



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I - CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

JANAÍNA APARECIDA CEZÁRIO

**PREVISÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA O ATERRO
SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE - PB**

CAMPINA GRANDE - PB

2022

JANAÍNA APARECIDA CEZÁRIO

**PREVISÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA O ATERRO
SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE - PB**

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, da Universidade Estadual da Paraíba em cumprimento às exigências legais para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. William de Paiva

Coorientador: Prof. Dr. Marcio Camargo de Melo

Linha de pesquisa: Tecnologias de Tratamento de Água e de Resíduos

CAMPINA GRANDE - PB

2022

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

C421p Cezário, Janaina Aparecida.

Previsão da geração de resíduos sólidos urbanos para o aterro sanitário no município de Campina Grande - PB [manuscrito] / Janaina Aparecida Cezário. - 2022.

72 p. : il. colorido.

Digitado.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2022.

"Orientação : Prof. Dr. William de Paiva, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."

"Coorientação: Prof. Dr. Marcio Camargo de Melo, UFCG - Universidade Federal de Campina Grande"

1. Resíduos sólidos urbanos. 2. Meio ambiente. 3. Gestão de resíduos. 4. Planejamento urbano. I. Título

21. ed. CDD 363.728

JANAÍNA APARECIDA CEZÁRIO

PREVISÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA O ATERRO
SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE - PB

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, da Universidade Estadual da Paraíba em cumprimento às exigências legais para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.

Linha de pesquisa: Tecnologias de Tratamento de Água e de Resíduos

Trabalho aprovado em 17 de fevereiro de 2022.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. William de Paiva (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Marcio Camargo de Melo
(Coorientador)
Universidade Federal de Campina Grande
(UFCG)



Prof. Dr. Laércio Leal dos Santos
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Profa. Dra. Mônica Maria Pereira da Silva
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Profa. Dra. Paula Medina Maçaira Louro
Pontífica Universidade Católica do Rio de
Janeiro (PUC-RJ)

Dedico essa Dissertação de Mestrado aos meus pais, Rosângela e João (in memorian), minha fortaleza e incentivo de caminhar um pouco mais. Obrigada por todas as palavras, por chorarem comigo, por abrirem mão de muitos momentos para que hoje chegasse aqui. Sempre vão ser minha fonte de energia e inspiração necessária para prosseguir a passos largos nesse caminho chamado vida.

AGRADECIMENTOS

Ao Grande e Todo poderoso **DEUS** seja toda Honra e toda Glória, para Ele a minha gratidão eterna por tantos momentos que somente Ele estava comigo e isso eu não terei como pagar tudo quanto foi feito por mim. É **GRAÇA** do início ao fim.

Ao meu esposo, eu não tenho nem palavras para descrever o ser humano incrível que és e o quanto esse momento é tão seu quanto meu. Muito obrigada por estar comigo, por me incentivar a continuar, por me mostrar que seria possível onde nem eu mesma acreditava.

Ao quarteto mais engraçado que alguém poderia ter, o "Quarteto Fantástico", aos participantes: Ludemário, Maxsuel e Tássio minha eterna gratidão por tantos momentos e aprendizagens compartilhadas, amizade que ficará por toda vida.

Aos meus familiares e amigos, a gratidão por tantos momentos de compreensão e de incentivo onde pude compreender realmente o que é a palavra amor. Em meio a esses dois anos o apoio de vocês foi fundamental, eu não conseguiria chegar se não fosse vocês comigo. A perda do meu pai dentre esse período pandêmico, levou-me a compreender muitas coisas, a ausência dele me dói bastante. Levar o seu sobrenome em todos os lugares, agora sempre será minha missão de vida.

Ao meu orientador Prof. Dr. William de Paiva, a minha gratidão por tudo quanto foi feito por mim, toda ajuda, todo ensinamento, até nos momentos de muitas cobranças eu pude aprender e crescer profissionalmente. Ganhei não apenas um professor, mais sim um amigo e colega de profissão que levarei por toda minha vida. Ao GPTecA, a minha gratidão por tudo que foi compartilhado e a aprendizagem gerada.

Por fim, a todos que me ajudaram de maneira direta ou indiretamente para que chegasse até aqui minha eterna gratidão.

“Nada é tão doce quanto descansar nas mãos de Deus, e saber apenas a sua vontade.”
(Charles H. Spurgeon)

RESUMO

A previsão da geração de resíduos sólidos urbanos é de fundamental importância para o processo de planejamento urbano no volume de resíduos sólidos produzidos nos municípios e como todo esse processo ajuda o meio ambiente. A estimativa serve como base para adequação de infraestrutura, desenvolvimento sustentável, otimização de recursos utilizados no tratamento desses resíduos sólidos e que sua disposição seja de forma adequada e se tenha uma boa gestão de resíduos. Um sistema para que seja eficaz requer um modelo de previsão que seja adequado e atenda as necessidades que são pretendidas desde seu planejamento até sua execução. Nesse estudo realizou-se com a utilização das séries temporais na previsão da geração dos resíduos sólidos urbanos dispostos no aterro sanitário em Campina Grande, localizado no estado da Paraíba. Para a compreensão e análise do comportamento dos dados, utilizou-se as técnicas da estatística descritiva e assim ajustou-se o modelo com as técnicas das séries temporais. O modelo de melhor ajuste é o Sarima $(1, 0, 0)(1, 1, 0)_{12}$ em virtude de cumprir com todos os pressupostos que são necessários para se obter um bom modelo. A previsão projetou um aumento na geração dos resíduos sólidos produzidos e dispostos no aterro até agosto de 2022. A geração per capita dos municípios e a taxa de cobertura da coleta de resíduos sólidos urbanos é calculada baseando-se em dados oficiais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), como também do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) além do banco de dados em estudo, é apresentada então os indicadores para municípios que dispõe seus resíduos sólidos no aterro sanitário em Campina Grande. A modelagem dos resíduos sólidos urbanos pode auxiliar na tomada de decisões, no gerenciamento da coleta, na criação de programas para incentivo a coletas seletivas, além de contribuir positivamente no controle dos impactos ambientais.

Palavras-chaves: resíduos sólidos urbanos; meio ambiente; gestão de resíduos; planejamento urbano.

ABSTRACT

The prediction of the generation of urban solid waste is of fundamental importance for the urban planning process in the volume of solid waste produced in the municipalities and how this whole process helps the environment. The estimate serves as a basis for infrastructure adequacy, sustainable development, optimization of resources used in the treatment of these solid waste and that its disposal is adequate and has a good waste management. A system to be effective requires a forecasting model that is appropriate and meets the needs that are intended from its planning to its execution. This study was carried out using time series to predict the generation of urban solid waste disposed of in the landfill in Campina Grande, located in the state of Paraíba. For the understanding and analysis of the behavior of the data, descriptive statistics techniques were used and thus adjusted the model with the time series techniques. The best fit model is the Sarima $(1, 0, 0)(1, 1, 0)_{12}$ due to meeting all the assumptions that are necessary to obtain a good model. The forecast designed an increase in the generation of solid waste produced and disposed of in the landfill by August 2022. The per capita generation of municipalities and the coverage rate of urban solid waste collection is calculated based on official data from the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), as well as the National Sanitation Information System (SNIS) in addition to the database under study, and the indicators for municipalities that dispose of their solid waste in the landfill in Campina Grande are presented. The modeling of urban solid waste can help in decision making, collection management, programs to encourage selective collection, and contribute positively to the control of environmental impacts.

Keywords: urban solid waste; environment; waste management; town planning.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Classificação dos resíduos sólidos quanto a sua origem	16
Figura 2 – Classificação dos resíduos sólidos quanto a sua periculosidade	17
Figura 3 – Classificação dos resíduos sólidos urbanos RSU	19
Figura 4 – Mapa dos municípios da Paraíba e sua disposição de RSU nos anos 2018 e 2021	21
Figura 5 – Geração total (t/ano) de RSU no Brasil nos anos de 2010 e 2019	22
Figura 6 – Geração per capita (kg/hab/ano) de RSU no Brasil nos anos de 2010 e 2019	23
Figura 7 – Geração e coleta de RSU no Brasil nos anos de 2019 e 2020	24
Figura 8 – Corte da seção de um aterro sanitário	26
Figura 9 – Método Box e Jenkins	38
Figura 10 – Mapa do Estado da Paraíba com a localização do município de Campina Grande	39
Figura 11 – Aterro sanitário em Campina Grande	40
Figura 12 – Número de Municípios que dispõe RSU no ASCG dentre os anos 2015 a 2021	42
Figura 13 – Disposição de RSU no ASCG por Municípios e Empresas Privadas de 2015 a 2021	45
Figura 14 – Histograma referente aos RSU dispostos no ASCG	49
Figura 15 – Análise do comportamento anual da série ao longo dos meses	50
Figura 16 – Análise do comportamento mensal da série ao longo dos anos	50
Figura 17 – Análise do comportamento mensal da série temporal dentre os anos de 2015 a 2021	51
Figura 18 – Decomposição da série	52
Figura 19 – FAC amostral	53
Figura 20 – FAC e FACP e os dados após a diferenciação	54
Figura 21 – Diagnóstico dos resíduos com ajuste do modelo SARIMA(1,0,0)(1,1,0) ₁₂	56
Figura 22 – Resíduos do modelo SARIMA(1,0,0)(1,1,0) ₁₂	57
Figura 23 – Previsão para os próximos 12 meses com o modelo SARIMA(1,0,0)(1,1,0) ₁₂	58
Figura 24 – Taxa de geração de RSU no município de Campina Grande no período de 2016 a 2020	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Municípios que dispõem RSU no ASCG e as suas contribuições	43
Tabela 2 – RSU disposto no ASCG por empresas privadas no período de 2015 a 2021 .	44
Tabela 3 – Médias diárias de RSU dos municípios por disposição no ASCG	45
Tabela 4 – Médias anuais dos RSU dispostos no ASCG dentre os anos de 2015 a 2021 .	47
Tabela 5 – Dados mensais dos RSU dispostos no ASCG dentre agosto de 2015 a agosto de 2021	47
Tabela 6 – Medidas descritivas dos RSU dispostos no ASCG no período de agosto de 2015 a agosto de 2021	48
Tabela 7 – Testes de Tendência	52
Tabela 8 – Testes de Estacionariedade	53
Tabela 9 – Modelos SARIMA para escolha através dos critérios AIC e BIC	55
Tabela 10 – Parâmetros estimados do modelo SARIMA $(1,0,0)(1,1,0)_{12}$	55
Tabela 11 – Previsão dos dados para os próximos 12 meses com o modelo SARIMA $(1,0,0)(1,1,0)_{12}$	58
Tabela 12 – Percentual da população total e urbana atendida pela coleta de RSU (2020) .	59
Tabela 13 – Geração per capita dos RSU (2020)	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADF	Teste de Dickey-Fuller aumentado
AIC	Critério de informação de Akaike
ARIMA	Modelo auto-regressivo integrado de médias móveis
ASCG	Aterro Sanitário em Campina Grande
BIC	Critério de informação Bayesiano
FAC	Função de Autocorrelação
FACP	Função de Autocorrelação Parcial
GGA	Grupo de Pesquisa em Geotecnia Ambiental
GPTecA	Grupo de Pesquisa em Tecnologias Ambientais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	Intervalo de confiança
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
KPSS	Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin
MPPB	Ministério Público da Paraíba
MUNIC	Pesquisa de Informações Básicas Municipais
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PP	Phillips-Perron
QGIS	Sistema de Informação Geográfica (software)
RSU	Resíduos sólidos urbanos
SARIMA	Modelo auto-regressivo integrado de médias móveis sazonal
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UEPB	Universidade Estadual da Paraíba
UFCEG	Universidade Federal de Campina Grande

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo Geral	15
2.2	Objetivos Específicos	15
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
3.1	Resíduos Sólidos	16
3.2	Gestão de Resíduos Sólidos	19
3.3	Geração de Resíduos Sólidos	21
3.4	Aterro Sanitário	25
3.5	Análise de Séries Temporais	27
3.5.1	<i>Tendência e Sazonalidade</i>	28
3.5.2	<i>Testes Formais</i>	29
3.6	Critérios de Informação	31
3.6.1	<i>Crítério de Informação de Akaike - AIC</i>	31
3.6.2	<i>Crítério de Informação Bayesiano - BIC</i>	32
3.6.3	<i>Considerações AIC e BIC</i>	32
3.7	Modelos ARIMA	33
3.7.1	<i>Modelos autoregressivos (AR)</i>	33
3.7.2	<i>Modelos de média móvel (MA)</i>	33
3.7.3	<i>Modelos autorregressivos e de médias móveis (ARMA)</i>	34
3.7.4	<i>Modelos autorregressivos integrados e de médias móveis (ARIMA)</i>	34
3.7.5	Identificação de modelos ARIMA	35
3.7.5.1	<i>Função autocorrelação (FAC)</i>	35
3.7.5.2	<i>Função autocorrelação parcial (FACP)</i>	35
3.7.5.3	<i>Equações de Yule-Walker</i>	36
3.7.5.4	<i>Estimação e diagnóstico de modelos ARIMA</i>	36
3.7.6	<i>Modelos SARIMA</i>	37
3.8	Aplicação da metodologia Box e Jenkins	38
4	METODOLOGIA	39
4.1	Caracterização e delimitação da área de estudo	39
4.2	Levantamento de Dados	40
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1	Descrição Inicial da disposição do RSU no ASCG	42
5.2	Medidas Descritivas dos RSU no ASCG	47

5.3	Modelagem da série temporal dos RSU	51
5.4	Ajuste ARIMA	54
5.5	População atendida pela coleta de RSU	59
6	CONCLUSÃO	65
	REFERÊNCIAS	67
	APÊNDICE A – SCRIPT R	70

1 INTRODUÇÃO

Os seres humanos sempre estiveram e permanecem associados diretamente aos resíduos que são por eles produzidos diariamente, podendo o resultado desta interação ser responsável por diversos impactos ambientais sendo eles positivos ou negativos. A previsão da geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) é fundamental para o processo de planejamento do volume de resíduos produzidos, a estimativa serve como base para adequação de infraestrutura, desenvolvimento sustentável, otimização de recursos utilizados no tratamento dos RSU (ABBASI; HANANDEH, 2016).

A geração de resíduos sólidos é uma consequência inevitável sendo resultado de qualquer atividade realizada. Os resíduos sólidos tem sido um tema de bastante discussão dentre diversas áreas do conhecimento pelos impactos gerados no meio ambiente e economia. Resíduos sólidos são todos os materiais que descartados chegaram ao fim de sua vida útil, a classificação dos resíduos sólidos no Brasil é normatizada pela NBR 10.004/2004. Essa lei contém diversas informações sobre resíduos sólidos, que são resultado de atividades que se tenha origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e varrição seguindo as definições da norma (ABNT, 2004).

Os resíduos sólidos podem ser classificados quanto a sua periculosidade, em resíduos sólidos classe I que corresponde à resíduos perigosos; resíduos sólidos classe II que trata de resíduos não perigosos; resíduos sólidos classe II A, que são resíduos não inertes e resíduos sólidos classe II B correspondente a resíduos Inertes (ABNT, 2004).

Na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) os resíduos são definidos como sendo todo material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade (BRASIL, 2010).

A produção desses resíduos no mundo contemporâneo vem crescendo de forma acelerada, devido às características do modelo capitalista que estimulam o consumo e a aquisição das mercadorias como sinônimo de status (SANTOS, 2019). Como consequência de tal produção, nota-se quão grande é a quantidade de embalagens que são produzidas, estimulando assim o uso de produtos descartáveis e a obsolescência programada, como critério para a produção das mercadorias, muitas delas anteriormente eram consideradas como duráveis. Segundo Santos (2019) pode-se dizer então que a vida útil dos produtos passa a ser reduzida justamente para forçar o consumidor a comprar novamente, contribuindo assim para o aumento de geração de resíduos sólidos em todo o mundo.

No Brasil, a gestão dos resíduos sólidos foi regulamentada a partir da criação de Lei no 12.305 em 02 de agosto de 2010. No dia 3 de agosto de 2010 foi publicado no Diário Oficial da União a PNRS, essa nova lei inclui as estratégias de gestão integrada que além de trazer diversas formas de gestão dos resíduos nos traz a hierarquia de prioridades e gerenciamento dos resíduos sólidos, que são: não geração, redução, a reutilização, reciclagem, o tratamento e a disposição final dos resíduos sólidos ambientalmente adequada dos rejeitos.

Essa lei busca aproveitar ao máximo os resíduos até que não possam mais ser reaproveitados. Além disso, a PNRS define a proteção da saúde humana e a sustentabilidade como princípios norteadores de todas as ações de governo nesse âmbito, identificando metas para a erradicação de lixões e impulsionando soluções ambientalmente adequadas para disposição final de resíduos sólidos urbanos (RSU) (BRASIL, 2010).

Sobre a disposição correta dos RSU, tem-se a definição de aterro sanitário como uma técnica de disposição e tratamento de resíduos sólidos em uma área licenciada por órgãos ambientais, que não cause danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais negativos. Este método utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos a menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de solo na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário (ABNT, 1992). Pode-se então citar o aterro sanitário como a principal forma de disposição final ambientalmente adequada.

Um sistema de tratamento de RSU para ser eficaz e robusto requer um modelo de previsão que seja adequado para auxiliar seu gerenciamento. De maneira geral, a produção e a composição de resíduos sólidos ocorrem em função das atividades humanas e industriais dentro de qualquer contexto social (ABBASI; HANANDEH, 2016).

Conhecer sobre a disposição dos RSU, quantificá-los e realizar comparações com base em anos anteriores para o futuro pode ser uma alternativa para auxiliar-nos na problemática do encaminhamento para o descarte correto dos RSU. E como também auxiliar a criação de políticas públicas que bonifiquem o meio ambiente tentando conter impactos negativos e assim oferecer aos município a resolução dessa problemática.

Diante do exposto, ressalta-se a importância de estudos sobre a geração de RSU, a necessidade e preocupação em quantificá-los e verificar o quanto essa geração tem crescido ou diminuído na disposição dos RSU. De tal modo que se possa ter um indicador dessa geração de resíduos sólidos e as suas projeções ao longo dos anos, que são de fundamental importância no auxílio da gestão, atrelado a outras ações, a exemplo de coleta seletiva e na estimativa do tempo de vida útil do aterro sanitário. A partir disso, atenta-se a relevância do estudo voltado para avaliação da sazonalidade e a previsão da geração de RSU dispostos no ASCG com a utilização de técnicas das séries temporais para os dados coletados, bem como o percentual da população atendida pela coleta de resíduos nos municípios e sua geração per capita por habitante diariamente.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a sazonalidade da disposição e previsão da geração de Resíduos Sólidos Urbanos por meio da massa de resíduo e período dispostos no Aterro Sanitário em Campina Grande-PB.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a estatística descritiva dos Resíduos Sólidos Urbanos no Aterro Sanitário em Campina Grande;
- Avaliar critérios da periodicidade do processo de disposição dos Resíduos Sólidos Urbanos por meio das Séries Temporais;
- Estudar a previsão da geração dos Resíduos Sólidos Urbanos por séries temporais no Aterro Sanitário em Campina Grande;
- Estimar por meio do número de habitantes e produção per capita de Resíduos Sólidos Urbanos com dados do IBGE e SNIS o percentual da população atendida pela coleta de resíduos;

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Resíduos Sólidos

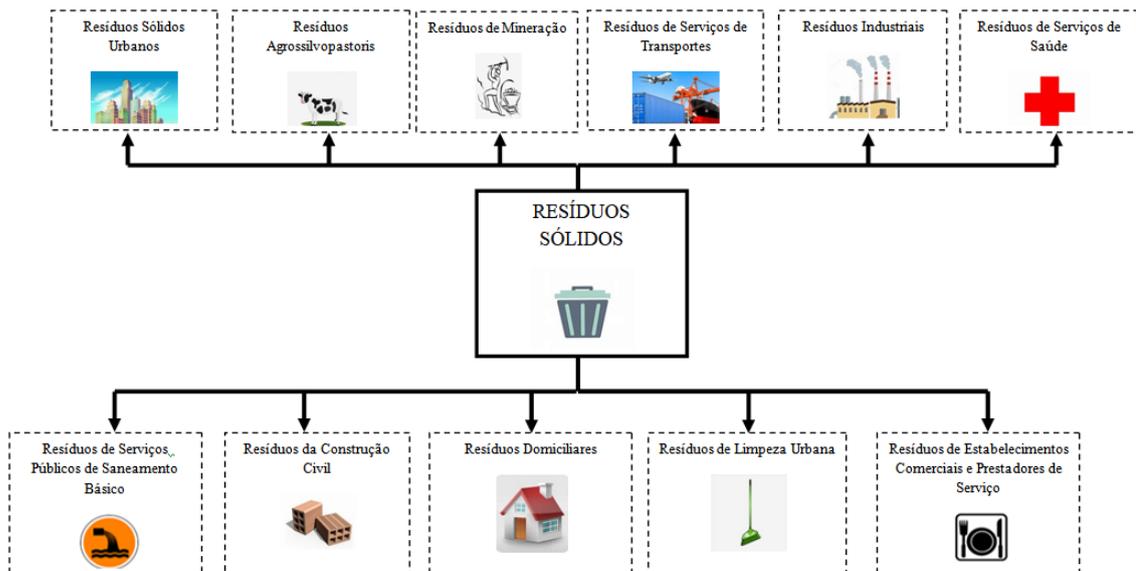
O ser humano ao longo da sua história sempre gerou resíduos, no entanto, somente a partir da última década do século passado e início do século XXI, o impacto do ser humano no meio ambiente tomou maiores proporções, tornando-se mais conhecido e debatido por várias sociedades de uma forma geral (OLIVEIRA; NASCIMENTO, 2018).

A palavra lixo não serve mais para definir o que é descartado diariamente pelas residências, empresas e órgãos públicos. Tudo o que no passado aprendemos a chamar de lixo, deve ser chamado atualmente de resíduo sólido. Hoje, os especialistas asseguram que qualquer que seja o resíduo, sempre haverá uma destinação mais adequada para ele do que simplesmente descartar. Da reutilização à geração de energia, tudo tem valor e pode inclusive tornar-se fonte de renda e vetor de novos negócios (OLIVEIRA, 2012).

A classificação de resíduos sólidos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem, de seus constituintes e características, e a comparação destes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto negativo à saúde e ao meio ambiente é previsto (BRASIL, 2010).

De acordo com a PNRS, quanto à origem, os resíduos sólidos são classificados conforme o Quadro 1, para a ilustração dessa classificação tem-se a Figura 1. Já para a classificação dos resíduos sólidos pela sua periculosidade, segundo a PNRS tem-se a ilustração na Figura 2.

