



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

JOYCE NUNES GALVÃO CAVALCANTE

**MODELO DE PREVISÃO DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS
ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS NO BRASIL**

Recife

2022

JOYCE NUNES GALVÃO CAVALCANTE

**MODELO DE PREVISÃO DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS
ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS NO BRASIL**

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

Área de concentração: Pesquisa Operacional.

Orientadora: Profa. Dra. Máisa Mendonça Silva.

Recife
2022

Catálogo na fonte:
Bibliotecária Sandra Maria Neri Santiago, CRB-4 / 1267

C377m	Cavalcante, Joyce Nunes Galvão. Modelo de previsão de geração de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos no Brasil / Joyce Nunes Galvão Cavalcante. – 2022. 67 f.: il., figs., tabs., abrev. e siglas. Orientadora: Profa. Dra. Máisa Mendonça Silva. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção. Recife, 2022. Inclui referências. 1. Engenharia de produção. 2. Resíduo de equipamento elétrico e eletrônico. 3. Séries temporais. 4. Modelo de previsão. I. Silva, Máisa Mendonça (Orientadora). II. Título. UFPE 658.5 CDD (22. ed.) BCTG/2022-276
-------	--

JOYCE NUNES GALVÃO CAVALCANTE

**MODELO DE PREVISÃO DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS
ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS NO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção. Área de concentração: Pesquisa Operacional.

Aprovada em: 29/04/2022.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Maísa Mendonça Silva (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Denise Dumke de Medeiros (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. João Pinto Cabral Neto (Examinador Externo)
Instituto Federal de Alagoas

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, por ter me concedido força, saúde e sabedoria para chegar até aqui, por me abençoar todos os dias com o seu amor infinito. Sem Ele, eu nada sou.

Aos meus pais e irmãos, que sempre estiveram ao meu lado, torcendo por mim a todo momento.

Ao meu esposo Matheus Ferro, por todo incentivo e paciência. Pela dedicação em me ajudar na caminhada acadêmica. Sua força e amor foram importantes nessa etapa.

A todos os professores que compartilharam seu conhecimento para a minha formação acadêmica, em especial a minha orientadora Dra. Máisa Mendonça, por todo auxílio e atenção proporcionada na elaboração da dissertação.

A CAPES, pelo apoio financeiro concedido para a realização deste trabalho.

RESUMO

Com o advento da evolução tecnológica, ocorreram inúmeras alterações nos hábitos de consumo da população, caracterizando-a como a sociedade contemporânea que efetua aquisição de modo descontrolado e produz resíduos em intervalo de tempo cada vez mais curto. Desta maneira, este estudo tem como objetivo elaborar um modelo de previsão de geração de lixo eletrônico, monitorando os seguintes itens: ar condicionado *split*, ar condicionado de janela, *Blu-ray*, micro-ondas e televisores, fabricados e vendidos no Brasil. Para isso, foram aplicados modelos de previsões tendo como base séries temporais compostas por dados de 5 anos de cada equipamento. A obtenção do modelo mais adequado para utilização teve o apoio da análise do comportamento da demanda, onde observou-se a presença de tendência e sazonalidade nos dados, propiciando o uso do método de *Holt-Winters*. Isto posto, as previsões da geração de REEE (Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos) foram geradas a partir do método *Holt-Winters* Multiplicativo o qual apresentou melhor desempenho em seus resultados em comparação aos demais, ainda, tais projeções tiveram como base a vida útil dos equipamentos em estudo. Desse modo, esta pesquisa poderá possibilitar um planejamento adequado, tanto por meio das empresas fabricantes de produtos eletroeletrônicos, como também o governo, em relação à política de gerenciamentos dos resíduos, levando em consideração a logística reversa e também pontos de coletas assistidos para efetuação da reciclagem dos componentes dos mesmos.

Palavras-chave: resíduo de equipamento elétrico e eletrônico; séries temporais; modelo de previsão.

ABSTRACT

With the advent of technological evolution, there were numerous changes in the population's consumption habits, characterizing it as a contemporary society that makes purchases in an uncontrolled manner and produces waste in an increasingly shorter period of time. Thus, this study aims to develop a forecast model for the generation of electronic waste, monitoring the following items: split air conditioning, window air conditioning, Blu-ray, microwave and televisions, manufactured and sold in Brazil. For this, forecast models were applied based on time series consisting of 5-year data from each equipment. Obtaining the most suitable model for use was supported by the analysis of demand behavior, where the presence of trends and seasonality in the data was observed, enabling the use of the Holt-Winters method. That said, the predictions of the generation of WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment) were generated from the Multiplicative Holt-Winters method, which presented better performance in its results compared to the others, still, such projections were based on the useful life of the equipment under study. In this way, this research may enable an adequate planning, both through the manufacturers of electronic products, as well as the government, in relation to the waste management policy, taking into account the reverse logistics and also assisted collection points for carrying out the recycling of their components.

Keywords: waste electrical and electronic equipment; time series; forecast model.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo Logística Reversa	23
Figura 2 - Fluxograma Metodológico	32
Figura 3 - Demanda de Ar-condicionado <i>Split</i> (2016-2020)	36
Figura 4 - Sazonalidade da demanda de Ar-condicionado <i>Split</i>	37
Figura 5 - Ajuste da série pelo modelo <i>Holt-Winters</i> Multiplicativo	38
Figura 6 – Previsões de demanda método <i>Holt-Winters</i> Multiplicativo (2020-2022)	38
Figura 7 - Demanda de vendas ar-condicionado janela	39
Figura 8 - Sazonalidade da demanda de Ar-condicionado de janela	40
Figura 9 - Ajuste da série pelo modelo <i>Holt-Winters</i> Multiplicativo	41
Figura 10 – Previsão de demanda com o Método <i>Holt-Winters</i> multiplicativo	42
Figura 11 - Demanda de vendas de micro-ondas	43
Figura 12 - Sazonalidade de vendas	43
Figura 13 - Ajuste da série pelo modelo <i>Holt-Winters</i> Multiplicativo	44
Figura 14 - Previsão de demanda com o Método <i>Holt-Winters</i> multiplicativo	45
Figura 15 - Demanda de vendas de Televisão	46
Figura 16 - Sazonalidade da demanda de Televisão	46
Figura 17 - Ajuste da série pelo modelo <i>Holt-Winters</i> Multiplicativo	47
Figura 18 - Previsão de demanda pelo método <i>Holt-Winters</i> multiplicativo	48
Figura 19 - Demanda de <i>Blu-ray</i>	48
Figura 20 - Sazonalidade da saída de <i>Blu-ray</i>	49
Figura 21 - Ajuste da série pelo modelo <i>Holt-Winters</i> Multiplicativo	50
Figura 22 - Previsão de demanda pelo método <i>Holt-Winters</i>	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Metais e seus efeitos na saúde humana	21
Tabela 2 - Demanda mensal de ar-condicionado <i>split</i>	35
Tabela 3 - Resultados da aplicação dos modelos de <i>Holt-Winters</i>	37
Tabela 4 - Demanda mensal de ar-condicionado janela	39
Tabela 5 - Resultados da aplicação dos modelos de <i>Holt-Winters</i>	41
Tabela 6 - Demanda mensal de micro-ondas	42
Tabela 7 - Resultados da aplicação dos modelos de <i>Holt-Winters</i>	44
Tabela 8 - Demanda mensal de Televisão	45
Tabela 9 - Resultados da aplicação dos modelos de <i>Holt-Winters</i>	47
Tabela 10 - Demanda mensal de <i>Blu-ray</i>	48
Tabela 11 - Resultados da aplicação dos modelos de <i>Holt-Winters</i>	50
Tabela 12 - Previsão de REEE de ar-condicionado <i>split</i>	52
Tabela 13 - Previsão de REEE de ar-condicionado janela	53
Tabela 14 - Previsão de REEE de micro-ondas	54
Tabela 15 - Previsão de REEE de micro-ondas	54
Tabela 16 - Previsão de REEE de Televisão do ano 2021 a 2025	56
Tabela 17 - Previsão de REEE de Televisão do ano 2026 a 2030	57
Tabela 18 - Previsão de REEE de <i>Blu-ray</i>	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Ag	Prata
Al	Alumínio
As	Arsênio
Au	Ouro
Ba	Bário
CaO	Óxido de cálcio
Cd	Cádmio
Co	Cobalto
Cu	Cobre
DVD	<i>Digital Versatile Disc</i>
ELETROS	Associação Nacional de Fabricantes de Produtos Eletroeletrônicos
Fe	Ferro
Hg	Mercúrio
HW	<i>Holt-Winters</i>
Kg	Quilograma
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i> (Display de Cristal Líquido)
LED	<i>Light Emitting Diode</i> (Diodo Emissor de Luz)
MAD	Desvio Médio Absoluto
MAPE	Erro Percentual Médio Absoluto
NBR	Norma Brasileira
OLED	Diodo Orgânico Emissor de Luz
Pb	Chumbo
PIB	Produto Interno Bruto
Pl	Platina
PNMC	Política Nacional de Mudanças Climáticas
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
REEE	Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos
REP	Responsabilidade Estendida do Produtor
TV	Televisão
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco

Zn

Zinco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	JUSTIFICATIVA	14
1.2	OBJETIVO GERAL	15
1.3.1	Objetivos Específicos	15
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	A GERAÇÃO DE RESÍDUO ELETROELETÔNICO	17
2.1.1	Os Resíduos Elétricos e Eletrônicos (REEE)	18
2.1.2	Os Resíduos Elétricos e Eletrônicos no Brasil	19
2.1.3	Risco Potencial do REEE	20
2.2	LOGÍSTICA REVERSA E DESTINO DOS REEE	22
2.3	IMPACTOS AMBIENTAIS DOS RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS	24
2.4	ESTADO DA ARTE DAS PESQUISAS COM FOCO NA PREVISÃO DE PRODUÇÃO DE REEE NO BRASIL	25
2.5	TÉCNICAS PARA PREVISÕES BASEADAS EM SÉRIES TEMPORAIS	26
2.5.1	Séries temporais	26
2.5.2	Métodos de Previsão	27
2.5.3	Modelos de Holt-Winters (HW)	27
2.5.4	Método de Holt-Winters aditivo	28
2.5.5	Método de Holt-Winters multiplicativo	29
2.6	ANÁLISES DE INCERTEZAS	30
3	METODOLOGIA	32
3.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
4.1	APLICAÇÃO DA SÉRIE TEMPORAL	35
4.1.1	Ar-condicionado <i>split</i>	35
4.1.2	Ar-condicionado de janela	39
4.1.3	Micro-ondas	42
4.1.4	Televisão (LCD, PLASMA e OLED)	45

4.1.5	<i>Blu-ray</i>	48
4.2	PREVISÃO DA GERAÇÃO DE REEE	51
4.2.1	Previsão de REEE de ar-condicionado split e ar-condicionado janela	51
4.2.2	Previsão de micro-ondas	54
4.2.3	Previsão de REEE de Televisão (LCD, PLASMA e OLED)	55
4.2.4	Previsão de REEE de Blu-ray	57
5	CONCLUSÃO	60
5.1	IMPACTOS AMBIENTAIS, SOCIAIS E ECONÔMICOS	61
5.2	LIMITAÇÕES DA PESQUISA E TRABALHOS FUTUROS	61
	REFERÊNCIAS	

1 INTRODUÇÃO

Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE), também conhecidos por lixo eletrônico, do inglês, *e-waste*, é um termo utilizado para englobar vários equipamentos elétricos e eletrônicos que não agregam valor aos seus proprietários. São descritos como equipamentos descartados que necessitavam de campos eletromagnéticos ou correntes elétricas para funcionarem de maneira correta (UE 2012). Atualmente o REEE é uma das categorias de resíduos com crescimento mais acelerado no mundo em termos de toxicidade e quantidade (CHUNG *et al.* 2011).

Conforme a Diretiva 2012/19, os resíduos de equipamentos elétricos abrangem os pequenos e grandes eletrodomésticos, equipamentos de telecomunicações e TI (tecnologia da informação), painéis fotovoltaicos e equipamentos de consumo, equipamentos de iluminação, ferramentas eletrônicas e elétricas, brinquedos e materiais de esportes e lazer, aparelhos médicos, ferramentas de controle e monitoramento e por fim, os distribuidores automáticos (UE, 2012).

Segundo Morf *et al.* (2007), nota-se que 66% dos REEE são constituídos por elementos como cobre, alumínio, ferro e não metais podendo também ser encontrados em plásticos e em elementos tóxicos como o cádmio (Cd), mercúrio (Hg) e chumbo (Pb). Desta maneira, os REEE descartados sem os cuidados necessários vem sendo um dos grandes problemas relacionadas as questões ambientais. Com a crescente fabricação de equipamentos, o REEE é um potencial produtor de contaminantes ambientais, uma vez que a produção de equipamentos eletrônicos e elétricos se utiliza de metais pesados na maior parte de seus componentes (CHANCEREL *et al.* 2009). Assim, a destinação e o manuseio desses resíduos demandam atenção especial com o intuito de evitar riscos de contaminação tanto ambiental quanto contaminação do trabalhador.

De acordo com o relatório realizado pelo *The Global E-waste Monitor* (2020), o Brasil ocupa o quinto lugar no *ranking* de maior produtor de lixo eletrônico no mundo no ano de 2019, produzindo 2,1 toneladas métricas (Mt), ficando atrás da China com 10,1 Mt, Estados Unidos com 6,9 Mt, Índia com 3,2 milhões de Mt e o Japão com 2,5 Mt. Ainda, se considerarmos somente os países da América Latina, o Brasil ocupa o primeiro lugar no ranking dos geradores de lixo eletrônico.

A Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) fez uma previsão da produção de lixo eletrônico no Brasil com uma taxa per capita em cerca de 4,8 Kg (mínimo em 2011) e 7,2 Kg (máximo em 2016) (ABDI, 2013). São Paulo, maior metrópole do Brasil,

possui uma geração de lixo eletrônico em média per capita de cerca de 4,8 Kg por ano (RODRIGUES, 2015). Para ABDI, as diferenças entre as estimativas no Brasil estão relacionadas ao grande mercado informal de produtos eletrônicos.

A presença de mercado informal de eletroeletrônicos, gera deficiências de infraestrutura para a instalação de logística reversa, por exemplo, dificuldades no transporte de áreas distantes para centros de reciclagem, concentração da indústria de reciclagem no Sul e Sudeste do Brasil, tributação diferentes por estados brasileiros conforme indicado pela ABDI, e entre outros motivos, o que tem como resultado a carência de informações precisas sobre a geração do destino final do lixo eletrônico no Brasil, dificultando o gerenciamento de forma correta desses resíduos (OLIVEIRA NETO, 2019).

Nesse contexto, este estudo tem como objetivo elaborar um modelo de previsão de geração de lixo eletrônico, monitorando os seguintes itens: ar-condicionado *split*, ar-condicionado janela, *blu-ray*, micro-ondas e televisores, fabricados e vendidos no Brasil.

1.1 JUSTIFICATIVA

Com a evolução tecnológica das últimas décadas, surgiram as alterações nos hábitos de consumo da população, tornando a sociedade contemporânea caracterizada pela geração de resíduos e pelo consumo desenfreado em um curto intervalo de tempo, principalmente devido à redução da vida útil dos equipamentos e a diminuição dos preços de venda (FRANCO & LANGE, 2011).

Os Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE) são complexos em razão da existência de elementos perigosos em sua composição, pois são produzidos de maneira que seus materiais tóxicos conseguem se espalhar rapidamente a partir do contato com o meio biótico e físico. O crescimento da geração de resíduos sólidos nas cidades brasileiras está relacionado também ao custo alto de armazenamento e reciclagem, que resultam em quantidades de REEE descartados em lugares inapropriados e, com isso, traz problema tanto ambiental quando de saúde pública (OLIVEIRA et al 2017).

De acordo com o relatório da Abrelpre (2019) apresenta que foi retomada a tendência de crescimento na produção de resíduos sólidos no país e que deve ser conservada durante os próximos anos, onde, conforme previsões que foram feitas tendo base na série histórica, o Brasil atingirá uma geração de 100 milhões de toneladas anual por volta do ano de 2030.

É sabido que o crescimento da geração de REEE geralmente não é assistido e não contém um aumento da fiscalização, especialmente em países que se encontram em

desenvolvimento, como por exemplo, o Brasil. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), criada em 2010, obriga que os fabricantes, distribuidores, importadores e revendedores de produtos eletroeletrônicos e seus componentes, a compor e instalar um sistema de logística reversa, por meio do retorno dos produtos após o descarte pelos consumidores (BRASIL, 2010). No entanto, a inexistência de uma legislação que relacione os REEE na PNRS, impossibilita sua implementação no que se refere a reciclagem e a coleta desses resíduos, e como resultado, os consumidores efetuam o descarte junto ao lixo comum.

No Brasil, o grande número de catadores informais, faz com que os dados referentes à geração de lixo eletrônico sejam escassos, possibilitando uma baixa taxa de produção de estudos acadêmicos que auxiliem na resolução deste problema. Além disso, os dados disponíveis sobre as características do REEE também se apresentam com índices insuficientes tanto aqui quanto no resto de mundo, demonstrando a importância da realização de estudos desta natureza.

Desta maneira, a pesquisa visa contribuir para o levantamento da quantidade de resíduos eletroeletrônicos que serão gerados até o fim da vida útil de equipamentos, tendo como base dados reais de demanda obtidos a partir da Associação Nacional de Fabricantes de Produtos Eletroeletrônicos (ELETROS), a qual representa empresas líderes de vendas em nosso país, como por exemplo, a LG, Samsung, Agravito, Britânia, Elgin, Philips, Positivo e diversas outras.

1.2 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um modelo de previsão de geração de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE) produzidos e vendidos no Brasil.

1.2.1 Objetivos específicos

Para que o objetivo descrito acima seja alcançado, torna-se necessário delimitar os objetivos específicos que darão apoio no desenvolvimento da pesquisa, são eles:

- Investigar os indicadores de tempo de vida para determinados equipamentos eletroeletrônicos, mais precisamente: ar-condicionado *split*, ar-condicionado de janela, *Blu-ray*, micro-ondas e televisores.
- Estimar a geração de REEE dos itens descritos acima.

- Elaborar um modelo de previsão de geração deste tipo de lixo eletrônico.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este estudo está estruturado em cinco capítulos, com conteúdo detalhado e apresentado a seguir.

