERS ou que aborde o GRS para o estado do Mato Grosso, torna-se inviável constatar quais são as práticas vigentes no estado e compará-las com aquelas identificadas para o estado do Pará.

Através da análise dos Planos Estaduais de Resíduos Sólidos selecionados, pode-se observar que de forma geral, todos fornecem diretrizes similares. No entanto, nota-se também, que há algumas metas mais específicas, como, por exemplo, a maioria do PERS fazem alusão a metas a serem implementadas com o horizonte de 20 anos como o disposto pela PNRS, mas o estado de São Paulo em seu PERS, propôs um horizonte de 10 anos para atingir as metas dispostas no Plano.

A comparação entre os PERS dos seis estados selecionados como eficientes mais vezes, permitiu analisar as diferenças existentes entre os mesmos. A dificuldade em realizar a análise entre eles, consistiu na inexistência do PERS, para alguns casos; a não disponibilização do conteúdo integral, só de resumos; e também a diferença entre as datas de publicação dos mesmos, sendo que algumas das vezes foram posteriores ao período de análise utilizado nesta pesquisa. Mas, de forma geral, foi possível identificar as práticas que fizeram a diferença nos resultados obtidos nesta pesquisa, mas, não para todos os processos, tendo em vista, que o processo de Limpeza Pública foi o mais difícil de se identificar menções a ele nos conteúdos analisados. A seção seguinte, portanto, realizará as considerações finais deste trabalho, bem como a proposição de trabalhos futuros.

6 CONCLUSÃO E SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

O Gerenciamento dos Resíduos Sólidos é responsável por uma parcela importante dos serviços prestados pelo poder público, não somente por fornecer a população uma forma de destinar e dispor seus resíduos, mas, também como forma de assegurar que ambas as atividades sejam realizadas de forma correta, evitando assim, impactos ambientais adversos e perigos à saúde humana.

No Brasil demorou-se a se regulamentar o Gerenciamento dos Resíduos através de uma lei própria para esta finalidade. A Política Nacional dos Resíduos Sólidos, publicada em 2010, foi resultado de cerca de 20 anos de estudo desde da publicação do Projeto de Lei que primeiro trouxe a discussão da gestão dos resíduos ao poder público. Como resultado, a PNRS trouxe consigo considerações importantes para o país, estabeleceu diretrizes, instrumentos e metas que objetivavam melhorar e regulamentar a gestão dos resíduos sólidos. No entanto, devido a diversos fatores, incluindo fatores econômicos e a falta de fiscalização, nota-se que muitas das metas estipuladas pela PNRS não foram alcançadas mesmo cerca de 9 anos desde a publicação da lei. Dessa forma, esta pesquisa procurou analisar o quão eficientemente os estados brasileiros vêm gerindo seus resíduos considerando três processos diferentes do GRS, sendo eles, Processo de Coleta dos Resíduos Sólidos, Processo de Limpeza Pública e Processo de Disposição Final; isto utilizando dados dos anos de 2013 a 2016, disponibilizados gratuitamente nas plataformas do governo.

Munindo-se da técnica de eficiência bastante difundida na literatura, a Análise Envolvória de Dados — DEA, realizou-se o cálculo para análise da eficiência de cada estado, para cada processo e ano utilizando o modelo DEA BCC com orientação a outputs, resultando em 12 execuções.

Para o Processo de Coleta dos Resíduos, foi notável que no Brasil a eficiência deste processo é relativamente alta para todos estados, isto através da análise dos resultados obtidos. Observou-se que não houve alteração significativa nos resultados para o período de análise e que todos os estados obtiveram eficiência superior a 70%, tornando a Coleta o processo mais eficiente com relação aos demais estudados.

O processo de Limpeza Pública foi o que demonstrou mais escassez de dados para análise, requerendo maior cautela na seleção das informações. Os resultados para este processo demonstraram que o mesmo não é visto com a mesma importância que os demais, tendo em vista que grande parte dos estados brasileiros obtiveram eficiências inferiores a 50% para todos os anos, destacando o estado de Sergipe que obteve o pior desempenho geral para

este processo. De forma contrária, os estados de Roraima, Ceará, Amapá e São Paulo foram eficientes para todos os anos (2013 – 2016).