Figura 1 – Classificação dos resíduos sólidos quanto a sua origem



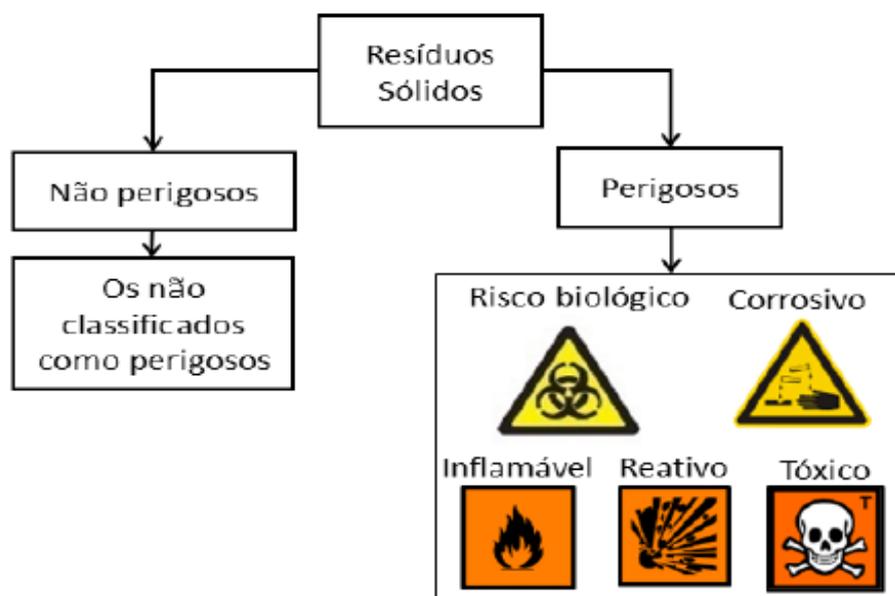
Fonte: Autoria própria (2021)

Quadro 1 – Resíduos Sólidos e a classificação quanto sua origem

Resíduos Sólidos	Origem
Urbanos	Domicílios e limpeza urbana
Agrossilvopastoris	Agropecuárias e silviculturais, incluindo insumos utilizados nessas atividades
Mineração	Pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios
Serviços de Transportes	Portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários, ferroviários e passagens de fronteira
Industriais	Processos produtivos e instalações industriais
Serviços de Saúde	Serviços de Saúde
Serviços Públicos de Saneamento Básico	Serviços Públicos de Saneamento Básico
Construção Civil	Construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluindo os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis
Domiciliares	Atividades domésticas em residências urbanas
Limpeza Urbana	Varição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana
Estabelecimentos Comerciais e Prestadores de Serviço	Estabelecimentos comerciais

Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 2 – Classificação dos resíduos sólidos quanto a sua periculosidade



Fonte: Kim (2019)

Para **Texas Commission on Environmental Quality (2020)**, Resíduos Sólidos incluem resíduos domiciliares, lamas provenientes de uma estação de tratamento de águas residuais, estação de tratamento e abastecimento de água, ou recurso de controle de poluição do ar, e outros materiais descartados, nos estados sólido, semissólido, ou material gasoso resultante da indústria, limpeza urbana, atividades comerciais, mineração e operações agrícolas e de atividades comunitárias e institucionais.

A Política Nacional, em seu art. 3º, inciso XVI, define resíduos sólidos como:

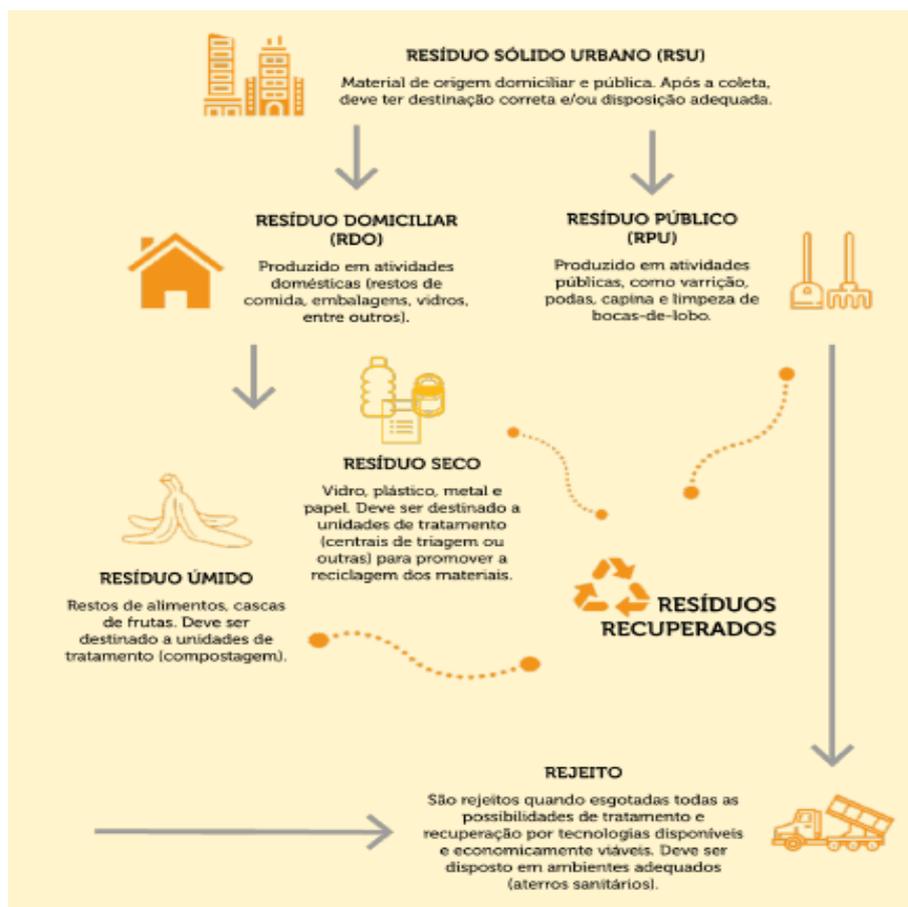
[...] material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem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

Destaca-se também a definição de rejeito, trazida pela PNRS no mesmo artigo, inciso XV:

[...] resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

Assim, a partir da promulgação da PNRS não há mais que se falar em 'lixo', mas em sim em resíduos sólidos e rejeitos. A fim de ilustrar o que é RSU, a Figura 3 traz-nos as diferenças entre resíduos domiciliares e público, tanto quanto os que podem ser recuperados e o que é rejeito.

Figura 3 – Classificação dos resíduos sólidos urbanos RSU



Fonte: SNIS (2021)

3.2 Gestão de Resíduos Sólidos

É de grande relevância para os estados e municípios contemplar políticas públicas que objetivem evitar, diminuir e solucionar os problemas gerados para que o gerenciamento de resíduos sólidos aconteça de modo efetivo e satisfatório (BRASIL, 2010). O plano de gestão de resíduos sólidos, inicialmente destinam-se a realizar um diagnóstico da situação dos resíduos sólidos em sua abrangência, baseando-se na PNRS, ordenar a atividade do poder público e dos particulares na gestão desses resíduos, tais que regras e metas sejam estabelecidas, como também indicadores sejam e dentre outros instrumentos sejam desenvolvidos por fim a verificar o desempenho de tal plano de gestão.

Na PNRS encontra-se a definição da gestão integrada de resíduos sólidos como um conjunto de ações que são voltadas a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2010). De forma mais direta, consiste em um conjunto de ações adequadas nas etapas de coleta, armazenamento, transporte, tratamento, destinação final e disposição final ambientalmente correta, objetivando assim a minimização da geração de resíduos, à preservação da saúde pública e também a qualidade do meio ambiente.

Seguindo os estudos do Instituto de Pesquisa Econômica Avançada (IPEA), divulgados em janeiro do ano de 2017, apenas 13% dos resíduos sólidos urbanos são utilizados para reciclagem no Brasil (SILVA, 2017). A Pesquisa de Informações Básicas Municipais - Munic investiga a presença de Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos desde sua edição de 2017. Em 2020, os resultados apontam que 67,8% dos municípios investigados possuem tal instrumento, apresentando um incremento de 22% em relação ao ano de 2017 (IBGE, 2021).

O Plano pode ser elaborado individualmente por cada município ou de forma conjunta com outros entes da federação. Contudo, os resultados mostram que, apesar do aumento de 22% no número de municípios que o possuíam, não foi verificado um aumento no número dos que o elaboram de forma conjunta com outras municipalidades. Isso porque em 2017 o percentual de Municípios que implementaram o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de forma individualizada era de 82,1% e em 2020 passou para 80,4%. No estado da Paraíba, dentre os 223 municípios 68,2% possui o plano de gestão seja ele de modo individual ou de forma conjunta. Já aqueles que possuem o plano abrangendo apenas o município é de 52% em base nos dados do Munic, como pode-se perceber ainda existe muito a se fazer em nosso estado (IBGE, 2021).

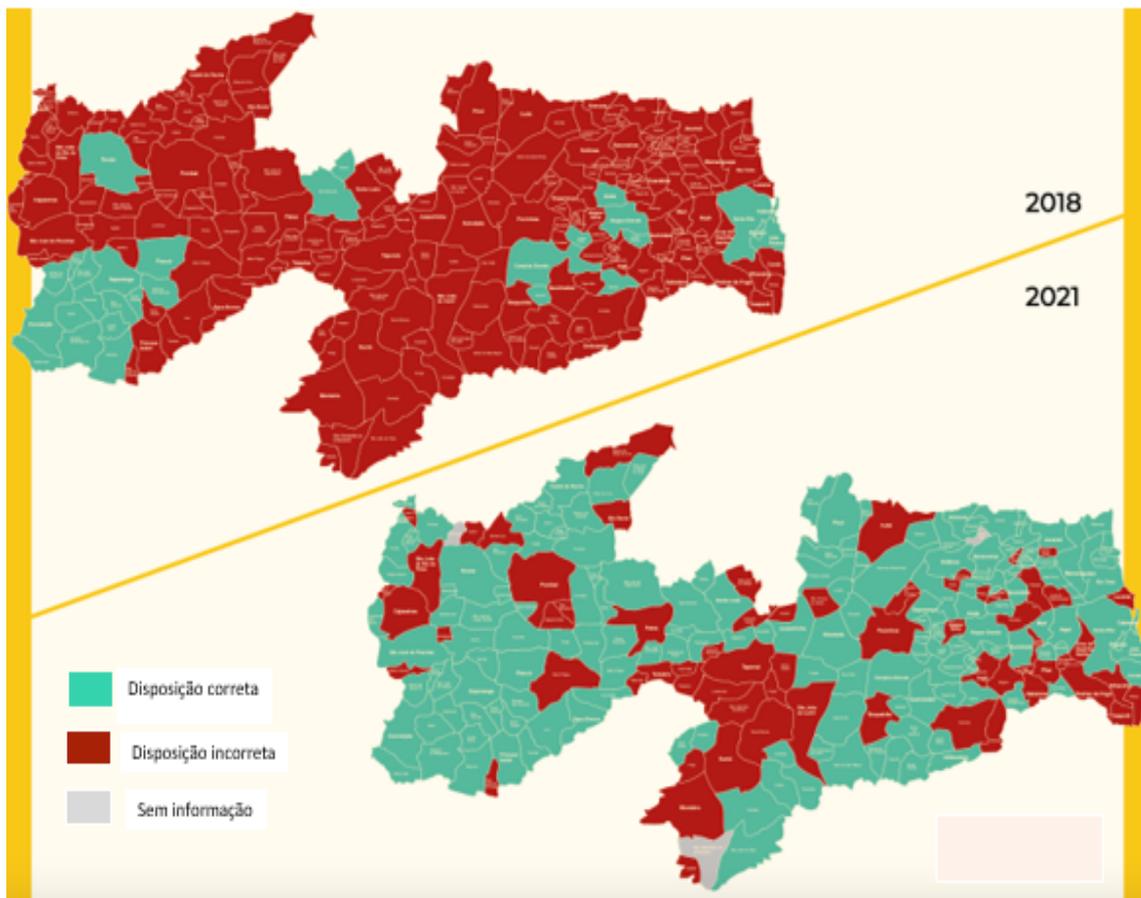
Os métodos mais comuns na gestão de resíduos sólidos são: tratamento biológico, o tratamento térmico e os aterros, cujas finalidades são proteger o meio ambiente e conservar os recursos naturais (MIR et al., 2016). Para haver um impulso na eficiência da gestão dos resíduos sólidos pode-se inserir as tecnologias que sejam mais viáveis para o meio ambiente e população. Necessitando-se que o poder público adote metas locais e regionais com a realização de planos para estas execuções, e não somente se concentrar nos procedimentos voltados às estratégias de tratamento e na localização dos estabelecimentos (SOLTANI et al., 2015).

Pelo fato da gestão de RSU impactar diretamente na convivência coletiva e na dinâmica ambiental em uma sociedade, é de elevada importância buscar e identificar meios que estruturam e direcionem este gerenciamento de RSU, para que ele ocorra de modo coerente em todas as esferas envolvidas (SILVA; BIERNASKI, 2018).

No estado da Paraíba, o Ministério Público Estadual (MPPB) vem desenvolvendo ações junto dos municípios para que a disposição dos RSU seja de maneira correta e que cause o menor dano possível ao meio ambiente. Do ano de 2018 tínhamos 13% de municípios que faziam essa disposição de maneira correta, passando no ano de 2021 para 70% esse número. Aumento perceptivo e acredita-se que poderemos chegar a um percentual ainda maior nos próximos anos, restando apenas a verificação das outras etapas da gestão de resíduos sólidos para que todo o plano esteja condizente com que se pede nos documentos oficiais. A Figura 4 mostra o cenário do estado como era no ano de 2018 e como estamos atualmente no ano de 2021. Dentre os 223 municípios, apenas 3 não teve suas informações confirmadas sobre suas disposições, percebe-se o avanço nas iniciativas da disposição sobre os números de municípios que se adequaram. Sabe-se que ainda se tem muitos indicadores a serem trabalhados, muitas iniciativas a serem feitas, a lei ser

cumprida com mais rigor, porém de início é um grande avanço.

Figura 4 – Mapa dos municípios da Paraíba e sua disposição de RSU nos anos 2018 e 2021



Fonte: Adaptado MPPB (2021)

3.3 Geração de Resíduos Sólidos

A geração de resíduos sólidos é uma constante na vida dos seres humanos e, por esta razão, sempre ocorrerão impactos negativos sobre o meio ambiente. O desenvolvimento econômico e a evolução tecnológica reduzem a vida útil dos produtos e contribuem para a geração de grande quantidade de resíduos descartada na natureza (DOMINGOS; BOEIRA, 2015).

Nas cidades brasileiras, a crescente geração desse tipo de resíduo e as práticas de descarte estabelecidas, aliados ao ainda alto custo de armazenagem, resultaram em volumes crescentes de RSU acumulados e, historicamente, em sérios problemas ambientais e de saúde pública. Ao longo dos anos, a disposição irregular de RSU tem causado a contaminação de solos, cursos d'água e lençóis freáticos, e doenças como dengue, leishmaniose, leptospirose e entre outras cujos vetores encontram um ambiente propício para sua disseminação (ANTENOR; SZIGETHY, 2020).

Analisando um período de dez anos a geração de RSU no Brasil passou de aproximadamente 67 milhões em 2010 para 79 milhões em 2019 de toneladas por ano, citando a geração per

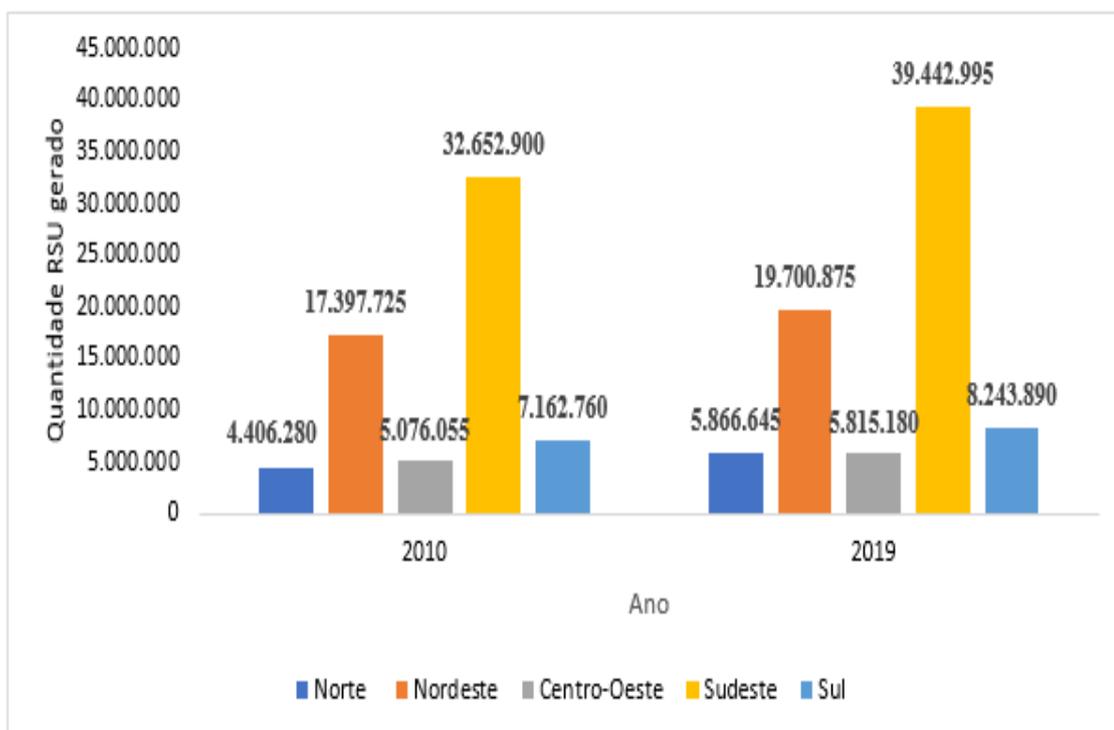
capita aumentou de 348 para 379 kg/ano, levando em consideração a população dos municípios (ABRELPE, 2020).

Na Figura 5 tem-se os dados referentes a geração de RSU por região do Brasil, como também na Figura 6 a geração per capita por região. Observa-se que a região que possui a maior geração de RSU no Brasil tanto no ano de 2010 quanto no ano de 2019 é a região Sudeste tendo quatro estados, seguida pela região Nordeste contendo nove estados. A menor geração de RSU é da região Norte que possui sete estados. Trazendo os dados para a realidade de nosso estado, a Paraíba teve o aumento dentre os anos de 2010 e 2019 em relação a geração dos RSU ficando em 5º lugar em relação aos estados da Região Nordeste. No ano de 2010 a geração foi de 1.115.440 (t/ano) passando a gerar no ano de 2019 1.282.245 (t/ano) (ABRELPE, 2020).

Observa-se a Figura 6 percebe-se a diferença entre a geração per capita (kg/hab/ano) por regiões do Brasil. O Sudeste é a maior região com geração per capita de RSU em 2010 e continua com a maior geração em 2019, seguido pela região Centro-Oeste. A região com a menor geração é a região Sul, permanecendo dentre os anos 2010 e 2019.

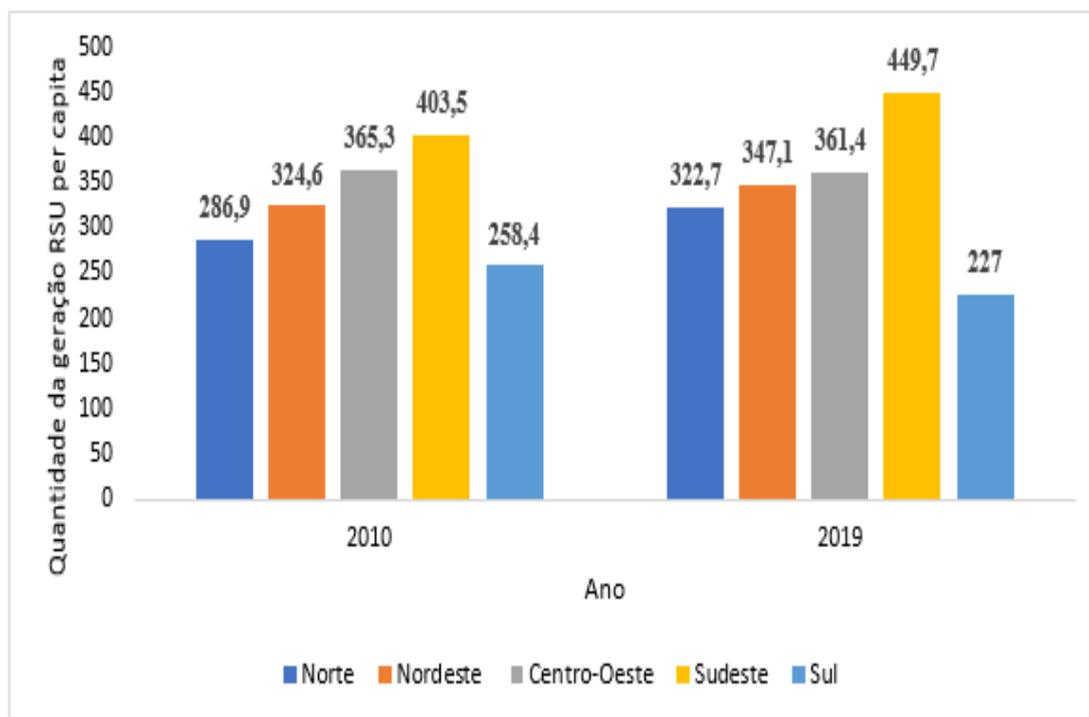
A quantidade de RSU coletada dentre os anos de 2010 e 2019 cresceram em todas as regiões do país, de 59 milhões em 2010 para 72,7 milhões de toneladas em 2019, tendo também um aumento na cobertura da coleta de 88% para 92% (ABRELPE, 2020).