No Capítulo 1, é apresentado o tema da pesquisa, como também sua relevância e contribuição para diversas áreas, como por exemplo, sustentabilidade, planejamento de logística reversa de equipamentos, a partir da obtenção de dados da previsão de lixo eletrônico. Ainda, são apresentadas a justificativa da delimitação do tema e os objetivos.

No Capítulo 2, é realizada uma revisão bibliográfica tendo como base a explanação dos conteúdos que são relevantes para o entendimento inicial necessário para a construção deste estudo.

O Capítulo 3 apresenta a metodologia que foi utilizada, demonstrando a classificação da pesquisa, a abordagem, universo e amostra adotados. Também explana acerca da coleta e análise dos dados.

No Capítulo 4, são demonstrados os resultados da pesquisa a partir da utilização do método Holt-Winters multiplicativo. Ainda, é discutida a previsão da geração de lixo eletrônico dos seguintes equipamentos: ar-condicionado *split*, ar-condicionado de janela, micro-ondas, televisão e Blu-ray.

No Capítulo 5, contém as conclusões da pesquisa desenvolvida, bem como, os impactos sociais, ambientais e econômico, as limitações encontradas para a elaboração da mesma e sugestões de trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, serão explanados conteúdos importantes para o entendimento inicial desta pesquisa, tendo como base assuntos de bibliografias existentes.

2.1 A GERAÇÃO DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS

O crescimento da economia favorecida pelo período Pós Segunda Guerra Mundial, por volta do século XX causou um expressivo progresso industrial para os países desenvolvidos, provando avanços tecnológicos importantes, principalmente no setor eletrônico, especialmente nas áreas da computação e da automação (OLIVEIRA et al., 2015).

Ainda nesse período, o crescimento econômico teve como base um sistema de produção e consumo em uma matriz tecnológica intensiva na utilização de recursos naturais, como matéria-prima e energia, considerados até então como inesgotáveis. Com isso, o modelo de desenvolvimento que foi colocado em prática cumpriu ordens a uma teoria econômica que não contabilizava os impactos gerados no meio ambiente devido a produção de mercadorias (SACHS, 2002).

A atividade humana que sempre resultou na demanda de diversos materiais, sejam eles de qualquer natureza, o contínuo crescimento das populações urbanas, o melhoramento no poder aquisitivo da população em geral e a forte industrialização, vem favorecendo a uma geração de grandes volumes de resíduos sólidos de forma acelerada (BIDONE, 1999).

Diversos autores relacionam o crescimento da geração de elétricos e eletrônicos e o seu descarte à obsolescência percebida e obsolescência programada. A obsolescência percebida é vista quando um produto para de ser útil mesmo tendo pleno funcionamento, por causa do lançamento de um produto com novos avanços tecnológicos, levando o consumidor a adquirir um novo produto. Já a obsolescência programada se refere à programação da vida útil ou a parada de um produto realizada intencionalmente pelos seus fabricantes. Ou seja, consiste na produção de produtos já com o término de vida útil estipulada (CARVALHO, 2013).

A geração de REEE vem se expandindo a cada ano, principalmente nos países desenvolvidos, onde o custo da tecnologia é menor para o usuário final, em comparação com os países subdesenvolvidos, mesmo este com taxas crescentes de produtos elétricos e eletrônicos (DENG et al., 2007). Logo, a tendência é o aumento rápido da geração de REEE e a dificuldade de controlar e gerenciar, visto que tais resíduos possuem alto índice de crescimento no mundo (BALDÉ et al., 2015).

2.1.1 Os Resíduos Elétricos e Eletrônicos (REEE)

De acordo com a NBR 10.004 da ABNT, os resíduos sólidos podem ser classificados de acordo com o nível de segurança em dois grupos, os perigosos e não-perigosos. A classificação dos resíduos sólidos, conforme a norma, foi estabelecida da seguinte forma:

- Resíduos de Classe I, caracterizado como perigosos, são todos aqueles que apresentam periculosidade ou algumas das particularidades a seguir: corrosividade, reatividade, inflamabilidade, toxicidade e patogenicidade.
- Resíduos de Classe II, é classificado em não-perigosos e subdividem em duas categorias, a Classe II A e a Classe II B.
 - Resíduos de Classe II A, os resíduos não inertes, são aqueles que não se encaixam nas classificações Classe I ou Classe II B e podem conter propriedades como solubilidade em água, combustibilidade e biodegradabilidade.
 - Resíduos Classe II B, os inertes, que segundo a ABNT NBR 10007, é todo resíduo que quando apresentados de uma forma representativa e submetido a um contato estático e dinâmico com água desionizada ou destilada a uma temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, e não tiverem nenhuma de suas composições solubilizadas a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, isentando-se cor, turbidez, dureza e sabor.

Essa classificação dos resíduos elaborados pela NBR 10.004/2004 da ABNT auxilia na orientação para destinação final e tratamento de cada tipo de resíduo que foi especificado. Uma vez que a produção dos mesmos se tornou um problema em grande escala no mundo, com resultados que excede o setor ambiental, onde a ausência de sustentabilidade do ciclo linear de produção, destarte e consumo de materiais, além de acabar com as reservas naturais, vem transformando o planeta em um extenso depósito de lixo, afetando a saúde da população e a degradação do meio ambiente (COSTA, 2011).

Conforme a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), os utensílios eletroeletrônicos são todos os produtos que necessitam da utilização da corrente elétrica ou de campos eletromagnéticos para funcionar. Eles podem ser classificados em quatro grupos:

- Linha Branca: lavadoras de roupa e louça, refrigeradores, congeladores, ar condicionados, secadoras.

- Linha Marrom: televisores, aparelhos de DVD e *Blu-ray*, equipamentos de filmadoras e de áudio.
- Linha Azul: ferros elétricos, furadeiras, secadores de cabelo, aspiradores de pó, cafeteiras, liquidificadores.
- Linha Verde: Computadores, *tablets*, telefones celulares e acessórios de informática.

Ao término da vida útil dos REEE, estes passam a ser caracterizados como resíduos de equipamentos eletroeletrônicos. E, para chegarem a esse ponto é ideal que não exista a possibilidade de realizar reparo, reuso ou atualização. Alguns deles possuem ciclo de obsolescência mais curto. Ou seja, em virtude da inserção de novas tecnologias ou a falta de peças para efetuar reposição são substituídos, e com isso, descartado mais rapidamente (ABDI, 2013).

2.1.2 Os Resíduos Elétricos e Eletrônicos no Brasil

Em todos os países, a Responsabilidade Estendida do Produtor (REP) mostra-se como um princípio significativo nas políticas de gerenciamento de resíduos eletrônicos, responsabilizando o produtor pelo produto adquirido até o pós-consumo. No Brasil, a Política Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC) (Lei nº 12.187/2009) foi uma das primeiras medidas que foram adotadas no controle do setor eletroeletrônico afirmando a necessidade de existir substituições e mudanças tecnológicas que minimizem a utilização de recursos naturais e a redução de gases (BRASIL, 2009).

No próximo ano, a Lei 12.305/2010 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), impõe que os importadores, fabricantes e comerciantes de produtos e componentes eletrônicos criem planos de ação para a efetivação da logística reversa de lixo eletrônico (BRASIL, 2010). Segundo Jabbout *et al.* (2014) essa política tem como objetivo fazer com que os stakeholders de distribuição, produção e marketing integrem os custos da inserção da logística reversa para se tornarem responsáveis pelo ciclo completo do produto.

No Brasil, as cidades começaram a enfrentar dificuldades na gestão de resíduos sólidos, especialmente por causa do crescimento econômico de forma acelerada dos últimos anos. Por ser um país emergente, o Brasil vem tendo ausência de *know-how*, ou seja, a habilidade adquirida pela experiência, e também falta de reciclagem ou coleta seletiva e a carência de ferramentas para executar a legislação regulatória (CABRAL NETO, 2016).

Uma das principais preocupações é que o Brasil necessita de instalações apropriadas para retirar metais preciosos, que simboliza a etapa final no processamento do lixo eletrônico. Como essas instalações possuem preço elevado, o mercado encaminha os resíduos pré-processados para outros países, fazendo com que o lucro do empreendimento seja reduzido. Em consequência surgiu uma nova preocupação relacionado com o crescimento e a ausência de controle acerca do mercado informal, que deu início a realização de extração de metais preciosos do lixo eletrônico através de processos precários e ambientalmente perigosos (OLIVEIRA NETO, 2019)

Contudo, vale destacar que no Brasil existe uma carência de dados oficiais consistentes sobre a geração de REEE, visto que as pesquisas executadas por instituições nacionais exibem métodos científicos que são distantes do nível de acurácia necessária da informação tornando-as insuficientes. Como um exemplo, nas pesquisas da Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) para que fosse realizado a previsão da produção brasileira de REEE, foi tido como base apenas oito tipos de REEE domiciliares, o que demonstra a precariedade no estudo (RODRIGUES; GUNTHER; BOSCOV, 2015).

Um estudo inicial realizado por Cavalcante e Silva (2021) realizou uma previsão da geração de resíduos de televisores no Brasil, com o intuito de possibilitar a formação de estratégias que visem a redução do impacto global deste equipamento após o fim da sua vida útil, uma vez que este produto retrata uma grande parcela do lixo que é produzido devido ao fato de ser um objeto considerado acessível para a população.

Ainda, Cavalcante e Silva (2021), propuseram um estudo referente a realização da previsão do consumo de micro-ondas no Brasil. Em que, para alcançar os resultados desejados, utilizaram os modelos de previsões tendo como suporte as séries temporais. Além do mais, foram propostas estratégias para efetuar uma gestão dos resíduos desse aparelho com o intuito de mitigar o impacto ambiental.

2.1.3 Risco Potencial do REEE

Uma grande quantidade de REEE está sendo utilizada no mundo inteiro, especialmente em países desenvolvidos. Esta ação, feita frequentemente de forma arbitrária, em processos antigos de reciclagem manual, tem trazido grandes consequências para a saúde da humanidade (KIDDEE; NAIDU; WONG, 2013).

Com base no estudo efetuado pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), existem algumas características particulares dos REEE que explicam o requisito de processos próprios de gerenciamento. Alguns materiais encontrados neles são metais pesados como por exemplo, arsênio, bário, cádmio, cobre, chumbo, cromo, mercúrio e entre outros (SILVA; MARTINS; OLIVEIRA, 2007).

Como resultado das constantes alterações de funções e designer dos produtos, existe uma grande diversidade de materiais dependendo do tipo de produto que o criou, com destaque para os metais, classificados como valiosos e perigosos, e os plásticos. Para Schluep *et al.* (2009), foram detectados uma média de 60 elementos da tabela periódica nos equipamentos eletroeletrônicos. Por apresentar algumas diferenças químicas e físicas dos resíduos sólidos, os REEE precisam passar por um tratamento de reciclagem para reduzir os impactos tanto na saúde humana quanto no meio ambiente.

A Tabela a seguir expõe alguns elementos existentes na composição dos REEE, bem como os principais danos gerado à saúde humana.

Tabela 1 - Metais e seus efeitos na saúde humana.

Substância	Tipo de Contaminação	Danos causados à saúde humana
Arsênio (As)	Inalação e toque	Traz danos ao sistema nervoso e cutâneo
Bário (Ba)	Inalação e toque	Inchaço do cérebro; fraqueza muscular; danifica o coração, o fígado e o baço
Cádmio (Cd)	Inalação e toque	Agente cancerígeno, afeta o sistema nervoso, traz dores reumáticas, problemas pulmonares.
Cobre (Cu)	Inalação e toque	Intoxicações com lesões no fígado.
Chumbo (Pb)	Inalação e toque	Irritabilidade, tremores musculares, lentidão de raciocínio, alucinação, insônia e hiperatividade
Mercúrio (Hg)	Inalação e toque	Distúrbios renais e neurológicos, alterações genéticas, problemas de estômago e alterações no metabolismo
Zinco (Zn)	Inalação	Provoca vômitos, problemas pulmonares e diarreias

Fonte: Adaptado (MOI et al., 2012)

Exames laboratoriais realizados em moradores na região de Guiyu na China, habitantes de áreas de reciclagem eletroeletrônica clandestinas, denunciaram o risco do manuseio de forma inadequada desses produtos. Os resultados a partir da coleta de sangue, urina, leite materno, soro ou por amostragens de tecidos vindos do couro cabeludo, demonstraram uma presença significativa de substâncias tóxicas (KIDDEE; NAIDU; WONG, 2013). O sistema nervoso é a área mais sensível à toxicidade trazida pelo Chumbo, com prejuízos que são irreversíveis e com sérios problemas com danos permanentes (MOREIRA; MOREIRA, 2004).

Desta maneira, é possível constatar que a exposição humana a certas substâncias existentes nos REEE traz prejuízos que estão diretamente ligados à saúde humanitária, chegando principalmente em cidadãos mais suscetíveis e em áreas em que a extração de metais perigosos é realizada de maneira informal, sem nenhum monitoramento legal, pelos catadores.

2.2 LOGÍSTICA REVERSA E DESTINO DOS REEE

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelecida em 2010 por intermédio da Lei nº 12.305, regularizou o gerenciamento e a gestão dos resíduos sólidos no país, sendo uma de suas principais evidências o sistema de logística reversa, que é definida pelo instrumento de crescimento social e econômico descrita por um conjunto de procedimentos, ações e meios para viabilizar a coleta de resíduos sólidos para que seja reaproveitado (BRASIL, 2010).

Os sistemas de logística reversa diz respeito a execução de fluxos de produtos após o seu consumo, a partir do ponto de retornar para os fornecedores e fabricantes, em uma direção contrária aos fluxos diretos, onde, além de contribuir para a sustentabilidade no país, podem dar assistência como uma possibilidade de vantagem competitiva (XAVIER e CORREA, 2013). Assim sendo, o consumidor deve entregar voluntariamente os aparelhos durante o pós-consumo aos comerciantes, e esses, para os fabricantes e importadores para que seja realizada uma destinação ambiental correta e responsável. Dessa forma, os fabricantes passam a reconsiderar melhor o processo de produção, usando produtos mais eficientes para a realização da logística reversa (CNI, 2014).

De acordo com Ballou (2006), o colaborador responsável pela logística precisa estar frequentemente a par do estágio do ciclo de vida dos produtos com o poder de ajustar os

padrões da distribuição em busca da eficiência máxima em cada um dos estágios. A logística reversa, com o propósito de reciclagem e descarte está no último estágio, o declínio. Nele, o produto pode ser convertido em matéria-prima para confecção de um produto novo ou pode ser descartado da maneira correta. O ciclo da logística reversa está demonstrado na Figura a seguir.

Figura 1 - Ciclo Logística Reversa



Fonte: Adaptado de Madureira (2021)

Marcondes e Cardoso (2005), mencionam alguns benefícios da implementação da logística reversa sobre ponto de vista social, econômico e ambiental, onde, de acordo com Leite (2003) são os seguintes:

- Responsabilidade social: criação de atividades econômicas, incentivo à pesquisa de geração de tecnologias de reuso e reciclagem;
- Consolidação da imagem corporativa;
- Melhoria da competitividade em razão do nível de serviço diferenciado;
- Responsabilidade ambiental: Minimização do volume no descarte de produtos que podem ser reutilizados.

A logística reversa pode possibilitar aos integrantes da cadeia produtiva, sejam eles atacadistas ou varejistas, uma presença em todo o processamento, visando reduzir o risco de compra de produtos que possam não ser vendidos durante um período de tempo estipulado. Neste sentido, a logística reversa apresenta-se como uma função estratégica para as empresas, uma vez que reforça a vantagem competitiva e fortalece a cadeia de valor (CHAVES, 2006).

2.3 IMPACTOS AMBIENTAIS DOS RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS

A maior ameaça de contaminação do solo por elementos poluentes se deve a possibilidade dessas substâncias conseguirem ser arrastadas pelas águas subterrâneas e superficiais até distâncias que estejam fora das áreas de monitoramento, criando uma pluma de contaminação cuja a correção será demorada e de grande despesa monetária. A área de confinamento ou disposição de resíduos pode provocar outros riscos associados com a contaminação do solo, como por exemplo, gases tóxicos, chorume, odores, fauna nociva além do impacto visual negativo (ATIYEL, 2001).

Tendo em consideração a utilização de metais na composição dos REEE, como o mercúrio, chumbo e o cádmio, jogar resíduos eletroeletrônicos no lixo doméstico é uma grande ameaça, uma vez que esses e diversos outros componentes químicos podem se tornar causadores da contaminação ambiental (ROBINSON, 2009).

Nas técnicas utilizadas para realizar a reciclagem de REEE na extração de metais preciosos está, por exemplo, a incineração a céu aberto acarretando na emissão de gases tóxicos para a atmosfera. Quando o descarte é efetuado de maneira inadequada, pode ocorrer a decomposição de elementos perigosos nas águas subterrâneas e nos solos trazendo riscos também para as pessoas, animais e plantas (ROBINSON, 2009).

Além de impactos ao ambiente e à saúde, o gerenciamento inapropriado de REEE está trazendo uma perda considerável de materiais brutos valiosos e existentes em pequena quantidade no planeta, como por exemplo, ouro (Au), cobalto (Co) e platina (Pt). Nos dias de hoje, cerca de 7% do ouro do mundo podem estar localizados em resíduo eletrônico, com maior quantidade em uma tonelada do que o encontrado em uma tonelada de minério de ouro (PACE, 2019).

Desse modo, impactos ambientais são os resultados obtidos a partir da ação do REEE diretamente no meio ambiente com a ação das intempéries, seja pelo frio, chuva, calor em cima dos elementos desses resíduos, beneficiando a interferência de compostos tóxicos

ocasionando em diversos efeitos aos seres vivos expostos naquele ambiente. Logo, o simples ato de descartar um equipamento eletroeletrônico de modo incorreto acarretará em diversos problemas, uma vez que os REEE são classificados como o problema ambiental com maior taxa de crescimento nos últimos anos (KAVOUSHI, 2017).

2.4 ESTADO DA ARTE DAS PESQUISAS COM FOCO NA PREVISÃO DE PRODUÇÃO DE REEE NO BRASIL

Esta seção apresenta pesquisas que usaram métodos para dimensionar a geração de lixo eletrônico com base em dados do Brasil. São eles:

Cabral Neto *et al* (2016), apresentaram como proposta um modelo baseado em séries temporais, para estimar a geração de sucata de bateria de chumbo-ácido. A amostra é baseada na venda de carros leves, como também na vida útil das baterias de chumbo-ácido. A pesquisa mostra que o número de vendas de veículos cresce com uma baixa velocidade em relação a geração de sucata, destaca também que é uma informação importante para a logística reversa e aos tomadores de decisão.

