

Série Estudos e Documentos

**Dinâmica de sistemas aplicada ao
comportamento do consumidor de
eletroeletrônicos no Brasil: Modelagem
e projeção de cenários (2025-2030)**

**Emmanuelle Soares de Carvalho Freitas
Luciana Silva Contador
Lúcia Helena Xavier**



SÉRIE ESTUDOS E DOCUMENTOS

Dinâmica de sistemas aplicada ao comportamento do consumidor de eletroeletrônicos no Brasil: Modelagem e projeção de cenários (2025-2030)

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

Luiz Inácio Lula da Silva

Presidente

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Luciana Santos

Ministra de Estado

Luis Manuel Rebelo Fernandes

Secretário Executivo

Isa Assef dos Santos

Subsecretária de Unidades de Pesquisa e Organizações Sociais

CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

Silvia Cristina Alves França

Diretora

Robson Araujo D’Avila

Coordenador de Administração - COADM

Andréa Camardella de Lima Rizzo

Coordenadora de Planejamento, Gestão e Inovação - COPGI

Paulo Fernando Almeida Braga

Coordenador de Processamento e Tecnologias Minerais - COPTM

Marisa Nascimento

Coordenadora de Processos Metalúrgicos e Ambientais - COPMA

Leonardo Luiz Lyrio da Silveira

Coordenador de Rochas Ornamentais - CORON

Arnaldo Alcover Neto

Coordenador de Análises Minerais - COAMI

SÉRIE ESTUDOS E DOCUMENTOS

ISSN 0103-6319

SED - 112

Dinâmica de sistemas aplicada ao comportamento do consumidor de eletroeletrônicos no Brasil: Modelagem e projeção de cenários (2025-2030)

Emmanuelle Soares de Carvalho Freitas

Administradora, D.Sc. em Gestão e Tecnologia Industrial.

Pesquisadora Bolsista PCI do CETEM/MCTI.

Luciana Silva Contador

Bióloga, D.Sc. em Ciências Ambientais.

Lúcia Helena Xavier

Bióloga, D. Sc. em Engenharia de Produção.

Pesquisadora do CETEM/MCTI.

CETEM/MCTI

2026

SÉRIE ESTUDOS E DOCUMENTOS

Editor: Lúcia Helena Xavier

Subeditor: Fabio Giusti Azevedo de Britto

CONSELHO EDITORIAL: Marcelo Mansur (COPPE/UFRJ), Carlos Alberto Mendes Moraes (UNISINOS), Hugo Marcelo Veit (UFRGS), Suzana Borschiver (UFRJ), Sonia Denise Ferreira Rocha (UFMG), Daniel Majuste (UFMG), Carlos Cesar Peiter (CETEM), José Antônio Sena (IBGE), Marcelo Pires Negrão (Universidade de Angers – França), Maria Amélia Enriquez (UFPA), Ana Elezabeth Neirão Reymão (UFPA).

A mineração possui papel fundamental em diferentes setores da economia, mas também resulta em significativos impactos de ordem social e ambiental. Desta forma, a *Série Estudos e Documentos do CETEM* tem como proposta a abordagem da diversidade de temas relativos às atividades de mineração, tais como a provisão de recursos para subsidiar a transição energética, a reestruturação de territórios com a geração de emprego e renda, desenvolvimento de economias locais ou o potencial de recuperação de recursos por meio da economia circular. Dentre os temas compreendidos na série estão: ESG (*environmental, social and corporate governance*), recursos minerais, economia mineral, carbono neutro, transição energética, regulamentação, sustentabilidade, mineração urbana, economia circular, conflitos socioambientais e mineração, royalties da mineração e materiais críticos e estratégicos.

O conteúdo desse trabalho é de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es).

Copyright © 2026 CETEM/MCTI

Todos os direitos reservados.

Qualquer parte desta publicação pode ser reproduzida, desde que citada a fonte e atribuídos os devidos créditos. (Lei n. 9.610, de 19/2/1998).

Valéria Cristina de Souza
Diagramação e Editoração Eletrônica

André Luiz Costa Alves
Projeto Gráfico

Informações:

CETEM - Centro de Tecnologia Mineral
Av. Pedro Calmon, 900 - Cidade Universitária
21941-908 - Rio de Janeiro - RJ
Homepage: www.cetem.gov.br

CIP – Catalogação na Publicação

F866d

Freitas, Emmanuelle Soares de Carvalho.

Dinâmica de sistemas aplicada ao comportamento do consumidor de eletroeletrônicos no Brasil: Modelagem e projeção de cenários (2025-2030) / Emmanuelle Soares de Carvalho Freitas, Luciana Silva Contador, Lúcia Helena Xavier. – Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2026. 62 p. – (Série Estudos e Documentos; 112).

ISBN 978-65-5919-110-9.

1. Dinâmica de sistemas. 2. Comportamento do consumidor.
3. Resíduos eletroeletrônicos. 4. REEE. 5. logística reversa.
I. Contador, Luciana Silva. II. Xavier, Lúcia Helena. III. Título.
IV. Centro de Tecnologia Mineral. V. Série.

CDD 363.7288

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do CETEM/MCTI
Bibliotecário(a) Rosana Silva de Oliveira CRB7 – 5849

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	9
1 INTRODUÇÃO	11
2 METODOLOGIA	15
2.1 Coleta de Dados e Segmentação do Público	15
2.2 Simulação dos Cenários	16
2.3 Modelagem dos Dados	17
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
3.1 Premissas dos Cenários	33
4 CONCLUSÃO	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

RESUMO

Este artigo tem como objetivo explorar a aplicação da dinâmica de sistemas para compreender o comportamento do consumidor. A dinâmica de sistemas oferece uma abordagem poderosa para modelar e analisar as interações complexas entre diversos fatores que influenciam as atitudes e decisões dos consumidores ao longo do tempo. Este artigo foca em um setor específico do mercado brasileiro, o setor de eletroeletrônicos, e busca identificar e promover uma melhor compreensão das atitudes e mudanças no comportamento do consumidor brasileiro e como isso interfere na disposição inadequada desses dispositivos e na recuperação de materiais. Desta forma, este trabalho adotou como principal procedimento metodológico a pesquisa exploratória, de natureza qualitativa e quantitativa, operacionalizada por meio de uma pesquisa de opinião que alcançou 1.426 consumidores respondentes, abrangendo todas as regiões do país, com predominância do Sudeste (58%). Os dados coletados foram utilizados para o desenvolvimento de um modelo de simulação capaz de analisar variáveis integrantes de padrões e ciclos de feedback que moldam o comportamento do consumidor no mercado brasileiro, caracterizado por rápidas transformações e constante evolução. O modelo analisado utilizou o *software* Vensim, avaliando três cenários ao longo de um horizonte temporal de cinco anos (2025-2030). Esse período foi definido com base na disponibilidade dos dados mais recentes utilizados como referência no estudo, IBGE (2022), ABINEE (2023) e Projeto Recuper3 (2024), tomados como ponto de partida para a simulação, e na necessidade de capturar tendências de médio prazo no comportamento do consumidor brasileiro frente à gestão de resíduos eletroeletrônicos. Os resultados obtidos com a simulação dos cenários mostram que o cenário otimista representa uma maior conscientização ambiental e ampliação da infraestrutura de logística reversa, projeta a redução da taxa de descarte inadequado para 75% e a elevação da recuperação de

materiais para 25% em 2030 (~589 mil equipamentos/ano), em contraste com o cenário pessimista, no qual o descarte inadequado chega a 99% e a recuperação cai para apenas 1% (~10 mil equipamentos/ano).

Palavras-chave

Dinâmica de sistemas; comportamento do consumidor; resíduos eletroeletrônicos; REEE; logística reversa.

ABSTRACT

This article aims to explore the application of system dynamics to understand consumer behavior. System dynamics offers a powerful approach for modeling and analyzing the complex interactions among various factors that influence consumer attitudes and decisions over time. This study adopted exploratory research of a qualitative and quantitative nature as its main methodological approach, operationalized through an opinion survey that reached 1,426 respondents across all regions of the country, with a predominance of the Southeast region (58%). The collected data were used to develop a simulation model capable of analyzing variables embedded in feedback patterns and cycles that shape consumer behavior in the Brazilian market, characterized by rapid transformations and constant evolution. The model was built using Vensim software and evaluated three scenarios over a five-year time horizon (2025-2030). This period was defined based on the availability of the most recent reference data used in the study, IBGE (2022), ABINEE (2023), and Project Recuper3 (2024), taken as the starting point for the simulation, and on the need to capture medium-term trends in Brazilian consumer behavior regarding the management of waste electrical and electronic equipment. The results from the scenario simulations indicate that the optimistic scenario shows greater consumer awareness regarding the improper disposal rate of waste electrical and electronic equipment (WEEE), resulting in a lower improper disposal rate and a higher rate of material recovery.