Figura 5 – Geração total (t/ano) de RSU no Brasil nos anos de 2010 e 2019



Fonte: Adaptado Abrelpe (2020)

Figura 6 – Geração per capita (kg/hab/ano) de RSU no Brasil nos anos de 2010 e 2019



Fonte: Adaptado Abrelpe (2020)

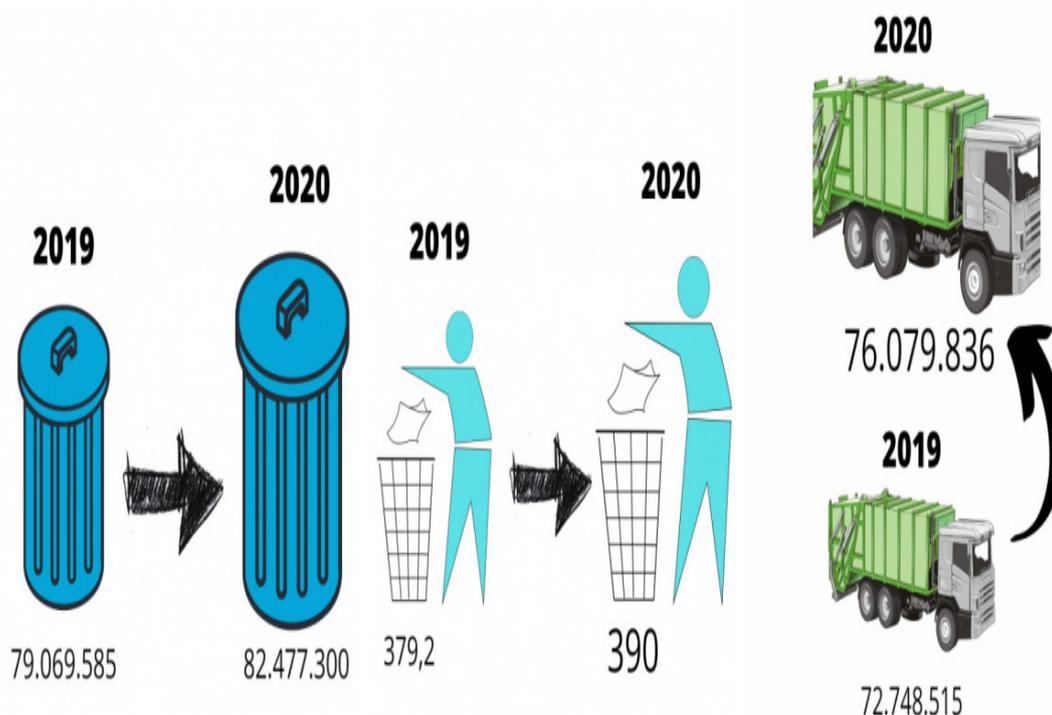
Embora algumas tecnologias sejam necessárias para o cumprimento da PNRS estejam disponíveis no Brasil, os custos e a falta de maior integração na gestão dos RSU têm sido apontados por especialistas como os motivos para que a PNRS seja de fato cumprida. Enquanto em países que já resolveram ou estão em vias de solucionar o problema dos RSU não apenas os aterros sanitários, mas com outras opções que são dadas nos documentos oficiais do Brasil, dada à falta de uma gestão unificada de RSU até por parte dos municípios, os desafios permanecem praticamente os mesmos anteriores à PNRS (ANTENOR; SZIGETHY, 2020).

Em relação aos tipos da disposição final dos resíduos sólidos utilizados pelos municípios brasileiros, de acordo com o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil de 2020, das 72,7 milhões de toneladas coletadas no Brasil em 2019, 59,5% tiveram disposição final adequada e foram encaminhadas para aterros sanitários – uma expansão de 2,7% em relação ao valor total do ano de 2010. Porém, para a disposição final inadequadas como lixões e aterros controlados ainda têm participação significativa (23% e 17,5%, respectivamente). Estão presentes em todas as regiões do Brasil e recebendo toneladas de resíduos por dia, com elevado potencial de poluição ambiental e impactos negativos à saúde (ABRELPE, 2020).

Para o ano de 2020, o panorama ABRELPE (2021) traz-nos os dados apurados mostrando-nos que a geração de RSU no país sofreu influência direta da pandemia da COVID-19, tendo alcançado um total de aproximadamente 82,5 milhões de toneladas geradas, ou 225,965 toneladas diárias. Com isso, cada brasileiro gerou, em média, 1,07 kg de resíduo por dia. Uma possível razão para esse aumento expressivo foram as novas dinâmicas sociais que, em boa parte, foram

quase que totalmente transferidas para as residências, visto que o consumo em restaurantes foi substituído pelo delivery e os demais descartes diários de resíduos passaram-se a acontecer nas residências onde por um período (inicial/mais crítico da pandemia) que a população permaneceu. A Figura 7 mostra-nos esses dados em comparação ao ano de 2019 em relação a geração de RSU no Brasil (t/ano e kg/hab/ano) como também pela coleta de RSU no Brasil (t/ano).

Figura 7 – Geração e coleta de RSU no Brasil nos anos de 2019 e 2020



Fonte: Adaptado Abrelpe (2021)

Nos documentos oficiais pode-se encontrar indicadores que auxilia nos cálculos das estimativas da geração per capita de RSU, a taxa de coleta desses RSU nos municípios. No SNIS (2021) traz-nos os indicadores 015 e 016 que se refere a taxa de cobertura da coleta de resíduos em relação à população total atendida no município e a taxa de cobertura da coleta de resíduos em relação à população urbana atendida no município respectivamente nessa ordem. A base de dados encontramos tanto no SNIS em sua série histórica, quanto pelo IBGE. Sabendo que são estimativas pelo último censo ter sido realizado no ano de 2010. Os cálculos são baseados nas equações 1 e 2.

$$\frac{\text{Populao total atendida no municpio}}{\text{Populao total atendida do municpio (SNIS/IBGE)}} \times 100 \tag{1}$$

$$\frac{\text{Populao urbana atendida no municpio}}{\text{Populao urbana atendida do municpio (SNIS/IBGE)}} \times 100 \tag{2}$$

Para a geração per capita dos RSU nos municípios utiliza-se a Equação 3 para o cálculo dessa geração:

$$G_{pc} = \frac{Q_{coletada}}{P_{atendida}} \quad (3)$$

onde

G_{pc} : Geração per capita de resíduos (Kg/hab/dia);

$Q_{coletada}$: Quantidade de resíduos coletados por dia (kg);

$P_{atendida}$: População com coleta de resíduos (hab).

3.4 Aterro Sanitário

O aterro sanitário é considerado o sistema mais adequado para disposição dos resíduos sólidos no Brasil, trata-se de um processo que se fundamenta em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, permite um confinamento seguro em termos de Controle de poluição ambiental e proteção à saúde pública. “O aterro sanitário é a maneira considerada ambientalmente correta para a eliminação dos rejeitos, ou seja, uma operação que não visa, como fim, sua valorização” (ABRELPE, 2015).

Embora existam outras técnicas que buscam tratar os resíduos sólidos, como a reciclagem, compostagem e também a incineração, algumas dessas tecnologias tornam o tratamento dos resíduos oneroso, além de apresentarem restos não factíveis de serem eliminados, necessitando ainda o seu confinamento em aterros sanitários (NETO et al., 2016).

A construção de um aterro sanitário exige uma série de cumprimentos estabelecidos por norma, no que tange aos aspectos legais e ambientais, além da própria administração de caráter contínuo da obra, que aliás, diferencia-se das demais obras de engenharia civil por sua finalidade se estabelecer durante o período de construção (GURJÃO; NETO; PAIVA, 2019).

Em muitos casos, a otimização da capacidade dos aterros sanitários se torna necessária para que a vida útil do aterro sanitário seja mantida. Tanto do ponto de vista econômico quanto do ponto de vista ambiental as vantagens do aproveitamento dos espaços disponíveis no entorno das células de um aterro sanitário se mostram claras quando levado em consideração que não será necessária a aquisição de novos locais para implantação de novos aterros sanitários e que os resíduos sólidos continuariam limitados a uma mesma região geográfica, minimizando os aspectos de risco ambiental na eventualidade de um desastre (GURJÃO; NETO; PAIVA, 2019).

Ainda segundo Gurjão, Neto e Paiva (2019) um dos fatores que influenciam na vida útil de um aterro sanitário é o peso específico dos resíduos depositados, pois sendo a razão entre a quantidade de RSU por unidade de volume, seu valor indica a maior ou menor a capacidade de disposição de resíduos em uma célula.

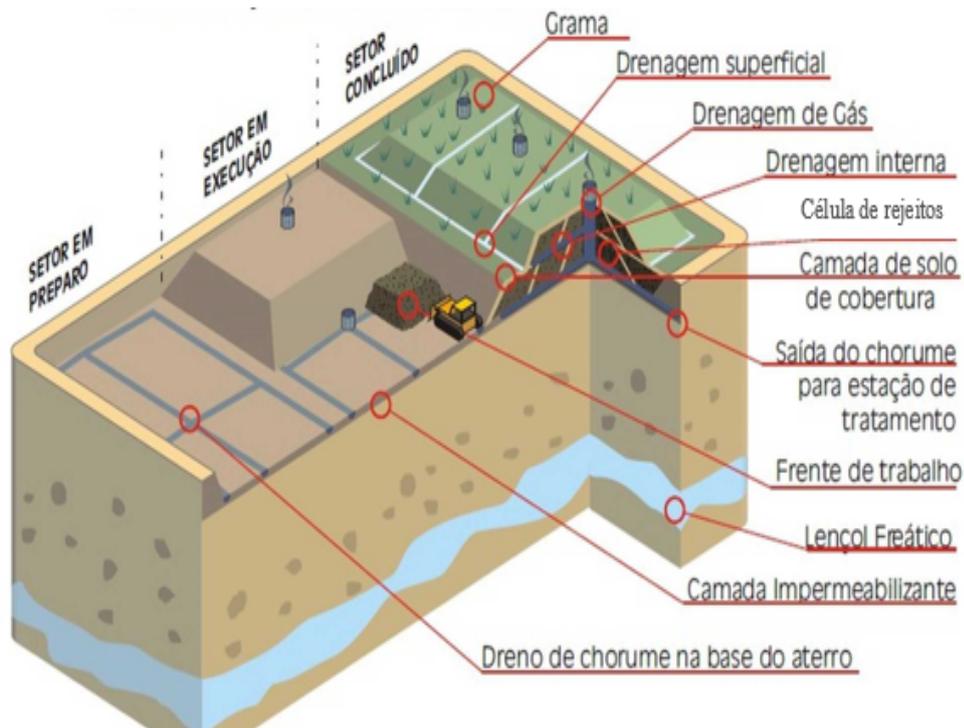
Os aterros sanitários podem ser divididos em três setores: setor em preparo, setor em

execução e o setor concluído. O setor em preparo é o estágio inicial e preparatório para o recebimento dos resíduos sólidos. Neste setor é instalada a camada impermeabilizante (geomembrana) e os dutos de drenagem do chorume e dos gases. Seguindo para o setor de execução, é o local onde recebe a frente de trabalho (FERREIRA, 2018). Como nem todo aterro possui a Geomembrana, ao invés de utilizar o chorume utiliza-se o então a técnica com o lixiviado.

Onde ocorrem as tarefas principais do aterro sanitário: são as operações diárias de disposição, compactação e o soterramento dos resíduos sólidos com a camada de solo de cobertura. Para finalizar, o setor concluído é aquele onde a disposição de resíduos sólidos já não ocorre mais. Há somente trabalhos de monitoramento da drenagem do chorume e eliminação dos gases. É revestido por uma cobertura vegetal (grama) para combater a erosão. Possui também um sistema de drenagem superficial responsável pelo escoamento das águas pluviais, dificultando assim o encharcamento no interior do aterro (FERREIRA, 2018).

Para melhor ilustração e entendimento sobre o aterro sanitário, na Figura 8 pode-se observar o corte de uma seção em um aterro sanitário e seus setores:

Figura 8 – Corte da seção de um aterro sanitário



Fonte: Adaptado Ferreira (2018)

Outra definição apresenta o aterro sanitário como forma de disposição final de RSU no solo mediante confinamento em camadas cobertas com material inerte, geralmente solo, segundo normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais (VILHENA, 2018).

3.5 Análise de Séries Temporais

A Análise de Séries Temporais é um ramo da Estatística dedicado ao tratamento analítico de uma série de instâncias ou observações dependentes. De modo informal pode-se pensar uma série temporal como um conjunto de observações $Y_k(t)$, $t \in T$ e $k \in \mathbb{N}$ obtidas sequencialmente ao longo de um intervalo de tempo ou outro parâmetro físico. Em que Y_k denota as k variáveis de investigação, T o conjunto de índice ou um conjunto de instantes de tempo e \mathbb{N} o conjunto dos números naturais (MORETTIN; TOLOI, 2006).

Existem basicamente dois enfoques usados na análise de séries temporais. Em ambos, o objetivo é construir os modelos para séries, com propósitos determinados. No primeiro enfoque, a análise é feita no domínio temporal e os modelos propostos são paramétricos (com um número finito de parâmetros). No segundo, a análise é conduzida no domínio de frequências e os modelos propostos são não-paramétricos (MORETTIN; TOLOI, 2018).

As séries temporais podem ser classificadas em termos do conjunto índice em relação aos possíveis valores. Em ambos os contextos, as possíveis classificações são: discretas ou contínuas. Em relação ao conjunto índice, as séries são ditas contínuas se $T = t : \{t_1 < t < t_2\}$, ou seja, as observações são coletadas de forma ininterrupta.

Por outro lado, o conjunto de índice das séries temporais discretas é denotada por $T = \{t_1, t_2, \dots, t_N\}$, representado que a coleta das instâncias ocorre em instantes pontuais, podendo ser igualmente espaçados ou não. Contudo uma série temporal discreta pode ser obtida através da utilização de uma série contínua limitada por instantes que sejam específicos (MORETTIN; TOLOI, 2006).

Nas situações em que se pretende utilizar modelos para descrever as séries temporais, é necessário então introduzir suposições de modo simplificadas que nos conduza a analisar determinadas classes de processos estocásticos. Podendo-se ter assim: processos estacionários ou não-estacionários, de acordo com a independência ou não relativamente à origem dos tempos; processos normais (Gaussianos) ou não-normais, de acordo com as funções de distribuição de probabilidade (FDP) que caracterizam os processos; Markovianos ou não-Markovianos, de acordo com a independência dos valores do processo, em dado instante, de seus valores em instantes precedentes (MORETTIN; TOLOI, 2006).

Antes de iniciar qualquer estudo sobre os modelos e as séries, é necessário o conhecimento de alguns padrões de comportamento comumente encontrado em séries temporais:

- Tendência (T): essa componente será observada quando a série temporal seguir uma determinada direção, crescente ou decrescente, e não necessariamente linear;
- Sazonalidade (S): padrão que se repete com uma certa periodicidade (exemplo: semanal, mensal, diários, entre outros).

Ressaltando que essas componentes não necessariamente são vistas de forma isolada.

Para os tipos de sazonalidade, elas podem ser aditivas ou multiplicativas, a sazonalidade aditiva diz que a série apresenta flutuações sazonais mais ou menos constantes não importando o nível global da série. Já sazonalidade multiplicativa nos diz que o tamanho das flutuações sazonais varia dependendo do nível global da série. Uma série pode exibir tendência de crescimento (ou decrescimento) com vários possíveis padrões, tais como: crescimento linear, exponencial e amortecido.

3.5.1 Tendência e Sazonalidade

Seja Z_t uma série temporal representada pela combinação das componentes de tendência, sazonalidade e ciclo. Um modelo aditivo dessa série temporal pode ser descrito como na Equação (4)

$$Z_t = T_t + S_t + a_t \quad (4)$$

Onde:

Z_t : dado observado no período t ;

S_t : componente sazonal no período t ;

T_t : componente tendência no período t ;

a_t : erro no modelo no período t .

Também é possível representar uma série temporal seguindo uma estrutura multiplicativa, a Equação (5) expõe essa estrutura com a diferença do sinal entre as componentes:

$$Z_t = T_t * S_t * a_t \quad (5)$$

O modelo aditivo, que considera uma série temporal como resultante da soma de seus componentes, deve ser adotado quando os componentes da série atuam isoladamente, ou seja, de modo absoluto e independente entre si. Já o modelo multiplicativo, que considera uma série temporal como resultante do produto de seus componentes, deve ser adotado quando os componentes da série atuam de modo proporcional às suas respectivas forças. A escolha entre um e outro é fundamentada, basicamente, na sensibilidade das variações sazonais em relação ao próprio fenômeno e, sendo apurada uma regularidade aritmética, deve-se adotar o modelo aditivo e caso contrário, o multiplicativo (RELVAS, 1998).

Quando existe a suposição que a componente sazonal (S_t) não esteja presente, o modelo que deve ser considerado é o da Equação (6). Existem vários métodos para se estimar a componente T_t dentre os mais utilizados pode-se citar: ajustar uma função do tempo como um polinômio, uma exponencial ou uma outra função suave em relação ao t ; suavizar os valores da série ao redor de um ponto para estimar a tendência daquele ponto; suavizar os valores da série através de sucessivos ajustes de retas de mínimos quadrados ponderados.

$$Z_t = T_t + a_t \quad (6)$$

Estimando-se a tendência através de \hat{T}_t , pode-se obter a série de modo ajustada para a tendência ou livre de tendência, é o que a Equação (7) mostra:

$$Y_t = Z_t - \hat{T}_t \quad (7)$$

Um procedimento que pode ser utilizado para eliminar a tendência de uma série é o que chamamos de diferenças, Equação (8), para algumas séries após essa primeira diferença a série já se torna estacionária o processo é basicamente tomar o valor da série original (Z_t) e dele subtrair o valor dado anteriormente (Z_{t-1}) e assim sucessivamente.

$$\Delta Z_t = Z_t - Z_{t-1} \quad (8)$$

Além do gráfico obtido na série temporal para se inspecionar a tendência da série é possível utilizar hipóteses estatísticas para se verificar a existência da tendência. Pode ser feito de duas maneiras (a) antes da estimação de T_t ; (b) depois que se obtém uma estimativa de T_t . Todavia, é aconselhável estabelecer se existe componente de tendência na série antes de aplicar qualquer procedimento para sua estimação.

O procedimento do ajuste sazonal consiste em obter estimativas \hat{S}_t de S_t e calcular a Equação (9), logo a série ajustada é apresentada na Equação (10):

$$Z_t^{SA} = Z_t - \hat{S}_t \quad (9)$$

$$Z_t^{SA} = Z_t | \hat{S}_t \quad (10)$$

A sazonalidade pode ser do tipo determinística (quando pode pressupor um padrão de modo sazonal regular e estável no tempo, podendo se prever o comportamento sazonal perfeitamente a partir dos dados anteriores) ou a estocástica (quando a componente sazonal da série varia de acordo com o tempo). Para saber sobre a sazonalidade nos dados pode-se realizar testes que nos evidenciam a presença da sazonalidade, dentre eles estão o teste de Kruskal-Wallis, de Friedman, teste F, além da análise gráfica.

3.5.2 Testes Formais

Ao ser realizada a remoção de tendência, as vezes essa remoção não é suficiente para obter uma série estacionária. Com isso, é necessária a utilização de métodos adequados de modelagem, consequentemente determinando também a ordem de integração do processo. A maior parte dos testes de raiz unitária são testes de hipóteses, de maneira que, em muito dos casos, comparam-se estatísticas que obtemos com valores críticos. Tais valores, em sua grande maioria, são obtidos pelo método de Monte Carlo que se resume na geração de cenários aleatórios

em grande número para através destes gerar intervalos de confiança ou estimativas pontuais (FERREIRA et al., 2018).

O teste Dickey-Fuller aumentado (ADF) é provavelmente o teste de hipóteses para raízes unitárias mais utilizado, que propõe realizar o teste sob a série diferenciada em três configurações que possibilitam obter as estatísticas de testes adequadas, dado que suas simulações se nota a presença de componentes determinísticas que alteram os valores críticos obtidos. Entre os testes alternativos, o mais conhecido é o Kwiatkowski Philips Schmidt e Shin (KPSS) que inverte a hipótese do teste ADF o tornado um teste de estacionariedade. O teste Phillips-Perron utiliza a mesma hipótese do teste DF (ADF sem o termo da média móvel) trata do problema de correlação serial corrigindo assim a estatística de teste (FERREIRA et al., 2018).

O teste de Cox-Stuart é um dos testes recomendados para a verificação da existência de tendências monótonas, isto é, crescentes ou decrescentes, em séries temporais (MORETTIN; TOLOI, 2006). O teste se baseia nas seguintes hipóteses:

$$\begin{cases} H_0 : P(Z_i < Z_{i+c}) = P(Z_i > Z_{i+c}), \forall_i : \text{no existe tendncia} \\ H_1 : P(Z_i < Z_{i+c}) \neq P(Z_i > Z_{i+c}), \forall_i : \text{existe tendncia} \end{cases}$$

Esse é um teste bilateral. Um teste unilateral para testar H_0 : não existe tendência positiva contra H_1 : existe tendência positiva, é obtido substituindo = por \leq e \neq por $>$, respectivamente, em H_0 e H_1 acima. Seja T_2 = número de pares com sinal +, para $n \leq 20$, a regra de decisão é baseada na distribuição binomial e para $n > 20$ pode-se usar a aproximação normal.

O teste Runs é um teste estatístico usado para determinar se um conjunto de dados vem ou não de um processo aleatório, com ele testamos a tendência da série. As suas hipóteses são:

$$\begin{cases} H_0 : \text{Os dados foram produzidos de forma aleatria} \\ H_1 : \text{Os dados no foram produzidos de forma aleatria} \end{cases}$$

O teste de Box-Pierce é aplicado aos resíduos de uma série temporal, após o ajustamento de um modelo. São analisadas m autocorrelações dos resíduos e quanto menor for esse valor melhor o ajuste do modelo escolhido (XAVIER, 2016).

A estatística de Box-Pierce pode ser definida na Equação (11):

$$Q = N \sum_{k=1}^m \hat{r}_k^2 \quad (11)$$

com

N - tamanho da amostra;

m - a duração da defasagem;

\hat{r}_k^2 - autocorrelação da série.

Para grandes amostras, a estatística Q distribui-se segundo uma distribuição qui-quadrado com m graus de liberdade (gl) (XAVIER, 2016).

Já o teste de Ljung-Box é uma alteração do teste de Box-Pierce, tornando-o mais generalizado e apresenta, segundo a literatura, melhores resultados. A estatística de Ljung-Box pode se expressa como está descrito na Equação (12) :

$$LB = N(N+2) \sum_{k=1}^m \left(\frac{\hat{r}_k^2}{N-k} \right) \quad (12)$$

A distribuição assintótica da estatística LB também é qui-quadrado com m graus de liberdade (gl). A hipótese nula para os dois testes refere a não existência de auto correlação conjunta dos resíduos. Esta hipótese poderá ser rejeitada se o valor da estatística do teste for superior ao valor crítico da distribuição qui-quadrado para um determinado nível de significância α e grau de liberdade $gl = m$, isto quer dizer que as autocorrelações para um determinado número de lags poderão ser significativamente diferentes de zero, mostrando que os valores não são aleatórios e independentes ao longo do tempo (XAVIER, 2016).

Existem diversos testes para serem utilizados com dados em séries temporais além dos que se foi citado, com a utilização dos mesmos pode-se obter as respostas que são necessárias para que se continue com um bom ajuste nos dados.

3.6 Critérios de Informação

Se tenho muitos modelos candidatos a descrever meu conjunto de dados qual devo escolher? A seleção de modelos baseada em teoria da informação é uma resposta. É uma teoria muito elegante que demonstra a relação entre verossimilhança e a quantidade de informação que se perde quando aproximamos os dados com um modelo. Esses critérios levam em consideração a complexidade do modelo no critério de seleção. São critérios que essencialmente penalizam a verossimilhança, utilizando o número de variáveis do modelo e, eventualmente o tamanho da amostra (EMILIANO, 2009).

De acordo com Emiliano (2009) os critérios de seleção de modelos como o Critério de informação de Akaike (AIC) e Critério de informação Bayesiano (BIC), são frequentemente utilizados para selecionar modelos em diversas áreas. Segundo esses critérios, o melhor modelo será aquele que apresentar o menor valor de AIC ou BIC.