Cavalcante e Silva (2021), realizou um estudo referente a previsões do consumo de ar-condicionado *split* no Brasil, já que este equipamento representa uma parcela considerável do lixo produzido, devido ao fato de estar se tornando cada vez mais um objeto de consumo desejável e acessível. Os dados desta pesquisa se deram através de informações obtidas pela Associação Nacional de Fabricantes de Produtos Eletroeletrônicos, a ELETROS. Tal previsão pode auxiliar as empresas a definir uma política de logística reversa proporcionando uma melhor conservação do meio ambiente a longo prazo. Dentre o modelo de séries temporais usados nesta pesquisa, o método de *Holt-Winters* Multiplicativo destacou-se por apresentar melhores resultados da previsão de demanda de vendas, uma vez que obteve uma porcentagem do Erro Absoluto Médio Percentual (MAPE) inferior ao modelo Aditivo, tornando-se o melhor método para ser utilizado, sendo útil para realizar e descrever previsões para a demanda de vendas de ar-condicionado *split* no Brasil.

Araújo *et al.* (2017), estimaram a produção de lixo eletrônico em uma região de proteção ambiental localizado na ilha brasileira de Fernando de Noronha. Para obter o número de equipamentos eletrônicos de consumo em uso e fora de uso nas residências, foi aplicado um questionário a 83 moradores da ilha. Com base nos dados adquiridos com o questionário, peso e vida útil dos equipamentos, foi utilizado um método de aproximação de Robinson (2009) para mostrar o quadro de produção total de lixo eletrônico em um ano (1,3 toneladas)

para os equipamentos de TV, *desktop*, *laptop*, telefone, geladeira, máquina de lavar, ar condicionado, TV plasma/LCD. O item identificado com mais frequência foi o telefone celular.

Araújo *et al.* (2012) revisaram a literatura acerca de previsão de geração de lixo eletrônico, tendo como foco os países da América Latina. A partir da utilização de dados das diferentes metodologias encontradas, a pesquisa indicou que o cálculo do fluxo do equipamento deve levar em consideração a velocidade com que o equipamento é substituído. O estudo realizou a previsão da geração do lixo eletrônico dos seguintes equipamentos eletrônicos: geladeiras, máquinas de lavar, *freezers*, sistemas de áudio, computadores, televisores e telefones celulares, para o ano de 2008. A pesquisa destaca que a previsão de geração de lixo eletrônico para a rápida substituição de equipamentos eletroeletrônicos (celulares computadores), não deve ser realizada por meio de métodos que utilizem uma constante média de vida útil.

Desse modo, o intuito de elaboração desta pesquisa está relacionado com a previsão de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos, mais precisamente de ar-condicionado *split*, ar-condicionado janela, *Blu-ray*, micro-ondas e televisores no Brasil, levando em consideração o seu ciclo de vida útil e quantidade de vendas anuais.

2.5 TÉCNICAS PARA PREVISÕES BASEADAS EM SÉRIES TEMPORAIS

A seguir, serão apresentadas técnicas que auxiliam na produção das previsões tendo como base séries temporais.

2.5.1 Séries temporais

Série temporal é um conjunto de observações realizadas linearmente no tempo. Como exemplo de séries temporais temos: uma série semanal da quantidade de acidentes ocorridos de avião, observações mensais da quantidade de mercadorias carregadas de uma fábrica, entre outros (BOX *et al.*, 2013).

Apresentando outra definição semelhante, Morettin & Toloi (2004) afirma que série temporal é todo e qualquer conjunto de observações sob um intervalo de tempo. (MORETTIN & TOLOI, 2004). Desde que essas observações possuam dependências umas das outras, é possível que uma previsão seja obtida e com isso, possa fornecer bases para compreender o comportamento do fato que está sendo explorado (SAMOHYL, ROCHA & MATTOS, 2001).

Segundo Morettin & Toloi (2004), ao iniciar um estudo envolvendo séries temporais tem-se interesse em realizar previsões de valores futuros da série; pesquisar o procedimento gerador da série temporal; detalhar o comportamento da série, como por exemplo, tendências e sazonalidades; e, descobrir constâncias relevantes nos dados.

Uma série temporal, de acordo com (Weigend, 1994), pode ser decomposta conforme os tópicos a seguir:

- Tendência: dados de longo prazo que estão relacionados com a série de tempo;
- Sazonalidade: padrões contínuos na série;
- Ciclo: ondas longas, parcialmente regulares, ao redor de uma linha de tendência;
- Aleatório: são todos os efeitos existentes que não foram agregados pela série de tempo com os três componentes que foram citados anteriormente, ou seja, é o resíduo da série.

Estes itens podem ser classificados como determinísticos ou estocásticos conforme o conjunto de dados que constitui a série de dados.

2.5.2 Métodos de Previsão

Os métodos de previsão estão classificados em duas categorias: os quantitativos e os qualitativos. Os métodos qualitativos são baseados no julgamento sem conter base matemática, já os modelos quantitativos são baseados em projeções matemáticas possuindo embasamento técnico. Para Tubino (2006), as previsões embasadas em séries temporais partem da ideia de que a demanda prevista é uma projeção dos valores adquiridos anteriormente. Os dados de uma série temporal podem sofrer intervenção de diversos fatores, como mudanças no padrão tecnológico que está em vigor, alterações macroeconômicas, variações nas condições da natureza entre outros aspectos (CORRAR & THEÓFILO, 2004).

2.5.3 Modelos de Holt-Winters (HW)

O modelo de Holt-Winters é compreendido como um método de suavização exponencial, usado para ajustar uma previsão de sazonalidade. Desse modo, esse método de suavização pode auxiliar na estimação das séries de dados e componentes sazonais, fazendo uso de três técnicas de parâmetros de suavizamento: controlando o nível, a sazonalidade e a tendência (MAKRIDAKIS *et al.*, 1998).

Para Caiado (2006), o modelo *Holt-Winters* é adequado para ser utilizado em séries que demonstrem comportamento de movimentos sazonais e tendência linear. Ambos métodos, multiplicativo e aditivo, possibilita o uso a partir das técnicas de séries temporais. (PELEGRINI; FLOGIATTO, 2000). Morettin & Toloi (2004), afirmam que possibilitar fácil compreensão e possuir uma aplicação que não necessita de aplicação pesada, sendo adequada para série com um padrão de comportamento, apresenta-se como uma das vantagens de utilização deste modelo. Assim, é visto que os métodos de *Holt-Winters* que melhor se adaptam com as séries temporais são os modelos Multiplicativo e Aditivo.

2.5.4 Método de Holt-Winters aditivo

É utilizado quando as séries contêm um efeito tanto de tendência aditivo quanto sazonal aditivo superposto. A componente de tendência pode ser excluída da modelagem caso não demonstre importância para a situação (ESTEVENSON, 1981). De acordo com Morettin & Toloi (2004) o método pode ser aplicado quando a amplitude da variação sazonal permanece constante, isto é, a diferença existente entre o menor e o maior ponto de demanda se mantém constante. A seguir estão as equações do modelo.

$$\hat{Y}_{t+n} = E_t + nT_t + S_{t+n-p} \quad (1)$$

$$E_t = \alpha (Y_t - S_{t-p}) + (1 - \alpha)(E_{t-1} + T_{t-1}) \quad (2)$$

$$T_t = \beta (E_t - E_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (3)$$

$$S_t = \gamma (Y_t - E_t) + (1 - \gamma)S_{t-p} \quad (4)$$

Com:

$$0 \leq \alpha, \beta \text{ e } \gamma \leq 1 \quad (5)$$

Onde:

Y_t = Valor observado em uma série temporal;

$\hat{Y}_{t+n}$ = Valor estimado para o período n ;

E_t = Nível observado da série;

S_t = Coeficiente de sazonalidade;

P = Número de períodos sazonais presente nos dados;

α, β e γ = Parâmetros de suavização.

2.5.5 Método de Holt-Winters multiplicativo

O modelo de *Holt-Winters* multiplicativo se ajusta a séries com tendência e sazonalidade de maneira mais adequada, isto é, séries em que a amplitude da variação sazonal aumenta com o acréscimo do nível médio da série temporal (KOEHLER *et al.*, 2001). Outra definição é dada por Caiado (2006), onde afirma que o modelo é utilizado na forma multiplicativa para séries que contém movimentos sazonais e tendência linear.

Esse modelo tem como princípio o pressuposto de que a amplitude da sazonalidade faz variações no tempo, e que, certamente, tal variação ocorre de maneira crescente. Já em relação a componente de tendência, segue tendo formulação aditiva. Por isso, o modelo consegue integrar o tanto o efeito sazonal quanto a tendência linear (CAIADO, 2006).

Desse modo, o método tem como base as seguintes equações:

$$\hat{Y}_{t+n} = (E_t + nT_t) \quad (6)$$

$$E_t = \alpha \frac{Y_t}{S_{t-p}} + (1 - \alpha)(E_{t-1} + T_{t-1}) \quad (7)$$

$$T_t = \beta(E_t - E_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (8)$$

$$S_t = \gamma \left(\frac{Y_t}{E_t} \right) + (1 - \gamma)S_{t-p} \quad (9)$$

Com:

$$0 \leq \alpha, \beta \text{ e } \gamma \leq 1 \quad (10)$$

Onde:

Y_t = Valor observado em uma série temporal;

$\hat{Y}_{t+n}$ = Valor estimado para o período n ;

E_t = Nível observado excluído da tendência

S_t = Coeficiente de sazonalidade;

P = Número de períodos sazonais presente nos dados;

α, β e γ = Parâmetros de suavização.

2.6 ANÁLISE DE INCERTEZAS

A fim de compreender os erros ligados às previsões realizadas e avaliar o desempenho das mesmas, existem métricas que são comumente usadas como por exemplo, o MAPE (Erro de Porcentagem Absoluta Média), o MAE (Erro Médio Absoluto) e o RMSE (Erro Médio Quadrático Médio).

O MAE é utilizada em séries temporais, uma vez que existem casos em que o erro negativo pode zerar o positivo ou parecer que o modelo é preciso, é definido pela Equação abaixo.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{medido} - X_{previsto}) \quad (11)$$

Onde X_{medido} é o valor da variável em estudo e o $X_{previsto}$ é o valor previsto pela série.

Possuir a mesma unidade de medida da variável em análise é uma das vantagens dessa métrica de erro. No entanto, não aponta a direção do erro (MISHRA, 2018).

O MSE, erro quadrático médio, é geralmente utilizado para verificar a acuracidade dos valores em questão, dando um maior peso aos erros que são maiores, devido ao fato de ser elevado ao quadrado (MISHRA, 2018), o mesmo é dado pela Eq. (12)

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{medido} - X_{previsto})^2 \quad (12)$$

O RMSE é o erro quadrático, pode ser entendido como o “desvio padrão” das previsões, é dado pela Eq. (13)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{medido} - X_{previsto})^2} \quad (13)$$

Devido ao expoente ao quadrado, essa métrica apresenta-se como sensível a valores divergentes, e se ocorrer de conter muitos erros em sua análise, pode ser extrapolada. Indica também o quão longe o valor encontra-se nas previsões (ZUMEL; MOUNT, 2014). O MAPE é definido na Eq. (14)

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{i=1}^n \left(\left| \frac{X_{medido} - X_{previsto}}{X_{médio}} \right| \right) \quad (14)$$

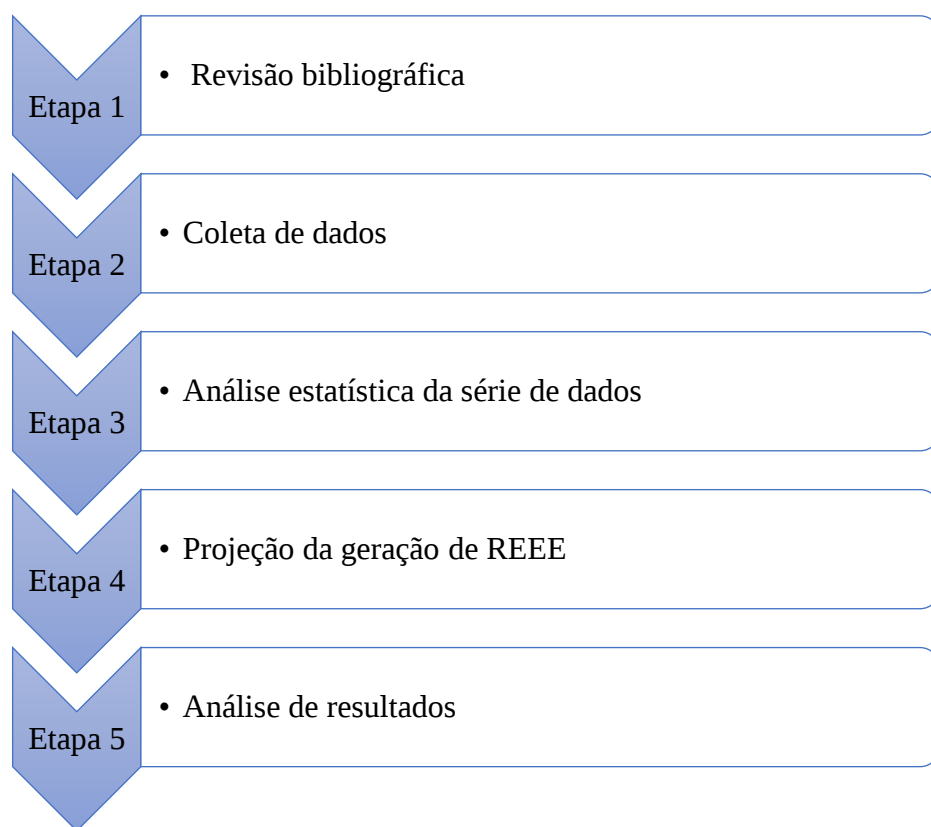
O MAPE indica a média percentual dos erros ponto a ponto. É tida como uma boa métrica para analisar séries temporais (ZUMEL; MOUNT, 2014)

3 METODOLOGIA

A metodologia é capaz de possibilitar uma melhor análise e entendimento do mundo por meio da construção do conhecimento, é o conjunto de ações e normas para retratar um problema, um processo que deve ser seguido para atingir um determinado objetivo (RODRIGUES, 2007).

Deste modo, para que a metodologia seja compreendida, foi elaborado um fluxograma demonstrado na Figura a seguir.

Figura 2 - Fluxograma metodológico



Fonte: O autor (2022)

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Torna-se fundamental a classificação da pesquisa em subgrupos como, quanto aos fins, quanto aos meios, quanto à abordagem, universo e amostra e por fim, coleta e análise, de forma que seja legitimada sua execução. Desta maneira, neste capítulo serão abordadas tais classificações.

A pesquisa foi classificada como exploratória e descritiva, que tem como intuito descrever de modo claro e preciso os resultados obtidos após a utilização dos métodos estatísticos aplicados para chegar em uma previsão da geração de REEE, bem como, demonstrar detalhadamente a tipologia, quantidade e características dos componentes existentes nos equipamentos, visando auxiliar da disponibilização de dados referentes ao contexto.

Para Gil (2008), as pesquisas descritivas têm como finalidade descrever as características de um público, bem como de algum aprendizado ou de um fenômeno. Uma de suas particularidades está na utilização de métodos padrões de colhimento de dados, por exemplo, observação sistêmica e questionário. Contribui em proporcionar um novo olhar acerca de uma realidade que já é conhecida.

A estruturação das indagações da pesquisa requer um extenso entendimento do problema a ser pesquisado. É indispensável que o pesquisador saiba exatamente o que objetiva com a pesquisa, ou seja, o que pretende pedir, quando, onde, e como irá fazer para que a mesma seja concluída com êxito (MATTAR, 2001).

Gil (2002) afirma que a pesquisa bibliográfica inicialmente é fundamentada a partir do material que já está construído, composto por artigos científicos e livros. Tem como principal vantagem o fato de possibilitar ao pesquisador uma ampla abrangência de fenômenos, sendo também imprescindível nos estudos históricos.

Este estudo tem como característica em sua construção técnica ser uma pesquisa bibliográfica e estudo de caso. Onde, a princípio foi efetuada uma investigação bibliográfica por meio da análise de revisão da literatura através de estudos relacionados a métodos estatísticos para se obter a previsão da geração de lixo eletrônico, garantindo assim, um levantamento seguro para a elaboração da pesquisa.

Sabendo que o trabalho possui caráter descritivo, é necessário que exista uma explanação detalhada e precisa, tornando-se assim, uma abordagem com especificidade qualitativa.

Minayo (2001) destaca que a pesquisa qualitativa trabalha com uma totalidade de significados, pretensões, opiniões, valores e comportamentos, equivalendo a um espaço mais intenso entre as relações, e com os métodos. Para isso, são utilizados processos interpretativos, onde o pesquisador dispõe-se a examinar e entender os dados que foram colhidos.

Em relação ao universo e amostra, a pesquisa tem como universo o setor produtor de equipamentos eletrodoméstico e eletroeletrônico, mais especificadamente em um conjunto de

indústrias que trabalham no segmento da linha branca e marrom, bem como de portáteis, onde, gera aproximadamente uma média de 150.000 empregos formais, contribuindo em 3,3% do PIB Industrial nacional.

Por conseguinte, tem como amostra a Associação Nacional de Fabricantes de Produtos Eletroeletrônicos, a ELETROS, situada no Polo Industrial de Manaus, fundada no ano de 1994 e reúne as maiores indústrias de eletrodomésticos e eletroeletrônicos de consumo do Brasil. A associação, sem fins lucrativos, atua com o intuito de buscar construir caminhos que proponham o desenvolvimento do setor e que o mesmo preserve a operacionalidade.

Será utilizado o método observacional (técnica de conveniência) para obter a coleta dos dados, onde o pesquisador deve ler, compreender e explorar o contexto para alcançar as informações imprescindíveis para a elaboração da pesquisa. Segundo Gil (2008) o pesquisador tem mais característica de espectador do que ator no processo da coleta de dados.

Desta maneira, os dados coletados representam o fluxo mensal de venda das instituições associadas na Associação Nacional de Fabricantes de Produtos Eletroeletrônicos, a ELETROS, no período dos anos de 2016 a 2020. Logo após foi realizada uma análise preliminar dos dados, onde plotou-se a demanda em função dos meses, visando entender como a série se comportava em relação a tendência de crescimento (ou decrescimento), ciclos ou sazonalidade, e com isso, conseguir realizar a previsão da geração de REEE.