Keywords

System dynamics; consumer; waste electrical and electronic equipment (WEEE).

1 | INTRODUÇÃO

O perfil do consumidor tem se transformado ao longo dos anos, influenciado por diversas variáveis, como comportamentos, hábitos de compra, tecnologias emergentes, questões ambientais e sociais. Com o aumento do poder aquisitivo das classes médias e a popularização da tecnologia, o Brasil se tornou um dos maiores mercados consumidores de dispositivos móveis, computadores e outros eletrônicos. No entanto, o aumento no consumo de dispositivos eletrônicos, como smartphones, computadores, televisores, eletrodomésticos e outros, tem resultado em uma quantidade significativa de resíduos. A taxa crescente de aparelhos obsoletos ou fora de uso (KAZA et al., 2018) evidencia a necessidade do descarte adequado desses produtos, especialmente no que diz respeito às questões ambientais e à gestão do fim do ciclo de vida desses equipamentos.

Quando descartados incorretamente, os resíduos eletroeletrônicos representam sérios riscos ambientais, pois contêm substâncias tóxicas, como mercúrio, chumbo e cádmio, que podem contaminar o solo, a água e a atmosfera (ABREE, 2020; ISWA, 2018). Além disso, a presença de materiais valiosos, como ouro, prata, cobre e outros metais preciosos, desperdiçados no processo de disposição inadequada, representa também uma perda de recursos com potencial de recuperação e aplicação em outros processos produtivos. A utilização de resíduos como material secundário em diversas cadeias produtivas é um conceito recente, que pode ser viabilizado por ferramentas como a logística reversa e a mineração urbana (ARORA et al., 2017). Esses processos envolvem diferentes fluxos de materiais, como o fluxo reverso de resíduos eletroeletrônicos, que consiste na coleta e tratamento dos resíduos gerados, atendendo às exigências da regulamentação.

A primeira etapa na identificação do consumidor como um dos agentes na cadeia de valor dos Resíduos Eletroeletrônicos (REEE) no Brasil foi estabelecida com base na definição do conceito de responsabilidade compartilhada durante todo o ciclo de vida apresentado na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305 de 2010, em seu artigo 3º:

*“XVII - responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos: conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos **consumidores** e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos, nos termos desta Lei...”*

O consumidor tem um papel fundamental na cadeia de valor dos resíduos eletroeletrônicos (REEE), uma vez que a geração de REEE está diretamente ligada aos padrões culturais e hábitos de consumo da sociedade, o que está associado a gestão eficiente de toda a cadeia produtiva de resíduos eletroeletrônicos. Os consumidores estão cada vez mais preocupados com questões ambientais e sociais. A busca por produtos sustentáveis, éticos e com menor impacto ambiental tem sido uma tendência crescente. Este comportamento reflete uma mudança significativa para um consumo mais responsável, baseado em escolhas informadas e orientadas à redução de impactos ambientais.

De acordo com Vargas et al., (2023) muitos consumidores brasileiros ainda desconhecem a forma adequada de descartar seus equipamentos eletroeletrônicos obsoletos ou danificados, o que contribui para o acúmulo desses itens nas residências e agrava os impactos ambientais decorrentes de sua destinação inadequada.

Segundo a ONU Meio Ambiente (2019), o Brasil é o maior gerador de lixo eletrônico da América Latina, apresentando um aumento contínuo na quantidade de dispositivos descartados anualmente. E, de acordo com Baldé et al., (2024) o país gerou cerca de 1,5 milhão de toneladas de resíduos eletrônicos, muitos dos quais acabam em aterros sanitários ou em práticas informais de descarte, sem tratamento adequado.

Nos últimos anos, houve um movimento crescente em direção ao consumo consciente no Brasil, com um número cada vez maior de consumidores preocupados com o impacto ambiental do descarte inadequado de equipamentos eletrônicos. Programas de reciclagem e logística reversa, embora ainda incipientes, representam avanços importantes na gestão do resíduo eletroeletrônico.

A PNRS constitui um marco regulatório fundamental na gestão de resíduos no país, ao estabelecer diretrizes para a logística reversa, incluindo explicitamente os equipamentos eletroeletrônicos. Entre as principais contribuições, destaca-se o princípio da responsabilidade compartilhada, que distribui obrigações entre produtores, importadores, distribuidores e consumidores no que diz respeito ao descarte e ao reaproveitamento de produtos, como os aparelhos eletrônicos. Instituto Akatu (2020) também destacou que, embora ainda limitada, a conscientização sobre a reciclagem de resíduo eletroeletrônico vem crescendo no Brasil, especialmente entre os consumidores mais jovens e nas classes sociais mais altas, que demonstram maior interesse por produtos ecológicos e por práticas de consumo sustentável. No entanto, para que as iniciativas de reciclagem e destinação ambientalmente adequada avancem de forma consistente, é fundamental o

engajamento contínuo do governo, empresas e consumidores em práticas educacionais e no fortalecimento da infraestrutura necessária à gestão dos REEE.

Neste contexto, este estudo tem como objetivo avaliar o perfil do consumidor brasileiro e modelar, por meio da dinâmica de sistemas, como fatores ambientais, sociais e econômicos influenciam a conscientização e as práticas de descarte de REEE, projetando três cenários prospectivos para o período 2025-2030 e identificando políticas públicas capazes de ampliar a recuperação de materiais no país.

2 | METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos foram estruturados em três etapas principais:

- Realização de estudo exploratório por meio de questionários online com consumidores de todo o Brasil;
- Análise e interpretação dos dados obtidos; e
- Aplicação da metodologia de dinâmica de sistemas e análise de cenários, otimista, atual e pessimista, com o objetivo de avaliar como mudanças no comportamento do consumidor podem impactar a gestão de REEE.

2.1 | Coleta de Dados e Segmentação do Público

A pesquisa de opinião foi aplicada no período de outubro a novembro de 2024, por meio de formulário digital estruturado (Google forms), em formato híbrido qualiquantitativo, distribuído por canais digitais e redes de contato do Projeto Recuper3. O questionário continha cinco perguntas de múltipla escolha, focadas na avaliação do conhecimento dos consumidores sobre a gestão de REEE. Não foram adotados critérios de exclusão etária formal, sendo o público-alvo consumidores brasileiros com acesso a dispositivos eletroeletrônicos. Respostas duplicadas foram identificadas e removidas com base no controle de e-mail e registro de IP do formulário. O levantamento alcançou 1.426 respondentes válidos.

Além de mapear o entendimento da população sobre os REEE, o questionário abordou o índice de retenção, definido por Xavier et al. (2023) como o percentual de consumidores que mantêm em suas residências equipamentos eletroeletrônicos pós-consumo,

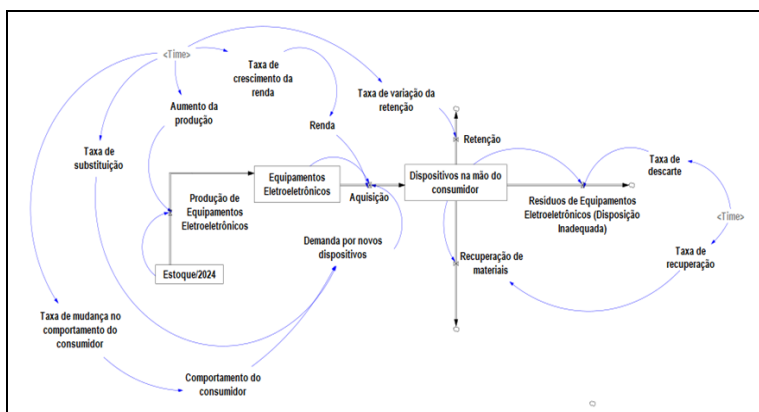
não funcionais e armazenados sem destinação adequada. Os dados foram segmentados por gênero, faixa etária, classe social e localização geográfica.

2.2 | Simulação dos Cenários

Os cenários foram projetados para um horizonte temporal de cinco anos (2025-2030). Esse período foi definido com base na disponibilidade dos dados mais recentes utilizados como referência no estudo, IBGE (2022), ABINEE (2023) e Projeto Recuper3 (2024), tomados como ponto de partida para a simulação, e na necessidade de capturar tendências de médio prazo no comportamento do consumidor brasileiro frente à gestão de REEE. As variáveis-chave foram identificadas a partir de Levantamento exploratório utilizando dados da literatura e estatísticas oficiais, incluindo:

- IBGE (2024): categorias de eletroeletrônicos produzidos no Brasil (ano-base 2022);
- ABINEE (2023): aumento de cerca de 5% ao ano na produção de eletrônicos;
- Projeto Recuper3 (2024): renda familiar e índice de retenção;

Com base nessas fontes, o cenário atual considera 3% de REEE destinados à reciclagem e 97% dispostos de forma inadequada (BALDÉ et al., 2020), utilizado como baseline para os demais cenários.