A Disposição Final no Brasil é amplamente discutida na PNRS e é considerada um dos processos mais críticos quando relacionada aos potenciais danos ao meio ambiente e à saúde humana. Dessa forma, esta pesquisa proporcionou através de uma análise minuciosa e estruturada uma forma de possibilitar medir e avaliar a eficiência deste processo através da abordagem DEA.

Devido à escassez de estudos focando em analisar a Disposição Final de forma separada, as variáveis foram selecionadas a partir das formas de disposição mais comuns do Brasil, os lixões, aterros sanitários e aterros controlados. Como resultado observou-se que os estados brasileiros encontram-se em basicamente em dois extremos, estados cuja eficiência foi extremamente baixa chegando a zero em todos os anos, e estados que foram considerados eficientes para todo o período de análise como Amapá, Santa Catarina e São Paulo. Os resultados apontam para uma melhora no desempenho de alguns estados como Rio Grande do Sul e Rio de Janeiro, por exemplo, mas no geral a situação do Brasil com relação à eficiência deste processo ainda requerer muito esforço.

De forma geral, notou-se que alguns estados foram considerados ineficientes em diferentes processos/anos e de forma recorrente. Observou-se que a maioria dos estados que não foram eficientes nenhuma das vezes possíveis, estão localizados nas regiões Norte e Centro-Oeste. Quando analisada a existência dos PERS's para estes estados observa-se que:

- Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, não possuem PERS;
- Tocantins e Goiás, possuem PERS's posteriores ao período de análise desta pesquisa;
- O estado do Pará não possui PERS, mas possui o Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos;

A ineficiência recorrente destes estados pode ser resultado da falta de políticas públicas aplicadas ao GRS. O estado do Pará, por exemplo, apenas 6 dos seus 144 municípios possuem aterros sanitários e metade deles estão localizados somente na região sudeste do mesmo, com relação a coleta seletiva apenas 5 cidades possuem um programa focado na coleta dos resíduos sólidos recicláveis (SEDOP, 2015). O Mato Grosso, por sua vez, não possui PERS, referente aos resíduos sólidos o mesmo conta com somente com a Política Estadual de Resíduos Sólidos Lei nº 7.862, de 19 de dezembro de 2002, que foi alterada em 2009, mas que não foi atualizada após a PNRS. O estado não possui leis ou publicações atuais referente

ao GRS, o que pode ser uma justificativa para seu mau desempenho nos resultados obtidos nesta pesquisa.

Os estados do Tocantins e Goiás publicaram seus PERS's no ano de 2017, sendo que este último já havia publicado um plano preliminar para o GRS no estado. Ambos estados atualmente procuram se enquadrar na PNRS e em seus PERS apresentam diversas informações que podem ser comparadas com os resultados obtidos.

O PERS do Tocantins realiza um levantamento de diversos processos, inclusive os abordados neste estudo. Com relação a coleta dos resíduos sólidos, o plano faz um levantamento da cobertura de todos os municípios do estado, apresentando que apenas 3 dos 139 municípios apresentam cobertura de coleta inferior a 50% os demais encontram com cerca de 75% de cobertura, este dado condizendo com os resultados obtidos nesta pesquisa. O processo no qual o Tocantins obteve pior desempenho consistiu do Processo de Disposição Final, e segundo o PERS, o estado realmente encontra-se em uma situação crítica com relação a disposição, o estudo apresenta que o Tocantins possui 139 lixões, 7 aterros controlados, e apenas 3 aterros sanitários. Dessa forma, nota-se que as ineficiências encontradas neste processo estão justificadas pela configuração atual de disposição dos resíduos no estado.