Foram testados os modelos de *Holt-Winters* multiplicativo e aditivo, juntamente com as métricas de erros para chegar-se ao melhor método Holt, para isso, foi utilizado o *software* RStudio, programa desenvolvido e integrado para a linguagem R, usado para realizar cálculos estatísticos e de plotagem de gráficos. Por fim, foi analisado o resultado obtido para validação da previsão de geração de lixo eletrônico, dos seguintes itens: ar-condicionado *split*, ar-condicionado de janela, *Blu-ray*, micro-ondas e televisores, fabricados e vendidos no Brasil.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, os resultados da pesquisa serão apresentados em duas seções. A primeira apresenta a análise dos dados a partir da utilização dos métodos de séries temporais, com base na previsão de demanda, sazonalidade e métodos de Holt-Winters aditivo e multiplicativo dos itens: ar-condicionado *split*, ar-condicionado de janela, micro-ondas, televisão e Blu-ray. Na segunda, é discutida a previsão da geração de lixo eletrônico dos equipamentos mencionados anteriormente.

4.1 APLICAÇÃO DA SÉRIE TEMPORAL

Nesta sessão será realizada a análise dos dados através da série temporal, tendo como base o *software Rstudio* (2021) para a obtenção dos resultados.

4.1.1 Ar-condicionado *split*

Os dados das vendas mensais de aparelhos de ar-condicionado *split* no período de janeiro de 2016 a dezembro de 2020, estão mostrados na tabela abaixo.

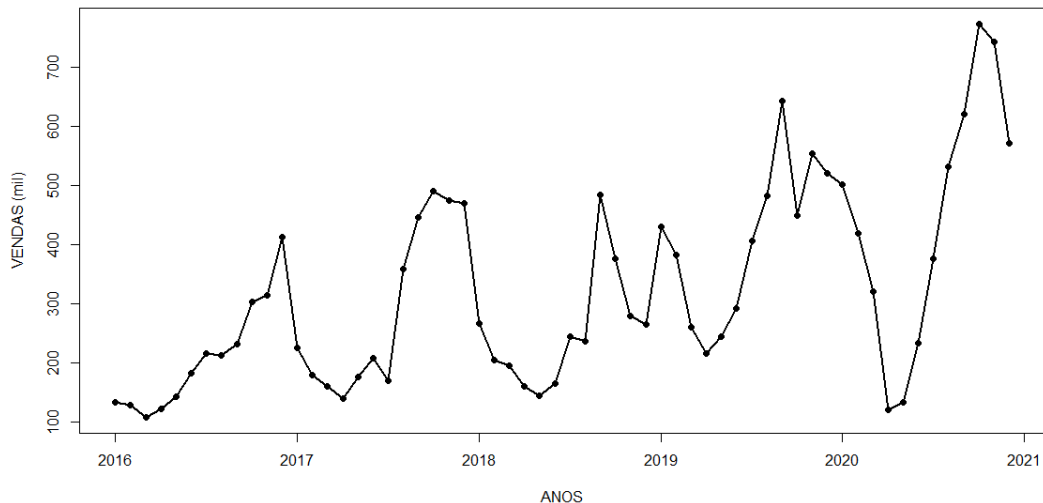
Tabela 2 – Vendas mensais de ar-condicionado *split*

Mês	Anos				
	2016	2017	2018	2019	2020
Janeiro	132.547	224.200	265.740	428.887	500.333
Fevereiro	128.366	178.089	203.458	381.500	418.886
Março	107.474	160.032	193.886	259.690	320.100
Abril	120.966	139.599	159.981	214.579	119.569
Maio	141.399	175.326	143.976	243.245	132.388
Junho	181.390	206.503	163.884	290.837	233.104
Julho	214.660	169.243	243.920	405.166	375.323
Agosto	211.236	358.101	235.237	481.700	530.482
Setembro	231.054	444.965	483.311	642.088	619.591
Outubro	301.849	490.002	374.982	448.127	772.736
Novembro	314.444	474.501	279.238	553.625	742.933
Dezembro	412.095	469.775	264.080	519.645	570.328

Fonte: adaptado de ELETROS (2020)

Afim de proporcionar uma melhor visualização dos dados dispostos na Tabela 2, os mesmos podem ser representados graficamente conforme mostrado na Figura abaixo.

Figura 3 - Demanda de Ar-condicionado Split (2016-2020)

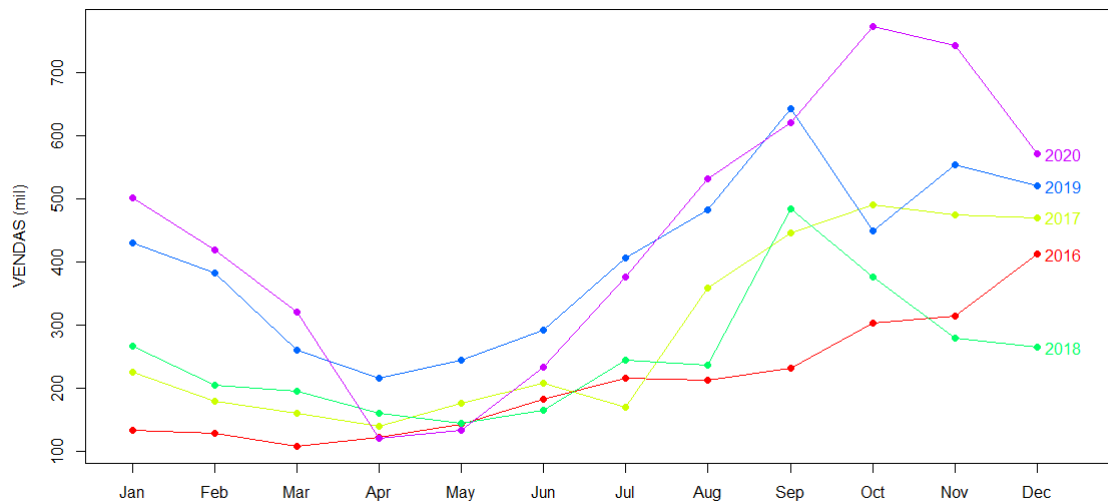


Fonte: adaptado de ELETROS (2020)

Assim, de acordo com a Figura 3, é visto que ocorreram oscilações na demanda de saída do aparelho de ar-condicionado *split* durante os anos selecionados. De acordo com a comparação realizada pela ELETROS (2020), foi visto que entre o ano 2017 e 2016 teve uma taxa de crescimento de aproximadamente 40% nas vendas, a seguir, nos anos 2018 e 2017 as vendas não obtiveram bom desempenho, ficando com um índice de -14% na taxa de saída, em 2019 e 2018 houve um aumento de 62%, e em 2019 e 2020, a saída do aparelho atingiu um índice de 10%.

Ainda, com o intuito de compreender o comportamento da série, foi elaborado um gráfico conforme mostrado na Figura 4, onde o mesmo apresenta a variação de saída do ar-condicionado *split* no Brasil. Desta maneira, identificou-se a existência de sazonalidade durante todos os meses ao longo do ano. Esse desempenho é constatado em praticamente todos os anos em estudo, levando a ser adotado nesta pesquisa uma sazonalidade de período com 12 meses.

Figura 4 - Sazonalidade da demanda de Ar-condicionado Split



Fonte: O autor (2022)

Caso as séries de dados temporais não apresentem sazonalidade ou tendência, podem ser utilizados médias móveis ou métodos exponenciais, mas, se acontecer de existir a presença de tendência, o indicado é que seja utilizado o método de *Holt*. No entanto, a existência de sazonalidade, descarta a possibilidade de usar métodos menos complexos, com que seja recomendado o uso do método de *Holt-Winters*.

Sendo assim, com a utilização do *software RStudio* a série foi calculada. Com o objetivo de analisar os resultados, o cálculo foi desenvolvido considerando os meses de janeiro de 2016 até junho de 2020, onde os meses de julho até dezembro de 2020, foram utilizados para realizar comparação dos resultados obtidos com os dados reais. A Tabela 3, mostra os resultados para os métodos Holt-Winters aditivo e multiplicativo.

Tabela 3 - Resultados da aplicação dos modelos de Holt-Winters

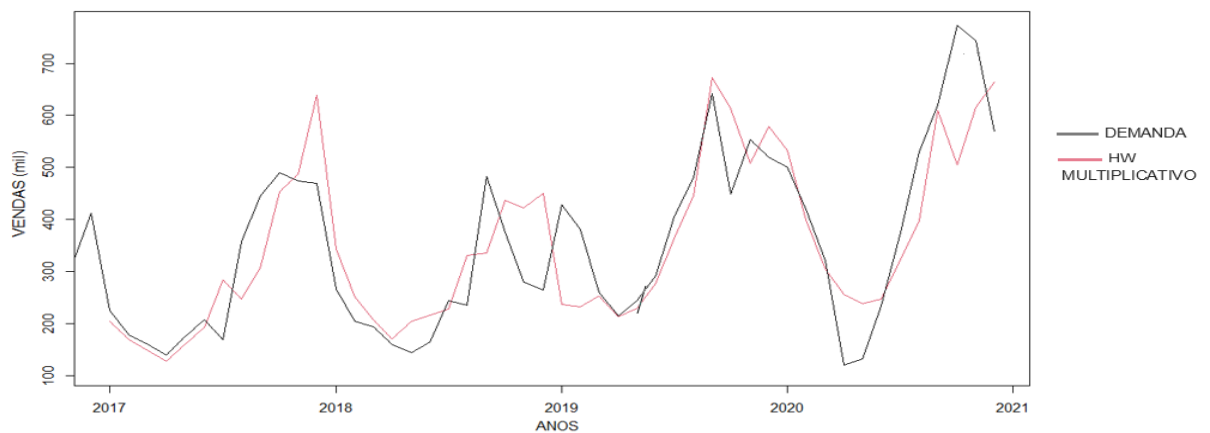
Métricas de erros	Métodos	
	<i>Holt-Winters</i> Aditivo	<i>Holt-Winters</i> Multiplicativo
ME	-1,658635	-11,13655
RMSE	70,32756	62,8444
MAE	53,90823	49,73408
MPE	-4,635081	-9,505861
MAPE	22,93465	21,17338
MASE	0,5239978	0,4834242
ACF1	0,1423418	0,2396926

Fonte: O autor (2022)

A partir dos resultados obtidos, o método *Holt-Winters* multiplicativo foi classificado como adequado para a série de dados utilizada devido ao baixo erro percentual da métrica do Erro Percentual Absoluto Médio (MAPE) apresentado, este expressa com precisão a porcentagem de erro existente. Assim, o erro MAPE neste caso do modelo multiplicativo foi de 21,17%

Na Figura 5, é possível observar o ajuste dos dados reais com os resultados gerados pelo modelo *Holt-Winters* Multiplicativo.

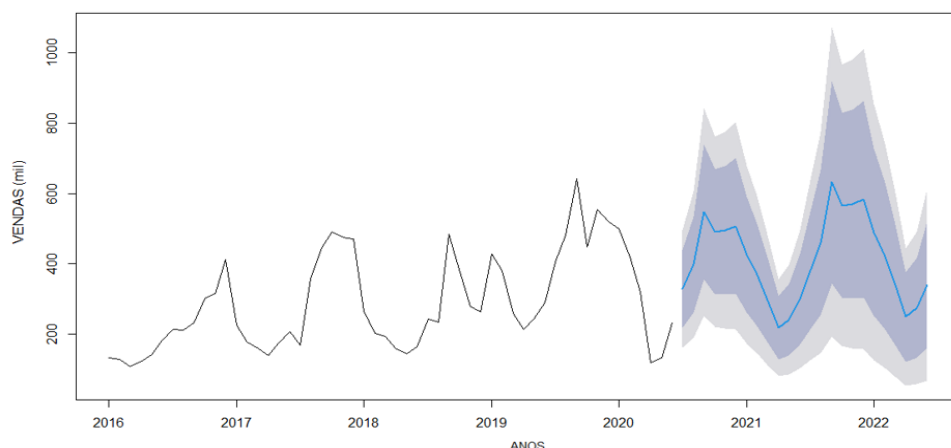
Figura 5 - Ajuste da série pelo modelo Holt-Winters Multiplicativo



Fonte: O autor (2022)

Ainda foi possível determinar os valores de demanda esperados no período de julho de 2020 até dezembro de 2022. Na Figura abaixo, temos os valores plotados graficamente para a demanda esperada em cada ano.

Figura 6 – Previsões de demanda método Holt-Winters Multiplicativo (2020-2022)



Fonte: O autor (2022)

4.1.2 Ar-condicionado de janela

Na Tabela abaixo, contém os dados da demanda mensal de vendas de aparelhos de ar-condicionado janela no período de janeiro de 2017 a dezembro de 2020.

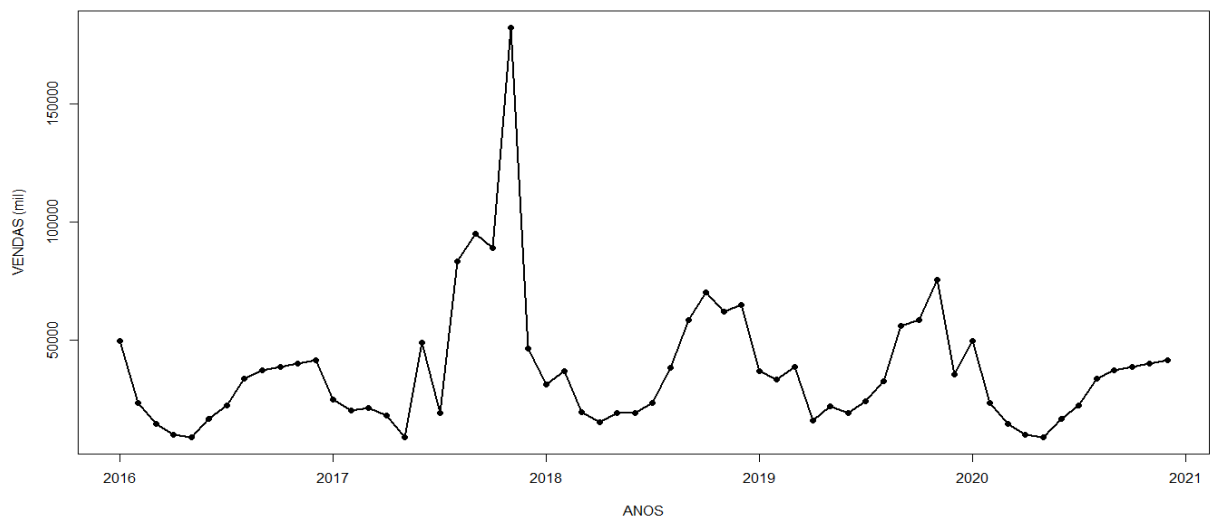
Tabela 4 – Vendas mensais de ar-condicionado janela

Mês	Anos			
	2017	2018	2019	2020
Janeiro	49.429	24.636	31.118	36.658
Fevereiro	23.145	20.152	36.955	33.281
Março	14.625	21.301	19.317	38.499
Abril	9.752	17.983	15.116	15.867
Mai	8.914	8.772	19.156	21.894
Junho	16.608	48.791	19.241	19.109
Julho	22.330	19.012	23.293	23.994
Agosto	33.542	83.407	38.154	32.503
Setembro	37.025	95.075	58.364	55.984
Outubro	38.555	89.068	69.981	58.407
Novembro	39.969	182.338	61.956	75.522
Dezembro	41.264	46.254	64.872	35.497

Fonte: adaptado de ELETROS (2020)

Com o intuito de melhor entender os dados existentes na Tabela acima, foram elaborados gráficos, conforme demonstrado na Figura abaixo

Figura 7 - Demanda de vendas ar-condicionado janela

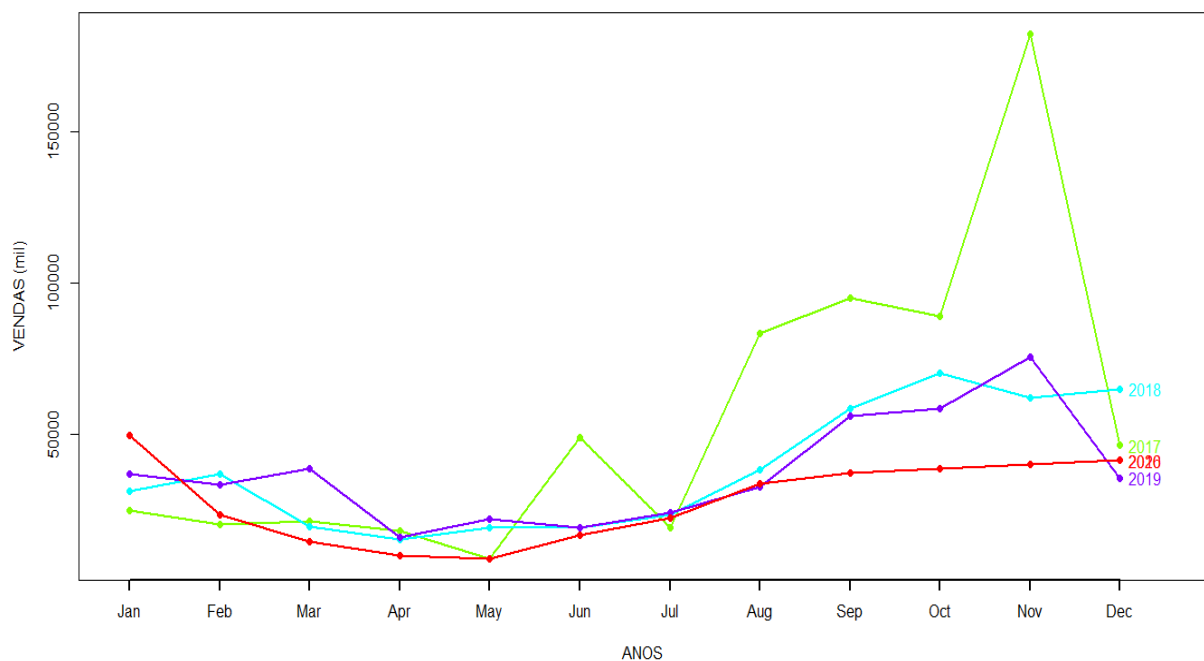


Fonte: O autor (2022)

Assim, a partir da Figura 7 é possível constatar que tiveram oscilações nas vendas do aparelho de ar-condicionado janela durante os anos selecionados. Segundo os dados disponibilizados pela ELETROS (2020), entre o ano 2017 e 2018 houve uma taxa de crescimento e decrescimento na demanda, seguindo da comparação dos anos 2018 e 2019 onde houve um crescimento exponencial, e nos anos seguintes houve decrescimento e crescimento.