Fonte: Elaboração própria utilizando o software Vensim PLE, 2025.

Figura 1. Diagrama de fluxos e estoques desenvolvidos.

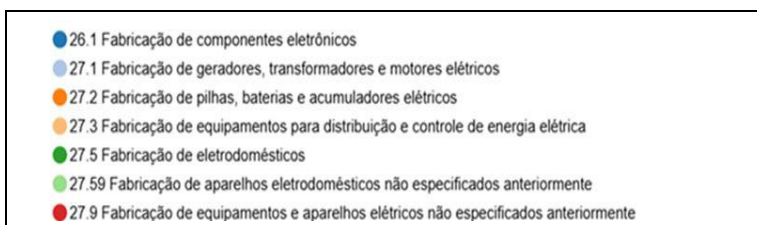
2.3 | Modelagem dos Dados

O modelo integra variáveis que permitem analisar como o comportamento do consumidor influencia a gestão de REEE. O estoque inicial foi definido em 8×10^9 unidades de equipamentos produzidos no Brasil até 2022, com base nos dados da Pesquisa Industrial Anual, Produto (PIA-Produto) do IBGE, que registra a produção em número de unidades.

Nota: o IBGE não publica esse dado em toneladas para eletroeletrônicos; optou-se, portanto, por manter o modelo em unidades (dispositivos), evitando conversões massa/unidade sem referência consolidada.

A vinculação entre os dados da pesquisa de opinião e os parâmetros do modelo é apresentada a seguir: o índice de retenção de 81% (0,81 em decimal) foi obtido diretamente da Figura 7 (PROJETO RECUPERR3, 2024); a taxa de substituição de

0,4/ano foi derivada do tempo médio de vida útil de 2,5 anos relatado pelos respondentes; e a taxa de descarte inadequado de 97% corresponde ao complemento da taxa de coleta formal de 3% (BALDÉ et al., 2020). As demais variáveis comportamentais (taxa de mudança no comportamento, taxa de crescimento da renda) foram calibradas com base nas distribuições de renda e intenções de descarte declaradas na pesquisa.



Fonte: IBGE, 2022.

Figura 2. Categorias de Eletroeletrônicos produzidos no Brasil, ano base (2022).

1. **Fluxo de produção:** a transição entre o estoque/2024 e a variável “equipamentos eletroeletrônicos” é determinada pela produção de novos dispositivos, influenciada pelo aumento na produção ao longo do horizonte 2025-2030, de acordo com os cenários simulados.
2. **Equipamentos eletroeletrônicos:** possui um único fluxo de saída, dispositivos na mão do consumidor, influenciado por duas variáveis: renda e demanda por novos dispositivos. Ambas as variáveis evoluem ao longo do tempo e conforme os cenários.
3. **Dispositivos na mão do consumidor:** possui três fluxos de saída:

- Retenção: percentual de equipamentos em desuso armazenados nas residências, conforme dados do Projeto Recuper3 (2024);
- Disposição inadequada: definida pela taxa de descarte, que varia com o tempo (variável TIME) e conforme os cenários;
- Recuperação de materiais: definida pela taxa de recuperação, igualmente influenciada pela variável TIME e pelos cenários simulados.

A partir desses dados, foram definidas as equações do modelo, descritas na Tabela 1. O modelo é flexível, permitindo a inserção de novos dados e ajustes nas taxas e variáveis, gerando resultados adaptados à realidade do cenário que se deseja simular.

Tabela 1. Parâmetros utilizados para a modelagem do modelo desenvolvido.

Variável (Unidade Vensim)	Equação / Parâmetro e justificativa
Estoque/2024 (Dispositivos)	Valor inicial: 8×10^9 unidades produzidas no Brasil até o ano-base 2022. Fonte: IBGE – PIA-Produto (em número de unidades, não em toneladas).
Produção de Equipamentos (Dispositivos/ano)	$\text{Estoque}/2024 \times (1 + \text{Aumento da produção})$. Taxa de crescimento de 5% a.a. conforme ABINEE (2023). Função lookup por ano: ver Tabela 2.
Aquisição (Dispositivos/ano)	$\text{Equipamentos Eletroeletrônicos} [\text{Dispositivos}] \times \text{Taxa de substituição} [\text{Dmnl}] \times \text{Comportamento do consumidor} [\text{Dmnl}]$. Renda atua como modificador adimensional via função lookup normalizada (ver Tabela 2). Resultado em $[\text{Dispositivos}/\text{ano}]$.

Tabela 1. Parâmetros utilizados para a modelagem do modelo desenvolvido. (Continuação).

Variável (Unidade Vensim)	Equação / Parâmetro e justificativa
Renda (Dmnl – fator normalizado)	$1 + \text{Taxa de crescimento da renda [Dmnl]}$. Ponto de referência: salário-mínimo de R\$ 1.518,00 (fev./2025) e renda declarada pelos respondentes do Projeto Recuper3 (2024). Valores por cenário: ver Tabela 2.
Demanda por novos dispositivos (Dmnl)	$\text{Taxa de substituição [Dmnl]} \times \text{Comportamento do consumidor [Dmnl]}$. Representa o fator multiplicativo sobre o estoque para calcular a Aquisição.
Comportamento do consumidor (Dmnl)	$\text{INTEG}(\text{Taxa de mudança no comportamento}, 1,0)$. Valor 1,0 = demanda média (sem estímulos externos). Valor 1,2 = demanda 20% acima da média. Varia conforme os cenários (ver Tabela 2).
Taxa de mudança no comportamento do consumidor (Dmnl/ano)	Função lookup $f(\text{Time})$. Representa a variação anual do fator comportamental. Valores por cenário: ver Tabela 2.
Taxa de substituição (Dmnl — 1/ano)	Função lookup $f(\text{Time})$. Calculada como o inverso do tempo médio de vida útil. Valor de referência: 0,4/ano (vida útil média de 2,5 anos, baseada em smartphones, Md et al., 2021). Limitação: o modelo agrega todos os EEE; equipamentos de maior durabilidade (ex.: geladeiras, vida útil > 10 anos) implicam taxa de ~0,1/ano. Uma versão futura do modelo deve segmentar EEE por categoria de vida útil ou adotar vida útil média ponderada por massa.
Dispositivos na mão do Consumidor (Dispositivos)	$\text{INTEG}(\text{Aquisição} - \text{Retenção} - \text{Disposição inadequada} - \text{Recuperação de materiais}, \text{Aquisição}_0)$. Estoque de equipamentos com os usuários antes do fim de vida.

Tabela 1. Parâmetros utilizados para a modelagem do modelo desenvolvido. (Continuação).

Variável (Unidade Vensim)	Equação / Parâmetro e justificativa
Retenção (Dispositivos/ano — fluxo de saída)	Dispositivos na mão do consumidor [Dispositivos] × Taxa de variação da retenção [Dmnl]. A taxa inicial é 0,81 (decimal), equivalente a 81% dos dispositivos retidos em residências, conforme Projeto Recuperr3 (2024), Figura 7. Nota: este é um fluxo de saída (desvio do ciclo produtivo), não um estoque.
Taxa de variação da retenção (Dmnl)	Função lookup f(Time). Valor inicial: 0,81. Valores anuais por cenário: ver Tabela 2.
Resíduos EEE / Disposição Inadequada (Dispositivos/ano)	Dispositivos na mão do consumidor × Taxa de descarte [Dmnl]. Taxa inicial: 0,97 (97%). Função lookup f(Time), ver Tabela 2.
Taxa de descarte (Dmnl)	Função lookup f(Time). Valor inicial: 0,97 (97% de disposição inadequada, Baldé et al., 2020, dado para América Latina, adotado como proxy para o Brasil). Valores anuais: ver Tabela 2.
Recuperação de materiais (Dispositivos/ano)	Dispositivos na mão do consumidor × Taxa de recuperação [Dmnl]. Taxa inicial: 0,03 (3%). Função lookup f(Time), ver Tabela 2.
Taxa de recuperação (Dmnl)	Função lookup f(Time). Valor inicial: 0,03 (3% / Baldé et al., 2020). Evolui para 17% (atual), 25% (otimista) ou 1% (pessimista) em 2030. Valores anuais: ver Tabela 2.

Fonte: Elaboração própria, 2025.

Tabela 2. Funções lookup (tabelas de tempo), valores do cenário atual (baseline). Cenários otimista e pessimista aplicam modificações proporcionais.