3.6.1 Critério de Informação de Akaike - AIC

O Critério de Informação de Akaike - AIC (Akaike's Information Criterion) procura uma solução satisfatória entre o bom ajuste e o princípio da parcimônia (AKAIKE, 1974). O método AIC considera que os modelos apresentam melhor desempenho quanto mais simples (menor valor de AIC) for o modelo, portanto, o método impõe uma penalidade à complexidade. Como o

logaritmo da função de verossimilhança $L(\beta)$ cresce com o aumento do número de parâmetros do modelo, uma proposta razoável seria encontrarmos o modelo com menor valor para a função, que pode ser observada na Equação (13):

$$AIC = -L(\hat{\beta}) + p \quad (13)$$

em que p denota o número de parâmetros. No caso do modelo normal linear pode-se mostrar que AIC fica expresso quando σ^2 é desconhecido, na forma da Equação (14)

$$AIC = n \log \{D(y; \hat{\mu}/n)\} + 2p, \quad (14)$$

em que $D(y; \hat{\mu}) = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\mu}_i)^2$

3.6.2 Critério de Informação Bayesiano - BIC

O Critério de informação Bayesiano (BIC), também chamado de Critério de Schwarz, foi proposto por Schwarz (SCHWARZ et al., 1978), e é um critério de avaliação de modelos definido em termos da probabilidade a posteriori, sendo assim chamado porque Schwarz deu um argumento Bayesiano para prová-lo. É dado pela Equação (15):

$$BIC = -2 \log f(x_n | \theta) + p \log n \quad (15)$$

em que $f(x_n | \theta)$ é o modelo escolhido, p é o número de parâmetros a serem estimados e n é o número de observações da amostra ($x_n = (x_1, x_2, \dots, x_n)$).

3.6.3 Considerações AIC e BIC

Vale apenas salientar algumas características dos critérios AIC e BIC (EMILIANO, 2009):

- Tanto o AIC quanto o BIC fundamentam-se na verossimilhança, impondo entretanto diferentes penalizações;
- O AIC e o BIC servem para comparar modelos encaixados, mas podem ser aplicados também em modelos não encaixados;
- Para $n > 8$, o valor do AIC para um determinado modelo será sempre menor que o valor do BIC;
- O AIC e o BIC servem para comparar quaisquer quantidade de modelos, e não somente dois;

- O AIC e o BIC são critérios assintóticos e já existem correções para estes;
- O AIC e o BIC servem para estudar estruturas de covariâncias;
- Se somente modelos ruins forem selecionados, o AIC fará a seleção do melhor dentre eles.

3.7 Modelos ARIMA

3.7.1 Modelos autoregressivos (AR)

Quando se pretende utilizar a modelação ARIMA, na análise de séries temporais é necessário, em primeiro lugar, identificar o modelo ARIMA que melhor se ajusta aos dados em questão. Recorre-se principalmente às autocorrelações e autocorrelações parciais estimadas para a escolha do modelo mais adequado (XAVIER, 2016).

Em que

$$a_t \text{ o erro aleatório do modelo com } E(a_t) = 0 \text{ e } Var = \sigma^2.$$

O modelo AR(1) segundo Xavier (2016) é um modelo autorregressivo de ordem $p = 1$ que assume grande importância, em que a série temporal Z_t definido pela Equação (16):

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + a_t \quad (16)$$

onde:

ϕ_1 : parâmetro auto-regressivo de ordem 1;

Z_{t-1} : série de tempo desfasado um período;

a_t : termo do erro do modelo.

Generalizando e considerando $Z_t, t \in \mathbb{Z}$ pode-se afirmar que se trata dum modelo autorregressivo de ordem p ($Z_t, \sim \text{AR}(p)$) com a Equação (17):

$$Z_t = \phi_0 + \phi_1 Z_{t-1} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + a_t \quad (17)$$

sendo: $\phi_0, \phi_1, \dots, \phi_p$ parâmetros reais.

3.7.2 Modelos de média móvel (MA)

Diz-se que um processo linear $\{Z_t, t \in \mathbb{Z}\}$ é um processo de média móvel de ordem q , e designa-se por MA(q), se satisfaz a Equação (18) de diferenças:

$$Z_t = \alpha_1 - \theta_1 a_{t-1} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (18)$$

onde $\alpha, \theta_1, \dots, \theta_q$ são constantes reais e $a_t \sim N(0, \sigma^2)$.

3.7.3 Modelos autorregressivos e de médias móveis (ARMA)

Os modelos autorregressivos e de médias móveis designam-se por ARMA(q,p) e são a junção dos modelos AR e MA, podem ser representados pela Equação (19) (MORETTIN; TOLOI, 2018):

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + \alpha_t - \theta_1 a_{t-1} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (19)$$

O modelo ARMA(1,1) é um dos que mais se utiliza, sendo representada pela Equação (20):

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \alpha_t - \theta \alpha_{t-1} \quad (20)$$

3.7.4 Modelos autorregressivos integrados e de médias móveis (ARIMA)

Os modelos ARIMA são modelos estatísticos lineares para análise de séries temporais. A abreviação ARIMA em inglês significa “Auto-Regressive Integrated Moving Average Model”, ou seja, auto-regressivo, integrado e médias móveis. Os termos auto-regressivos correspondem a defasagens da série e as médias móveis são as defasagens dos erros aleatórios (XAVIER, 2016).

Em todos os casos, modelos determinísticos ou modelos estocásticos são construídos, no domínio temporal ou de frequências. Estes modelos devem ser simples e parcimoniosos (no sentido que o número de parâmetros envolvidos deve ser o menor possível) e, se possível, sua utilização não deve apresentar dificuldades as pessoas interessadas em manipulá-los (MORETTIN; TOLOI, 2018).

Muitas séries temporais exibem um comportamento que tende a se repetir a cada s períodos de tempo. Vejamos alguns possíveis modelos sazonais:

1. Sazonalidade determinística: variáveis dummies (binárias), o coeficiente de cada variável dummy representa o fator sazonal do respectivo mês, trimestre, etc.
2. Funções trigonométricas.
3. Sazonalidade estocástica:
 - a. Variável endógena com defasagem sazonal no modelo (modelos ARMA periódicos),
 - b. modelo ARMA sazonal.

Quando a série temporal não apresenta sazonalidade e o seu comportamento é não estacionário, pode ser aplicado o modelo autorregressivo integrado de média móvel (ARIMA)

(p , d , q) (MONTGOMERY; JENNINGS; KULAHCI, 2015). Essas especificações representam os parâmetros:

- p número de modelos autorregressivos;
- d quantidade de diferenciações;
- q número de média móvel aplicada.

É importante salientar que a previsão não constitui um fim em si, mas apenas um meio de fornecer informações para uma consequente tomada de decisões, visando a determinados objetivos. Os procedimentos de previsão utilizados na prática variam muito, podendo ser simples e intuitivos ou mais quantitativos e complexos. No primeiro caso, pouca ou nenhuma análise de dados é envolvida, enquanto no segundo caso esta análise pode ser considerável (MONTGOMERY; JENNINGS; KULAHCI, 2015).

3.7.5 Identificação de modelos ARIMA

A identificação de um modelo ARIMA pode ser realizada além dos testes, recorrendo-se às funções de autocorrelação (fac) e às funções de autocorrelação parcial (facp) (XAVIER, 2016).

3.7.5.1 Função autocorrelação (FAC)

Em alguns modelos, nomeadamente os AR(p), MA(q) e ARMA(p,q), pode-se encontrar características especiais das fac que permitem optar pela sua escolha (XAVIER, 2016):

1. Se a FAC for infinita em extensão e decrescer como uma função exponencial e/ou função sinusoidal amortecida, possível a opção pelo modelo AR(p);
2. Se a FAC for finita e apresenta um corte após a defasagem q , possível a opção pelo modelo MA(q);
3. Se a FAC for infinita e decresce com características exponenciais e/ou sinusoidais amortecidas após a defasagem (q,p), possível a opção pelo modelo ARMA(p,q).

Com a estimação da FAC pode-se encontrar um padrão que se identifique com algum modelo em particular, sendo mais eficaz para identificar em particular os modelos MA(q) (XAVIER, 2016).

3.7.5.2 Função autocorrelação parcial (FACP)

Esta função corresponde à correlação de Z_t e Z_{t-k} em que se retira o efeito das observações $Z_{t-1}, Z_{t-2}, \dots, Z_{t-k+1}$ e é denotada por θ_{kk} e tem a seguinte expressão representada na Equação (23):

$$\theta_{kk} = Corr \left(\frac{Z_t, Z_{t-k}}{Z_{t-1}, Z_{t-2}, \dots, Z_{t-k+1}} \right) \quad (21)$$

A FACP é útil para identificar modelos AR puros ou da parte AR de um processo ARMA (p,q), não sendo útil para identificar modelos MA e ARMA. Um processo simples para estimar as facp consiste em substituir nas equações de Yullie-Walker as fac pelas suas estimativas (XAVIER, 2016).

3.7.5.3 Equações de Yule-Walker

O sistema de equações de Yule-Walker que é de grande importância no estudo das séries temporais, junto das equações que envolvem as fac e facp são descritas no sistema de equações (22) a seguir (XAVIER, 2016; MORETTIN; TOLOI, 2018):

$$\begin{aligned}
 \rho_1 &= \phi_1 + \phi_2\rho_1 + \dots + \phi_p\rho_{p-1} \\
 \rho_2 &= \phi_1\rho_1 + \phi_2 + \dots + \phi_p\rho_{p-2} \\
 \vdots & \quad \vdots \quad \vdots \quad \dots \quad \vdots \\
 \rho_p &= \phi_1\rho_{p-1} + \phi_2\rho_{p-2} + \dots + \phi_p
 \end{aligned} \tag{22}$$

Esse mesmo sistema pode ser representado de forma matricial, como está descrito na Equação (23)

$$\phi = \begin{bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \vdots \\ \phi_p \end{bmatrix} \quad \rho_p = \begin{bmatrix} \rho_1 \\ \rho_2 \\ \vdots \\ \rho_p \end{bmatrix} \quad P_p = \begin{bmatrix} 1 & \rho_1 & \rho_2 & \dots & \rho_{p-1} \\ \rho_1 & 1 & \rho_1 & \dots & \rho_{p-2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \rho_{p-1} & \rho_{p-2} & \rho_{p-3} & \dots & 1 \end{bmatrix} \tag{23}$$

3.7.5.4 Estimação e diagnóstico de modelos ARIMA

Terminado o processo de identificação da ordem do modelo ARIMA para a análise de uma série temporal, pode-se estimar os parâmetros desse modelo utilizando (XAVIER, 2016):

- Método dos momentos;
- Estimadores de mínimos quadrados;
- Estimadores de máxima verossimilhança.

Depois de realizados os dois passos anteriores (identificação e estimação do modelo) é necessário verificar se este está adequado aos dados. É a análise dos resíduos que nos permite fazer o diagnóstico do modelo.

Considerando o modelo ajustado tem-se a Equação (24):

$$\phi(B)W_t = \theta(B)a_t \tag{24}$$

com

$W_t = \nabla^d Z_t$ com d diferenças nas séries

$\phi(B)$ e $\theta(B)$ são polinômios do operador B

os resíduos serão descritos pela Equação (25)

$$a_t = \theta^{-1}(B)\phi(B)W_t \quad (25)$$

considera-se que o modelo é adequado aos dados se os resíduos exatos a_t se identifica com uma distribuição $N(0,1)$ (XAVIER, 2016). Para a escolha mais acertada do modelo ARIMA serão utilizados os critérios AIC, BIC e HQC.

3.7.6 Modelos SARIMA

A metodologia Arima, proposta por Box et al. (2015) assume que a série temporal em estudo representa uma realização de um processo estocástico que foi gerado pela passagem sucessiva de um ruído branco por dois filtros lineares: um estável e outro instável. Quando a série apresenta sazonalidade de modo determinística o modelo ARIMA pode ser utilizado, quando a sazonalidade é de modo estocástica se faz necessário ajustar a série original a um modelo ARIMA Sazonal (SARIMA). Pode-se dizer que existe a inclusão de termos sazonais nos modelos ARIMA(p, d, q) cuja a notação é SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_[s], onde o parâmetro (P) é relacionado ao operador autorregressivo sazonal, o parâmetro (Q) está relacionado ao operador de médias móveis e por fim o parâmetro (D) é o operador da diferença sazonal, com sua sazonalidade de períodos [s].

Para a representação dos parâmetros, apresenta-se a Equação (26):

$$\phi(L)\Phi(L)\Delta^d\Delta^D y_t = \theta(L)\Theta(L)\varepsilon_t \quad (26)$$

onde,

- p é a ordem do polinômio autorregressivo não sazonal $\phi(L)$;
- P é a ordem do polinômio autorregressivo sazonal $\Phi(L)$;
- q é a ordem do polinômio de médias móveis não sazonal $\theta(L)$;
- Q é a ordem do polinômio de médias móveis sazonal $\Theta(L)$;
- d é a ordem de diferença não sazonal;
- D é a ordem de diferença sazonal.

Ao se ter ajustado um modelo às séries temporais, devem-se realizar uma análise dos resíduos para verificar se o modelo fornece uma descrição adequada aos dados em análise. Logo após a realização dos testes, pode-se então realizar a previsão de valores futuros para a série (MORETTIN; TOLOI, 2006).

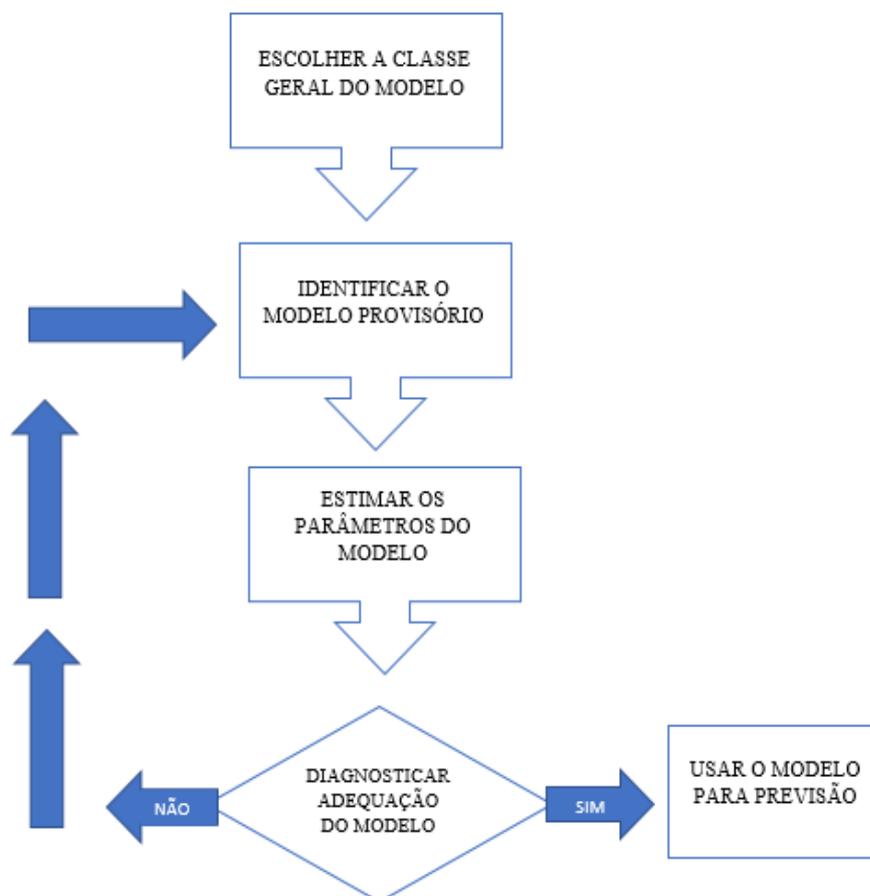
3.8 Aplicação da metodologia Box e Jenkins

O método de Box et al. (2015) consiste em buscar um modelo ARIMA que represente da melhor maneira o processo estocástico gerador da série temporal em estudo. Para ser aplicada a metodologia, o passo inicial para a aplicação é que deve-se verificar a estacionariedade da série. Constatando que essa série é não-estacionária, verifica-se então a necessidade da diferenciação para que a mesma se torne estacionária.

Para fazer essa análise, tem-se os gráficos que auxiliam na tomada de decisão e também testes tais como: ADF, KPSS, PP (Phillips e Perron). Garantindo a estacionariedade da série, a próxima fase é a da identificação, determinando assim as ordens de p , P , q e Q do modelo em estudo, podendo recorrer a análise das funções de autocorrelação (FAC) e autocorrelação parcial (FACP).

A terceira etapa é a verificação adequada do modelo, através da análise dos resíduos com testes que auxiliam no diagnóstico adequado como os de Box e Pierce (1970), Ljung e Box (1978) como também os critérios de informação de Akaike e de Schwarz contribuem para a escolha do melhor modelo, o que pode ser visto claramente na Figura 9 de todas as etapas descritas anteriormente.

Figura 9 – Método Box e Jenkins



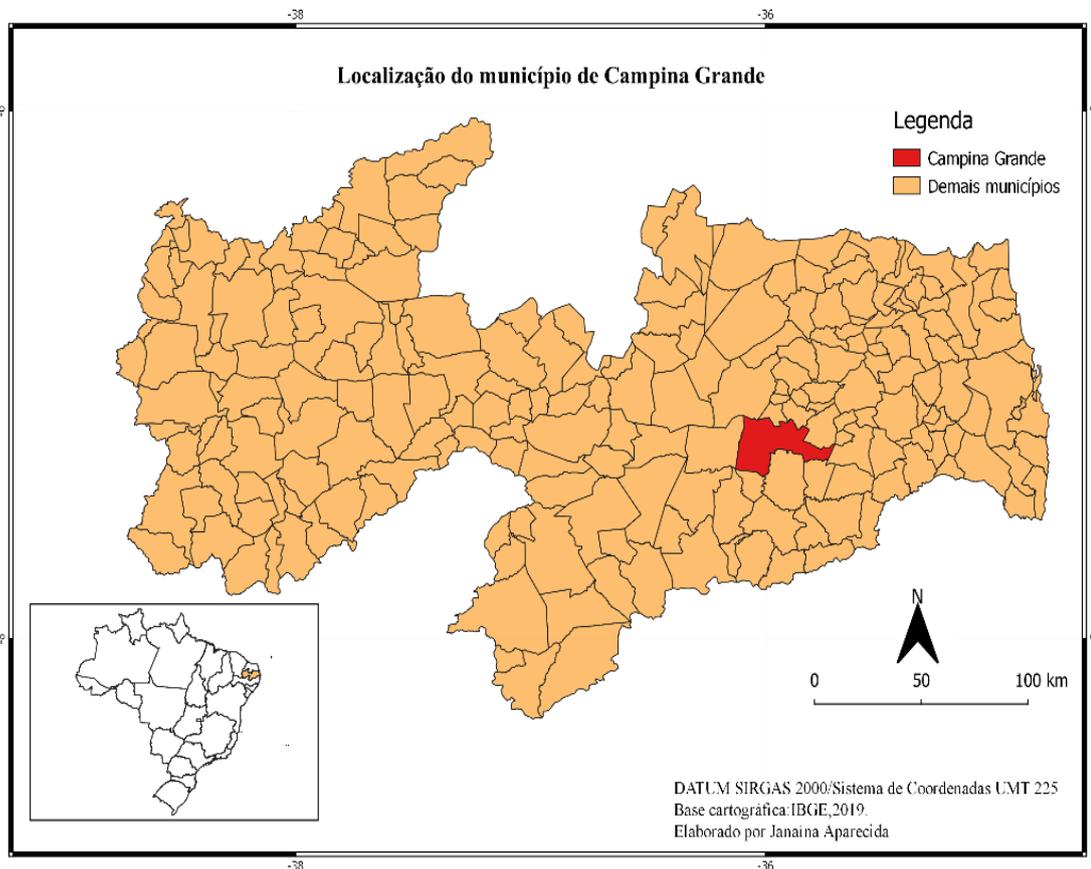
Fonte: Autoria própria (2021)

4 METODOLOGIA

4.1 Caracterização e delimitação da área de estudo

O estudo realizou-se no Aterro Sanitário em Campina Grande- PB (ASCG). O município de Campina Grande é um dos principais municípios do Estado da Paraíba, com área de 591.658 km^2 , se encontra na região geográfica imediata de Campina Grande segundo o IBGE, parte oriental do Planalto da Borborema, estando distante 126 km da capital João Pessoa. Tem uma população estimada (2021) de 411.807 pessoas, possuindo uma densidade demográfica de 648,31 habitantes por km^2 . Na Figura 10, tem-se o mapa do estado da Paraíba elaborado a partir do software QGIS (2021), com a localização do município de Campina Grande:

Figura 10 – Mapa do Estado da Paraíba com a localização do município de Campina Grande



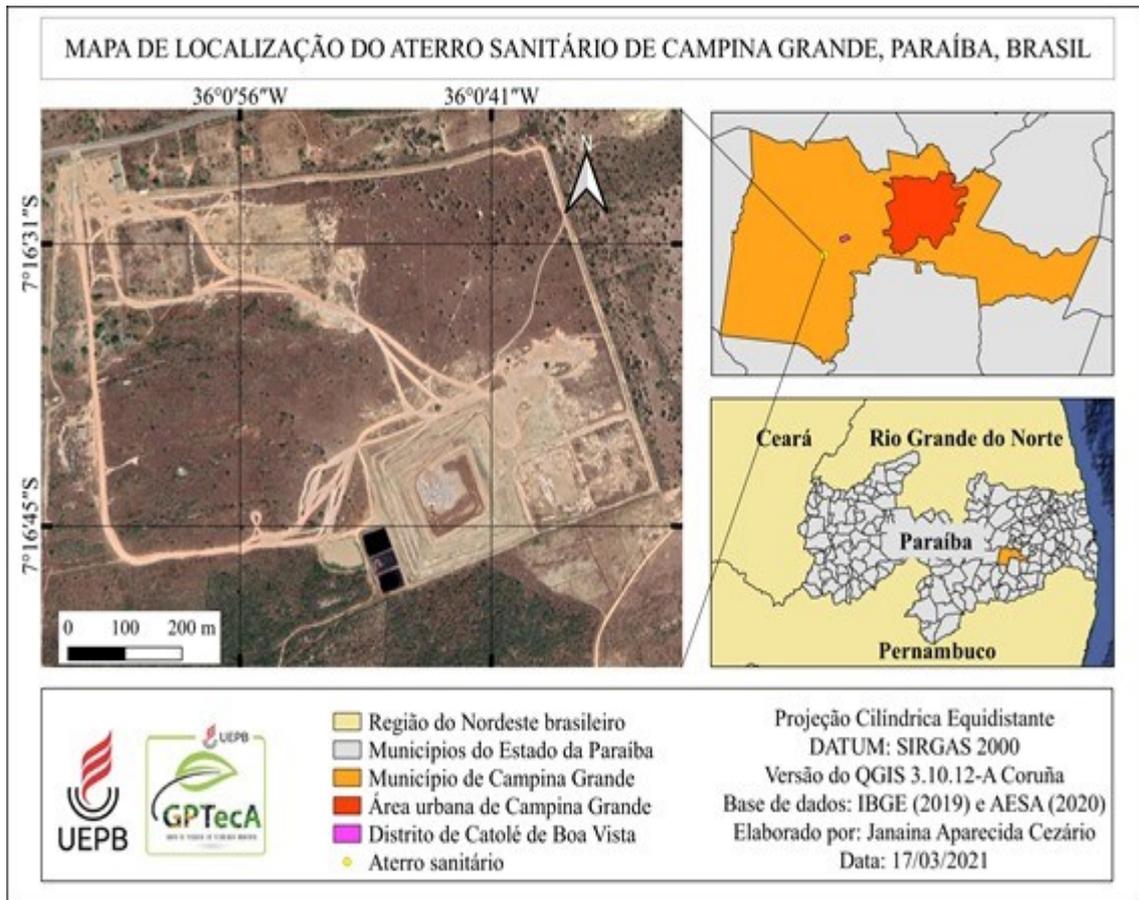
Fonte: Autoria própria (2021)

Para a disposição final dos RSU de Campina Grande desde o ano de 2015, o ASCG recebe os resíduos não só apenas deste município, mas de alguns outros por se tratar de um aterro que não é municipal. Sua localização é em cerca de 10 km de Campina Grande às margens da PB-138, no distrito de Catolé de Boa Vista, possui uma área de 64 ha , das quais aproximadamente 40 ha são destinados para construção das células de RSU tendo aproximadamente uma vida útil

de 25 anos. O ASCG consiste em um empreendimento privado administrado pela ECOSOLO - Gestão Ambiental de Resíduos LTDA.