Ainda, a fim de entender como a série de dados se comporta, foi construído o gráfico exibido na Figura 8 que demonstra a variação da demanda do ar-condicionado janela no relacionado com a sazonalidade.

Figura 8 - Sazonalidade da demanda de Ar-condicionado de janela



Fonte: O autor (2022)

Desta forma, percebeu-se que o aumento na taxa sazonal é observado principalmente durante os meses de agosto até dezembro, onde existe um crescimento na demanda tanto no ar-condicionado de janela quanto no *split*, onde esse fato pode ser atribuído devido ao período em que o país apresenta uma temperatura climática elevada, como também, os meses finais do ano é marcado por férias e festividades, levando o consumidor a adquirir mais bens de consumo.

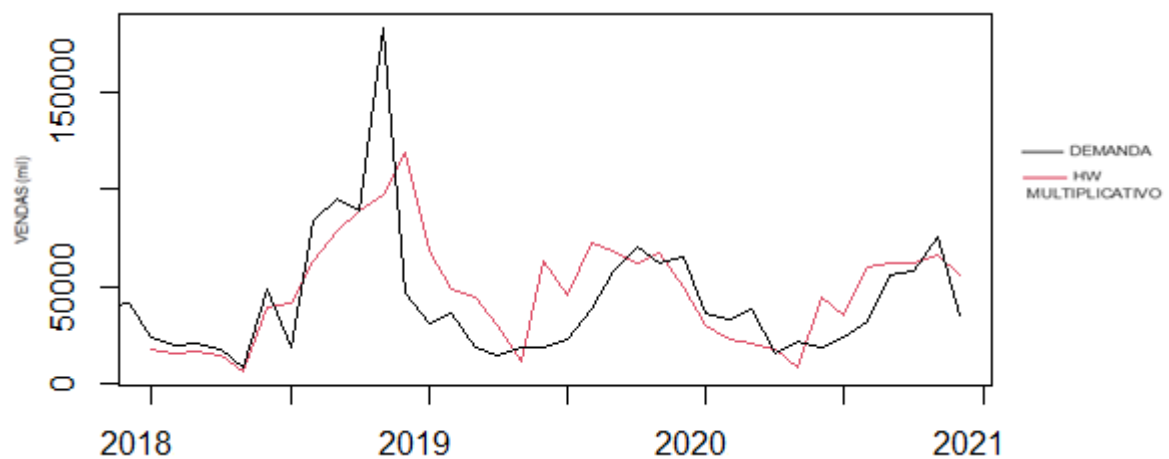
Tabela 5 - Resultados da aplicação dos modelos de Holt-Winters

Métricas de erros	Métodos	
	<i>Holt-Winters</i> Aditivo	<i>Holt-Winters</i> Multiplicativo
ME	-3097.4	-28.699
RMSE	19752.8	13669.9
MAE	14248.6	10458.4
MPE	-19.721	-9.916
MAPE	41.430	32.297
MASE	0.647	0.475
ACF1	-0.126	-0.267

Fonte: O autor (2022)

Após a simulação dos dados no *software Rstudio*, foram obtidos os valores referentes às métricas de erros dos métodos Holt-Winters aditivo e multiplicativo. Por sua vez, foi adotado como critério para escolha de melhor método a métrica MAPE, onde, deve ser classificado como melhor e mais bem ajustado à série, o que obtiver o menor valor. Desta maneira, será considerado o *Holt-Winters* multiplicativo, com 32,29%. Já na Figura abaixo contém o ajuste dos dados obtidos pelo modelo *Holt-Winters* Multiplicativo em comparação aos dados reais da série.

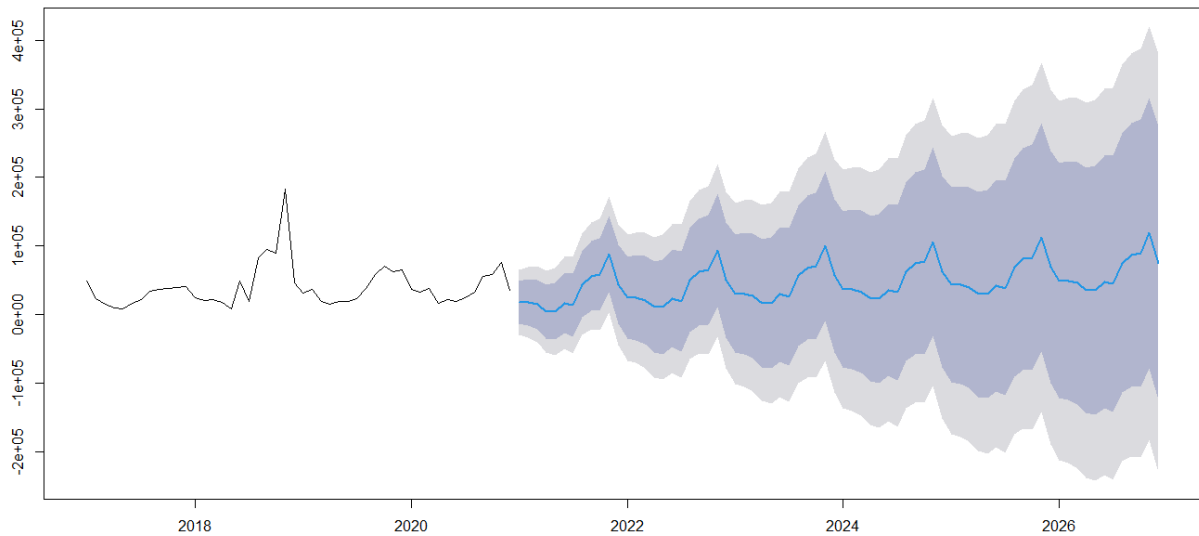
Figura 9 - Ajuste da série pelo modelo Holt-Winters Multiplicativo



Fonte: O autor (2022)

Na Figura 10, temos a previsão de acordo com o tempo de vida útil desse equipamento, tendo como base a vida útil do mesmo.

Figura 10 – Previsão de demanda com o Método Holt-Winters multiplicativo



Fonte: O autor (2022)

4.1.3 Micro-ondas

Os dados de vendas de micro-ondas no período de janeiro de 2016 a dezembro de 2020, estão mostrados a tabela abaixo.

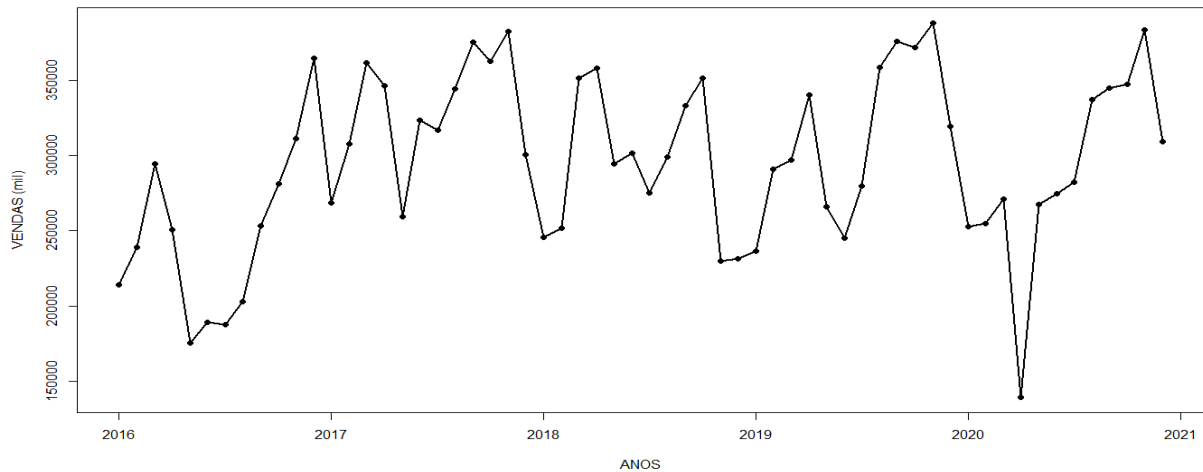
Tabela 6 – Vendas mensais de micro-ondas

Mês	Anos				
	2016	2017	2018	2019	2020
Janeiro	214.269	268.330	245.470	236.197	252.694
Fevereiro	239.233	307.550	251.745	291.174	254.667
Março	294.266	361.834	351.599	297.018	270.899
Abril	250.470	346.377	358.192	340.236	139.209
Mai	175.543	259.596	294.674	266.059	267.702
Junho	189.094	323.488	301.744	244.993	274.718
Julho	187.572	316.979	275.012	279.575	282.507
Agosto	203.028	344.345	298.848	358.455	337.195
Setembro	253.147	375.549	333.283	376.113	344.855
Outubro	281.209	362.772	351.479	371.782	347.527
Novembro	311.113	382.630	229.909	388.263	383.323
Dezembro	364.689	300.514	231.135	319.424	309.346

Fonte: adaptado de ELETROS (2020)

A Figura 9 apresenta a demanda do micro-ondas a partir dos dados dispostos na Tabela acima.

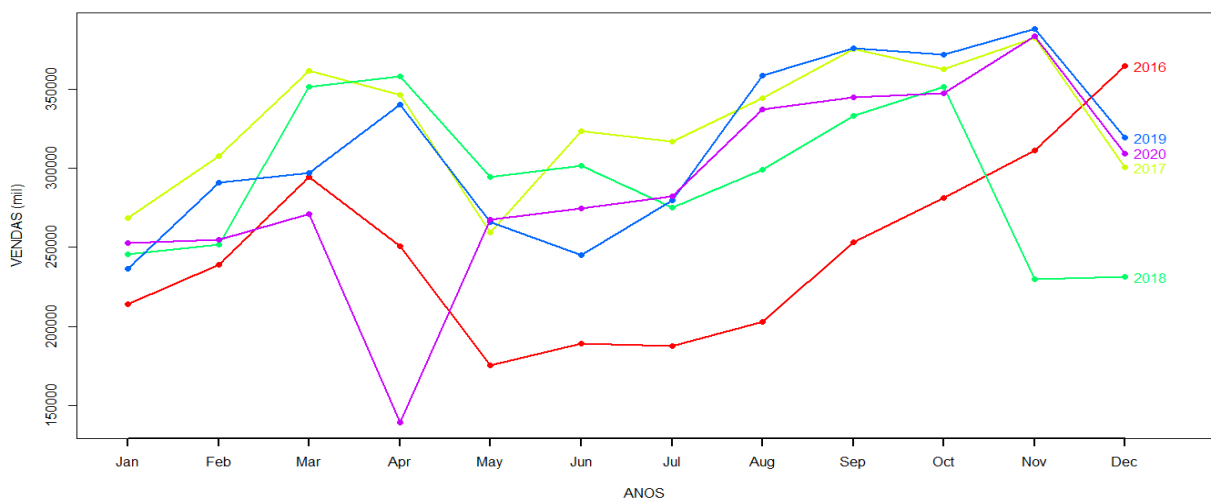
Figura 11 - Demanda de vendas de micro-ondas



Fonte: O autor (2022)

Realizando uma análise no gráfico mostrado na Figura 9, é possível constatar que durante todos os períodos houve diversificações na demanda. E os números de vendas desse equipamento aparece relativamente estável durante os meses. Ainda, pode-se afirmar que micro-ondas é um equipamento de saída estável, pois, ainda não existe um item que possa substituir as suas funções. Na Figura 10, é demonstrado a sazonalidade de vendas.

Figura 12 - Sazonalidade de vendas



Fonte: O autor (2022)

Na Figura acima, durante todos os anos, existe um aumento de vendas durante os meses de julho até novembro. Já no mês de dezembro acontece uma queda que ocorre até, aproximadamente o mês de fevereiro.

Após a simulação visual dos dados, foi realizado a aplicação dos modelos *Holt-Winters* Aditivo e Multiplicativo, tais resultados estão demonstrados na Tabela abaixo.

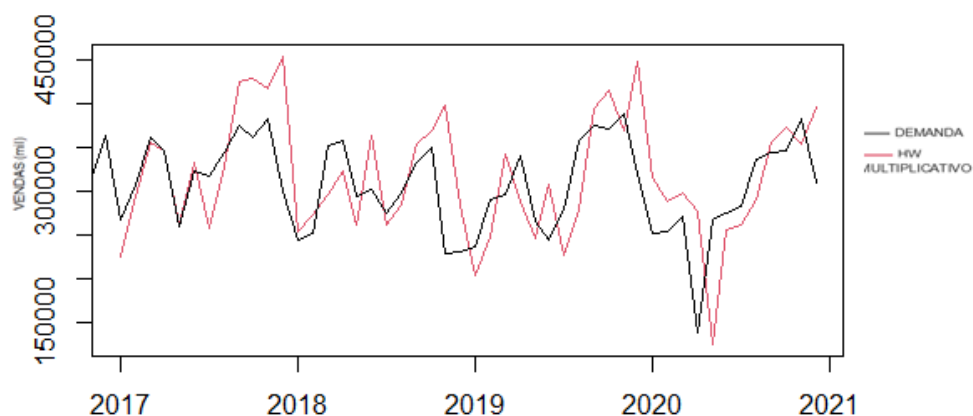
Tabela 7 - Resultados da aplicação dos modelos de Holt-Winters

Métricas de erros	Métodos	
	<i>Holt-Winters</i> Aditivo	<i>Holt-Winters</i> Multiplicativo
ME	-5458.29	-4254.2
RMSE	40946.31	40964
MAE	31693.86	30714.02
MPE	-3.622	-3.319
MAPE	12.044	11.845
MASE	0.580	0.562
ACF1	0.0130	0.229

Fonte: O autor (2022)

Sabendo que a Métrica de Erro escolhida para classificar o melhor método foi o MAPE, logo, de acordo com os resultados obtidos, o *Holt-Winters* multiplicativo foi selecionado com 11,84%. Ainda, na Figura 13 é mostrado o ajuste dos dados reais em comparação com os dados obtidos através do modelo *Holt-Winters* Multiplicativo.

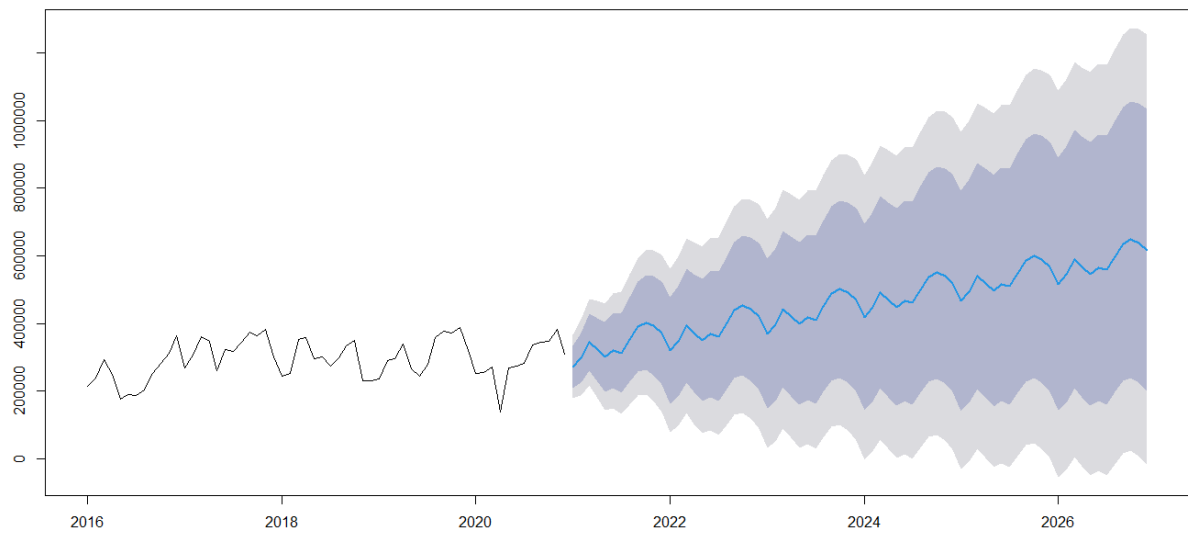
Figura 13 - Ajuste da série pelo modelo Holt-Winters Multiplicativo



Fonte: O autor (2022)

Foram realizadas as previsões de acordo com o tempo de vida útil desse equipamento, em um intervalo de 2021 a 2026, conforme mostrado na Figura a seguir.

Figura 14 - Previsão de demanda com o Método Holt-Winters multiplicativo



Fonte: O autor (2022)

4.1.4 Televisão (LCD, PLASMA e OLED)

Os dados das vendas mensais de televisão (LCD, PLASMA e OLED) no período de janeiro de 2016 a dezembro de 2020, estão mostrados na tabela abaixo.