Foi observado através dos resultados, que mesmo que o estado do Mato Grosso do Sul não tenha sido eficiente para nenhum dos anos ou possua um PERS, sua eficiência melhorou gradativamente desde do início do período de análise para todos os processos, isto pode ser recorrente da implantação de outras legislações no âmbito estadual como a Lei estadual nº 2.080 de janeiro de 2000, que dispõem proíbe a disposição incorreta dos resíduos, de forma similar a PNRS. Como resultado, em 2017, aproximadamente 25% dos municípios realizaram a disposição ambientalmente adequada dos RSU, aproximadamente 65% das cidades possuíam Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), que pode dar embasamento ao Plano Estadual, e cerca de 35 % promovem atividades de coleta seletiva (NOGUEIRA et al.,2018)

Esta pesquisa possibilitou fazer algumas inferências a situação atual do país com relação à maneira como mesmo tem lidado com a temática dos resíduos sólidos. Notou-se que com relação ao processo de Coleta dos Resíduos Sólidos Urbanos a universalização dos serviços ainda não alcançou 100% em todo o país, restando muito a ser feito para alcançar esta meta, mas que em comparativo aos demais processos, a Coleta foi o processo que obteve melhores resultados para todos os anos e processos.

Diversas considerações da PNRS foram abordadas nesta pesquisa, dessa forma, fez-se necessário comparar os resultados obtidos através da ótica da mesma. Diante disso, utilizou-se

como documento para comparação os Planos Estaduais dos Resíduos Sólidos (PERS). Entende-se que o PERS's pode não estabelecer uma relação direta com a eficiência dos resíduos sólidos para o respectivo estado, no entanto, entende-se que a PNRS estabeleceu a obrigatoriedade deste plano para assegurar que os estados se enquadrem nos princípios da lei, e, dessa forma, passem a gerir seus estados de forma mais eficiente.

Ao analisar os PERS's, observou-se que a coleta, mais em específico a coleta seletiva foi abordada em todos os planos analisados, demonstrando uma preocupação em tornar o processo de coleta dos resíduos mais eficiente e rentável, isto através do aproveitamento econômico dos resíduos recicláveis coletados.

Na análise dos PERS's, notou-se uma preocupação unânime com o processo de Disposição Final, isto através das metas de erradicação das formas inadequadas de disposição final encontradas em 100% dos PERS. A Limpeza Pública, através da análise de todos os documentos citados na seção de Discussão dos Resultados, só foi melhor abordada para o estado do Distrito Federal, sendo possível identificar menções aos serviços de capina e roçada. Isto demonstra que comparado aos processos analisados nesta pesquisa a Limpeza Pública não tem o mesmo grau de importância para o poder público com relação aos demais.

O GRS consiste em um processo tão importante e tão abrangente que a análise realizada nesta pesquisa traduz apenas uma pequena parte da magnitude que este assunto pode conter. Mas, esta pesquisa proporciona um ponto de partida para estudos avaliando o GRS no Brasil, isto em conjunto com a adequação do Brasil à PNRS.

Foram constatadas algumas dificuldades durante o desenvolvimento desta pesquisa. Uma das dificuldades marcantes consistiu na obtenção de dados sobre os resíduos sólidos. O Snis foi o único sistema onde os dados apresentados se encontravam melhor organizados e de fácil acesso (não requerendo autorização para download). No entanto, os dados obtidos através do Snis, dependendo da informação encontrava-se incompleta, ou não possuía definição, para alguns anos faltavam estados, entre outros, isto reduziu o período de análise desta pesquisa, mas assegurou a utilização de dados mais consistentes.

Uma outra dificuldade consistiu da identificação dos Planos Estaduais dos estados para análise, alguns não sendo disponibilizados online ou que não foi possível constatar a existência.

Esta pesquisa, fornece resultados de eficiência trabalhados com dados reais e disponibilizados pelo poder público. No entanto, mesmo que esta pesquisa fosse capaz de transmitir a situação do GRS no Brasil de forma bem detalhista, ainda assim estaria sujeita a

diversas limitações. Selecionou-se algumas das limitações enfrentadas nesta pesquisa que são necessárias ressaltar, as mesmas serão apresentadas na subseção a seguir.

6.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

A análise de um problema real, utilizando dados reais e metodologias, requerem algumas considerações sobre a abrangência dos resultados. Nesta pesquisa, o período de análise consistiu de 2013 a 2016 devido à disponibilidade de dados sobre o Gerenciamento dos Resíduos Sólidos até somente esta data, entende-se que a situação do país com relação ao mesmo pode ter mudado desde então. Portanto, as inferências sobre os resultados obtidos referem-se somente a este período.