A localização do ASCG elaborada com o auxílio do software QGIS (2021) é apresentada por meio da Figura 11 a seguir.

Figura 11 – Aterro sanitário em Campina Grande



Fonte: Autoria própria (2021)

O ASCG foi inicialmente projetado para receber uma quantidade de 350 t/dia de RSU, formado por 22 células de 21 metros de altura e 1 hectare cada. Ao passar dos anos e com número crescente de municípios realizando sua disposição no ASCG alguns estudos estão sendo desenvolvidos para prolongar a vida útil do ASCG.

4.2 Levantamento de Dados

Esta pesquisa está associada ao monitoramento do ASCG que é realizado por uma equipe multidisciplinar composta de um grupo de coordenadores que são professores da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). E também de uma equipe de pesquisadores, dentre eles alunos de doutorado, mestrado e iniciação científica, como também alunos voluntários da graduação. A equipe compõe o Grupo de Pesquisa em

Geotecnia Ambiental (GGA) pertencente a UFCG que trabalha em conjunto com o Grupo de Pesquisa em Tecnologias Ambientais (GPTecA) pertencente a UEPB.

Para alcançar os objetivos propostos nesse trabalho buscou-se a base de dados que é disponibilizada pela equipe de monitoramento do ASCG, tendo assim a necessidade de verificação dos dados. Utilizou-se não só a base de dados do ASCG como também do SNIS e IBGE para melhor compreensão da disposição no ASCG. Importante destacar a adequação e limpeza para garantir o bom andamento da pesquisa em sí, a retirada de dados inconsistentes como também organizá-los de uma maneira que tenha compreensão do que aqueles dados representam ao nosso estudo e que possa atender aos objetivos que foi-se proposto nesse trabalho.

Os dados são dispostos em massa de resíduos sólidos (toneladas) e período de disposição (alguns anos os dados são disponibilizados diários e outros anos apenas mensalmente). Os dados contêm as informações desde o funcionamento inicial no ano de 2015 (mês de julho) até o ano de 2021 (mês de agosto). Este banco de dados obteve ajuste, onde se tem extraídas informações claras e precisas sob essa disposição de RSU no ASCG.

Antes dos ajustes para a análise das séries temporais, tem-se uma análise descritiva dos dados pois trouxe-nos informações precisas de como houve a disposição dos RSU no ASCG dentre o período em estudo. Essa descrição serviu como base para comparação dessa disposição dentre os anos em estudo e apresentar-nos o andamento da disposição no ASCG.

Mediante a essa descrição dos dados seguiu-se para a análise de séries temporais, todas as etapas que o modelo de Box et al. (2015) proposto. Com a etapa satisfeita, assim seguiu-se para os resultados, que respondeu-nos sobre a previsão da geração dos RSU ao longo dos anos e auxiliou-nos na compreensão de seu comportamento ao longo do tempo.

Para finalizar, com os dados fez-se a estimação do percentual da população que é atendida pela coleta dos resíduos e também a comparação de futuros cenários baseado nos dados do IBGE.

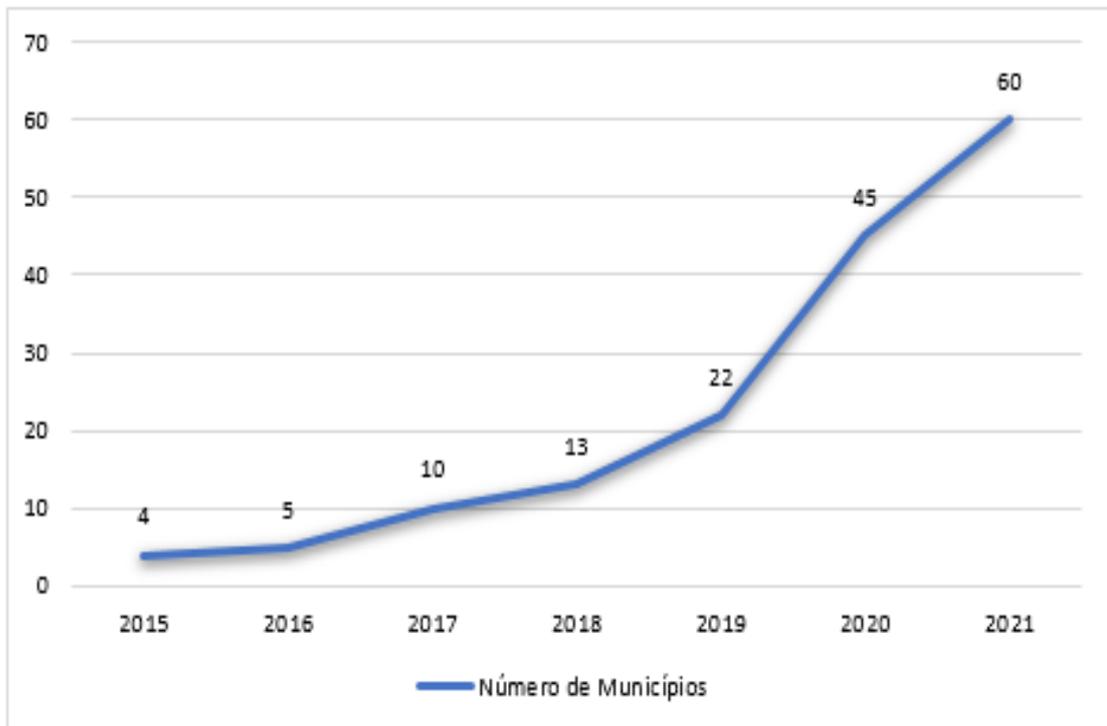
A utilização dos softwares é muito importante para a compreensão e análise dos dados em estudo. O programa *R* Team (2021) auxiliou-nos na compreensão do comportamento desses dados ao longo do tempo para que assim sejam propostas as projeções futuras sobre essa disposição, os cálculos e gráficos foi-se feito a partir de um script escrito no próprio *R*.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Descrição Inicial da disposição do RSU no ASCG

Nos dias atuais, o ASCG recebe resíduos sólidos de classes IIA e IIB segundo a sua classificação pela NBR 10.004 (ABNT, 2004), resíduos estes vindos do município de Campina Grande e mais 59 municípios do estado da Paraíba e de Pernambuco (município de Casinhas e Orobó). Dentre esses municípios, pode-se destacar que 95% são de pequeno porte, ou seja, tem menos de 20 mil habitantes. Em seu ano inicial, o ASCG tinha a disposição dos RSU de quatro municípios e algumas empresas privadas. A partir do ano 2016 outros municípios e empresas privadas foram dispendo seus RSU no ASCG, com isso percebe-se o aumento de RSU dispostos no ASCG, na Figura 12 tem-se esse aumento de municípios ao longo dos anos.

Figura 12 – Número de Municípios que dispõe RSU no ASCG dentre os anos 2015 a 2021



Fonte: Autoria própria (2021)

Campina Grande é o município que deposita a maior quantidade de RSU no aterro, representando 87,62% do total analisado, seguido pelo município de Queimadas com 2,45% e Lagoa Seca com 1,89%. Na Tabela 1, encontra-se as informações sobre essa disposição e os municípios que realizaram o depósito de seus RSU no ASCG e a sua contribuição dentre o período de 2015 a 2021 (até o mês de abril) em toneladas e sua representação por porcentagem. A linha que contém complemento é a disposição de alguns municípios dentre os anos citados, mas que não se foi encontrado a qual município pertence a disposição pelo banco de dados por conter apenas as numerações das placas dos automóveis.

Tabela 1 – Municípios que dispõem RSU no ASCG e as suas contribuições

Ano	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	TOTAL
MUNICÍPIOS	t	t	t	t	t	t	t	t
ALAGOA NOVA							1105,88	1105,88
ALCANTIL							294,52	294,52
AMPARO						2,83	23,65	26,48
AREIA			1013,52	3602,05	3605,65	3291,50	1903,44	13416,16
A. DE BARAÚNAS.							56,14	56,14
AREIAL						21,15	580,72	601,87
ASSUNÇÃO							295,27	295,27
BARAÚNA					35,09	520,70	297,06	852,85
B. DE SANTA ROSA.						428,19	101,69	529,88
BARRA DE SANTANA			249,85	358,40	365,14	339,30	244,75	1557,44
BOA VISTA	279,25	651,83	607,80	635,80	630,76	698,40	434,72	3938,56
CABACEIRAS							161,91	161,91
CAMALAÚ						252,16	394,91	647,07
CAMPINA GRANDE	67408,41	176975,84	166893,79	163912,52	162882,76	167686,70	108067,59	1013827,61
CARAÚBAS						14,88	162,70	177,58
CASINHAS							503,25	503,25
CONGO						506,30	364,43	870,73
COXIXOLA					103,77	183,40	115,78	402,95
CUBATI					488,97	681,00	426,66	1596,63
DAMIÃO						326,80	262,20	589,00
ESPERANÇA				208,63	7,05		3386,01	3601,69
FAGUNDES						529,39	607,40	1136,79
FREI MARTINHO						260,60	164,81	425,41
GADO BRAVO			104,13	317,94	251,33	233,30	142,88	1049,58
GURJÃO						253,47	108,29	361,76
INGÁ							650,39	650,39
ITATUBA			434,34	1100,48	1075,40	1006,80	582,39	4199,41
JUAZEIRINHO						8,52	713,43	721,95
LAGOA SECA		3111,79	4051,50	4117,56	4050,02	3949,90	2627,80	21908,57
LIVRAMENTO							57,18	57,18
MASSARANDUBA					734,72	1321,50	897,14	2953,36
MATINHAS						133,30	127,66	260,96
MONTADAS	346,32	811,97	852,88	895,80	890,92	937,60	566,20	5301,69
NOVA FLORESTA						195,83	694,63	890,46
NOVA PALMEIRA						380,50	296,00	676,50
OLIVEDOS						146,80	187,99	334,79
OROBÓ						26,52	1614,66	1641,18
OURO VELHO						230,90	214,20	445,10
PARARI							87,28	87,28
PEDRA LAVRADA					24,69	377,70	345,04	747,43
PICUÍ							44,68	44,68
PRATA						292,61	388,50	946,72
PUXINANÁ	615,79	1336,35	1219,03	1483,41	1447,67	1436,10	878,46	8416,81
QUEIMADAS				4645,03	9443,35	9138,00	5178,31	28404,69
REMÍGIO							487,53	487,53
R. DE Sº ANTÔNIO					140,90	228,30	135,33	504,53
R. DO BACAMARTE				56,77	478,86	303,10	324,61	1163,34
SALGADINHO						10,85	139,28	150,13
S. DE SÃO FÉLIX.					59,73	616,60		676,33
SANTA CECÍLIA			113,84	274,98	363,12	325,86	366,96	1444,76
SANTO ANDRÉ							14,67	14,67
S. D. DO CARIRI						25,16	150,51	175,67
S. JOÃO DO CARIRI						337,20	324,13	661,33
S. JOSÉ DOS CORDEIROS						29,26	218,46	247,72
S. S. D. L. DE ROÇA						283,72	731,92	1015,64

Continua na próxima página

Tabela 1 – Continuação da tabela

Ano	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	TOTAL
SERRA REDONDA					131,23	271,80	474,75	877,78
SOLEDADE						394,52	972,95	1367,47
SOSSEGO						291,30	196,08	487,38
TAPEROÁ							529,67	529,67
UMBUZEIRO							185,93	185,93
COMPLEMENTO						13175,34	7227,06	20402,40
TOTAL (t)	68649,77	182887,79	175540,68	181609,37	187503,74	212201,55	148715,5	1157108,44

Fim da tabela

Fonte: Autoria própria (2021)

Mesmo com o aumento do número de municípios realizando sua disposição de RSU no ASCG não houve aumento proporcional a quantidade de resíduos dispostos. As informações contidas na Tabela 2 é sobre a disposição dos RSU por empresas privadas que também cresceram em numero, mas nem sempre no quantitativo de resíduos dispostos ao longo do período em estudo.

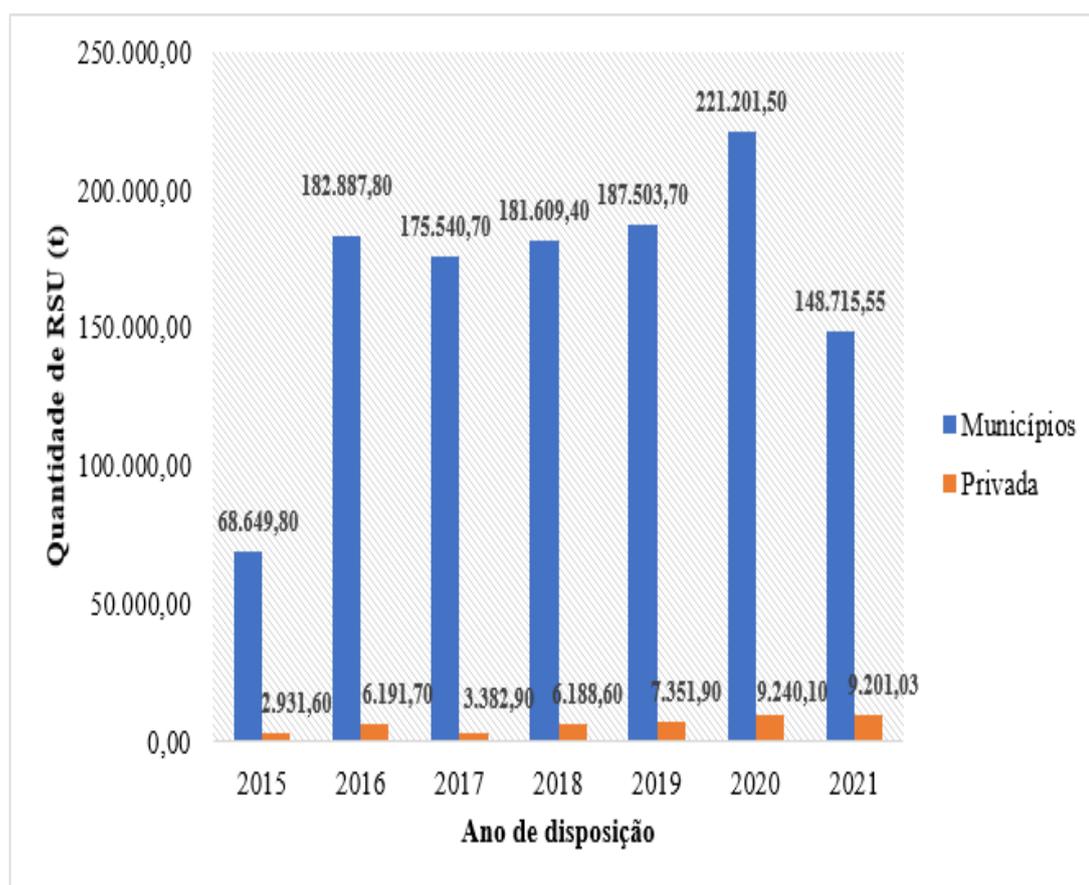
Tabela 2 – RSU disposto no ASCG por empresas privadas no período de 2015 a 2021

Ano	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	TOTAL
RSU(t)	2931,65	6191,70	3382,89	6188,61	7351,88	9240,10	9201,03	44487,86

Fonte: Autoria própria (2021)

De acordo com as informações contidas nas tabelas 1 e 2, constata-se que a disposição de RSU dos municípios é bem maior do que a disposição de RSU realizada pelas empresas privadas no ASCG dentre o período avaliado até por se tratar de quantitativo de pessoas descartando os resíduos e também o que se é utilizado pelas empresas. Em forma de comparar e compreender as informações contidas nessas tabelas, o gráfico que se encontra na Figura 13 traz-nos essa interpretação:

Figura 13 – Disposição de RSU no ASCG por Municípios e Empresas Privadas de 2015 a 2021



Fonte: Autoria própria (2021)

De modo que se tem à disposição de RSU pelos municípios, a Tabela 3 informa sobre as médias diárias dos municípios em relação aos anos do estudo e sua disposição no ASCG. O que se pode perceber é que as médias variam e em alguns anos até se tornam menores, citando então que os programas de coleta seletiva, a reciclagem pode estar auxiliando tais municípios em relação à destinação final de seus RSU. No que se refere ao município de Campina Grande, existem alguns projetos com coleta seletivo, ao exemplo do Recicla Campina, a sua proposta é a redução da quantidade dos resíduos sólidos que devem ser encaminhado ao aterro, conforme visto por suas médias dentre os anos a coleta seletiva ainda não está atendendo de forma efetiva com seus objetivos.

Tabela 3 – Médias diárias de RSU dos municípios por disposição no ASCG

Ano	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	TOTAL
MUNICÍPIOS	t	t	t	t	t	t	t	t
ALAGOA NOVA							4,55	4,55
ALCANTIL							1,21	1,21
AMPARO						0,01	0,09	0,04
AREIA			2,77	9,87	9,88	8,99	7,83	7,86
A. DE BARAÚNAS							0,23	0,23

Continua na próxima página

Tabela 3 – Continuação da tabela

Ano	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	TOTAL
AREIAL						0,05	2,38	1,21
ASSUNÇÃO							1,21	1,21
BARAÚNA					0,10	1,42	1,22	0,91
B. DE SANTA ROSA						1,17	1,00	1,08
BARRA DE SANTANA			0,68	0,98	1,00	0,93	1,00	0,91
BOA VISTA	1,72	1,78	1,66	1,74	1,73	1,91	1,78	1,76
CABACEIRAS							0,66	0,66
CAMALAU						0,68	1,62	1,15
CAMPINA GRANDE	416,10	483,54	457,24	449,08	446,25	458,16	444,72	450,72
CARAÚBAS						0,04	0,66	0,35
CASINHAS							2,07	2,07
CONGO						1,38	1,49	1,43
COXIXOLA					0,28	0,50	0,47	0,41
CUBATI					1,34	1,86	1,75	1,65
DAMIÃO						0,89	1,07	0,98
ESPERANÇA				0,57	0,02		13,93	4,84
FAGUNDES						1,44	2,49	1,96
FREI MARTINHO						0,71	0,67	0,69
GADO BRAVO			0,28	0,87	0,69	0,64	0,58	0,61
GURJÃO						0,69	0,44	0,56
INGÁ							2,67	2,67
ITATUBA			1,19	3,02	2,95	2,75	2,41	2,46
JUAZEIRINHO						0,02	2,93	1,47
LAGOA SECA		8,50	11,10	11,28	11,10	10,79	10,81	10,59
LIVRAMENTO							0,23	0,23
MASSARANDUBA					2,01	3,61	3,69	3,10
MATINHAS						0,36	0,52	0,44
MONTADAS	2,13	2,21	2,33	2,45	2,44	2,56	2,33	2,35
NOVA FLORESTA						0,53	2,85	1,69
NOVA PALMEIRA						1,04	1,21	1,12
OLIVEDOS						0,40	0,77	0,58
OROBÓ						0,07	6,64	3,35
OURO VELHO						0,63	0,88	0,75
PARARI							0,36	0,36
PEDRA LAVRADA					0,07	1,03	1,41	0,83
PICUÍ							0,18	0,18
PRATA					0,80	1,06	1,09	0,98
PUXINANÁ	3,80	3,65	3,34	4,06	3,97	3,92	3,6	1 3,76
QUEIMADAS				12,73	25,87	24,96	21,30	21,21
REMÍGIO							2,01	2,01
R. DE Sº ANTÔNIO					0,39	0,62	0,55	0,52
R. DO BACAMARTE				0,16	1,31	0,82	1,33	0,90
SALGADINHO						0,03	0,57	0,30
S. DE SÃO FÉLIX					0,16	1,68		0,92
SANTA CECÍLIA			0,31	0,75	0,99	0,89	1,51	0,89
SANTO ANDRÉ							0,06	0,06
SÃO D. DO CARIRI						0,07	0,62	0,34
SÃO J. DO CARIRI						0,92	1,33	1,12
SÃO J. DOS CORDEIROS						0,08	0,89	0,48
SÃO S. D. L. DE ROÇA						0,77	3,01	1,89
SERRA REDONDA					0,36	0,74	1,95	1,01
SOLEDADE						1,07	4,00	2,53
SOSSEGO						0,79	0,81	0,80
TAPEROÁ							0,95	0,95
UMBUZEIRO							0,76	0,76
TOTAL (t)	423,76	499,69	480,93	497,56	513,71	543,78	581,36	505,82

Fim da tabela

Fonte: Autoria própria (2021)

Para as médias anuais, verificou-se os dias desde o início do ASCG em 2015, que foi no dia 23 de julho para esse ano. Utilizamos o número de dias para fazer sua média, para os anos 2016 e 2020 acrescentamos um dia a mais por serem anos bissextos e para a média geral dentre o período observado somamos a quantidade de dias e fez-se os cálculos necessários.

A maior média anual é a do ano 2021 com o recebimento diário de RSU de 649,86 (t/d) mesmo sendo oito meses do ano referido já possui o maior valor dentre os anos analisados. Pode-se citar esse aumento na disposição do ASCG as iniciativas do MPPB para serem regularizadas a forma de disposição dos municípios em cumprimento da PNRS, tal como o período pandêmico e gerou-se um número maior de RSU. A menor ficou com o ano de 2015 que além de ser o primeiro ano do ASCG contém apenas 162 dias de disposição. A média diária de RSU dispostos no ASCG entre os anos 2015 a 2021 é de 532,49 (t/d). A Tabela 4 consta todas as médias anuais, observe que a quantidade de resíduos sólidos recebida no aterro sanitário majorou 57,7% de 2015 a 2021, mas o número de municípios aumentou 1400%.