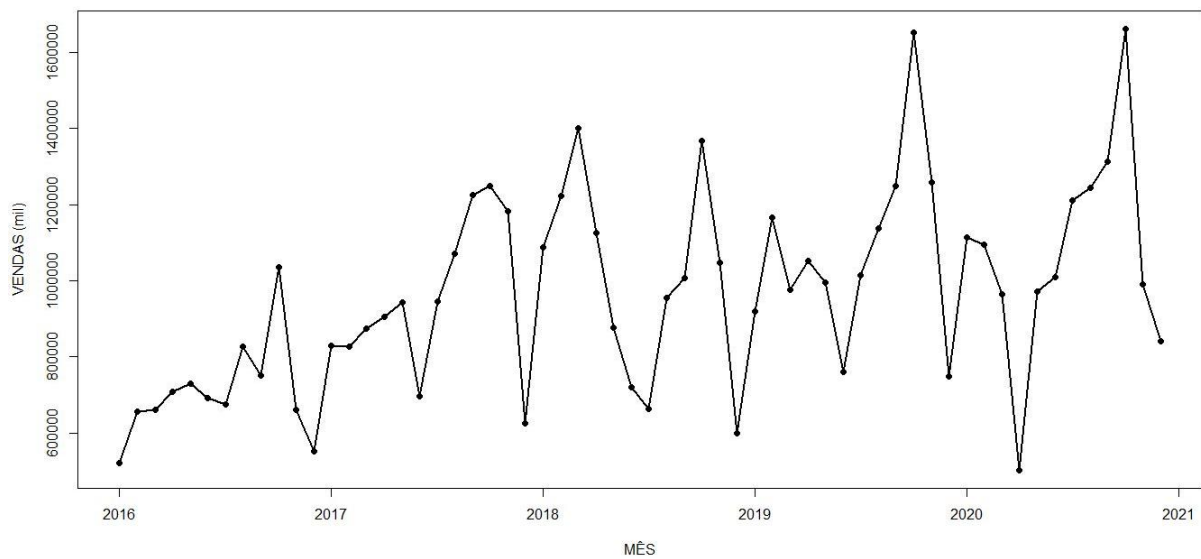
Tabela 8 – Vendas mensais de Televisão

Mês	Anos				
	2016	2017	2018	2019	2020
Janeiro	521.252	829.646	1.088.731	918.839	1.114.578
Fevereiro	655.831	827.988	1.223.047	1.166.601	1.094.443
Março	661.415	873.708	1.400.305	976.677	965.532
Abril	707.643	904.977	1.125.717	1.051.209	502.178
Maio	730.534	942.514	876.843	995.920	971.317
Junho	690.838	695.434	721.355	759.717	1.009.638
Julho	675.685	945.352	663.020	1.013.796	1.210.256
Agosto	827.614	1.070.890	955.288	1.136.815	1.243.677
Setembro	752.142	1.225.886	1.006.542	1.247.850	1.313.217
Outubro	1.036.699	1.249.633	1.368.479	1.652.590	1.661.907
Novembro	661.778	1.183.680	1.046.414	1.257.960	990.382
Dezembro	551.748	625.358	598.520	749.321	840.865

Fonte: adaptado de ELETROS (2020)

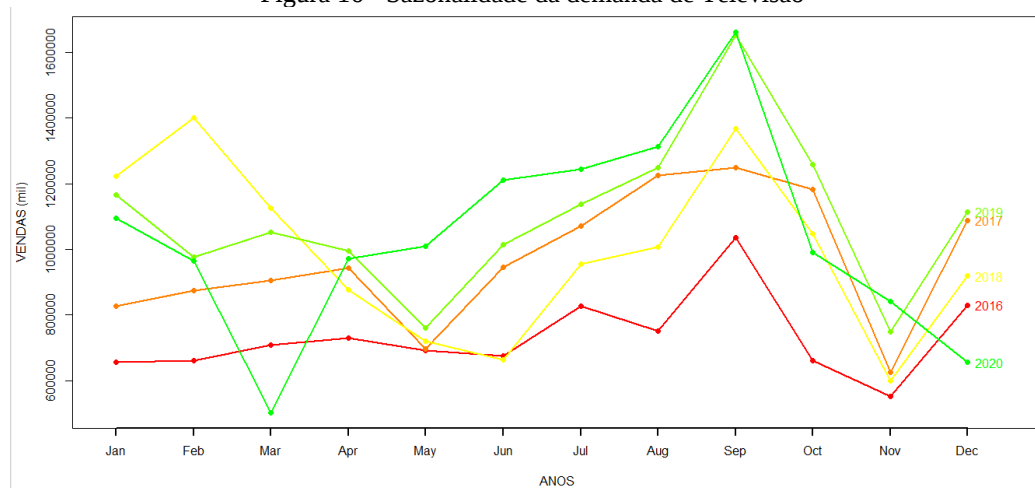
Transformando os dados referentes a vendas de Televisão (LCD, PLASMA e OLED) mostrados na Tabela acima, foram usadas ferramentas visuais com o intuito de melhor compreender o comportamento da série temporal e com isso realizar as previsões propostas. Assim, na Figura 15 é possível verificar a demanda de vendas durante o período de 2016 a 2020, onde, os dados comportaram-se de maneira parecida em quase todos os períodos existente, tanto o crescimento quanto o decrescimento de vendas.

Figura 15 - Demanda de vendas de Televisão



Fonte: O autor (2022)

Figura 16 - Sazonalidade da demanda de Televisão



Fonte: O autor (2022)

Já no gráfico referente a sazonalidade da série temporal, percebeu-se que existe uma alta nas vendas do equipamento em questão durante o mês de setembro durante todos os anos, como também, durante o mês de dezembro.

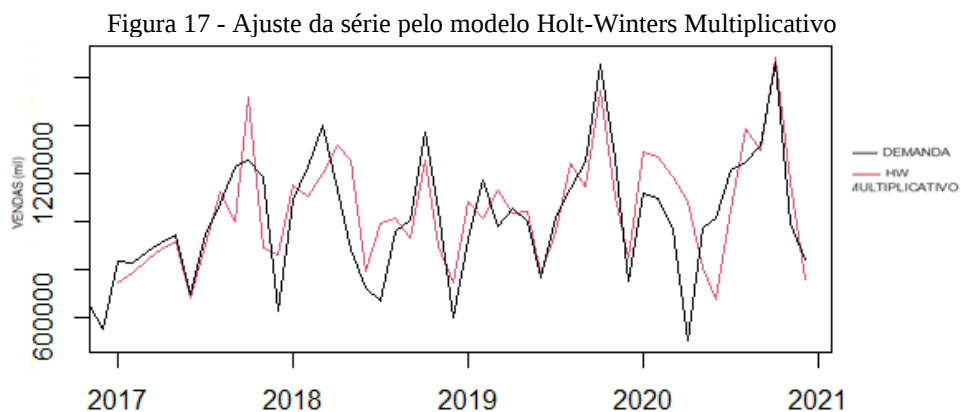
A aplicação dos modelos *Holt-Winters* aditivo e multiplicativo foi efetuado na série de dados, assim, na Tabela 9, fazendo comparações entre os métodos observando os valores do MAPE, o método selecionado será o multiplicativo para fazer as previsões, por ter se apresentado com o menor valor.

Tabela 9 - Resultados da aplicação dos modelos de Holt-Winters

Métricas de erros	Métodos	
	<i>Holt-Winters</i> Aditivo	<i>Holt-Winters</i> Multiplicativo
ME	-18411.69	-15369.62
RMSE	145905.9	135984.4
MAE	115801.8	104926.7
MPE	-3.470	-3.341
MAPE	13.673	12.295
MASE	0.589	0.533
ACF1	0.026	0.029

Fonte: O autor (2022)

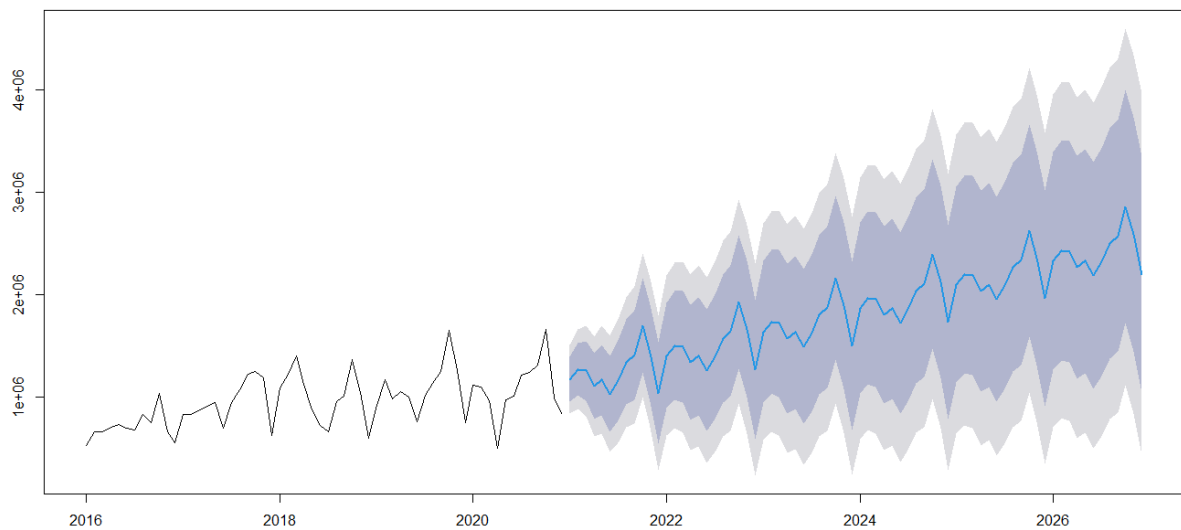
O ajuste da série de dados foi realizado e mostrado na Figura 17, onde os valores reais foram ajustados comparando-o com os obtidos através do método Holt-Winters Multiplicativo



Fonte: O autor (2022)

Ainda, foram realizadas as previsões da demanda deste equipamento as quais foram plotadas na Figura a seguir, com projeções entre o período de janeiro de 2021 a dezembro de 2026.

Figura 18 - Previsão de demanda pelo método Holt-Winters multiplicativo



Fonte: O autor (2022)

4.1.5 Blu-ray

Os dados de vendas mensais de *Blu-ray* entre o período de janeiro de 2016 a dezembro de 2020, estão mostrados a tabela abaixo.

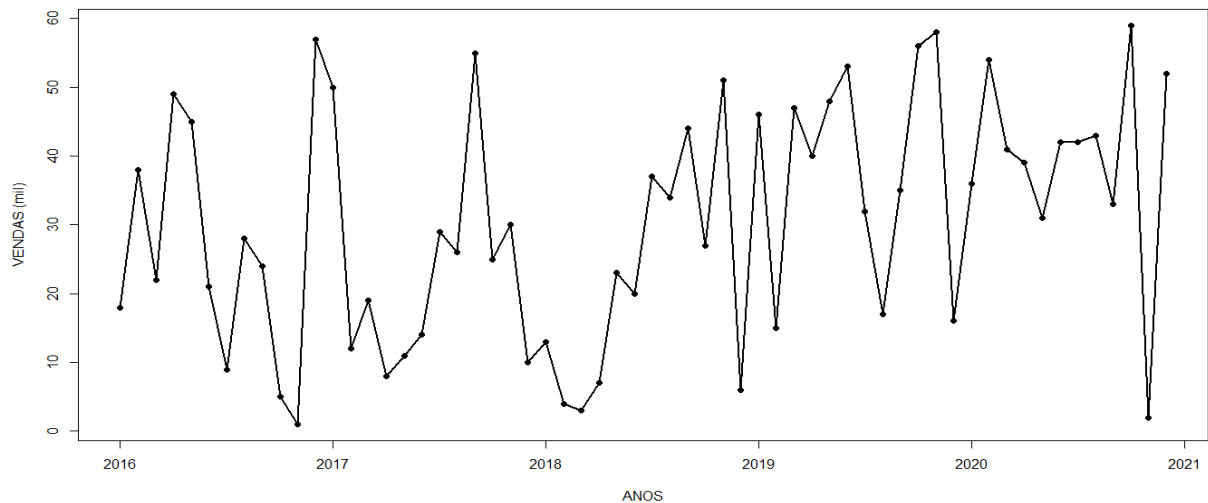
Tabela 10 – Vendas mensais de Blu-ray

Mês	Anos				
	2016	2017	2018	2019	2020
Janeiro	2. 200	737	1. 821	664	486
Fevereiro	5. 904	1. 759	1. 264	121	864
Março	2. 619	2. 292	1. 120	703	560
Abril	731	1. 575	1. 389	552	506
Maio	658	1. 731	2. 837	721	354
Junho	2. 455	1. 882	2. 318	782	604
Julho	1. 638	3. 323	490	374	604
Agosto	3. 284	3. 045	479	138	618
Setembro	2. 913	875	621	481	401
Outubro	1. 354	2. 978	3. 246	925	992
Novembro	1	3. 493	743	970	1. 102
Dezembro	950	1. 656	1. 367	128	750

Fonte: adaptado de ELETROS (2020)

A Figura 19 apresenta a demanda de vendas do *Blu-ray* a partir dos dados dispostos na Tabela acima, o mesmo foi plotado com o intuito de obter melhor entendimento do comportamento da série.

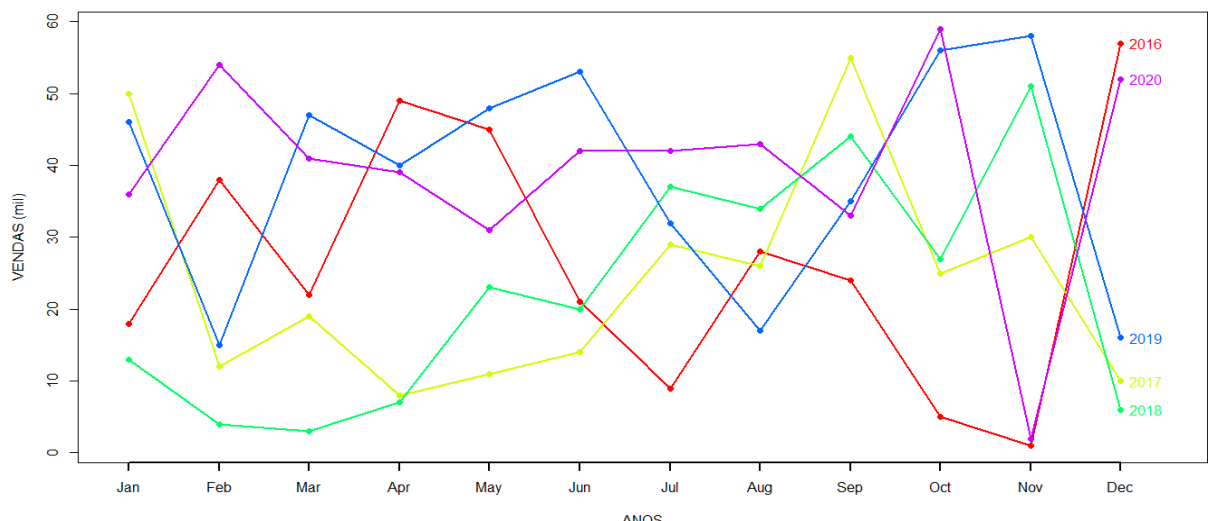
Figura 19 - Demanda de Blu-ray



Fonte: O autor (2022)

Deste modo, é percebido que a taxa de vendas deste equipamento contém variações na quantidade de saídas durante todos os meses analisados. Onde, a partir da série de dados, é visto que existe uma tendência de decrescimento, uma vez que, o produto em questão encontra-se em estágio de desuso entre os consumidores devido ao aumento de tecnologias disponíveis no mercado, propiciando uma baixa nas vendas.

Figura 20 - Sazonalidade da saída de Blu-ray



Fonte: O autor (2022)

A partir do gráfico de sazonalidade da demanda de *Blu-ray*, apresentada na Figura 20, é visto que nos anos de 2017, 2018 e 2019 houveram uma baixa durante o mês de dezembro,

no entanto, demonstrou um aumento de sazonalidade entre os meses de julho e agosto, como também, no mês de novembro durante todos os anos.

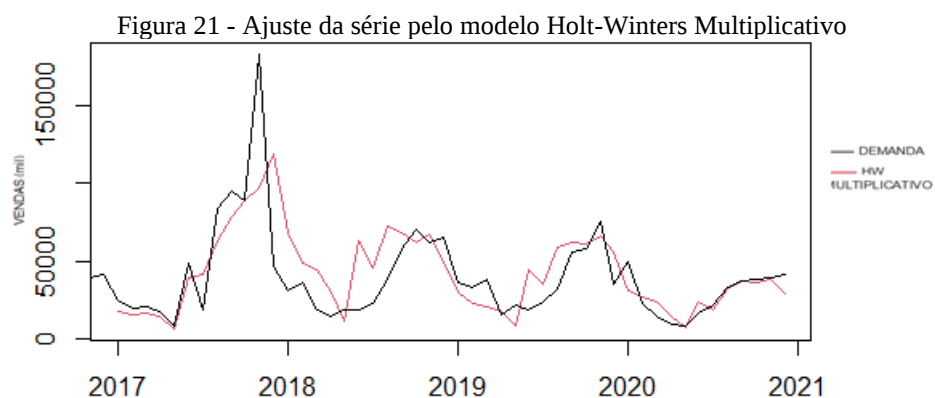
Tabela 11 - Resultados da aplicação dos modelos de Holt-Winters

Métricas de erros	Métodos	
	<i>Holt-Winters</i>	
	<i>Aditivo</i>	<i>Holt-Winters Multiplicativo</i>
ME	-2894.167	156.12
RMSE	18859.94	13425.91
MAE	13497.87	9720.703
MPE	-18.76723	-9.002809
MAPE	39.76885	29.654
MASE	0.6870603	0.4947972
ACF1	-0.1101456	-0.2618199

Fonte: O autor (2022)

Na Tabela 11, temos o resultado da aplicação dos modelos *Holt-Winters* Aditivo e Multiplicativo. Assim, ao realizar comparações entre eles, a métrica de erro MAPE do método multiplicativo se destacou entre as demais, fazendo com que o método fosse classificado para que seja realizada as projeções da quantidade de lixo eletrônico, tendo como base a vida útil do equipamento em questão.

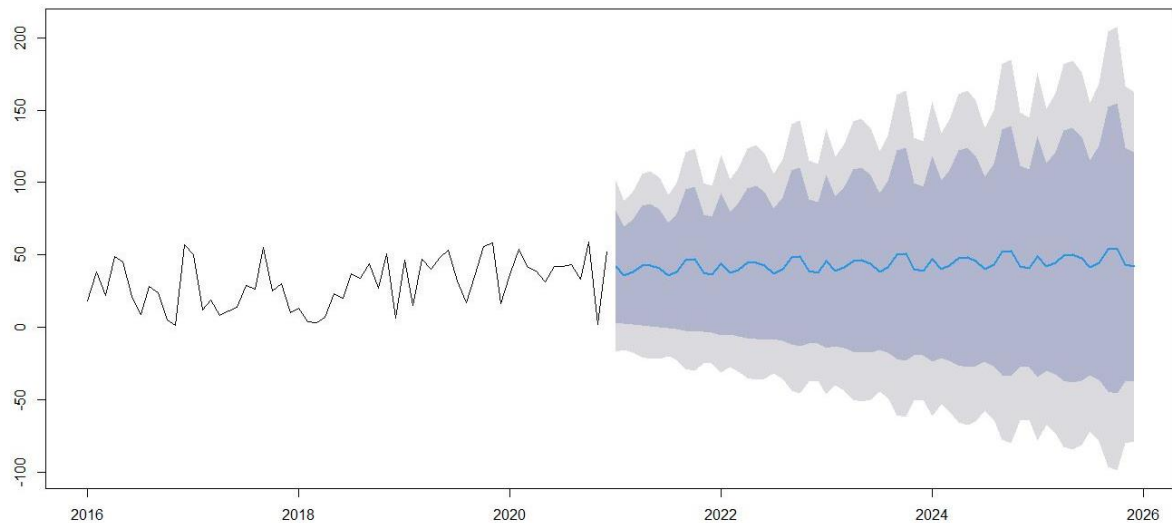
Tendo como base o gráfico plotado e mostrado na Figura 21, é visto o ajuste dos dados reais em relação aos dados obtidos através do modelo Holt-Winters multiplicativo.