Variável (Unidade)	Tipo	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Aumento da produção (Dmnl)	f(Time)	0,50	0,80	0,85	0,88	0,90	0,92
Taxa de crescimento da renda (Dmnl)	f(Time)	0,30	0,50	0,70	0,80	1,00	1,20
Taxa de mudança no comp. consumidor (Dmnl/ano)	f(Time)	0,20	0,23	0,25	0,27	0,28	0,30
Taxa de substituição (Dmnl)	f(Time)	0,40	0,45	0,46	0,48	0,50	0,55
Taxa de recuperação (Dmnl)	f(Time)	0,006	0,008	0,009	0,011	0,012	0,013
Taxa de descarte (Dmnl)	f(Time)	0,18	0,27	0,31	0,37	0,40	0,44
Taxa de variação da retenção (Dmnl)	f(Time)	0,81	0,72	0,68	0,62	0,58	0,55

Fonte: Extraído do modelo Vensim (.mdl), elaborado pelos autores, 2025. Renda = 1 + Taxa de crescimento da renda [Dmnl]; referência: salário-mínimo de R\$ 1.518,00 (fev./2025).

Nota metodológica: As taxas variantes no tempo são implementadas como funções WITH LOOKUP no Vensim, não como multiplicações diretas pela variável TIME. A expressão "0,97 usando a variável time" na versão anterior do artigo foi reformulada para refletir corretamente as tabelas de lookup acima, evitando a interpretação equivocada de que a taxa seria proporcional ao valor absoluto do tempo (o que geraria valores > 100% em anos posteriores a 2025).

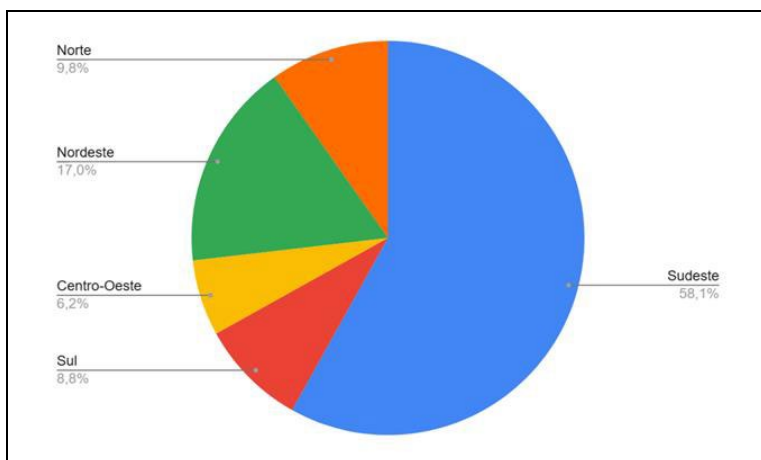
3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O perfil do consumidor brasileiro é marcado por diversidade de comportamentos, hábitos e preferências, influenciados por fatores econômicos, culturais e sociais. Os resultados revelam o nível de conscientização dos consumidores sobre os impactos ambientais do descarte inadequado de REEE, bem como a influência da falta de informação e infraestrutura adequada. Apesar do interesse crescente, especialmente entre jovens e conectados, o descarte incorreto persiste devido à dificuldade de acesso a pontos de coleta e à ausência de incentivos efetivos.

Campanhas educativas e programas de logística reversa contribuem para reduzir essa lacuna, mas o engajamento exige esforços conjuntos de empresas, governos e organizações. Estudos complementares, como a pesquisa da CNC (2024), reforçam os achados do Projeto Recuper3 (2024), mostrando que fatores ambientais, sociais e econômicos influenciam o comportamento do consumidor, sugerindo que maior conscientização tende a estimular práticas de consumo mais responsáveis.

Distribuição Geográfica

A análise por região revelou que a maior parte das respostas veio do Sudeste (58%), reflexo da maior densidade populacional, acesso à tecnologia e políticas de gestão de resíduos (Figura 3). O Sudeste concentra 65% das empresas de reciclagem e pontos de coleta, especialmente em São Paulo, enquanto Nordeste (17%), Norte (9,8%), Sul (8,8%) e Centro-Oeste (6,2%) apresentam menor participação, evidenciando disparidades na infraestrutura e necessidade de ações regionais direcionadas.

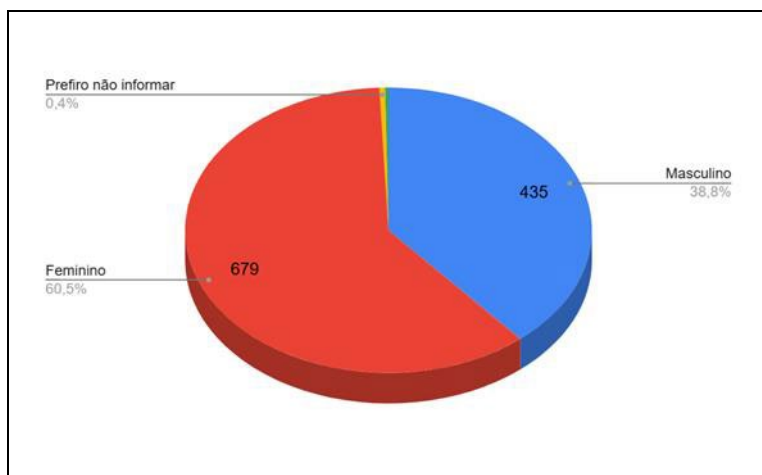


Fonte: Projeto Recuper3, 2024.

Figura 3. Região.

Gênero

Os dados do Recuper3 (2024) mostram que 60% dos respondentes são mulheres (Figura 4), o que pode estar associado à maior conscientização ambiental feminina, reforçada pelo fato de muitas mulheres gerirem produtos domésticos, tornando-as mais conscientes do resíduo gerado. A pesquisa da CNC (2024) indica que 94% dos entrevistados adotam práticas que evitam desperdício de recursos, com maior engajamento feminino (96%) em pesquisa de preços e moderação no consumo.

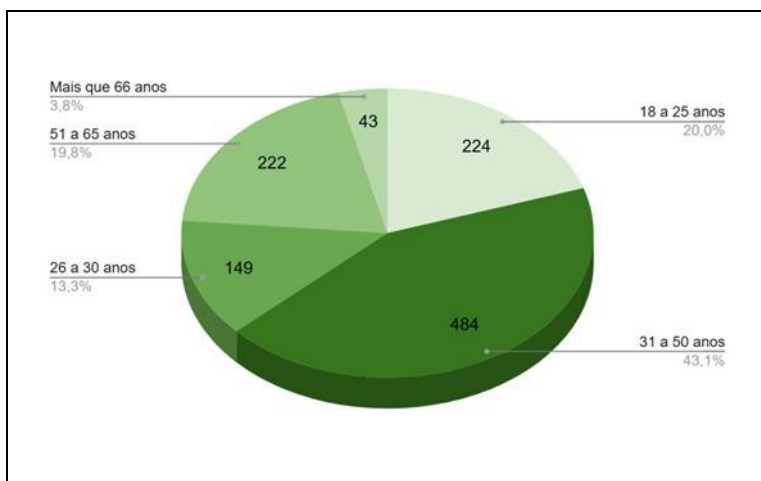


Fonte: Projeto Recuper3, 2024.

Figura 4. Gênero.

Faixa Etária

A maioria dos consumidores possui entre 31 e 50 anos (Figura 5), faixa etária que apresenta maior estabilidade financeira e consciência ambiental. Estudos do Instituto Akatu (2020) indicam que Geração X e Millennials tendem a adotar práticas de consumo mais sustentáveis, buscando alternativas que contribuam para uma economia circular e a redução de impactos ambientais.

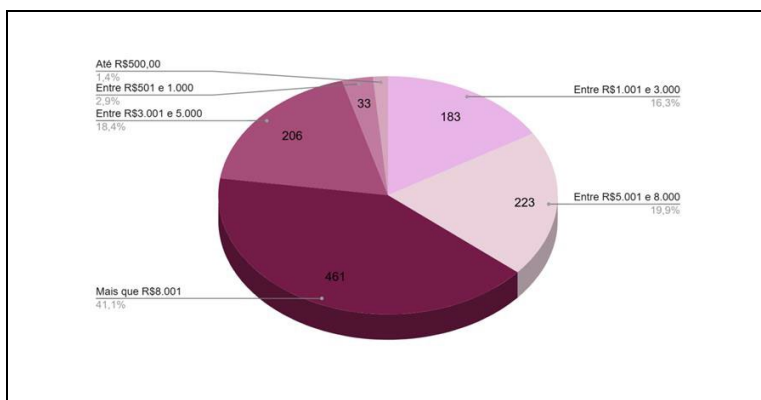


Fonte: Projeto Recuepr3, 2024.

Figura 5. Faixa etária.

Renda Familiar

A maior parte dos respondentes possui renda familiar superior a R\$ 8.000,00 mensais (Figura 6). Consumidores de maior renda tendem a apresentar maior interesse por questões ambientais, fruto de maior acesso à educação e informações sobre impactos do consumo (AL-NUAIMI & AL-GHAMDI, 2022).