A extensão territorial do Brasil e a pouca disponibilidade dos dados referentes aos processos contidos no GRS, consistiram em uma limitação para a análise da eficiência realizada neste estudo. Inicialmente, devido à indisponibilidade de informações referente ao GRS os dados utilizados limitara-se a única base do governo, Snis. O Brasil possui atualmente 5.570 municípios, mas, não foi possível obter informações sobre todos eles na base do Snis, ou em qualquer outra base, dessa forma, utilizaram-se as informações sobre os municípios existentes, agrupando-os aos seus respectivos estados. O agrupamento de informações por estado, não possibilita conclusões sobre o GRS dentro do próprio estado. Dessa forma, as deduções sobre os resultados possibilitam somente uma análise macro da eficiência do estado com relação aos demais estados brasileiros.

Sendo o Snis a única base de dados identificada cuja informações encontravam-se parcialmente completas e com disponibilidade para acesso gratuito, foi necessário averiguar sua utilidade à pesquisa. Para isto, baseou-se na literatura para realizar o levantamento das variáveis que poderiam ser utilizadas nesta pesquisa. Em alguns casos não foi possível constatar uma menção exata, tornando necessária utilizar dados do Snis que possuísem similaridades com as variáveis da literatura. O Processo de Limpeza Pública, requereu uma maior adequação das variáveis, isto devido à pouca disponibilidade sobre este processo nos dados utilizados. O Processo de Disposição Final, ao contrário do anterior, não foi possível identificar variáveis que poderiam ser utilizadas como referência para este processo na literatura, fazendo necessário basear-se na PNRS para levantamento das variáveis.

Os resultados obtidos através abordagem DEA com determinado conjunto de DMU's e variáveis, limita a comparação dos resultados somente com os dados da amostra, isto porque a DEA realiza o cálculo da eficiência relativa às demais do conjunto.

6.2 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

O GRS é uma área de suma importância para o poder público, para o bem-estar humano e para a qualidade do meio ambiente. Dessa forma, o Brasil como um país que há pouco tem caminhado rumo a uma adequação a PNRS, possui uma gama de alternativas que podem ser estudadas e viabilizadas no contexto do GRS no país. Isto pode ser realizado a partir de informações disponibilizadas por órgãos públicos como Snis. Nesse estudo, notou-se que os Estados do Maranhão, Piauí e Roraima, foram aqueles que possuem um menor número de municípios respondentes ao Snis. Entende-se que o GRS dentro desses estados não tem repercutido a importância que o mesmo necessita para o poder público. Sugere-se como perspectiva de uma pesquisa futura, analisar a eficiência destes estados separadamente, para se compreender mais profundamente a realidade dos mesmos com relação ao GRS.

Como sugestão de trabalhos futuros focados na análise da eficiência do GRS no contexto dos resíduos brasileiros, sugere-se realizar análises de tipos diferentes, como a análise da eficiência de custos para cada um dos processos citados neste trabalho, de forma separada.

No tocante do escopo desta pesquisa, pode-se utilizar outro modelo DEA que calcule a eficiência conjunta para todos os anos como o DEA *Window* e comparar os resultados nesta análise. Há diversas outras possibilidades a partir das informações abordadas neste estudo bem como no GRS no Brasil. Espera-se que esta pesquisa contribua para o GRS no Brasil, de forma a servir como ponto de partida para demais estudos de eficiência focando nos resíduos sólidos no país.

REFERÊNCIAS

AGOVINO, M. et al. Waste management performance in Italian provinces: Efficiency and spatial effects of local governments and citizen action. *Ecological Indicators*, v. 89, n. June 2017, p. 680–695, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2016, p. 64, 2016. Disponível em: <www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2016.pdf>.

AVKIRAN, N. K. Investigating technical and scale efficiencies of Australian universities through data envelopment analysis. *Socio-Economic Planning Sciences*, 2001.

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, v. 30, n. 9, p. 1078–1092, 1984.

BENICIO, J.; DE MELLO, J. C. S. Productivity analysis and variable returns of scale: DEA efficiency frontier interpretation. *Procedia Computer Science*, v. 55, n. Itqm, p. 341–349, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.059>>.