Tabela 4 – Médias anuais dos RSU dispostos no ASCG dentre os anos de 2015 a 2021

Ano	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Média(t/d)	417,41	516,61	490,20	514,51	533,85	605,03	649,86

Fonte: Autoria própria (2021)

5.2 Medidas Descritivas dos RSU no ASCG

Os dados em estudo encontram-se agrupados de forma mensal, podendo-se observar os valores referentes a cada mês do período dos anos 2015 (agosto) a 2021 (agosto) na Tabela 5:

Tabela 5 – Dados mensais dos RSU dispostos no ASCG dentre agosto de 2015 a agosto de 2021

Meses	ANOS						
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Jan		14422,19	17930,58	16097,39	18358,33	17505,03	20532,52
Fev		13579,14	13020,24	14158,52	16342,45	15727,68	19493,80
Mar		14401,50	14441,69	15335,03	17199,41	18275,36	19549,44
Abr		14396,86	13294,15	15367,84	17077,07	16952,53	18778,24
Mai		13898,82	14606,82	15425,55	17033,38	18037,54	19320,13
Jun		15860,99	15985,67	15738,94	15119,31	19824,95	20754,01
Jul		15476,75	15506,44	14901,50	16739,06	20011,44	20462,91
Ago	13808,35	16112,92	15034,27	15382,84	16197,37	18287,77	19025,53
Set	14171,93	16335,45	14591,60	15150,92	14618,73	18502,65	
Out	14929,87	17840,53	13990,35	16448,86	14910,57	18935,86	
Nov	13403,61	17590,77	15148,72	16751,28	14680,92	17969,73	
Dez	15140,51	19163,55	15373,03	17039,31	16579,02	21411,10	

Fonte: Autoria própria (2021)

No ano de 2015, os dados iniciam-se a partir do mês de agosto optamos por utilizar esse mês de referência por ter apenas sete dias de disposição em julho de 2015. O valor era muito baixo por se tratar do início do ASCG, por esse motivo não utilizou-se o mês de julho de 2015 para a modelagem da série temporal. A análise ficou dentre os meses de agosto de 2015 a agosto de 2021 (73 meses), ou seja, seis anos de disposição de RSU no ASCG.

Um dos pontos mais importantes em uma análise de dados é a estatística descritiva. O objetivo desta fase é resumir, explorar e conhecer melhor nosso conjunto de dados em estudo. Na sessão anterior, descreve-se de modo geral os dados para conhecimentos prévios, agora tem-se detalhes para que se possa prosseguir com as análises e por fim modelar a série temporal.

O conjunto de dados é composto de 73 observações, sendo elas o total de RSU dispostos no ASCG, mês a mês. O mínimo de RSU depositado mensalmente nos anos em estudo foi de 13020,24 (t) e o máximo foi de 21411,10 (t). A média de RSU dispostos foi de 16458,48 (t), enquanto que a mediana foi de 16097,39 (t). O coeficiente de variação sobre a variabilidade dos dados (13%) aponta que os dados são homogêneos. Como a assimetria é positiva, e a média é maior que a mediana, tem-se que a cauda do lado direito é maior que a do esquerdo, o que implica em uma concentração de dados ao lado direito da curva de distribuição. Observando o valor da curtose (negativa), sabe-se que a função de distribuição é platicúrtica, isto é, possui uma curva mais achatada que a distribuição normal. As outras estimativas indicam uma variabilidade nos dados.

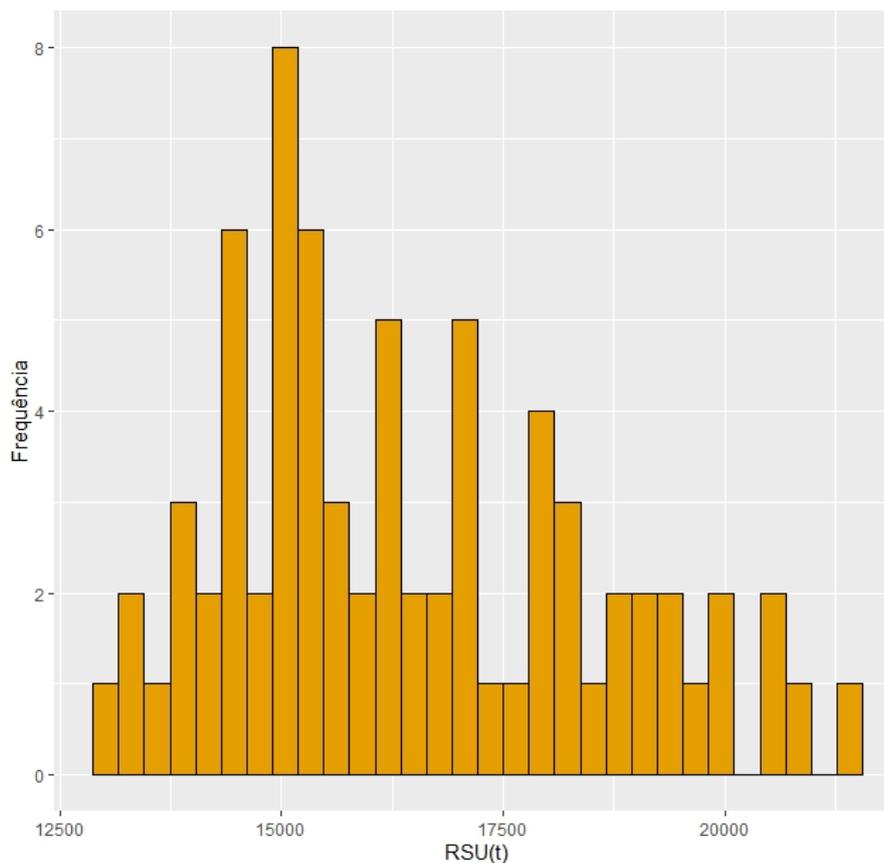
A Tabela 6 informa sobre essas medidas e a Figura 14 mostra o histograma dos dados confirmando o que as medidas descritivas informaram:

Tabela 6 – Medidas descritivas dos RSU dispostos no ASCG no período de agosto de 2015 a agosto de 2021

Medidas descritivas	Valor	Medidas descritivas	Valor
Média (t)	16458,48	Mínimo (t)	13020,24
Desvio-padrão (t)	2059,13	1º Quartil (t)	14910,57
Coeficiente de variação (%)	13,0	Mediana (t)	16097,39
Assimetria	0,49	3º Quartil (t)	17969,73
Curtose	-0,73	Máximo (t)	21411,10

Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 14 – Histograma referente aos RSU dispostos no ASCG

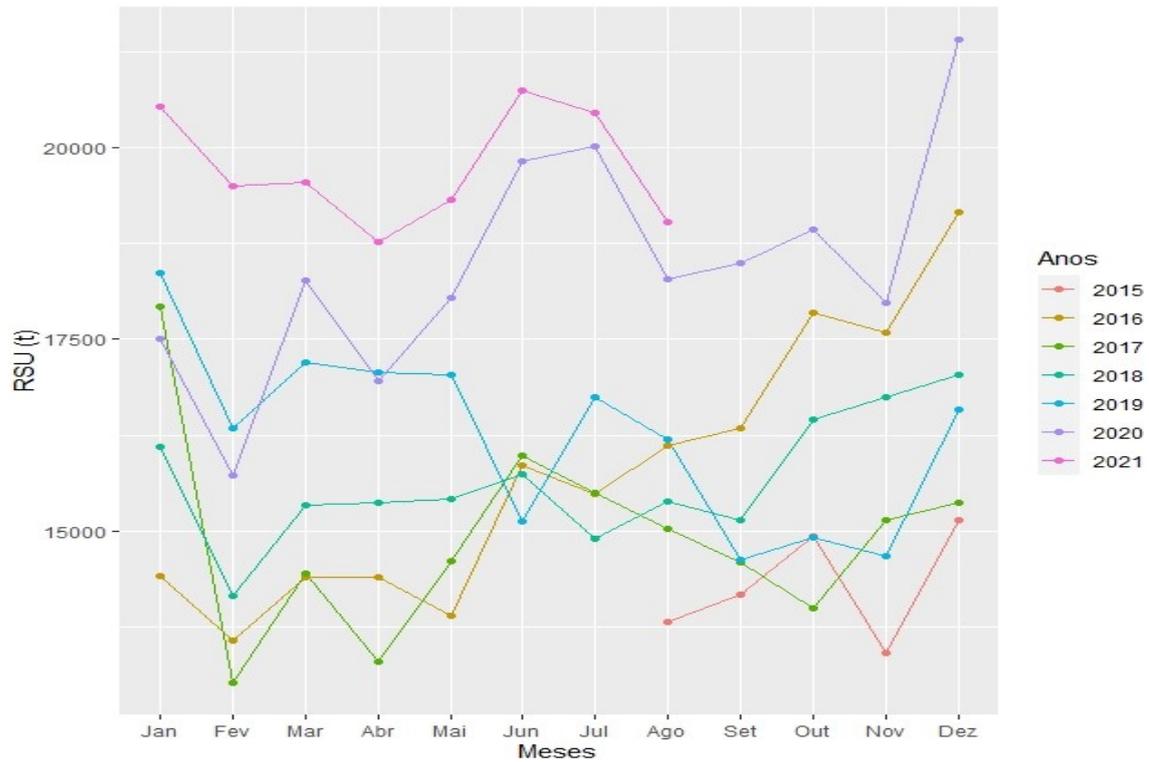


Fonte: Autoria própria (2021)

Esse desempenho inicial é evidente na Figura 15, que facilita a comparação do comportamento dos dados ao longo dos anos. Dentre estes, destaca-se o ano de 2020, com aumento expressivo no número de municípios dispostos os seus resíduos sólidos no aterro sanitário estudado (45 municípios) cresceu bastante em relação aos anos anteriores e continua com esse mesmo destaque para os meses do ano de 2021.

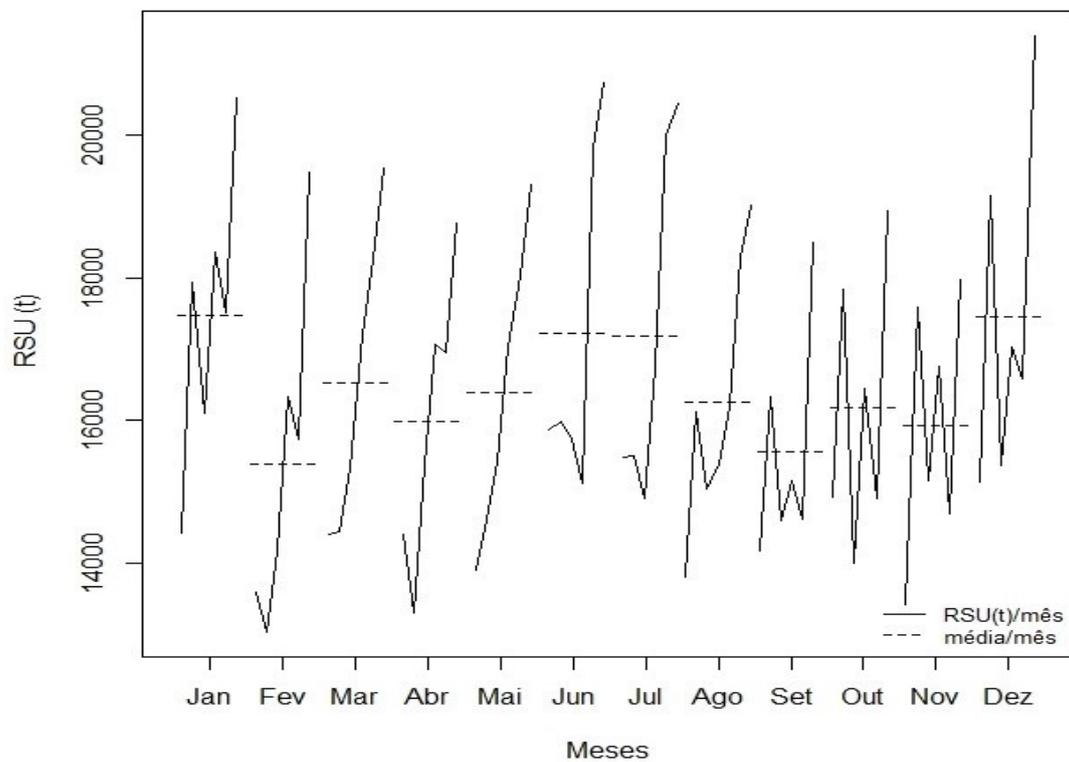
Já na Figura 16, o comportamento em cada mês ao longo dos anos é destacado nas linhas pretas e os tracejados horizontais representam as médias mensais. Assim, verifica-se um aumento nos meses janeiro e dezembro de todos os anos em estudo que são considerados meses com movimentações festivas e férias, tais como os meses de Junho e Julho (São João e férias escolares) apresentam as maiores médias mensais. O mês de fevereiro por ser mais curto e na maioria das vezes o mês de feriado prolongado apresenta menor média dentre os meses pelo fato das habitantes não estarem em seus respectivos municípios.

Figura 15 – Análise do comportamento anual da série ao longo dos meses



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 16 – Análise do comportamento mensal da série ao longo dos anos



Fonte: Autoria própria (2021)

5.3 Modelagem da série temporal dos RSU

Com o conhecimento da descrição dos dados da seção anterior, tem-se agora a série temporal em estudo. Na Figura 17, apresenta-se a série temporal no período compreendido entre agosto/2015 à agosto/2021, pode-se observar que tem tendência e sazonalidade dentre os dados e um aumento na disposição dos RSU no ASCG com o aumento no número de municípios com essa disposição a cada ano, tem-se então uma correlação positiva entre os dados.

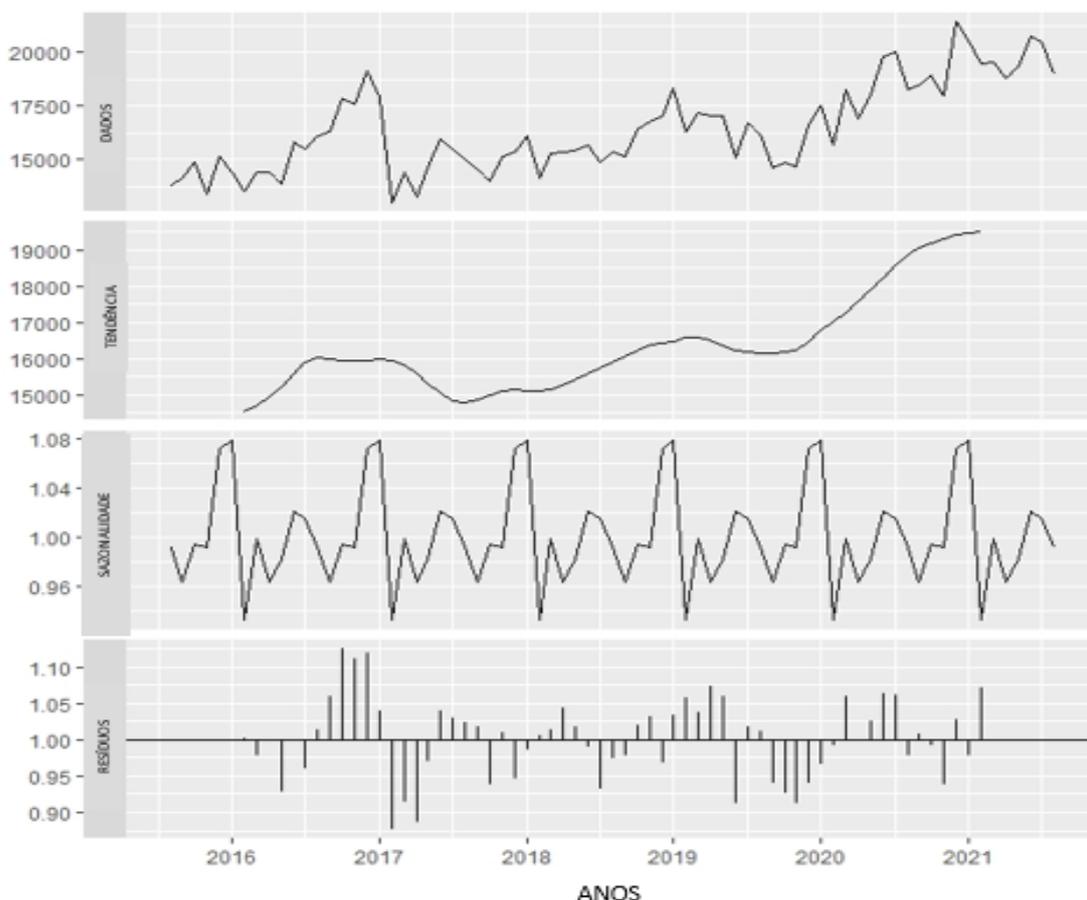
Figura 17 – Análise do comportamento mensal da série temporal dentre os anos de 2015 a 2021



Fonte: Aatoria própria (2021)

As hipóteses que são levantadas sobre a tendência e estacionariedade são analisadas através da realização de testes e para a tendência e sazonalidade também pode-se utilizar a análise gráfica. A Figura 18 traz a série decomposta, que leva a perceber que os dados possuem sazonalidade e também tendência. Na Figura 18 de cima para baixo tem-se os dados observados da série, a tendência, a sazonalidade e o erro (resíduos).

Figura 18 – Decomposição da série



Fonte: Autoria própria (2021)

Realizaram-se dois testes de hipóteses para tendência, a partir do teste de *Cox-Stuart* e também o *Runs Test*. Na Tabela 7 tem-se os respectivos resultado dos testes e suas hipóteses a serem analisadas. Comparando os resultados, como os dois *p*-valor foram menores do que 0,05, ou seja, *p* – valor < 0,05 rejeitando-se assim a hipótese nula de ambos os testes ao nível de 5% de significância, indicando que existe uma tendência nos dados e não foram produzidos de forma aleatória.

Tabela 7 – Testes de Tendência

Teste	Hipótese	P-valor
<i>Cox-Stuart</i>	H_0 : Não há tendência	0,0000696
	H_1 : Há tendência	
<i>Runs Test</i>	H_0 : Os dados foram produzidos de forma aleatória	0,0000000000009048
	H_1 : Os dados não foram produzidos de forma aleatória	

Fonte: Autoria própria (2021)

Para a estacionariedade, realiza-se os testes ADF e KPSS. Na tabela 8 pode-se encontrar as hipóteses dos testes e seus respectivos valores. Como pode-se perceber as hipóteses dos testes são inversas entre si, então com seus resultados para ADF seu *p* – valor > 0,05 indicando assim

a não estacionariedade da série, não rejeitando a hipótese nula ao nível de 5% e rejeitando assim a hipótese alternativa. já para o KPSS, seu $p\text{-valor} < 0,05$, com isso ao nível de 5% de significância rejeita-se a hipótese nula indicando que os dados são não estacionários.

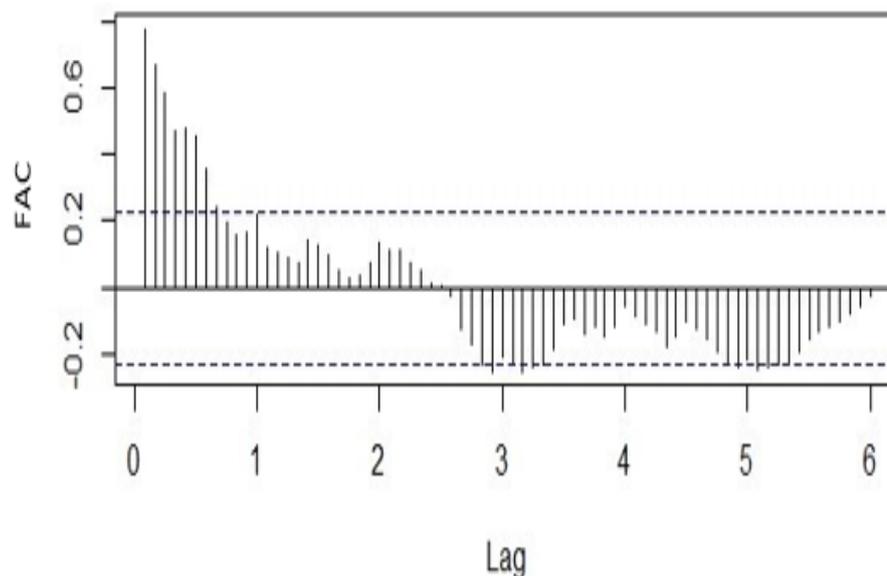
Tabela 8 – Testes de Estacionariedade

Teste	Hipótese	P-valor
ADF	H_0 : Os dados não são estacionários	0,4316
	H_1 : Os dados são estacionários	
KPSS	H_0 : Os dados são estacionários	0,01
	H_1 : Os dados não são estacionários	

Fonte: Autoria própria (2021)

Para melhorar a visualização desses resultados, na Figura 19 verifica-se o FAC amostral. A FAC amostral comprova que a série é não estacionária, pois apresenta um decaimento pra zero lento. Para prosseguir com o ajuste do modelo para as previsões dos RSU no ASCG, deve-se então fazer a diferenciação e assim gerar o modelo ideal.

Figura 19 – FAC amostral

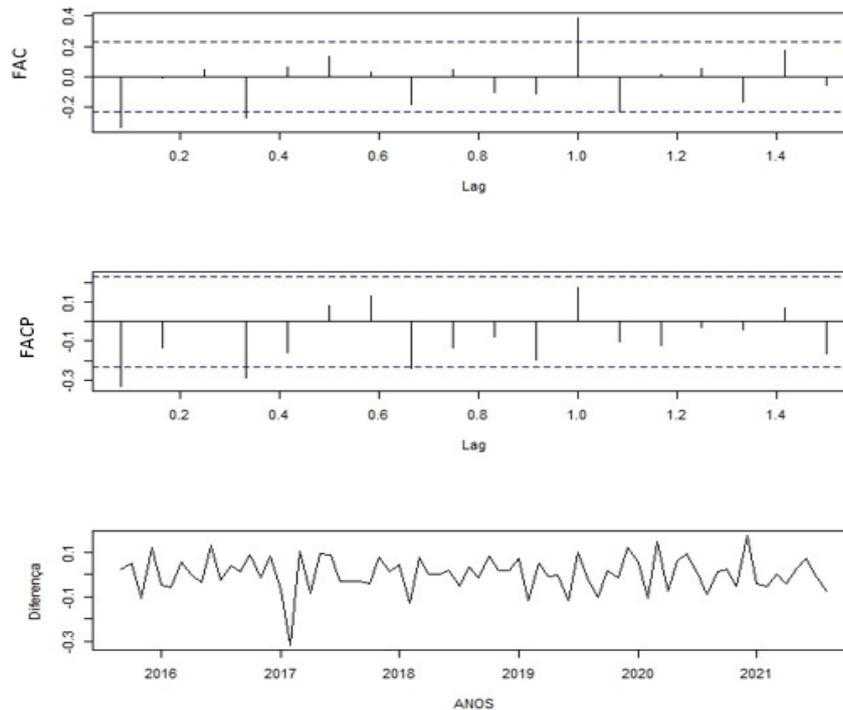


Fonte: Autoria própria (2021)

Com a utilização do programa R verifica-se a quantidade de diferenciações que deve ser realizada para tornar os dados estacionários, que diz ser necessário apenas uma diferenciação. A Figura 20 traz o resultado de como ficam os dados após a diferenciação, na figura de cima para baixo tem-se a FAC, FACP e os dados após a diferenciação nessa respectiva ordem. A FAC da

primeira diferença da série evidencia um decaimento rápido, os picos que aparecem ao longo do gráfico sugerem sazonalidade na série, agora pode-se perceber no terceiro gráfico da Figura 20 que a média fica em torno de 0.