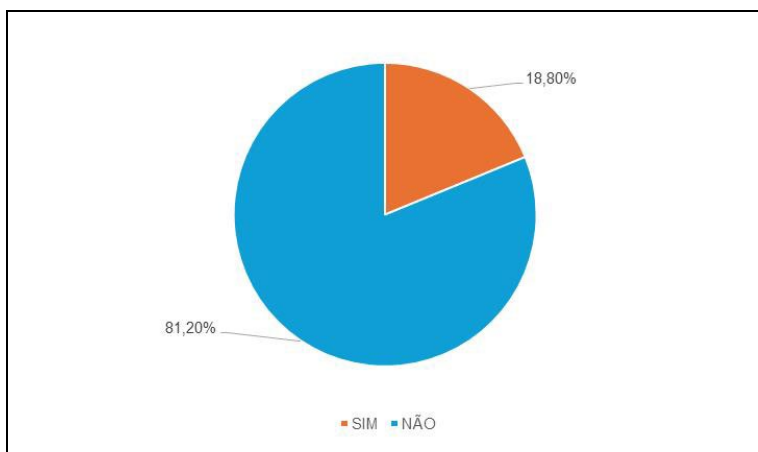
Fonte: Projeto Recuepr3, 2024.

Figura 6. Renda familiar.

Índice de Retenção e Categorias de REEE

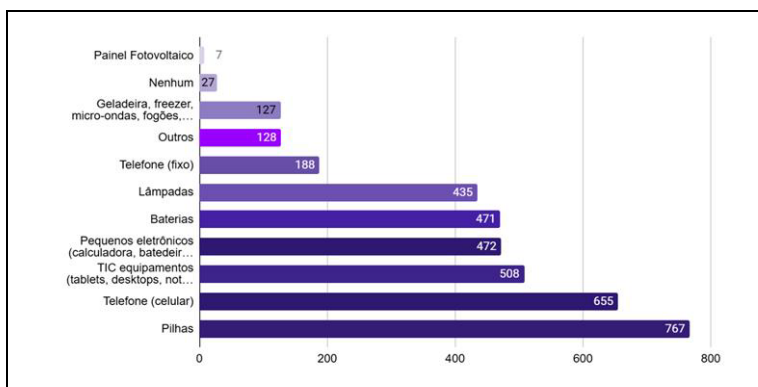
O estudo revelou que 81,2% dos brasileiros armazenam equipamentos eletroeletrônicos fora de uso em suas residências (Figura 7). Esse comportamento pode ser positivo, refletindo a percepção de que os itens ainda podem ser reparados ou reaproveitados, mas também apresenta riscos ambientais, já que muitos dispositivos contêm substâncias tóxicas (JAIN et al., 2023). Pilhas e celulares obsoletos são os itens mais retidos (Figura 8), frequentemente por desconhecimento de locais de descarte ou valor sentimental (SHAHRASBI et al., 2021).

Quanto ao destino pretendido desses equipamentos, a maioria dos consumidores pretende descartá-los em pontos de reciclagem (Figura 9). No entanto, 6% indicam não saber como proceder, enquanto uma parcela menor ainda destinaria os itens ao lixo comum, evidenciando a necessidade de políticas públicas mais eficazes e maior infraestrutura de coleta (HARTL & HOFMANN, 2024).



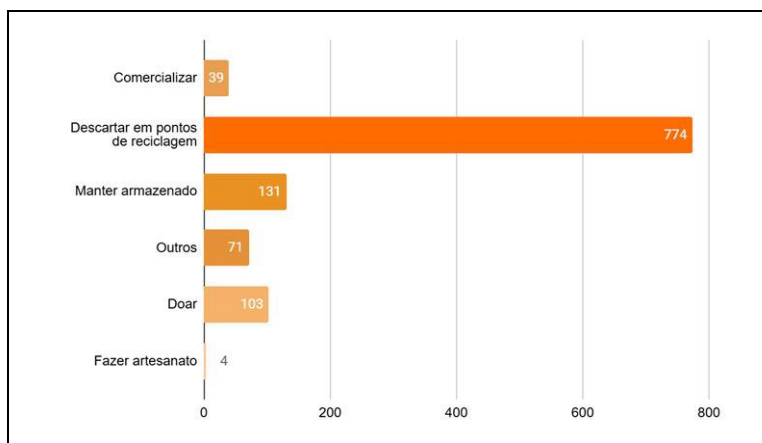
Fonte: Projeto Recuepr3, 2024.

Figura 7. Índice de retenção do consumidor brasileiro



Fonte: Projeto Recuepr3, 2024.

Figura 8. Categorias de equipamentos retidos em residências.

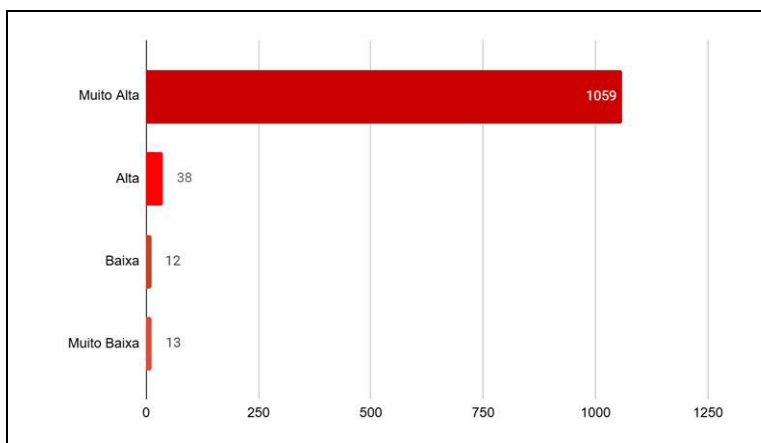


Fonte: Projeto Recuepr3, 2024.

Figura 9. O consumidor pretende fazer com os equipamentos antigos, armazenado em sua residência.

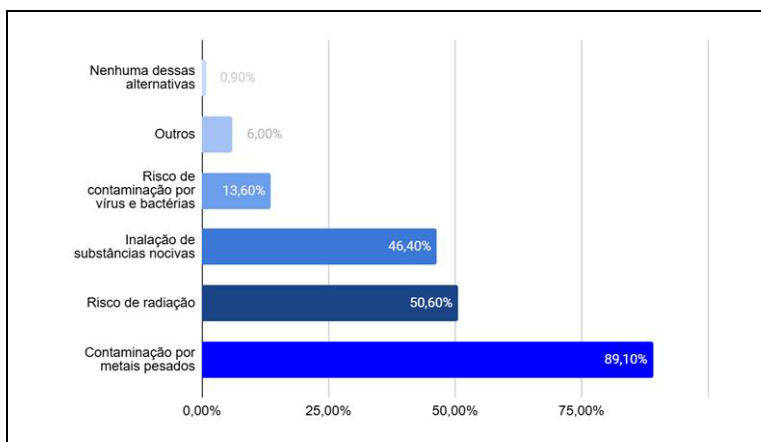
Importância do Descarte Adequado

A pesquisa mostrou que a maioria dos consumidores reconhece a importância do descarte correto de equipamentos eletroeletrônicos (Figura 10), refletindo maior conscientização ambiental e impacto das políticas públicas, como a PNRS. Além disso, os consumidores estão cada vez mais conscientes dos riscos de substâncias tóxicas contidas em REEE, como mercúrio, chumbo e cádmio (Figura 11).



Fonte: Projeto Recuepr3, 2024.

Figura 10. A importância do descarte adequado dos equipamentos eletroeletrônicos pós-consumo.

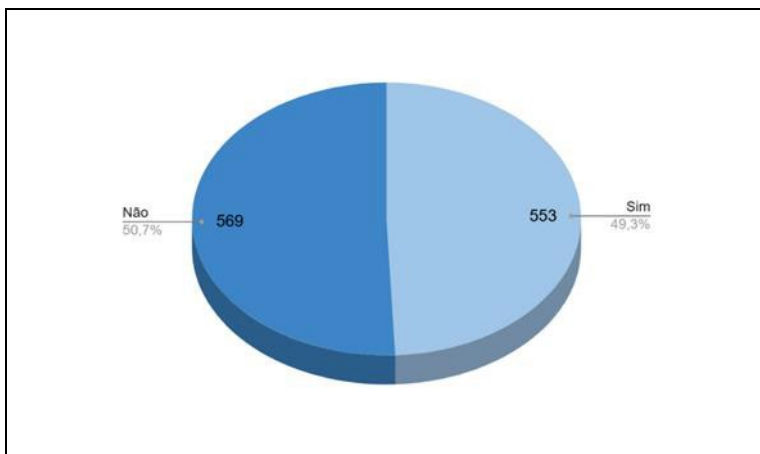


Fonte: Projeto Recuepr3, 2024.