BESSEN, G. R.; FRACALANZA, A. P. Challenges for the Sustainable Management of Municipal Solid Waste in Brazil. *DISP*, 2016.

BRASIL. Constituição Federal de 1988.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, n. 5, 2007.

BRASIL, Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Publicado no DOU em, v. 2, 1981.

BRASIL. Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010). Brasília: Diário Oficial da União, p. 103, 2011.

BRASIL. Plano Nacional de Saneamento Básico - PLAN SAB. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental Plano Nacional de Saneamento Básico, 2013.

BRASIL, Lei nº 12.305, de 2 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 providências. *Diário Oficial da União*, 2010.

BROWNE, P. Fúria Vermelha. 1ª Edição. São Paulo: Globo Livros, 2014.

CETRULO, T. B. et al. Effectiveness of solid waste policies in developing countries: A case study in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 2018.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 1978.

CHEN, X.; GENG, Y.; FUJITA, T.. An overview of municipal solid waste management in China. *Waste Management*, v. 30, n. 4, p. 716–724, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2009.10.011>>.

DE OLIVEIRA SIMONETTO, E.; BORENSTEIN, D. A decision support system for the operational planning of solid waste collection. *Waste Management*, v. 27, n. 10, p. 1286–1297, 2007.

DI FOGGIA, G.; BECCARELLO, M. Improving efficiency in the MSW collection and disposal service combining price cap and yardstick regulation: The Italian case. *Waste Management*, 2018.

EUROPEAN UNION. Official Journal of the European Union, Directives. Official Journal of the European Union, p. 3–30, 2008.

FARRELL, M. J. The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 1957.

FIDELIS, R.; COLMENERO, J. C. Evaluating the performance of recycling cooperatives in their operational activities in the recycling chain. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 130, n. October 2017, p. 152–163, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.12.002>>.

GARCÍA-SÁNCHEZ, I. M. The performance of Spanish solid waste collection. *Waste Management and Research*, v. 26, n. 4, p. 327–336, 2008.

GIL, Antonio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. [S.l: s.n.], 2002.

GOLANY, B.; ROLL, Y. An application procedure for DEA. *Omega*, 1989.

GUERRINI, A. et al. Assessing efficiency drivers in municipal solid waste collection services through a non-parametric method. *Journal of Cleaner Production*, v. 147, p. 431–441, 2017.

HANNAN, M. A. et al. Capacitated vehicle-routing problem model for scheduled solid waste collection and route optimization using PSO algorithm. *Waste Management*, 2018.

HOORNWEG, D. BHADA-TATA, P. What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management. Urban Development Series; knowledge papers no.15, World Bank, p. 116, 2012.

HOSSEINZADEH-BANDBAFHA, H. et al. Application of data envelopment analysis approach for optimization of energy use and reduction of greenhouse gas emission in peanut production of Iran. *Journal of Cleaner Production*, v. 172, p. 1327–1335, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.282>>.

KALINCI, Y.; D., I. Waste Energy Management. [S.l: s.n.], 2018. v. 5–5.

KANAT, G.. Municipal solid-waste management in Istanbul. *Waste Management*, v. 30, n. 8–9, p. 1737–1745, 2010.

KOOPMANS, T. C. An Analysis of Production as an Efficient Combination of Activities. *Activity Analysis of Production and Allocation*. [S.l: s.n.], 1951.

LEMA, N. M.; PRICE, A. D. F. Benchmarking: Performance Improvement Toward Competitive Advantage. *Journal of Management in Engineering*, 2002.

LIN, T. T.; LEE, C. C.; CHIU, T. F.. Application of DEA in analyzing a bank's operating performance. *Expert Systems with Applications*, 2009.

MARINO, A. L.; CHAVES, G. L. D.; SANTOS JUNIOR, J. L. Do Brazilian municipalities have the technical capacity to implement solid waste management at the local level? *Journal of Cleaner Production*, 2018.

MELLO, J. C. C. B. S. et al. Curso De Análise De Envoltória De Dados. XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, n. May 2014, 2005.

MURALIKRISHNA, I. V.; MANICKAM, V. Chapter Sixteen - Solid Waste Management. *Environmental Management*. [S.l: s.n.], 2017.