Figura 20 – FAC e FACP e os dados após a diferenciação



Fonte: Autoria própria (2021)

Com a diferenciação realizada, retorna-se aos testes para comprovar a estacionariedade dos dados após a diferenciação. O resultado do teste ADF é que seu $p - valor = 0,01 < 0,05$, ou seja, verificando em suas hipóteses na Tabela 8, rejeita-se a hipótese nula ao nível de 5% de significância confirmando a estacionariedade dos dados. Já no teste KPSS, seu $p - valor = 0,1 > 0,05$ aceitando assim sua hipótese nula que afirma sobre os dados serem estacionários.

Após o conhecimento sobre o comportamento da série e suas características e a preparação dos dados, para auxiliar na tomada de decisão de qual modelo aplicar para a previsão dos dados. Ajusta-se agora o modelo para que forneça maiores informações com o menor erro possível e que auxilie a tomada de decisões futuras sobre ASCG.

5.4 Ajuste ARIMA

Para a construção do modelo ARIMA segue-se as fases descritas no modelo de Box et al. (2015). Na primeira fase buscou-se por um modelo SARIMA, que conta com a presença de termos sazonais, já que os dados constam sazonalidade, utilizou-se a transformação nos dados de modo logarítmica para atender as especificações do modelo.

Dentre vários modelos testados, na Tabela 9 são apresentados as medidas de AIC e BIC dos modelos que atendem aos pressupostos dos resíduos em relação a ausência de autocorrelação linear, ausência de heterocedasticidade condicional e também a normalidade para critério de escolha para o melhor modelo tipo SARIMA para assim, realizar as previsões com os dados em estudo com menor erro possível.

Tabela 9 – Modelos SARIMA para escolha através dos critérios AIC e BIC

Modelo	Critérios	
	AIC	BIC
$(1, 0, 0) (1, 1, 0)_{12}$	-136,13	-129,8
$(1, 0, 0) (0, 1, 0)_{12}$	-128,26	-124,04
$(0, 1, 0) (1, 1, 0)_{12}$	-129,90	-125,72
$(0, 1, 0) (0, 1, 0)_{12}$	-122,13	-120,04
$(0, 0, 1) (1, 1, 1)_{12}$	-108,38	-99,94
$(0, 0, 1) (1, 1, 0)_{12}$	-107,20	-100,86

Fonte: Autoria própria (2021)

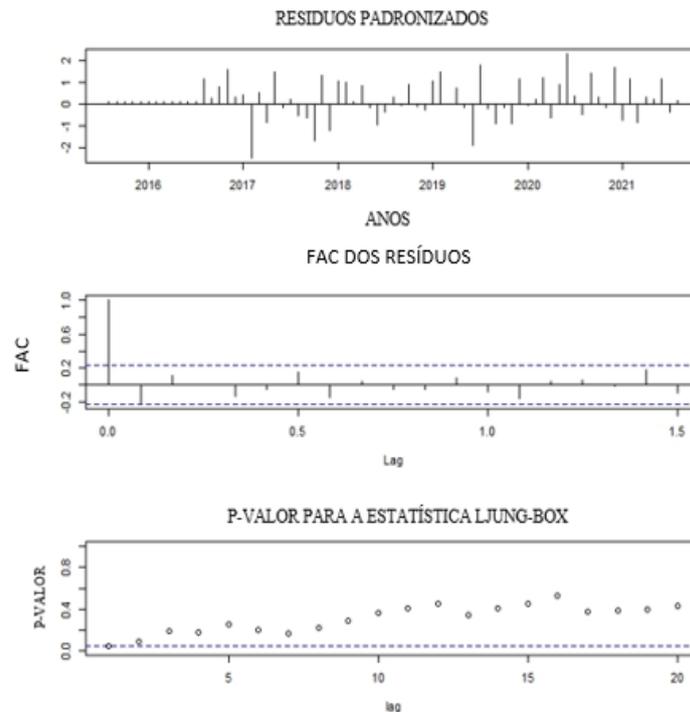
O modelo escolhido é aquele que possui as menores medidas, como se encontra em destaque na Tabela 9 o modelo SARIMA(1, 0, 0)(1, 1, 0)₁₂. Os parâmetros estimados para esse modelo se encontra na Tabela 10 a seguir.

Tabela 10 – Parâmetros estimados do modelo SARIMA (1, 0, 0)(1, 1, 0)₁₂

SARIMA	Parâmetros	Estimativa	Desvio-padrão
$(1, 0, 0) (1, 1, 0)_{12}$	ϕ_1	0.7917	0.0777
	Φ_1	-0.4271	0.1239

Fonte: Autoria própria (2021)

Para verificar a adequabilidade do modelo, plota-se os diagnósticos, ilustrados na Figura 21. O que pode se verificar é que não se observa defasagens significativas, indicando que os resíduos são não-correlacionados, para confirmar tais informações realiza-se testes que se possa indicar que as características dos resíduos do modelo escolhido para os dados em estudo sejam adequadas.

Figura 21 – Diagnóstico dos resíduos com ajuste do modelo SARIMA(1,0,0)(1,1,0)₁₂

Fonte: Autoria própria (2021)

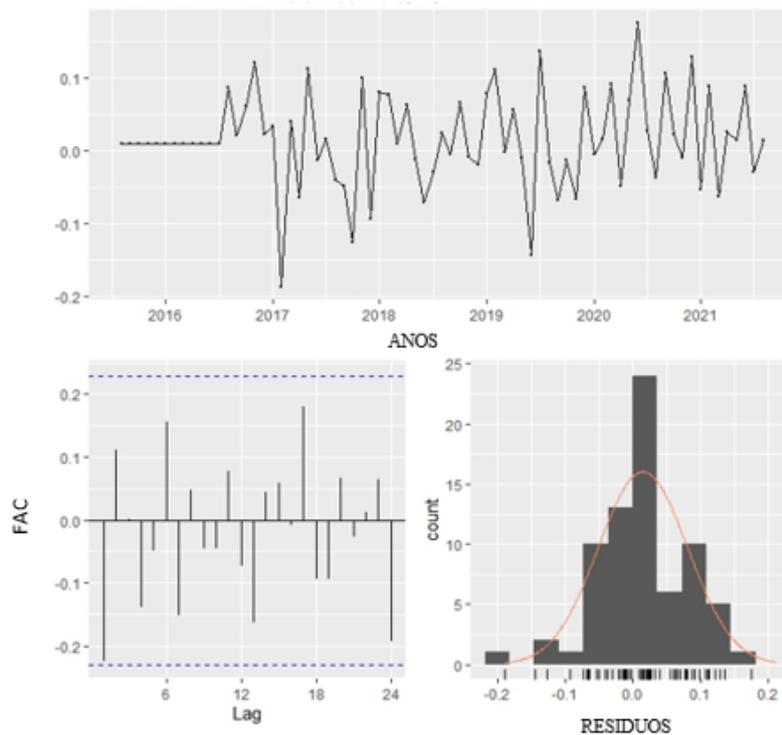
Realizando-se os testes, o primeiro foi o *Ljung-Box* que verifica se existe autocorrelação, sua hipótese nula indica que os resíduos são distribuídos independentemente. Com *p – valor* $0,279 > 0,05$ o resultado do teste *Ljung-Box* mostra que, ao nível de 5% de significância não rejeitamos a hipótese nula de não existência de autocorrelação serial até o lag 25.

Segundo o teste, *ArchTest*, realiza testes para verificar a heterocedasticidade condicional em uma série temporal, sua hipótese nula é que não há presença de efeito *ARCH* (trata da estacionariedade da variância). Dessa modo, dado o *p – valor* obtido $0,401 > 0,05$, não rejeita-se a hipótese nula da estacionariedade da variância.

Para o teste de normalidade, utilizamos o teste *Jarque-Bera* para a hipótese composta de normalidade, com *p – valor* $0,252 > 0,05$ através dos resultados que a 5% de significância não se rejeita a hipótese nula de normalidade. Trazendo também o teste de *Shapiro-Wilk*, o *p – valor* $0,401 > 0,05$, com 5% de significância podemos afirmar que os resíduos seguem uma distribuição normal.

Por fim, a média (0,0149) e a variância (0,0043) estão próximas de zero, então pode-se dizer que se ajustou um bom modelo para prever os RSU a serem dispostos no ASCG ao longo dos anos.

Na Figura 22 tem-se a visualização dos resultados dos testes, como também a confirmação dos pressupostos, não consegue-se perceber nenhum padrão aparente, o FAC não há significância, e através do histograma, tem-se a impressão que os resíduos estão normalmente distribuídos.

Figura 22 – Resíduos do modelo SARIMA(1,0,0)(1,1,0)₁₂

Fonte: Autoria própria (2021)

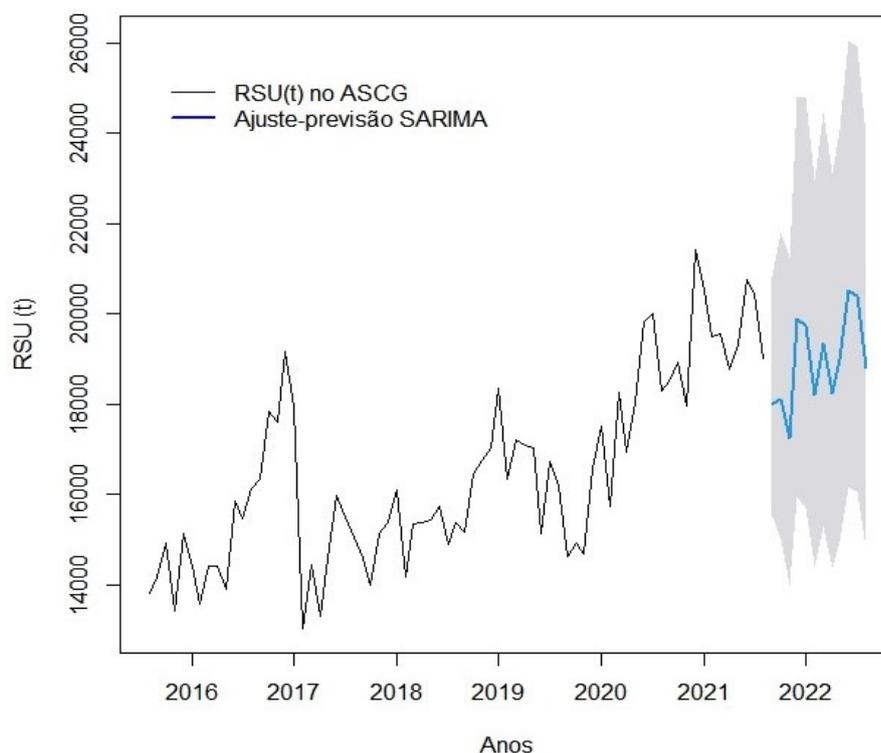
Com os pressupostos atendidos ao passo a passo indicado pela metodologia de Box et al. (2015), na Tabela 12 encontra-se o resultado da previsão para os próximos 12 meses, e o que se pode perceber é que o valor máximo a ser atingido por essa disposição no ASCG é no mês de junho/22 que é de 26071, 63 (t) dentro o intervalo de confiança. Todos os valores na coluna de máximo passam das 20 mil toneladas a serem dispostas, o que se remete ao crescimento que vem se consolidando ao passar dos anos no ASCG. Para a de ilustração dessa previsão tem-se a Figura 23.

Visualmente o modelo ajustado SARIMA (1,0,0)(1,1,0)₁₂ aparentemente acompanha a série em estudo e pode ser utilizado para tomada de decisões para o ASCG, como aumentar/diminuir o número de municípios/empresas privadas pelo quantitativo de seus RSU dispostos, sabendo assim, sobre sua capacidade e o que se pode fazer para tentar diminuir impactos que porventura venham a ser gerados.

Tabela 11 – Previsão dos dados para os próximos 12 meses com o modelo SARIMA (1,0,0)(1,1,0)₁₂

Mês	Mínimo	Previsão	Máximo
Set/21	15534,45	17986,94	20826,61
Out/21	15018,93	18106,62	21829,11
Nov/21	14004,65	17248,32	21243,26
Dez/21	15957,40	19897,31	24809,98
Jan/22	15709,37	19733,39	24788,18
Fev/22	14416,22	18190,93	22954,00
Mar/22	15281,32	19336,33	24467,38
Abr/22	14382,93	18231,05	23108,73
Mai/22	14951,62	18972,33	24074,26
Jun/22	16170,51	20532,82	26071,93
Jul/22	16068,04	20411,29	25928,54
Ago/22	14804,27	18810,87	23901,82

Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 23 – Previsão para os próximos 12 meses com o modelo SARIMA(1,0,0)(1,1,0)₁₂

Fonte: Autoria própria (2021)

Outros modelos podem ser testados para analisar dados ao longo do tempo tais como os trabalhos de Xu et al. (2013), Denafas et al. (2014) e Merelles et al. (2019) que utilizaram as séries temporais para realizar as previsões de RSU. Já Abdoli et al. (2012) fez uso da regressão e das redes neurais para tal previsão. Nesse trabalho, não foram utilizadas redes neurais pelo pequeno banco de dados do ASCG, por conter apenas seis anos de funcionamento.

5.5 População atendida pela coleta de RSU

Para estimar o percentual da população atendida pela coleta de RSU nos municípios que dispõe seus RSU no ASCG, precisa-se de algumas informações sobre o quantitativo da população urbana e total do município em referência, essas informações são extraídas do banco de dados do IBGE como também do diagnóstico anual do SNIS. Os cálculos tem como base as equações 1 e 2.

A Tabela 13 indica essas informações e o percentual de cobertura para os municípios de disposição no ASCG, em relação a população total e também a urbana. O ano base para essas estimativas é o de 2020, através das informações obtidas pelo IBGE e também pelo SNIS conseguiu-se obter as estimativas de alguns municípios que não realizavam sua disposição no ASCG.

O percentual de atendimento em relação à coleta de RSU varia-se desde os 10% até 100% de cobertura em relação a população total atendida pelos municípios segundo o que cada prefeitura declara em seus documentos e base de dados oficiais. No qual se pode afirmar da população urbana, varia o percentual dentre 52,5% a 100% de cobertura. Sabe-se que essas medidas são estimativas e se baseiam nos documentos que são de acesso livre à população.

Tabela 12 – Percentual da população total e urbana atendida pela coleta de RSU (2020)

Município	PT_A	PT_A^*	%	PU_A	PU_A^*	%
ALAGOA NOVA	10.251	20.921	49,0	10.251	10.411	98,5
ALCANTIL	2.170	5.509	39,4	2.170	2.170	100,0
AMPARO	1.145	2.251	50,9	1.145	1.145	100,0
AREIA	13.800	22.656	60,9	11.000	13.879	79,3
AREIA DE BARAÚNAS	800	2.116	37,8	800	1.117	71,6
AREIAL	4.996	7.027	71,1	4.996	4.996	100,0
ASSUNÇÃO	3.223	4.029	80,0	3.223	3.256	99,0
BARAÚNA	3.749	4.964	75,5	3.749	3.749	100,0
BARRA DE SANTA ROSA	8.709	15.497	56,2	8.709	8.709	100,0
BARRA DE SANTANA	2.546	8.349	30,5	734	744	98,7
BOA VISTA	3.633	7.136	51,0	3.633	3.676	98,8
CABACEIRAS	2.993	5.661	52,9	2.493	2.493	100,0
CAMALAÚ	3.029	6.031	50,2	3.029	3.029	100,0
CAMPINA GRANDE	391.217	411.807	95,0	387.099	392.560	98,6
CARAÚBAS	2.035	4.185	48,6	1.628	1.628	100,0
CASINHAS*	7.000	14.368	48,7	1.779	1.779	100,0
CONGO	3.005	4.787	62,8	3.005	3.005	100,0
COXIXOLA	854	1.935	44,1	854	854	100,0

Continua na próxima página

Tabela 12 – Continuação da tabela

Município	P_{TA}	P_{TA}^*	%	P_{UA}	P_{UA}^*	%
CUBATI	5.440	7.832	69,5	5.440	5.440	100,0
DAMIÃO	3.000	5.370	56,0	2.497	2.497	100,0
ESPERANÇA	33.199	33.199	100,0	23.095	23.095	100,0
FAGUNDES	5.392	11.215	48,1	5.355	5.374	99,6
FREI MARTINHO	2.000	2.989	66,9	1.842	1.842	100,0
GADO BRAVO	897	8.303	10,8	897	900	99,6
GURJÃO	2.326	3.453	67,4	2.326	2.326	100,0
INGÁ	11.430	18.144	63,0	11.430	11.576	98,7
ITATUBA	6.389	11.016	58,0	6.389	6.431	99,3
JUAZEIRINHO	9.950	18.298	54,4	9.950	9.952	99,9
LAGOA SECA	11.267	27.617	40,8	11.267	11.271	99,9
LIVRAMENTO	4.000	7.265	55,0	2.000	3.805	52,5
MASSARANDUBA	8.000	13.998	57,1	4.500	4.865	92,5
MATINHAS	2.200	4.515	48,7	700	713	98,2
MONTADAS	5.700	5.738	99,3	3.629	3.629	100,0
NOVA FLORESTA	7.962	10.626	74,9	7.962	7.962	100,0
NOVA PALMEIRA	2.902	4.959	58,1	2.000	2.902	68,1
OLIVEDOS	2.077	3.961	52,4	2.077	2.077	100,0
OROBÓ*	15.690	23.935	65,5	8.613	8.613	100,0
OURO VELHO	2.300	3.046	75,5	2.129	2.129	100,0
PARARI	978	1.758	55,6	978	978	100,0
PEDRA LAVRADA	3.249	7.899	41,1	3.249	3.249	100,0
PICUÍ	12.451	18.720	66,5	12.451	12.451	100,0
PRATA	3.390	4.238	80,0	2.688	2.688	100,0
PUXINANÁ	4.484	13.741	32,6	4.484	4.484	100,0
QUEIMADAS	37.300	44.179	84,4	23.932	23.932	100,0
REMÍGIO	15.886	19.798	80,2	14.586	14.586	100,0
RIACHO DE S. ANTONIO	1.360	1.974	68,9	1.360	1.360	100,0
RIACHÃO DO BACAMARTE	2.836	4.541	62,4	2.836	2.836	100,0
SALGADINHO	2.555	3.931	65,0	1.348	1.348	100,0
SALGADO DE SÃO FÉLIX	6.500	12.131	54,0	3.500	5.318	65,8
SANTA CECILIA	2.800	6.541	42,8	1.60	1.835	87,2
SANTO ANDRÉ	823	2.509	32,8	823	823	100,0
SÃO DOMINGOS DO CARIRI	1.124	2.630	42,7	1.124	1.124	100,0
SÃO JOÃO DO CARIRI	2.261	4.184	54,0	2.261	2.261	100,0
SÃO JOSÉ DOS CORDEIROS	1.483	3.618	41,0	1.483	1.492	99,3

Continua na próxima página

Tabela 12 – Continuação da tabela

Município	P_{TA}	P_{TA}^*	%	P_{UA}	P_{UA}^*	%
SÃO S. DE LAGOA DE ROÇA	4.949	11.728	42,2	4.949	4.949	100,0
SERRA REDONDA	3.580	7.021	51,1	3.580	3.593	99,6
SOLEDADE	11.175	15.102	74,0	11.175	11.246	99,4
SOSSEGO	1.794	3.594	50,0	1.794	1.794	100,0
TAPEROÁ	9.241	15.441	59,8	9.241	9.241	100,0
UMBUZEIRO	4.241	9.911	42,8	4.241	4.249	99,8

Fim da tabela

*Municípios do estado de Pernambuco,
 P_{TA} =População total atendida declarada pelo município,
 P_{TA}^* =População total atendida (IBGE/SNIS),
 P_{UA} =População urbana atendida declarada pelo município,
 P_{UA}^* =População urbana atendida (IBGE/SNIS)

Fonte: Autoria própria (2021)

Para a geração per capita dos RSU nos municípios que realizam sua disposição no ASCG utilizou-se a Equação 3 para o cálculo dessa geração e as informações sobre as médias utiliza-se a Tabela 3. A Tabela 14 refere-se aos dados dessa geração nos municípios em estudo que dispõem os seus RSU no ASCG. Os dados aqui utilizados foram dos municípios em disposição no ano de 2020, por termos como base os dados oficiais e os que dispusemos no banco de dados em estudo.

O município com maior taxa é Barra de Santana com 1,26 aproximadamente, em destaque que o município só possui 30,5% de população atendida pela coleta de RSU, que é relativamente baixo, como também o quantitativo declarado é bem inferior ao que é gerado. Em segundo lugar vem o município de Campina Grande com 1,18 aproximadamente, Queimadas tem sua taxa de geração aproximada em 1,04.

Sabe-se que ainda existem divergências entre os dados fornecidos pelas prefeituras como também as estimações realizadas por não se ter o censo atualizado. Para se realizar um estudo mais preciso sobre tais medidas seriam necessárias algumas informações como por exemplo se nos municípios possuem o sistema de coleta seletiva dos resíduos sólidos, se o município envia a quantidade mínima para a disposição no aterro sanitário ou até quais as ações que tem sido desenvolvida junto ao poder público com a população dos municípios para que se tenha uma diminuição na geração ou no descarte incorreto de resíduos sólidos.