Fonte: O autor (2022)

Ainda, na Figura 22 temos a previsão de demanda pelo método selecionado, o Holt-Winters multiplicativo entre os anos de 2022 a 2026.

Figura 22 - Previsão de demanda pelo método Holt-Winters



Fonte: O autor (2022)

4.2 PREVISÃO DA GERAÇÃO DE REEE

Nesta seção, serão apresentadas as previsões geradas através do modelo que foi selecionado anteriormente, o Holt Winters Multiplicativo, o qual obteve maior grau de acurácia. Ainda, torna-se necessário ressaltar que a série de dados utilizada abrange o período de janeiro de 2016 a dezembro de 2020.

Com o intuito de alcançar previsões assertivas até o ano do fim da vida útil de cada equipamento utilizado nesta pesquisa, cada projeção realizada será adicionada à série de dados original, gerando uma nova série, para que assim seja possível obter a previsão do próximo ano. Para simplificar, segue o exemplo: Para que a previsão da geração de resíduo de televisões durante um período de dez anos seja realizada, foi considerado um intervalo de dados reais de vendas do equipamento entre os anos 2016 a 2020, obtendo-se assim um resultado a partir do ano 2026-2035. Todas as previsões foram realizadas no *software Rstudio*.

4.2.1 Previsão de REEE de ar-condicionado *split* e ar-condicionado janela

Ao fazer uma análise no mercado de aparelhos de ar-condicionado é observado que existe um mercado presente em todas as áreas, como por exemplo, nas residências, nos comércios e em setores públicos. É um equipamento com mercado expandido e maduro com uma diversidade de modelos de produtos e que ainda continua em grande ascensão. No setor

industrial do Brasil, tem-se estimado que a aquisição de ar-condicionado pelas famílias nos últimos dez anos tenha duplicado (IEA, 2018).

É possível atribuir tal crescimento mercadológico aos fatores demográficos do nosso país, que está relacionado às mudanças existentes nas classes sociais, isto é, quanto maior for a renda das classes econômicas, maior será a relação entre os consumidores e o mercado em questão.

Ainda, o local de moradia é um fator relevante uma vez que grande parte do território brasileiro se encontra em zonas tropicais, onde a temperatura é elevada, ou seja, o aparelho tem uma climatização voltada para a refrigeração. E, nas regiões em que o existe o clima frio, no inverno torna-se necessário que a climatização seja voltada para o inverno, fazendo com que aconteça uma alta demanda na saída do equipamento em questão.

Desta maneira, sabendo que a vida útil de um ar-condicionado *split*, de acordo com a ELETROS (2021) é de em média dez a quinze anos, foi estimada a quantidade da geração de lixo eletrônico desse equipamento no período de uma década (2026-2035), conforme demonstrado na Tabela abaixo, onde os valores destacados correspondem à previsão de geração de REEE.

Tabela 12 - Previsão de REEE de ar-condicionado split

	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Jan	132.547	224.200	265.740	428.887	500.333	532.168	639.914	747.661	855.407	963.154
Fev	128.366	178.089	203.458	381.500	418.886	447.934	537.121	626.308	715.495	804.682
Mar	107.474	160.032	193.886	259.690	320.100	325.180	388.869	452.558	516.247	579.936
Abr	120.966	139.599	159.981	214.579	119.569	275.757	328.899	382.041	435.183	488.325
Mai	141.399	175.326	143.976	243.245	132.388	300.849	357.910	414.971	472.032	529.094
Jun	181.390	206.503	163.884	290.837	233.104	366.699	435.168	503.636	572.105	640.573
Jul	214.660	169.243	243.920	405.166	375.323	470.336	556.809	643.283	729.757	816.230
Ago	211.236	358.101	235.237	481.700	530.482	616.596	728.250	839.903	951.557	1063.21
Set	231.054	444.965	483.311	642.088	619.591	785.896	926.091	1.066.286	120.648	1346.67
Out	301.849	490.002	374.982	448.127	772.736	810.627	953.115	1.095.600	123.809	380.58
Nov	314.444	474.501	279.238	553.625	742.933	771.083	904.664	1.038.245	117.182	130.540
Dez	412.095	469.775	264.080	519.645	570.328	778.543	911.497	1.044.451	117.740	131.036

Fonte: O autor (2022)

De acordo com a tabela de previsão, é possível constatar que a geração de resíduos de lixo eletrônico no Brasil é crescente durante todos os períodos, e fazendo um somatório das projeções no ano de 2035, teremos em média 4,5 milhões de lixo produzido apenas desse tipo de equipamento. Como sabemos, grande parte dessa totalidade é descartada erroneamente, acarretando em diversos problemas sociais, ambientais e de saúde para a população.

Tornando-se assim, cada dia mais, necessário alguma intervenção para a implementação da logística reversa e da reciclagem legal.

Já os equipamentos do tipo janela, teve uma grande inserção do mercado até meados dos anos 2010, até o aparecimento do ar-condicionado *split*. Os modelos mais antigos deste equipamento, o tipo janela, faz uso compressores do tipo alternativo, onde o ar é comprimido, ocasionando a produção de ruído mais elevado, como também um maior desgaste de suas peças, acarretando, conseqüentemente, na redução da vida útil do mesmo (STOECKER, JONES, 1985).

Desse modo, foi realizado a previsão da geração de lixo eletrônico de ar-condicionado janela em um intervalo de cinco anos, conforme demonstrado na Tabela abaixo.

Tabela 13 - Previsão de REEE de ar-condicionado janela

	2022	2023	2024	2025	2026
Jan	49.429	24.636	31.118	36.658	20.415
Fev	23.145	20.152	36.955	33.281	16.992
Mar	14.625	21.301	19.317	38.499	12.700
Abr	9.752	17.983	15.116	15.867	7.296
Mai	8.914	8.772	19.156	21.894	7.854
Jun	16.608	48.791	19.241	19.109	9.969
Jul	22.330	19.012	23.293	23.994	8.253
Ago	33.542	83.407	38.154	32.503	15.363
Set	37.025	95.075	58.364	55.984	16.553
Out	38.555	89.068	69.981	58.407	13.112
Nov	39.969	182.338	61.956	75.522	15.642
Dez	41.264	46.254	64.872	35.497	4.084

Fonte: O autor (2022)

Com base nas projeções realizadas, é visto que ao final do ano de 2026 teremos aproximadamente 1,9 milhões de resíduos de lixo eletrônico de ar-condicionado do tipo janela. E, de acordo com estudos realizados pelo Instituto de Economia Agrícola (IEA), é visto que até o ano de 2030 o consumo de ar-condicionado deve triplicar, gerando grandes quantidades de resíduos deste equipamento ao término de sua vida útil ou quando descartados devido a obsolescência percebida.

Este modelo de aparelho, o tipo janela, vem a cada dia sendo substituído pelo modelo *split* devido a diversas vantagens que o mesmo traz, uma delas é a redução no consumo de

energia elétrica, e isso vem impactando diretamente na troca de aparelhos em residências brasileiras, influenciando no descarte após a substituição.

4.2.2 Previsão de REEE de micro-ondas

Pode-se afirmar que o micro-ondas é um produto com ascensão e continuidade na demanda de venda, uma vez que, ainda não existe outro equipamento que consiga substituir sua funcionalidade.

Dessa forma, realizando uma análise de mercado do mesmo, foi visto que os consumidores tem tendência de procurar por um produto que demande maior facilidade de uso, onde esse aspecto apresenta-se não só como requisito comercial, mas sim a comprovação de que o fabricante identifica a importância de proporcionar ao consumidor a possibilidade de o consumidor interagir e controlar o equipamento, acarretando assim em qualidade de uso, satisfação e segurança.

Ainda, os consumidores optam adquirir o aparelho micro-ondas por ser ergonomicamente projetado, trazendo o máximo de conforto e segurança ao usuário, proporcionando assim um aumento na demanda por este produto.

Tabela 14 - Previsão de REEE de micro-ondas do ano 2026 a 2030

	2026	2027	2028	2029	2030
Jan	214.269	268.330	245.470	236.197	252.694
Fev	239.233	307.550	251.745	291.174	254.667
Mar	294.266	361.834	351.599	297.018	270.899
Abr	250.470	346.377	358.192	340.236	139.209
Mai	175.543	259.596	294.674	266.059	267.702
Jun	189.094	323.488	301.744	244.993	274.718
Jul	187.572	316.979	275.012	279.575	282.507
Ago	203.028	344.345	298.848	358.455	337.195
Set	253.147	375.549	333.283	376.113	344.855
Out	281.209	362.772	351.479	371.782	347.527
Nov	311.113	382.630	229.909	388.263	383.323
Dez	364.689	300.514	231.135	319.424	309.346

Fonte: O autor (2022)

Tabela 15 - Previsão de REEE de micro-ondas do ano 2031 a 2035

	2031	2032	2033	2034	2035
Jan	264.260	277.451	290.645	303.842	317.040
Fev	299.028	313.894	328.762	343.633	358.506
Mar	358.800	376.564	394.331	412.100	429.873
Abr	322.879	338.799	354.721	370.646	386.575
Mai	268.972	282.180	295.390	308.602	321.816
Jun	292.430	306.731	321.034	335.340	349.649
Jul	293.217	307.498	321.782	336.068	350.357
Ago	338.903	355.343	371.785	388.231	404.679
Set	359.898	377.286	394.677	412.071	429.468
Out	372.823	390.763	408.706	426.653	444.602
Nov	264.260	277.451	290.645	303.842	317.040
Dez	299.028	313.894	328.762	343.633	358.506

Fonte: O autor (2022)

Ao realizar as projeções da geração de REEE deste equipamento, tendo em vista que a sua vida útil permanece em cerca de dez a quinze anos, foi considerado um intervalo de dez anos (2026-2035), conforme demonstrado nas Tabela 14 e 15. Tais previsões demonstraram que durante esse período serão gerados aproximadamente 39 bilhões de lixo até o ano de 2035. Assim, é visto que a realização de reciclagem e do descarte correto é essencial, além de trazer benefícios econômicos para o país, pois os itens que compõe o equipamento (alumínio, cobre, ouro, entre outros) possuem valor quando são desmontados e reaproveitados corretamente.

4.2.3 Previsão de REEE de Televisão (LCD, PLASMA e OLED)

Há cerca de dez anos surgia uma grande novidade tecnológica, as *smart TVs*, televisões com conexão à internet. Este processo iniciou-se da evolução das televisões de tela plana, a LCD, que antes era um produto com alto valor de aquisição e aos poucos foi se popularizando. Atualmente, as *smart TVs* dominam quase que integralmente o mercado de televisões do Brasil.

A partir da análise mercadológica foi constatado que até o mês de junho de 2021, de acordo com a Eletros, a presença das *smart TVs* era de 99,4% no total de vendas. No ano de 2020, houve um total de 12,6 milhões de televisores vendidos no país, representando cerca de

97,7% das vendas. A vantagem de demanda desse equipamento foi progressiva, onde em 2016 a modalidade somava o total de vendas 52% e, em 2018, 85%.

Assim, o mercado de televisores vem tendo um rápido progresso nos últimos anos, e, em 2020 as vendas cresceram ainda mais. Para explicar esse comportamento podemos considerar que com a pandemia do Covid-19 e a cultura do “fique em casa” tiveram grande influência nesse impacto no crescimento de vendas, uma vez que as pessoas tenderam a adquirir mais bens que trouxessem bem-estar durante um período difícil.

Ainda de acordo com a Eletros, essa mudança de comportamento de consumo foi o que auxiliou ao mercado se manter estável. Em 2020, a taxa de saída desse produto caiu em média 0,5% em comparação com 2019. Já em 2021, a queda apresentou-se com 5% em relação ao ano passado.

Durante o segundo semestre é percebida uma sazonalidade devido às datas comemorativas como por exemplo, o *Black Friday*, natal e férias, onde as pessoas tendem a realizar aquisições de equipamentos para as suas residências. Outros fatores que influenciam na grande saída desse produto é o advento da obsolescência programada, o que faz com que a TV possua tempo determinado de funcionamento, e por fim, a obsolescência percebida, que é quando o consumidor percebe que existe versões mais modernas e com isso faz a substituição do aparelho por um mais

Desse modo, com a alta demanda de televisores traz consigo impactos negativos decorrentes do aumento de lixo eletrônico disposto no meio ambiente. Como sabemos, as previsões de compra e consequentemente da geração de lixo são de crescimento. Desta maneira, foi realizado uma previsão da geração de lixo eletrônico de televisores nas Tabelas 16 e 17.

Tabela 16 - Previsão de REEE de Televisão do ano 2026 a 2030

	2026	2027	2028	2029	2030
Jan	521.252	829.646	1.088.731	918.839	1.114.578
Fev	655.831	827.988	1.223.047	1.166.601	1.094.443
Mar	661.415	873.708	1.400.305	976.677	965.532
Abr	707.643	904.977	1.125.717	1.051.209	502.178
Mai	730.534	942.514	876.843	995.920	971.317
Jun	690.838	695.434	721.355	759.717	1.009.638
Jul	675.685	945.352	663.020	1.013.796	1.210.256
Ago	827.614	1.070.890	955.288	1.136.815	1.243.677
Set	752.142	1.225.886	1.006.542	1.247.850	1.313.217
Out	1.036.699	1.249.633	1.368.479	1.652.590	1.661.907

Nov	661.778	1.183.680	1.046.414	1.257.960	990.382
Dez	551.748	625.358	598.520	749.321	840.865

Fonte: O autor (2022)

Tabela 17 - Previsão de REEE de Televisão do ano 2031 a 2035

	2031	2032	2033	2034	2035
Jan	1.196.530	1.381.010	1.565.490	1.749.971	1.934.452
Fev	1.369.604	1.578.089	1.786.576	1.995.062	2.203.550
Mar	1.352.846	1.556.201	1.759.556	1.962.912	2.166.269
Abr	1.155.534	1.327.081	1.498.629	1.670.177	1.841.726
Mai	1.185.661	1.359.529	1.533.398	1.707.268	1.881.138
Jun	1.012.092	1.158.716	1.305.340	1.451.965	1.598.591
Jul	1.197.817	1.369.278	1.540.739	1.712.201	1.883.663
Ago	1.395.998	1.593.472	1.790.946	1.988.421	2.185.897
Set	1.477.726	1.684.325	1.890.925	2.097.525	2.304.126
Out	1.853.900	2.110.107	2.366.315	2.622.523	2.878.733
Nov	1.395.948	1.586.670	1.777.392	1.968.116	2.158.839
Dez	916.305	1.040.086	1.163.868	1.287.650	1.411.433

Fonte: O autor (2022)

Para a efetivação das projeções de REEE de televisores foi levado em consideração a sua vida útil, assim, verificou-se que é de aproximadamente dez anos.

Somente o último ano de projeção terá aproximadamente 1,5 milhões de aparelhos descartados e parte de sua totalidade pode ser disposto de maneira incorreta, tornando um grave problema ambiental, tendo em vista que em seu interior contém metais raros que quando em contato com o meio ambiente pode trazer riscos à saúde.

A reciclagem desse equipamento deve ser vista como reciclagem de resíduos perigosos, dado que em sua composição contém grande quantidade de metais altamente perigosos, como por exemplo, o chumbo que de acordo com a NBR 10004/04 é classificado com risco Classe 1. Por esse motivo não podem ser descartados em aterros sanitários, mas sim direcionado para uma empresa que faça essa destinação correta ambientalmente.

4.2.4 Previsão de REEE de Blu-ray

O Blu-ray foi lançado em meados dos anos 2000, sob patrocínio de grandes empresas, como por exemplo, a Sony, Samsung, LG entre outras. Tinha como objetivo suprir o mercado consumidor com um disco óptico que tivesse a capacidade de fazer armazenamento em

grande quantidade de dados, dado que, o mercado fica cada vez mais exigente tendo em vista a quantidade de conteúdo proporcionado. Para isso, era necessário adquirir um próprio aparelho Blu-ray que fizesse a leitura compatível com esse novo formato de mídia.

Por muitos anos, este tipo de equipamento permaneceu na liderança no quesito de popularidade no consumo devido à grande quantidade de vantagens que até então oferecia, como por exemplo, leitura de mídia com maior espaço para armazenamento de dados e melhor qualidade de imagem. Porém, no Brasil, do mesmo modo que aconteceu sua ascensão, houve um declínio nas vendas influenciado por vários fatores, dentre eles temos a questão do alto valor para aquisição, onde, mesmo proporcionando diversas vantagens, para os consumidores não compensava a enorme diferença de valor em relação ao DVD.

Além disso, a inserção do mercado de streaming possibilitou ainda mais para que houvesse uma queda na quantidade de vendas realizadas desse equipamento. Mas, devido à grande demanda do mesmo há alguns anos, é sabido que após o término de sua vida útil, quebra, ou obsolescência percebida, os consumidores tendem a descartá-lo. Dessa forma, foi realizado uma projeção da geração de resíduos desse equipamento, conforme apresentado na Tabela abaixo.

Tabela 18 - Previsão de REEE de Blu-ray

	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Jan	2. 200	737	1. 821	664	486	2.158	2.430
Fev	5. 904	1. 759	1. 264	121	864	1.865	2.701
Mar	2. 619	2. 292	1. 120	703	560	5.351	1.833
Abr	731	1. 575	1. 389	552	506	9.853	1.079
Mai	658	1. 731	2. 837	721	354	1.308	1.238
Jun	2. 455	1. 882	2. 318	782	604	6.731	1.308
Jul	1. 638	3. 323	490	374	604	8.144	1.984
Ago	3. 284	3. 045	479	138	618	780	3.835
Set	2. 913	875	621	481	401	4.574	4.977
Out	1. 354	2. 978	3. 246	925	992	4.845	5.003
Nov	126	3. 493	743	970	1. 102	730	7.692
Dez	950	1. 656	1. 367	128	750	3.156	3.287

Fonte: O autor (2022)

As projeções realizadas na Tabela 18, teve como base a quantidade de anos de vida útil deste equipamento, assim, as previsões estão entre os anos de 2023 até 2029, totalizando em sete anos. Ao término desse período (2023-2029), teremos um quantitativo de aproximadamente 742.646 aparelhos descartados, e grande percentual dos consumidores

realizam o descarte inapropriado conforme ao indicado. E esse fato pode estar atrelado à falta de conhecimento dos malefícios que esse comportamento pode trazer a saúde, bem como, a falta de um centro que realize a coleta desse equipamento para que possa ser descartado da maneira correta.