Figura 11. Riscos relacionados ao descarte inadequado de resíduos eletroeletrônicos.

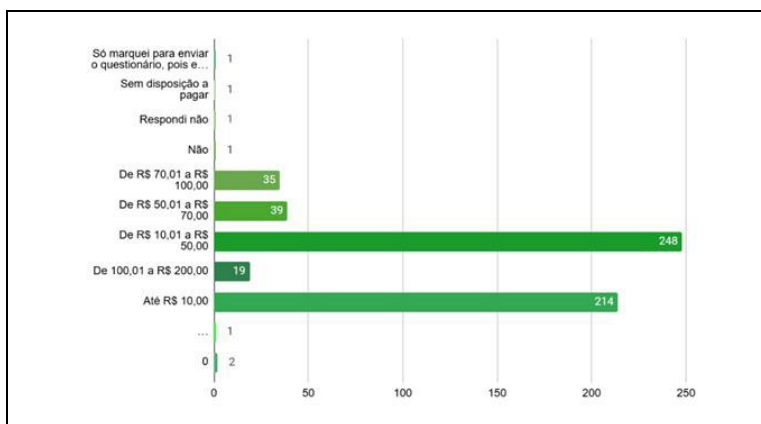
Disposição para Pagar pelo Descarte Correto

Sobre a disposição de arcar com o custo do descarte adequado, 49,3% dos consumidores declararam estar dispostos a pagar, enquanto 50,7% não (Figura 12). Os valores variam de R\$ 10 a mais de R\$ 200 por dispositivo (Figura 13), mostrando que uma parcela significativa da população reconhece a responsabilidade compartilhada entre governo, empresas e cidadãos para a destinação correta de resíduos.



Fonte: Projeto Recuepr3, 2024.

Figura 12. Disposição dos consumidores a pagar pelo descarte ambientalmente adequado de REEE.



Fonte: Projeto Recuepr3, 2024.

Figura 13. Faixas de valores que os consumidores estariam dispostos a pagar pelo descarte.

Essa disposição a pagar sugere uma mudança de mentalidade, onde os consumidores reconhecem que o custo da destinação correta é um investimento necessário para a preservação ambiental. No entanto, para que esse comportamento seja ampliado, é fundamental que haja maior clareza sobre os benefícios da reciclagem, além de incentivos mais efetivos, como campanhas educativas e a expansão de pontos de coleta acessíveis. Políticas públicas que integrem esse processo à economia circular também podem estimular maior engajamento, ao promover um sistema em que consumidores, empresas e governo atuem de forma conjunta.

Portanto, embora a disposição dos consumidores represente um avanço na transformação dos hábitos de consumo no Brasil, sua consolidação depende de ações colaborativas que tornem a gestão dos resíduos eletroeletrônicos mais eficiente e amplamente adotada pela população.

Em relação ao modelo desenvolvido, as variáveis incorporadas representam as mudanças nas necessidades e no comportamento do consumidor ao longo do tempo, bem como seus potenciais impactos, positivos ou negativos, sobre a gestão dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) no país. Para avaliar esses efeitos, foram projetados dois cenários adicionais (sustentável e não sustentável), ambos comparados ao cenário atual.

No cenário sustentável (otimista), pressupõe-se que a proporção de REEE destinados à recuperação adequada aumente gradualmente dos atuais 3% (BALDÉ et al., 2020) para 25% até 2030. Essa meta é calibrada com base nas metas progressivas do Decreto 10.240/2020 e no desempenho observado em países com sistemas de logística reversa maduros, sendo ambiciosa porém factível dentro do horizonte de cinco anos considerado. Em contraste, o cenário pessimista considera a baixa conscientização do consumidor, a insuficiência de infraestrutura e o aumento na geração e descarte inadequado de resíduos. O cenário atual serve como referência para evolução das variáveis.

3.1 | Premissas dos Cenários

Os três cenários foram construídos com base nos seguintes parâmetros:

Cenário Atual

- Taxa de reciclagem inicial: 3% (BALDÉ et al., 2020); cresce lentamente para ~17% em 2030.
- Taxa de substituição: 0,40 a 0,55/ano (2025 - 2030), refletindo comportamento de consumo moderado.
- Renda: crescimento de 30% a 120% sobre o salário-mínimo de referência ao longo do período.

Cenário Pessimista

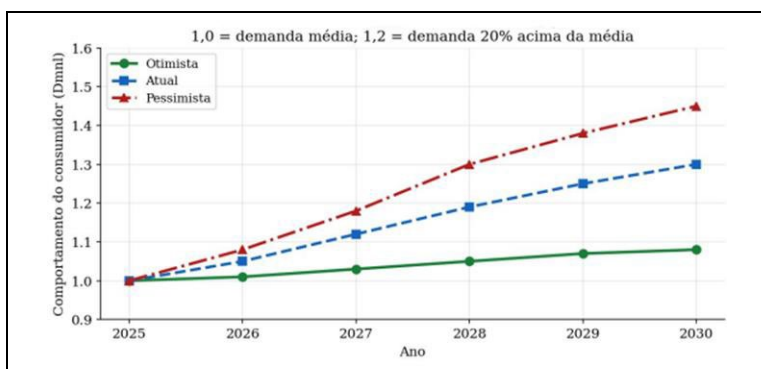
- Taxa de substituição elevada (0,55 a 0,80/ano): ciclos de reposição mais curtos, impulsionados por obsolescência acelerada.
- Taxa de recuperação cai para 1% em 2030, refletindo infraestrutura insuficiente e baixa conscientização.
- Taxa de descarte inadequado aproxima-se de 99%.

Cenário Otimista

- Taxa de substituição reduzida de 0,40 para 0,25/ano até 2030 (vida útil média sobe de 2,5 para 4 anos), refletindo maior cuidado com os equipamentos.
- Taxa de recuperação cresce de 3% para 25% em 2030, meta calibrada com base nas metas progressivas do Decreto 10.240/2020 e no desempenho de países com logística reversa madura.
- Taxa de descarte inadequado recua de 97% para 75%.
- Maior conscientização ambiental reduz retenção domiciliar para ~50%.

Comportamento do Consumidor

A primeira variável analisada no modelo é o **comportamento do consumidor** (Figura 14). Essa variável representa as mudanças nos padrões de consumo ao longo do período de 2025 a 2030 e é diretamente influenciada pela **taxa de mudança de comportamento do consumidor** (Figura 15). Fatores como inovação tecnológica acelerada, estratégias de marketing agressivas e alterações nas preferências individuais podem elevar significativamente a demanda, fazendo com que o consumo fique 20% acima da média.

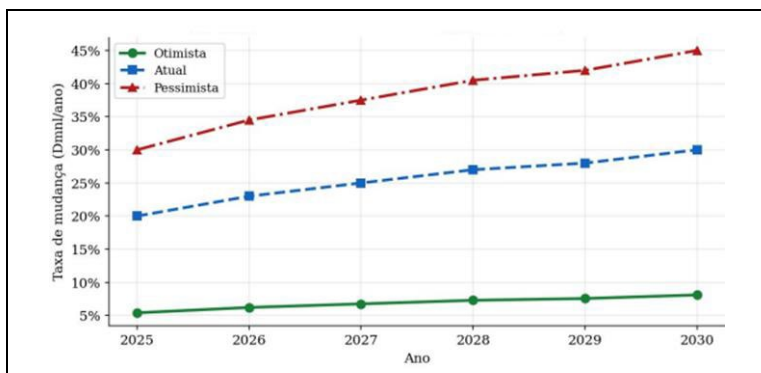


Fonte: Elaboração própria utilizando o software Vensim PLE, 2025.

Figura 14. Comportamento do consumidor.

No modelo, o valor 1,0 representa o comportamento padrão do consumidor, isto é, um nível médio de demanda, sem influência de estímulos externos. Já o valor 1,2 indica um comportamento modificado, correspondente a um aumento de 20% na demanda em relação ao padrão. Esse acréscimo reflete consumidores comprando mais dispositivos do que o esperado, em resposta às pressões externas mencionadas (MD et al., 2021). A taxa de

mudança do comportamento varia ao longo do tempo (TIME), acompanhando o horizonte de simulação de cinco anos (Figura 15).



Fonte: Elaboração própria utilizando o software Vensim PLE, 2025.