Tabela 13 – Geração per capita dos RSU (2020)

Município	PU_A	Média(RSU)	t/kg	G_{pc} (kg)
AMPARO	1.145	0,00773	7,73	0,00675
AREIA	11.000	8,99316	8993,16	0,81756
AREIAL	4.996	0,05778	57,78	0,01156
BARAÚNA	3.749	1,42267	1422,67	0,37948
BARRA DE SANTA ROSA	8.709	1,16991	1169,91	0,13433
BARRA DE SANTANA	734	0,92704	927,04	1,26300
BOA VISTA	3.633	1,90819	1908,19	0,52523
CAMALAÚ	3.029	0,68896	688,96	0,22745
CAMPINA GRANDE	387.099	458,16038	458160,38	1,18357
CARAÚBAS	1.628	0,04065	40,65	0,02497
CONGO	3.005	1,38333	1383,33	0,46034
COXIXOLA	854	0,50109	501,09	0,58675
CUBATI	5.440	1,86065	1860,65	0,34203
DAMIÃO	2.497	0,89289	892,89	0,35758
FAGUNDES	5.355	1,44642	1446,42	0,27010
FREI MARTINHO	1.842	0,71202	712,02	0,38654
GADO BRAVO	897	0,63743	637,43	0,71062
GURJÃO	2.326	0,69254	692,54	0,29773
ITATUBA	6.389	2,75081	2750,81	0,43055
JUAZEIRINHO	9.950	0,02327	23,27	0,00233
LAGOA SECA	11.267	10,79207	10792,07	0,95784
MASSARANDUBA	4.500	3,61065	3610,65	0,80236
MATINHAS	700	0,36420	364,20	0,52029
MONTADAS	3.629	2,56174	2561,74	0,70591
NOVA FLORESTA	7.962	0,53505	535,05	0,06720
NOVA PALMEIRA	2.000	1,03961	1039,61	0,51980
OLIVEDOS	2.077	0,40109	401,09	0,19311
OURO VELHO	2.129	0,63087	630,87	0,29632
PEDRA LAVRADA	3.249	1,03196	1031,96	0,31762
PRATA	2.688	1,06147	1061,47	0,39489
PUXINANÃ	4.484	3,92377	3923,77	0,87506
QUEIMADAS	23.932	24,96721	24967,21	1,04325
RIACHO DE S. ANTONIO	1.360	0,62377	623,77	0,45865
RIACHÃO DO BACAMARTE	2.836	0,82814	828,14	0,29201
SALGADINHO	1.348	0,02964	29,64	0,02199
SALGADO DE SÃO FÉLIX	3.500	1,68469	1684,69	0,48134

Continua na próxima página

Tabela 13 – Continuação da tabela

Município	PU_A	Média(RSU)	t/kg	G_{pc}
SANTA CECILIA	1.600	0,89032	890,32	0,55645
SÃO DOMINGOS DO CARIRI	1.124	0,06874	68,74	0,06115
SÃO JOÃO DO CARIRI	2.261	0,92131	921,31	0,40747
SÃO JOSÉ DOS CORDEIROS	1.483	0,07994	79,94	0,05390
SÃO S. DE LAGOA DE ROÇA	4.949	0,77519	775,19	0,15663
SERRA REDONDA	3.580	0,74262	742,62	0,20743
SOLEDADE	11.175	1,07792	1077,92	0,09645
SOSSEGO	1.794	0,79590	795,90	0,44364

Fim da tabela

PU_A =População urbana atendida declarada pelo município,

t/kg= tonelada para kilo,

G_{pc} =Geração per capita dos RSU.

Fonte: Autoria própria (2021)

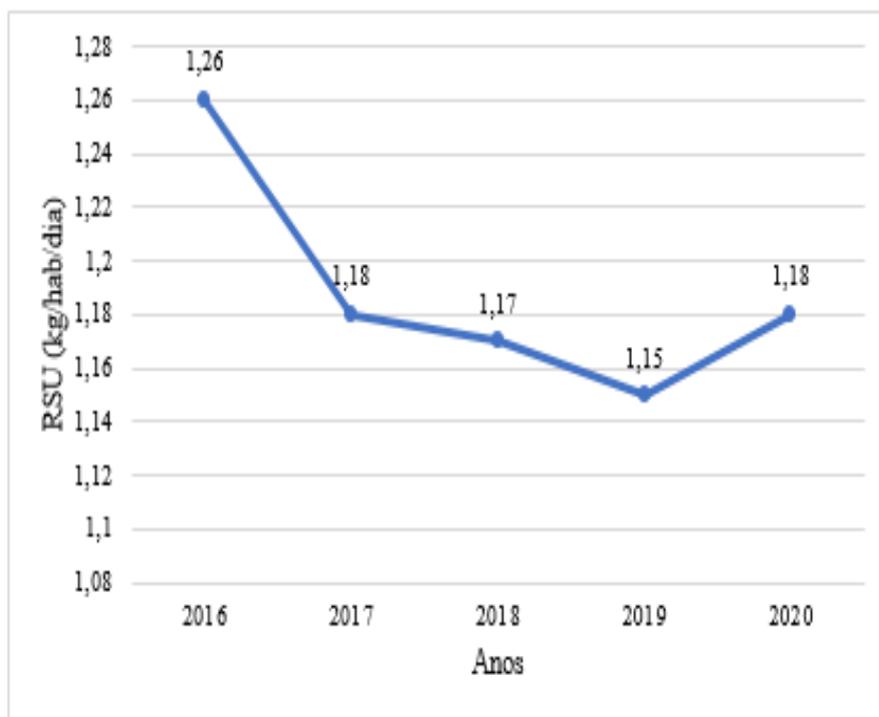
Entre os 60 municípios que dispõe seus resíduos no aterro sanitário em estudo, 57 deles contém menos de 20 mil habitantes. A zona rural por muitas das vezes não é contemplada pelos municípios pelo sistema de coleta dos resíduos sólidos, ou seja, não são contempladas pelo princípio da universalidade que deve então ofertar os serviços a todos os cidadãos já que a população da zona rural também tem direito aos mesmos serviços que são ofertados a população da zona urbana. Para a confirmação dessa afirmação, basta comparar as estimativas e porcentagens da população destes municípios que cumpre com essa oferta para seus cidadãos.

A geração per capita do município de Campina Grande que dispõe a maior quantidade de RSU no ASCG dos anos de 2016 a 2020 encontramos na Figura 25. Esse período foi escolhido por se ter acesso ao quantitativo de RSU quanto da população urbana atendida pelo município em estudo. O que pode-se perceber é um decaimento nessa geração dos resíduos (podendo ser as iniciativas de coleta seletiva, a conscientização da destinação correta dos resíduos) e o aumento dessa geração é retomado no ano de 2020, ficando até acima da taxa de geração per capita por habitante no Brasil.

Mesmo o ano de 2020 ser marcado pela pandemia da COVID-19, os outros anos também foram números altos, valendo destacar que o município de Campina Grande existe um plano municipal de resíduos sólidos, além do município poder contar com 5 organizações de catadores de materiais recicláveis e possui o projeto em execução denominado Recicla Campina que institucionalizou a coleta seletiva no município e atende à vários bairros. Seria necessário então um estudo com mais dados e que seja apenas para o município em questão para poder auxiliar a prefeitura em ações que poderiam minimizar a geração dos resíduos como também as organizações e o projeto ser de modo mais objetivo e que alcance suas metas.

Desse modo, considerando-se as taxas da geração per capita dentre os anos 2016 a 2020, a geração média per capita média de resíduos do município de Campina Grande é de 1,18 kg/hab/dia.

Figura 24 – Taxa de geração de RSU no município de Campina Grande no período de 2016 a 2020



Fonte: Autoria própria (2021)

No cenário brasileiro segundo ABRELPE (2021) a geração por habitante foi de 390 (kg/ano), ou seja, tem-se a geração diária de 1,07 kg de resíduos por dia. Na região nordeste essa geração diária é de 0,972 kg/hab. Para a coleta de RSU no Brasil temos o valor de 359,3 (kg/hab/ano) e a coleta per capita na região nordeste 288,9 (kg/hab/ano). Com o aumento na geração dos resíduos sólidos, também aumentou a coleta e a cobertura do ano 2020 foi de 92,2%.

Já para a disposição final no Brasil 60,2% dos municípios fazem sua disposição de maneira correta em aterros sanitários enquanto 39,8% realizam de modo inadequado ainda em lixões e aterros controlados ds resíduos coletados. Percebe-se então que existe muito trabalho a ser feito e muitos municípios devem ainda se adequar as leis e normas sobre os resíduos sólidos e sua disposição, tanto quanto criar iniciativas que auxiliem no processo de coleta seletiva para que se tenham melhores indicadores e que se possa ter êxito para os municípios e sua população.

6 CONCLUSÃO

Desde o início do funcionamento do Aterro Sanitário em Campina Grande (ASCG) até os dias analisados nos dados em estudo, pode-se perceber um aumento no número de municípios atendidos em disposição de seus Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) pelo ASCG, passando de 4 (2015) municípios atendidos para 60 (2021) municípios em atendimento pelo aterro sanitário. Esse aumento se dá por diversos motivos, dentre eles o cumprimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que se é necessário os municípios realizarem suas disposições de resíduos sólidos de modo correto e desativando os lixões que porventura os atendiam.

Ao tempo que esses municípios buscam se adequar a lei, o ASCG diminui seu tempo de vida útil recebendo os resíduos de tantos municípios para os quais não se foi projetado, tendo assim de se buscar soluções viáveis para minimizar esses fatores. A geração de RSU dentre os municípios atendidos cresce ao longo dos anos, até pela necessidade do consumo da população em geral. No ano de 2020 percebe-se um aumento (13,17%) em relação aos demais anos por se tratar de um contexto pandêmico que afetou mundialmente por se tratar da Covid-19, onde se houve a necessidade de se utilizar material descartável até pelo aumento do comércio com serviço de entrega a domicílio, mais conhecido como *delivery* tendo assim o aumento do descarte e as iniciativas de reciclagem e coleta seletiva seguindo os documentos oficiais não avançaram objetivamente.

A análise descritiva dos dados em estudo exhibe o comportamento dos RSU dentre o período de disposição agosto/2015 a agosto/2021. Percebeu-se que existem diferenças dentre os meses, alguns fatores externos podem contribuir com esse aumento e também a baixa. Exemplo disso como no mês de janeiro ser mês considerado de férias pode ajudar no aumento de RSU gerado que já vem de um número alto do mês de dezembro por ter festas de fim de ano. Dentre os meses de junho e julho pode-se verificar esse aumento na disposição meses de festejos juninos e férias escolares, do mesmo modo do mês de março. Todos esses meses citados se encontram acima da média mensal.

A série temporal antes de ser ajustada, precisou ser analisada quanto a sua estacionariedade, tendência e também sazonalidade. O programa R foi de grande auxílio para toda essa análise, pois por meio dos pacotes que são do próprio programa que foram utilizados, pode-se chegar a alguns resultados que ajudaram a compreender o comportamento da série temporal em estudo. Em relação ao método de Box e Jenkins, verificou-se um bom ajuste dentre suas etapas analisadas e modelo SARIMA $(1, 0, 0)(1, 1, 0)_{12}$ escolhido por ter todos os pressupostos válidos para seguir a previsão.

Para as médias da geração per capita dos municípios utilizou-se o ano de 2020 como mais atual, alguns municípios tiveram sua geração per capita acima de 1,0 (Barra de Santana, Campina Grande e Queimadas), os demais obtiveram abaixo desse valor observando o número de habitantes de tais municípios atendidos pela coleta de RSU segundo as informações das prefeituras de cada um deles. No município de Campina Grande observa-se aumento dessa

geração, em destaque ano de 2020 pelo contexto da pandemia e acredita-se que continuará em crescimento no ano de 2021 e assim para os demais anos caso não se tenha um planejamento de ação do plano de resíduos sólidos do município como também o projeto e as associações realizarem seus trabalhos de modo mais objetivo que alcance a população.

A média da geração per capita dos municípios que dispõem seus resíduos sólidos no ASCG é de 0,4170 kg. A quantidade média diária de resíduos sólidos diariamente no aterro é de 532,49 (t) onde o ASCG foi projetado inicialmente para o recebimento de 350 (t), o quantitativo está bem maior do qual se foi projetado tendo assim de se buscar alternativas para ajustar tal recebimento sem ocasionar danos na quantidade de anos de vida útil do aterro sanitário.

Sabendo-se que pode-se aprofundar ainda mais sobre a temática e utilizar-se de outros recursos tecnológicos com auxílio de algumas outras variáveis que possam ser inclusas e validadas para obtenção de êxito e assim poder ajudar no sentido da disposição dos RSU como também para auxiliar na tomada de decisão sobre o tempo de vida útil do ASCG e assim se ter alternativas para o gerenciamento dos RSU no aterro sanitário. A indicação é que o número de municípios atendidos seja encerrado nos que já se tem a fim de preservar o tempo de vida útil do aterro, ou que se busque alternativas para poder minimizar os impactos que esses resíduos sólidos sendo recebidos acima da capacidade ou do que se foi projetado não afete de modo direto no ASCG.

REFERÊNCIAS

- ABBASI, M.; HANANDEH, A. E. Forecasting municipal solid waste generation using artificial intelligence modelling approaches. *Waste management*, Elsevier, v. 56, p. 13–22, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 14.
- ABDOLI, M. A. et al. Longterm forecasting of solid waste generation by the artificial neural networks. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, Wiley Online Library, v. 31, n. 4, p. 628–636, 2012. Citado na página 58.
- ABNT, N. 8419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. *Rio de Janeiro*, 1992. Citado na página 14.
- ABNT, N. 10004: Resíduos sólidos—classificação. *Rio de Janeiro*, p. 9–11, 2004. Citado na página 13.
- ABRELPE, A. Associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais. *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil*, 2015. Citado na página 25.
- ABRELPE, A. Associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais. *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil*, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 23.
- ABRELPE, A. Associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais. *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil*, 2021. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 64.
- AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. In: *Selected Papers of Hirotugu Akaike*. [S.l.]: Springer, 1974. p. 215–222. Citado na página 31.
- ANTENOR, S.; SZIGETHY, L. Resíduos sólidos urbanos no brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos. *Centro de Pesquisa em Ciência, Tecnologia e Sociedade. IPEA*, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 23.
- BOX, G. E. et al. *Time series analysis: forecasting and control*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2015. Citado 5 vezes nas páginas 37, 38, 41, 54 e 57.
- BOX, G. E.; PIERCE, D. A. Distribution of residual autocorrelations in autoregressive-integrated moving average time series models. *Journal of the American statistical Association*, Taylor & Francis, v. 65, n. 332, p. 1509–1526, 1970. Citado na página 38.
- BRASIL, P. *Política nacional de resíduos sólidos*. [S.l.]: Lei, 2010. Citado 5 vezes nas páginas 13, 14, 16, 18 e 19.
- DENAFAS, G. et al. Seasonal variation of municipal solid waste generation and composition in four east european cities. *Resources, conservation and recycling*, Elsevier, v. 89, p. 22–30, 2014. Citado na página 58.
- DOMINGOS, D. d. C.; BOEIRA, S. L. Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos domiciliares: análise do atual cenário no município de florianópolis. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade: GeAS*, Universidade Nove de Julho, v. 4, n. 3, p. 14–30, 2015. Citado na página 21.
- EMILIANO, P. C. Fundamentos e aplicações dos critérios de informação: Akaike e bayesiano. *Universidade Federal de Lavras*, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 32.

- FERREIRA, A. L. Aterro sanitário. *Portal Resíduos Sólidos*, Disponível em: <<https://portalresiduosolidos.com/aterro-sanitario/>>, acesso em 30 de julho de 2020, 2018. Citado na página 26.
- FERREIRA, P. G. C. et al. Análise de séries temporais em r: Curso introdutório. *São Paulo, SP: GEN Atlas*, 2018. Citado na página 30.
- GURJÃO, R. Í. L.; NETO, C. L. de A.; PAIVA, W. de. Avaliação do tempo de vida útil do aterro sanitário em campina grande–pb. 2019. Citado na página 25.
- IBGE. *Perfil dos municípios brasileiros 2020: pesquisa de informações básicas municipais*. [S.l.]: IBGE, 2021. Citado na página 20.
- KIM, V. J. H. *Análise da composição gravimétrica dos resíduos domiciliares de São Carlos (SP)*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2019. Citado na página 17.
- LJUNG, G. M.; BOX, G. E. On a measure of lack of fit in time series models. *Biometrika*, Oxford University Press, v. 65, n. 2, p. 297–303, 1978. Citado na página 38.
- MERELLES, L. R. d. O. et al. Previsão de geração de resíduos sólidos para o aterro de aparecida de goiânia (go) por séries temporais. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, SciELO Brasil, v. 24, p. 537–546, 2019. Citado na página 58.
- MIR, M. A. et al. Application of topsis and vikor improved versions in a multi criteria decision analysis to develop an optimized municipal solid waste management model. *Journal of environmental management*, Elsevier, v. 166, p. 109–115, 2016. Citado na página 20.
- MONTGOMERY, D. C.; JENNINGS, C. L.; KULAHCI, M. *Introduction to time series analysis and forecasting*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2015. Citado na página 35.
- MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. Análise de séries temporais. In: *Análise de séries temporais*. [S.l.: s.n.], 2006. Citado 3 vezes nas páginas 27, 30 e 37.
- MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. *Análise de séries temporais: modelos lineares univariados*. [S.l.]: Editora Blucher, 2018. Citado 3 vezes nas páginas 27, 34 e 36.
- NETO, C. L. d. A. et al. Análise do comportamento dos resíduos sólidos urbanos e desenvolvimento de modelos estatísticos para previsão das deformações de aterros sanitários. Universidade Federal de Campina Grande, 2016. Citado na página 25.
- OLIVEIRA, A. C. A. de. Gestão de resíduos sólidos: uma oportunidade para o desenvolvimento municipal e para as micro e pequenas empresas. Instituto Envolverde: Ruschel & Associados, 2012. Citado na página 16.
- OLIVEIRA, P. Rodrigo da S.; NASCIMENTO, B. L. M. *Proposta de Implantação do Sistema de Coleta Seletiva Urbana da Sede Municipal do Município de Independência, Ceará*. 57 p. Monografia (Especialização) — Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, Ceará, 2018. Citado na página 16.
- QGIS. Qgis geographic information system. qgis association. *QGIS.org*, QGIS Development Team, 2021. Citado 2 vezes nas páginas 39 e 40.
- RELVAS, T. R. S. Previsões com séries temporais: cálculo de coeficientes sazonais com regressão linear. In: *Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC*. [S.l.: s.n.], 1998. Citado na página 28.

- SANTOS, T. B. F. *Coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos em Uberlândia (MG): desafios e possibilidades de boas práticas para uma cidade sustentável*. 127 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador) — Universidade Federal de Uberlândia, 2019. Citado na página 13.
- SCHWARZ, G. et al. Estimating the dimension of a model. *The annals of statistics*, Institute of Mathematical Statistics, v. 6, n. 2, p. 461–464, 1978. Citado na página 32.
- SILVA, C. L. da; BIERNASKI, I. Planejamento e gestão de resíduos sólidos urbanos: um estudo de caso na região metropolitana de belo horizonte à luz da pnrs. *Gestão & Regionalidade*, v. 34, n. 101, 2018. Citado na página 20.
- SILVA, S. P. A organização coletiva de catadores de material reciclável no brasil: dilemas e potencialidades sob a ótica da economia solidária. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2017. Citado na página 20.
- SNIS, S. N. de I. S. S. *Diagnóstico Temático Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos*. 2021. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnosticos>>. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 24.
- SOLTANI, A. et al. Multiple stakeholders in multi-criteria decision-making in the context of municipal solid waste management: a review. *Waste Management*, Elsevier, v. 35, p. 318–328, 2015. Citado na página 20.
- TEAM, R. D. C. *R Core Team*. [S.l.]: R Foundation for Statistical Computing Austria, 2021. Citado na página 41.
- Texas Commission on Environmental Quality. *Wastes That May Be Accepted by Municipal Solid Waste Facilities*. 2020. Disponível em: <https://www.tceq.texas.gov/permitting/waste_permits/msw_permits/msw_types.html>. Acesso em: 16 julho 2020. Citado na página 18.
- VILHENA, A. Lixo municipal. *Manual de Gerenciamento Integrado*, v. 3, p. 241–252, 2018. Citado na página 26.
- XAVIER, J. M. N. *Análise e previsão de séries temporais com modelos ARIMA e análise espectral singular*. Tese (Doutorado), 2016. Citado 7 vezes nas páginas 30, 31, 33, 34, 35, 36 e 37.
- XU, L. et al. A hybrid procedure for msw generation forecasting at multiple time scales in xiamen city, china. *Waste management*, Elsevier, v. 33, n. 6, p. 1324–1331, 2013. Citado na página 58.

APÊNDICE A – SCRIPT R

Script da análise no programa R.

Pacotes necessários:

```
library(ggplot2)
library(gridExtra)
library(seasonal)
library(seasonalview)
library(summarytools)
library(readxl)
library(urca)
library(zoo)
library(lubridate)
library (readr)
library (ts.extend)
library (fpp2)
library (tidyverse)
library (BETS)
library (fpp)
library (tseries)
library (writexl)
```

Trazendo os dados do excel para o R (lembrando que precisa de um comando para localização de pasta):

```
pormes<-read_xlsx("dados.xlsx")
mensal <- ts(pormes$Peso, start = c(2015,08),end = c(2021,08), frequency = 12)
print(mensal)
```

Análise descritiva:

```
mean(mensal)
var(mensal)
cv= 100*sd(mensal)/mean(mensal)
cv
sd(mensal)
```

Histograma:

```
ggplot(mensal, aes(mensal)) + geom_histogram(fill = "E69F00", color = "black") +
ylab("Toneladas") + xlab("Ano") + ggtitle("Histograma dos RSU no ASCG")
```

Gráficos para a série temporal:

```
autoplot(mensal, lty = 3) + geom_line(color="blue") +
geom_point(color = 'magenta') + ggtitle() +
ylab("RSU (t)") + xlab("ANO")
```

```
ggseasonplot(mensal, season.labels=c("Jan", "Fev", "Mar", "Abr", "Mai", "
Jun", "Jul", "Ago", "Set", "Out", "Nov", "Dez")) + geom_point() +
ggtitle() + labs(y="RSU (t)", x="Meses", size="Anos",
color="Anos")
```

```
boxplot ( mensal ~ cycle (mensal), xlab = "Mês ", ylab = ,
col = "orange", main = , par ( fill="E69F00", color="black"))
```

```
ggmonthplot(mensal, labels=c("Jan", "Fev", "Mar", "Abr", "Mai", "Jun", "Ju
l", "Ago", "Set", "Out", "Nov", "Dez")) + ggtitle() + ylab("RSU (t)")
+xlab("Mês")
```

```
monthplot(mensal, ylab="RSU (t)", xlab="Mês",
labels=c("Jan", "Fev", "Mar", "Abr", "Mai", "Jun", "Jul", "Ago", "Set", "Out
", "Nov", "Dez"))
```

Decomposição da série temporal:

```
decomp<-decompose(mensal)
plot(decomp)
decomposicao.ad<-decompose(mensal) aditiva
plot(decomposicao.mult)
decomposicao.mult<-decompose(mensal, type = "multiplicative") multiplicativa
decomposeair = decompose(mensal, "multiplicative")
```

Plotando as decomposições:

```
plot(as.ts(decomposeair$seasonal))
plot(as.ts(decomposeair$trend))
```

```
plot(as.ts(decompose_air$random))  
plot(decompose_air)  
summary(decompose_air$seasonal)  
dec<-decompose(mensal,type="multiplicative")  
autoplot(dec)
```

Treinando e testando os dados:

```
treino<-window(bc_burned,  
frequency=12,start=c(2015,07),end=c(2020,09))  
teste<- window(bc_burned,  
frequency=12,start=c(2020,10),end=c(2021,04))
```

Esses foram os scripts iniciais, porém para todos os gráficos que contém nesse trabalho precisou-se de mais códigos e rotinas.