NERY, I.C. et al. Um panorama do Estado do Amapá no que tange a disposição de resíduos sólidos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GESTÃO DE PROJETOS, INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE, 5, São Paulo, 2016. Anais... São Paulo: V SINGEP, 2016. [S.l: s.n.].

NOGUEIRA, W. A. V. et al. Gestão de Resíduos Sólidos no estado de Mato Grosso do Sul: contextualização das políticas públicas ambientais. In: IX Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 9, 2018, São Bernardo do Campo. Anais... São Bernardo do Campo: CONGEA, 2018.

PEÑA, C. R. Um modelo de avaliação da eficiência da administração pública através do método análise envoltória de dados (DEA). *Revista de Administração Contemporânea*, 2008.

PÉREZ-LÓPEZ, G. et al. Cost efficiency in municipal solid waste service delivery. Alternative management forms in relation to local population size. *European Journal of Operational Research*, 2016.

PÉREZ-LÓPEZ, G.; PRIOR, D.; ZAFRA-GÓMEZ, J. L. Temporal scale efficiency in DEA panel data estimations. An application to the solid waste disposal service in Spain. *Omega (United Kingdom)*, v. 76, p. 18–27, 2018.

PERIATHAMBY, Agamuthu. *Municipal Waste Management*. Elsevier, 2011.

PESSANHA, J. F. M. et al. Implementando modelos DEA no R. X Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia - SEGeT, 2013.

PROVDANOV, C. C.; FREITAS, E. C. Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. [S.l: s.n.], 2013.

ROGGE, N.; DE JAEGER, S. Evaluating the efficiency of municipalities in collecting and processing municipal solid waste: A shared input DEA-model. *Waste Management*, v. 32, n. 10, p. 1968–1978, 2012.

ROGGE, N.; DE JAEGER, S. Measuring and explaining the cost efficiency of municipal solid waste collection and processing services. *Omega (United Kingdom)*, v. 41, n. 4, p. 653–664, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.omega.2012.09.006>>.

SÁNCHEZ, I. M. G. Efficiency of solid waste collection in Spain. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, v. 92, p. 593–599, 2006.

SARRA, A.; MAZZOCCHITTI, M.; RAPPOSELLI, A. Evaluating joint environmental and cost performance in municipal waste management systems through data envelopment analysis: Scale effects and policy implications. *Ecological Indicators*, v. 73, p. 756–771, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.10.035>>.

SCHEEL, H. Undesirable outputs in efficiency valuations. *Omega*, 2001.

SECRETÁRIA DE ESTADO DE DESENVOLVIMENTO URBANO E OBRAS PÚBLICAS (PA). Discussão sobre a Política Estadual de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, p. 23, 2015. Disponível em: <http://www.sedurb.pa.gov.br/files/Sntese_Plano_Estadual_de_Gesto_Integrada_de_Resduos_Slidos_SEDOP.pdf>.

SIMÕES, P.; CRUZ, N. F.; MARQUES, R. C. The performance of private partners in the waste sector. *Journal of Cleaner Production*, 2012.

SIMÕES, P.; MARQUES, R. C. Performance evaluation of Portuguese solid waste services. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 14, n. 2, p. 285–294, 2009..

SIMÕES, P.; CARVALHO, P.; M., Rui Cunha. Performance assessment of refuse collection services using robust efficiency measures. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 67, p. 56–66, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.07.006>>.

SIMÕES, P.; MARQUES, R. C. Avaliação do desempenho dos serviços de resíduos urbanos em Portugal. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 14, n. 2, p. 285–294, 2009.

VERGARA, S. Projetos e relatórios de pesquisa em administração. *Revista de Administração Contemporânea*, 2009.

VISHWAKARMA, A; KULSHRESTHA, M; KULSHRESHTHA, M. Performance assessment of urban municipal solid waste management services in an Indian state. *Journal of Solid Waste Technology and Management*, v. 41, n. 3, p. 275–284, 2015. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84961324292&partnerID=40&md5=eb1581b13dbb6effe60b760c4ee2ba9c>>.

ZHOU, P.; ANG, B. W.; POH, K. L. A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies. *European Journal of Operational Research*. [S.l.: s.n.], 2008.