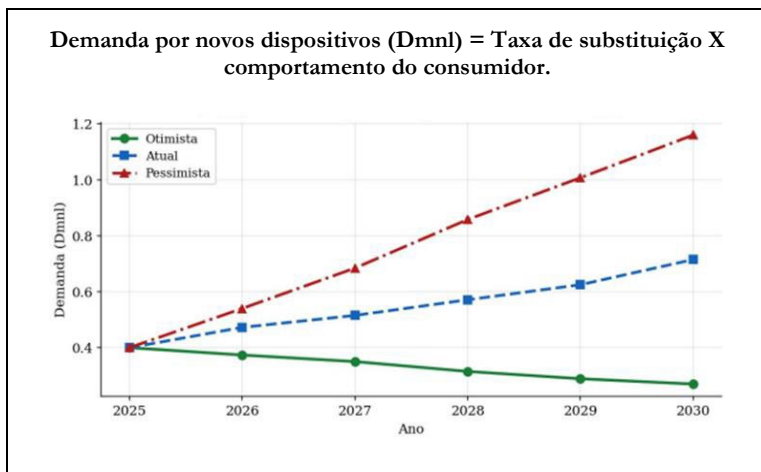
Figura 15. Taxa de mudança de comportamento do consumidor.

Os resultados mostram que, no cenário otimista, o consumidor se torna mais consciente quanto à destinação adequada dos eletrônicos e tende a prolongar o tempo de uso dos dispositivos, reduzindo significativamente o ritmo de aquisição. Ao final do período de cinco anos, esse consumidor altera seu comportamento de compra em apenas 8%, evidenciando menor propensão à substituição rápida. No cenário atual, a mudança é mais intensa, atingindo 30%, enquanto no cenário pessimista o comportamento de consumo se torna ainda mais acelerado, com uma variação de 45%, indicando forte aumento na aquisição de novos dispositivos.

Demanda por Novos Dispositivos e Taxa de Substituição

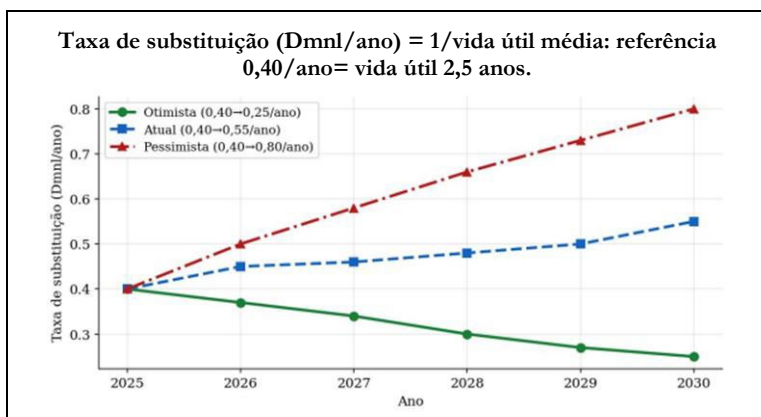
A demanda por novos dispositivos depende do comportamento do consumidor e da taxa de substituição (Figuras 16 e 17). A taxa de substituição do cenário atual parte de 0,40/ano (vida útil de 2,5 anos/Md et al., 2021) e evolui até 0,55/ano em 2030. **Limitação reconhecida:** esse valor reflete smartphones; equipamentos de maior durabilidade (ex.: geladeiras, TV) possuem taxas muito menores (~0,07-0,1/ano). Ao agregar todos os EEE, o modelo pode superestimar a substituição global. Modelos futuros devem segmentar por categoria. Assim, a taxa de renovação corresponde a:

$$\text{Taxa de substituição} = \frac{1}{2,5} = 0,4/\text{ano}$$



Fonte: Elaboração própria utilizando o software Vensim PLE, 2025.

Figura 16. Demanda por novos dispositivos.



Fonte: Elaboração própria utilizando o software Vensim PLE, 2025.

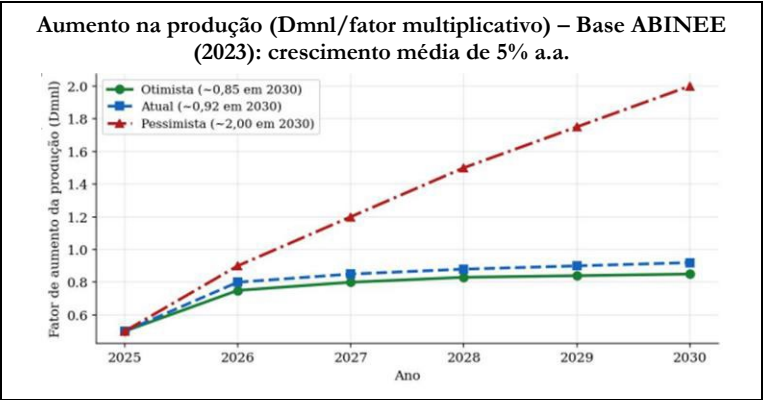
Figura 17. Taxa de substituíbilidade.

Os resultados dos cenários mostram diferenças significativas no comportamento de substituição. Ao final dos cinco anos de simulação, o cenário otimista apresenta apenas 2% de substituição de equipamentos antigos por novos, refletindo consumidores mais conscientes, que prolongam a vida útil dos dispositivos. No cenário atual, a taxa alcança 55%, indicando um comportamento intermediário, ainda fortemente influenciado pela obsolescência percebida. Já no cenário pessimista, o valor sobe para 80%, evidenciando um padrão de consumo acelerado, com alta rotatividade de dispositivos e maior pressão sobre a geração de REEE.

Aumento da Produção e Produção de Novos Equipamentos

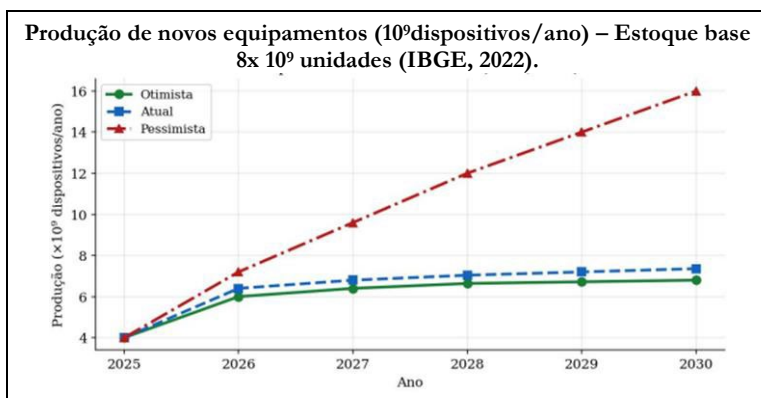
A análise da variável *aumento na produção* e, consequentemente, da variável *produção de novos equipamentos* (Figuras 18 e 19), evidencia como a dinâmica produtiva do setor eletroeletrônico se altera ao longo do período

de simulação (2025-2030), em função da variável *TIME* e dos parâmetros definidos em cada cenário. O crescimento anual da produção foi ajustado com base nas informações da ABINEE (2023), que apontam aumento médio de 5% na fabricação de eletroeletrônicos no país. Assim, em cada ano da simulação, a produção de dispositivos resulta da aplicação da taxa de crescimento sobre o estoque do ano anterior.



Fonte: Elaboração própria utilizando o software Vensim PLE, 2025.

Figura 18. Aumento na produção.



Fonte: Elaboração própria utilizando o software Vensim PLE, 2025.

Figura 19. Produção de novos equipamentos.

O aumento na produção afeta diretamente a quantidade de equipamentos novos inseridos no mercado e, portanto, influencia o volume de dispositivos que, futuramente, podem ser destinados de forma adequada ou inadequada. Esse fluxo depende diretamente do comportamento do consumidor, especialmente no que se refere à aquisição, substituição e descarte dos produtos.

É importante destacar que a variável *produção de equipamentos eletroeletrônicos* deve ser capaz de suprir a demanda crescente. Dessa forma, para que o estoque total siga aumentando, a produção anual precisa ser igual ou superior ao volume de equipamentos adquiridos pelos consumidores, considerando que o estoque acumulado do ano anterior é sempre somado ao novo valor produzido.

Os resultados demonstram novamente a vantagem do cenário otimista. Ao final dos cinco anos simulados, observa-se um acréscimo de 0,85% na produção anual, enquanto o cenário atual apresenta 0,9% e o cenário pessimista 2% de aumento.

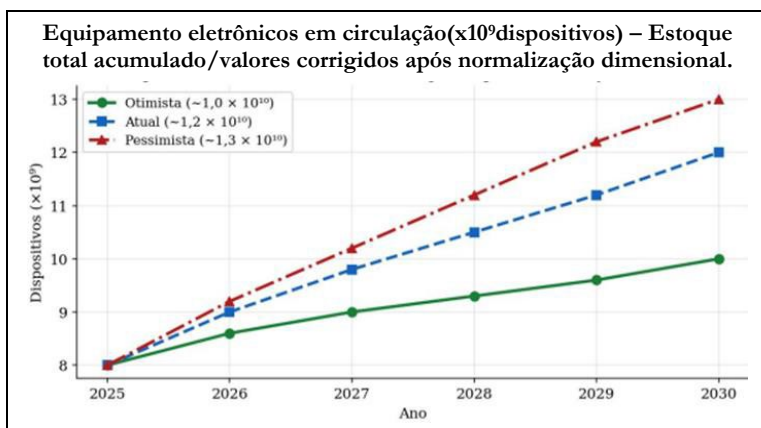
- **Otimista:** aumento de apenas 0,85%.
- **Atual:** 0,9%.
- **Pessimista:** crescimento acelerado, atingindo 2%.