Desta maneira, é reforçado ainda mais a necessidade de que exista uma política de logística reversa nas indústrias fabricantes de equipamentos eletroeletrônicos, como também, a implantação de maiores quantidades de centros de reciclagem legalizada, possibilitando maior geração de lucros devido a reutilização de componentes extraídos de aparelhos descartados, melhor qualidade de vida para coletores e comunidade, visto que, não ocorrerá o contato com metais preciosos (cobre, ouro, alumínio, prata e entre outros).

5 CONCLUSÃO

A partir dos dados coletados, este trabalho possibilitou ter uma visão sobre os hábitos de consumo de equipamentos eletroeletrônicos dos brasileiros, permitindo assim chegar-se ao objetivo proposto inicialmente: elaborar a previsão de geração de REEE no Brasil. E, sabendo que o dimensionamento desses resíduos é uma atividade em desenvolvimento no país, esse trabalho oferece um modelo utilizando série temporal para prever a quantidade de lixo eletrônico com base na vida útil dos equipamentos.

O modelo de séries temporais usados nesta pesquisa se ajustou bem às séries trazendo boas previsões, onde, as séries mensais de demandas, apresentaram um comportamento bem definido de sazonalidade e tendência com periodicidade anual. Assim, dentre os métodos considerados, foram classificados para uso os métodos de *Holt-Winters* aditivo e multiplicativo para projetar os dados mensais, para isso foi usado o *software RStudio*, programa desenvolvido e integrado para a linguagem R, utilizado para realizar plotagem de gráficos e cálculos estatísticos. Ainda, o resultado obtido para a escolha e validação do modelo foi dado através do Menor Erro Percentual Absoluto Médio (MAPE).

O Brasil, de acordo com a ONU, é classificado como líder na produção de lixo eletrônico na América Latina. O país produz em média 1,5 toneladas de lixo, porém, apenas 3% dessa totalidade é coletada da maneira adequada. Além disso, a presença de mercado informal de itens eletroeletrônicos, bem como a inexistência de uma estrutura de logística reversa em diversas regiões do país, faz com que o gerenciamento desses resíduos se tornem cada vez mais complexos trazendo assim a falta de informações precisas referente à quantidade de lixo produzido.

Ainda, é importante ressaltar que a exposição humana a determinadas substâncias existentes no lixo eletrônico trazem prejuízos que estão ligados diretamente à saúde humanitária, atingindo principalmente os cidadãos que estão em áreas mais suscetíveis e em que a extração de metais perigosos é realizada de maneira informal, ou seja, sem nenhum monitoramento regulamentado.

Desta maneira, a previsão de geração de REEE auxilia na implementação de logística reversa como etapa final nas empresas produtoras dos equipamentos eletroeletrônicos, a reciclagem de forma legal e também para o governo, onde, tais informações possibilita um melhor mapeamento de descartes incorretos, podendo assim, trazer mais segurança, planejamento e possíveis políticas para a disposição correta do item ao final da sua vida útil.

5.1 IMPACTOS AMBIENTAIS, SOCIAIS E ECONÔMICOS

Nos últimos anos, tem sido ampliado a produção de REEE em grande escala, sendo cada vez mais indispensáveis nas mais variadas áreas de atividade. O alcance à tecnologia atrelada a obsolescência programada e percebida possibilita a obrigação de realizar a substituição dos eletroeletrônicos. Desse modo, quando os REEE são descartados de maneira inadequada ou quando são desmanchados sem a orientação correta, podem trazer impactos ambientais por meio da contaminação das águas e do solo, propiciando um risco à saúde dos colaboradores que realizam a coleta e reciclagem, como também a população do entorno (WIDMER et al., 2005).

Em diversos lugares o sistema de serviço de coleta de lixo e reciclagem são realizadas por setores informais. Dessa forma, têm viabilizado a geração de empregos, porém, as condições dos trabalhadores dessas associações são insalubres, precárias, dispõem de baixas circunstâncias de segurança e são mal remunerados.

Os riscos ambientais que acontecem devido a geração de resíduos na mineração para o alcance de metais ainda na forma *in-natura* são altos, e que, a utilização de informações que estimulem a reciclagem de tais metais alcançará grandes ganhos econômicos e ambientais. Os componentes do *e-waste*, como o ferro e o plástico, influencia diretamente no peso, em contrapartida os metais preciosos como o cobre, alumínio e o ouro, dominam o valor econômico no mercado, uma vez que uma placa mãe é possível encontrar cerca de 250g por 1ton de metais preciosos nos REEE. Assim, pode ser recuperado milhões em dinheiro a partir da reciclagem do lixo eletrônico.

Com as informações obtidas através das previsões desenvolvidas neste trabalho é possível se adiantar quanto a criação de mecanismos e estratégias de controle dos REEE, representando mais uma ferramenta na busca pela diminuição dos efeitos danosos a natureza.

5.2 LIMITAÇÕES DA PESQUISA E TRABALHOS FUTUROS

Referente às limitações existentes, os dados disponíveis sobre as características do REEE são relativamente escassos tanto no Brasil, quanto no resto de mundo, demonstrando a importância da realização de estudos desta natureza. Desta maneira, a pesquisa visa contribuir para o preenchimento desta lacuna de informações sobre a previsão de REEE.

Além disso, alguns dados encontrados apresentaram inconsistências ao serem utilizados no *software* para a obtenção dos resultados de alguns equipamentos eletroeletrônicos usados nesta pesquisa. Fazendo com que, alguns gráficos e previsões não sejam assertivos.

Com a possibilidade de trabalhos futuros, pode ser elaborado uma previsão da quantidade de metais preciosos (ouro, cobre, alumínio, etc.) existentes nos equipamentos eletroeletrônicos descartados no Brasil nos últimos anos devido ao fim da vida útil dos mesmos, tendo como base o novo conceito de mineração sustentável, ou seja, a mineração urbana que é a recuperação de metais raros advindos dos REEE.

REFERÊNCIAS

- ABDI. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. *Logística Reversa de Equipamentos Eletrônicos*, 2013. Disponível em: <http://www.abdi.com.br/Estudo/Logistica%20reversa%20de%20residuos_.pdf> Acesso em 23/02/2021.
- ARAÚJO, M.G.; MAGRINI, A.; MAHLER, C.F.; BILITEWSKI, B.; *Gerenciamento de resíduos*. 2012, 32, 335.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR. 10004: Resíduos sólidos- Classificação*, 2004.
- ATIYEL, S.O. *Gestão de Resíduos Sólidos: O Caso das Lâmpadas Fluorescentes*. Porto Alegre, 101p. Dissertação (Mestrado em Administração) - Escola de Administração. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2001.
- BALDÉ, P.; FORTI, C.P; GRAY V.; KUEHR, R.; STEGMANN R.; *Monitor de lixo eletrônico global* - 2017, Universidade das Nações Unidas (UNU), União Internacional de Telecomunicações (ITU) e Associação Internacional de Resíduos Sólidos (ISWA), Bonn / Genebra / Viena 2017.
- BALLOU, Ronald H. *Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial*. 5. ed. São Paulo: Bookman, 2006.
- BOX, G.; JENKINS, G. *Time series analysis forecasting and control*. Oakland: Holden Day Inc., 1976.
- BOX, Gegorge; JENKINS, Gwilym; REINSEL, Gregory. **Time series analysis: forecasting and control**. 5ª ed. New Jersey. Editora Wiley.
- BRASIL, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7404.htm>. Acesso em: 23/02/2021.
- BRASIL. Decreto No 7.404, 23 de dezembro de 2010. *Política Nacional de Resíduos Sólidos*.
- BRASIL. Estabelece a Política Nacional sobre Mudança do Clima. BRASIL, 2009. Disponível http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/112187.html Acesso em: 23/02/2021.
- CABRAL NETO, João Pinto. *Estimativa da geração de sucata de bateria de chumbo-ácido como ferramenta de gestão de resíduos eletroeletrônicos*. 2016. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Núcleo de Tecnologia, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2016.
- CAIADO, J. *Métodos de previsão de séries temporais: texto de apoio*. Instituto Politécnico de Setúbal - Escola Superior de Ciências Empresariais - Departamento de Economia e Gestão. Setúbal, 2006.

- CARVALHO, C.R. A sociedade de risco e o descarte de computadores. *Revista Eletrônica do Curso de Direito*, UFSM, v. 8, p. 264-275, 2013.
- CAVALCANTE, J.N.G.; SILVA, M.M. *Aplicação de um Modelo de Previsão para Avaliar a Geração de Lixo Eletrônico de Televisores no Brasil*. LIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. João Pessoa, Paraíba, Brasil, 2021.
- CAVALCANTE, J.N.G.; SILVA, M.M. *Modelos de Séries Temporais para Previsão de Demanda de Aparelhos de Ar-condicionado Split no Brasil*. XLI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil, 2021.
- CHANCEREL, P., MESKERS, C. E., HAGELÜKEN, C., & ROTTER, V. S. Assessment of Precious Metal Flows During Preprocessing of Waste Electrical and Electronic Equipment. *Journal of Industrial Ecology*, v. 13, p. 791–810, 2009.
- CHAVES, G.L.D., BATALHA, M.O. Os consumidores valorizam a coleta de embalagens recicláveis? Um estudo de caso da logística reversa em uma rede de hipermercados. *Gestão de Produção*, São Carlos, São Paulo, v. 13, n. 3, pp. 423-434, 2016.
- CHUNG, S.S; ZHANG, C. An evaluation of legislative measures on electrical and electronic waste in the People's Republic of China. *Waste Management*, v. 31, n. 12, p. 2638-2646, dez. 2011.
- CORRAR, L.J.; THEÓFILO, C.R. *Pesquisa operacional para decisão em contabilidade e administração*. São Paulo: Editora Atlas, 2004.
- COSTA, S.L. *Aspectos jurídicos e ambientais da gestão de resíduos sólidos urbanos na Região Metropolitana de Aracaju*. 2010. 288 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2010.
- DENG, W. J. et al. Distribution of PBDEs in air particles from an electronic waste recycling compared with Guangzhou and Hong Kong, South China. *Environment International*, v. 33, n. 8, p. 1063-1069, nov. 2007.
- EHLERS, R. S. Análises de séries temporais. Universidade Federal do Paraná - Departamento de Estatística, v. 5, 2009.
- ELETROS. *Associação Nacional de Fabricantes de Produtos Eletroeletrônicos*. 2021.
- Disponível em: <<https://eletros.org.br/indicadores/>>. Acesso em setembro de 2021.
- ESTEVENSON, W.J. *Estatística: Aplicada à administração*. São Paulo: Harper & Row do Brasil, 1981.
- FRACARO, N. *Estacionaridade das séries temporais do modelo matemático arimax de propulsores eletromecânicos*. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ, 2018.
- FRANCO, R. G. F.; LANGE, L. C. Estimativa fluxo REEE em BH. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 16, n. 1, p. 73–82, 2011.

- GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- HOFFMANN, J. Recovering precious metals from electronic scrap. *Journal of the Minerals, Metals and Materials Society*, 1992.
- IEA - International Energy Agency. *The Future of Cooling: Opportunities for energy-efficient air conditioning*. OECD/IEA: Paris, 2018.
- KAVOUSSI, M.; SATTARI, A.; ALAMDARI, E. K.; FIROZ, S. Selective separation of copper over solder alloy from waste printed circuit boards leach solution. *Waste Management*, 2017, 60, 636.
- KIDDEE, P.; NAIDU, R.; WONG, M. H. Electronic waste management approaches: An overview. *Waste Management*, Italy, v. 33, n. 5, p. 1237-1250, 2013.
- KOEHLER, A.; SNYDER, R.; ORD, K. Forecasting Models and Prediction Intervals for the Multiplicative Holt-Winters Method. *International Journal of Forecasting*, [S.L] v.17, n.2, p.269-286, 2001.
- LEITE, P.R. *Logística reversa: meio ambiente e competitividade*. São Paulo: Prentice Hall, 2003.
- MAKRIDAKIS, S.; WHEELWRIGHT, S.; HYNDMAN, R. *Forecasting Methods and Applications*. John Wiley & Sons. 3a Edição. New York, 1998.
- MARCONDES, F.C.S.; CARDOSO, F.F. *Contribuição para aplicação do conceito de logística reversa na cadeia de suprimentos da construção civil*. IV SIBRAGEO / I ELAGEC. Porto Alegre, 2005.
- MATTAR, F. N. *Pesquisa de marketing*. 3.ed. São Paulo: Atlas, 2001.
- MINAYO, M. C. *Pesquisa social: teoria, método e criatividade*. Petrópolis: Vozes, 2001.
- MISHRA, A. *Metrics to Evaluate your Machine Learning Algorithm*. 2018. Disponível em: .<
<https://towardsdatascience.com/metrics-to-evaluate-your-machine-learning-algorithm-f10ba6e38234> > Acesso em: 08 março. 2021.
- MMA [Ministério do Meio Ambiente]. Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima. Volume I: Estratégia Geral. Portaria MMA n. 150 de 10 de maio de 2016.
- MOI, P. C. P.; SOUZA, A. P. S.; OLIVEIRA, M.M.; FAITTA, C. J.; REZENDE, W. B.; MOI, G. P. e FREIRE, F. A. L. *Lixo eletrônico: consequências e possíveis soluções*. conexãoonline, n. 7 (2012).
- MOREIRA, F.R; MOREIRA, J.C. Os efeitos do chumbo sobre o organismo humano e seu significado para a saúde. *Revista Panamericana de Salud Publica*, n. 15, v. 2, p. 119–29, 2004.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. *Análise de Séries Temporais*. [S.l.]: Edgard Blucher Ltda., 2018.

MORETTIN, P; TOLOI, C. *Análise de Séries Temporais*. Edgard Blucher Ltda. São Paulo, 2004.

MORF, L. S.; TREMP, J.; GLOOR, R. et al. Metals, non-metals and PCB in electrical and electronic waste--actual levels in Switzerland. *Waste management*, v. 27, n. 10, p. 1306-16, jan 2007.

OLIVEIRA NETO, J.F. *Caracterização dos Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos Produzidos em Bairros de Classe Média-Alta de Caruaru/PE*. 2016. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Núcleo de Tecnologia, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2019.

OLIVEIRA NETO, J.F; SILVA, M.M; SANTOS, S. M. A Mini-Review of E-Waste Management in Brazil: Perspectives and Challenges. *Clean Journal*. 2019.

OLIVEIRA, J.D. *Resíduos Eletroeletrônicos Enviados para Galpões de Reciclagem Recicláveis da Cidade*, 2016. 77f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Núcleo de Tecnologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

OLIVEIRA, J.D; OLIVEIRA NETO, J.F; SILVA, M.M; SANTOS, S. M. E-waste mistakenly disposed of as recyclable waste: A case study from Brazil. *Clean Journal*. 2017.

PACE – Plataform for Accelerating The Circular. *A new circular vision for electronics. Time for a global reboot*. 2019. Disponível em: < <https://www.weforum.org/reports/a-new-circular-vision-for-electronics-time-for-a-global-reboot> > Acesso em: 10 mai. 2021.

PELLEGRINI, F.R. & FOGLIATTO, F. Passos para a implantação de sistemas de previsão de demanda – Técnicas e estudo de caso. *Revista Produção*. Vol. 11, número 1, p.43-64, 2000.

PELLEGRINI, F.; FOGLIATTO, F. Estudo comparativo entre modelos de Winters e de Box-Jenkins para a previsão de demanda sazonal. *Revista Produto & Produção*. [S.L] v. 4, n.1, p.72-85, 2000.

PINTO, C. G.; Logística reversa – a importância de reduzir, reciclar, reutilizar. UNIVERSO, n 6. 2016. Disponível em: <<http://pre.univesp.br/logistica-reversa>>. Acesso em outubro de 2021.

ROBINSON, B. E-waste: An assessment of global production and environmental impacts. *Science of the Total Environment*, 2009.

RODRIGUES, A.C., GUNTHER, W.M.R., BOSCOV, M.E.G. Estimativa da geração de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos de origem domiciliar: proposição de método e aplicação ao município de São Paulo, São Paulo, Brasil. *Eng. Sanit. Ambient.* 2015; 20(3): 437-447.

RODRIGUES, William Costa. *Metodologia Científica*, 2007.

RSTUDIO. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Boston, 2021.

SACHS, I. *Caminhos para o desenvolvimento sustentável*. Rio de Janeiro: Garamond, 2002.

SAMOHYL, R.; ROCHA, R.; MATTOS, V. *Utilização do método de Holt-Winters para previsão do leite entregue às indústrias catarinenses*. XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2000.

SCHIERMEIER, Q. *Clear Signs of Global Warming Will Hit Poorer Countries First*. Nature, n. 556, p. 415 - 416, 2018.

SILVA, B. D. da; MARTINS, D. L.; OLIVEIRA, F. C. de. *Resíduos eletrônicos no Brasil. 2007. LIXO ELETRÔNICO*. Disponível em <<http://lixoeletronico.org/pagina/pesquisa/>>. Acesso em fevereiro de 2021.

STOECKER, W.F.; JONES, J.W. *Refrigeração e Ar Condicionado*, McGrawHill, 1985.

TIAO, G.; TSAY, R. A canonical correlation approach to modeling multivariate time series. Proceedings of the Business and Economic Statistics, *American Statistical Association*, p. 112–120, 1985.

TUBINO, D.F. *Manual de planejamento e controle da produção*. 2ª ed. São Paulo: Editora Atlas, 2001.

UE. Diretiva 2012/19/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 4 de julho de 2012, relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE). relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE). *Jornal Oficial da União Europeia*, 2012. Seção 6, p. 38–71. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu>>. Acesso em fevereiro de 2021.

WEIGEND, A.; NEIL, G. *Time series prediction: forecasting the future and understanding the past*. Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity. 1ª ed. New York 1994.

WERNER, L; RIBEIRO, J. L. D. *Previsão de demanda: uma aplicação de modelos Box-Jenkins na área de assistência técnica de computadores pessoais*. Gestão & Produção, v.10, n.1, p. 47-67, 2003.

WIDMER, R.; OSWALD-KRAPF, H.; SINHA-KHETRIWAL, D.; SCHNELLMAN, M.; BONI, H. *Global Perspectives on e-waste. Environmental Impact Assessment Review*, 2015.

ZUMEL, N.; MOUNT, J. *Practical Data Science with R*. Shelter Island, NY: Manning Publications Co., 2014. v. 19 Disponível em: < <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24896337/> > Acesso em outubro de 2021.