Equipamentos Eletroeletrônicos em Circulação

As variáveis *equipamentos eletroeletrônicos* e *aquisição* (Figuras 20 e 21) apresentam crescimento moderado ao longo do período. Com a equação de Aquisição corrigida dimensionalmente ($\text{Aquisição} = \text{Estoque} \times \text{Taxa_subst} \times \text{Comp_consumidor}$, com Renda como fator adimensional normalizado), os valores projetados para 2030 situam-se na ordem de 10^{10} dispositivos, coerentes com o estoque-base de 8×10^9 unidades e a taxa de crescimento anual de 5%:

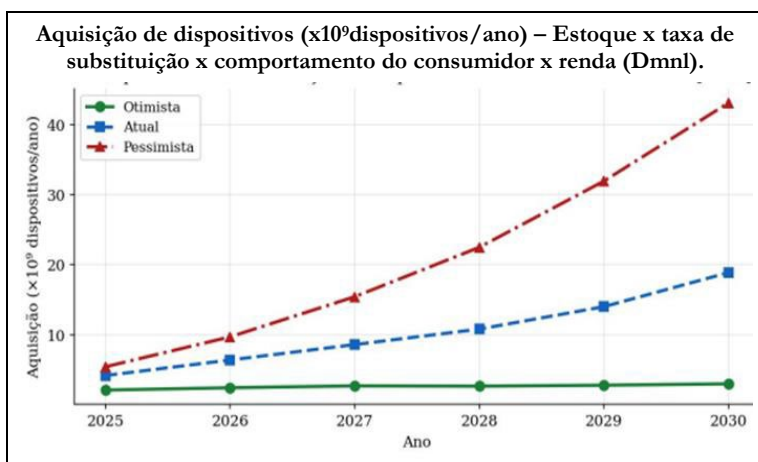
- Cenário Otimista: $\sim 1,0 \times 10^{10}$ dispositivos em 2030.
- Cenário Atual: $\sim 1,2 \times 10^{10}$ dispositivos em 2030.
- Cenário Pessimista: $\sim 1,3 \times 10^{10}$ dispositivos em 2030.

Nota: a variável Dispositivos na Mão do Consumidor (Figura 23) opera em escala de 10^8 a 10^9 , pois representa o estoque residual após os fluxos de retenção, disposição inadequada e recuperação, coerente com a diferença entre produção acumulada e saídas do sistema. Não há contradição com as Figuras 20-21, que representam o estoque total produzido antes das saídas.



Fonte: Elaboração própria a partir de dados gerados com o software Vensim PLE, 2025.

Figura 20. Equipamentos eletroeletrônicos.

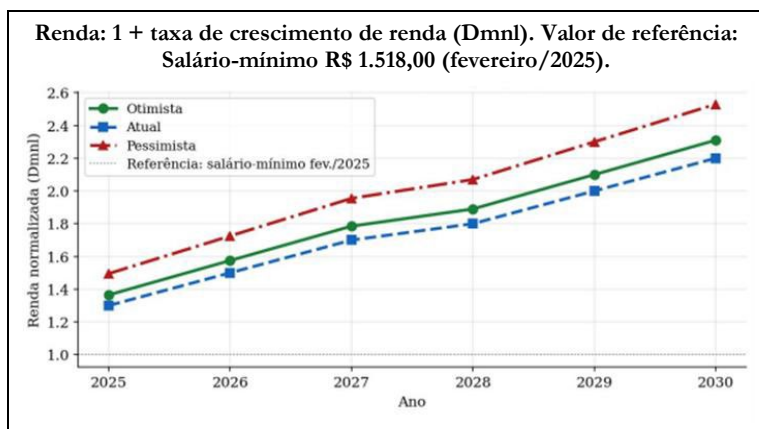


Fonte: Elaboração própria a partir de dados gerados com o software Vensim PLE, 2025.

Figura 21. Aquisição.

Influência da Renda na Aquisição

A aquisição de novos dispositivos é influenciada simultaneamente pela demanda e pela renda dos consumidores (Figura 22). A renda, em particular, determina a capacidade de compra e, portanto, afeta diretamente a disposição dos consumidores em adquirir novos equipamentos. Em geral, aumentos de renda tendem a elevar a demanda, uma vez que ampliam o poder de consumo. Desta forma, a renda é incorporada ao modelo como fator adimensional normalizado ($Renda = 1 + Taxa \text{ de crescimento da renda}$), não em reais absolutos. Esse ajuste evita inconsistências dimensionais e garante que o crescimento da renda opere como um multiplicador proporcional sobre a demanda. No cenário otimista, mesmo com aumento da renda, o consumidor consciente reduz a substituição de dispositivos.



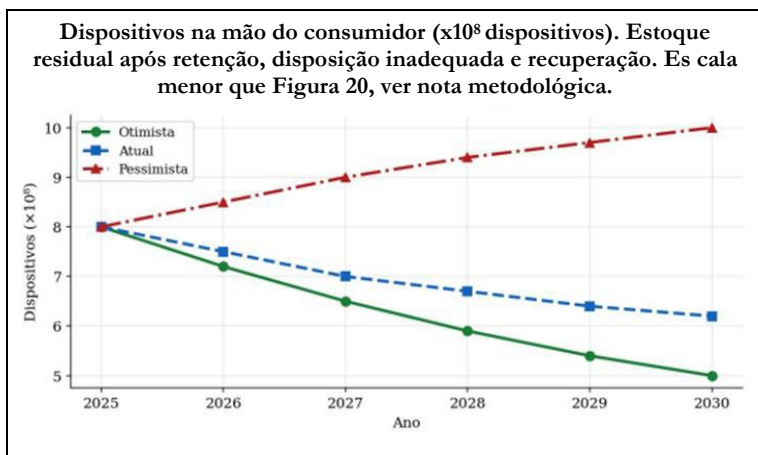
Fonte: Elaboração própria utilizando o software Vensim PLE, 2025.

Figura 22. Renda.

Dispositivos na Mão do Consumidor e Retenção

A variável *dispositivos na mão do consumidor* (Figura 23) representa o estoque de equipamentos com os usuários antes do fim de vida. Possui três fluxos de saída:

- Retenção: fluxo que representa dispositivos desviados do descarte imediato e armazenados em residências (não um estoque separado, mas uma saída que retarda o ciclo de fim de vida);
- Disposição inadequada; e
- Recuperação de materiais.



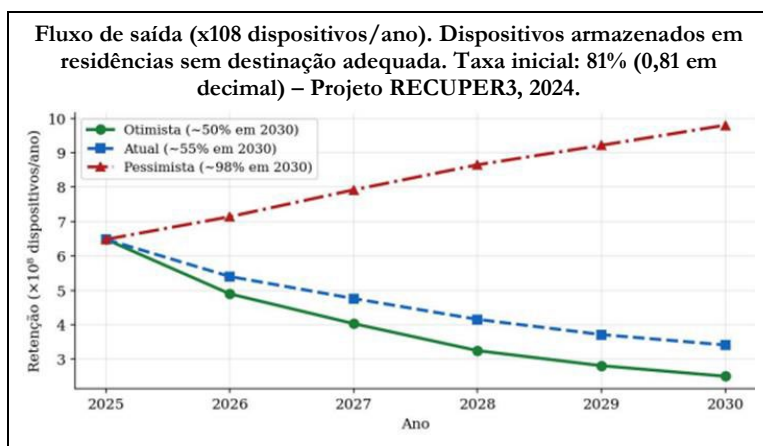
Fonte: Elaboração própria a partir de dados gerados com o software Vensim PLE, 2025.

Figura 23. Dispositivos na mão do consumidor.

A análise dessa variável aponta diferenças claras entre os três cenários simulados, ainda que, visualmente, os cenários atual e otimista pareçam sobrepostos. Observa-se ainda uma redução gradual do número de dispositivos nas mãos dos consumidores ao

longo dos cinco anos modelados, comportamento explicado pela interação direta com os fluxos de retenção, disposição inadequada e recuperação de materiais, que variam conforme cada cenário.

A variável retenção representa a parcela de dispositivos que permanece nas residências, seja em uso prolongado ou armazenada, sem seguir para descarte ou reciclagem (XAVIER et al., 2023). A variável retenção (Figura 24) tem como valor inicial 0,81 (equivalente a 81% em decimal), estimado a partir das respostas de 1.426 participantes do Projeto Recuperr3 (2024), conforme detalhado na Figura 7.

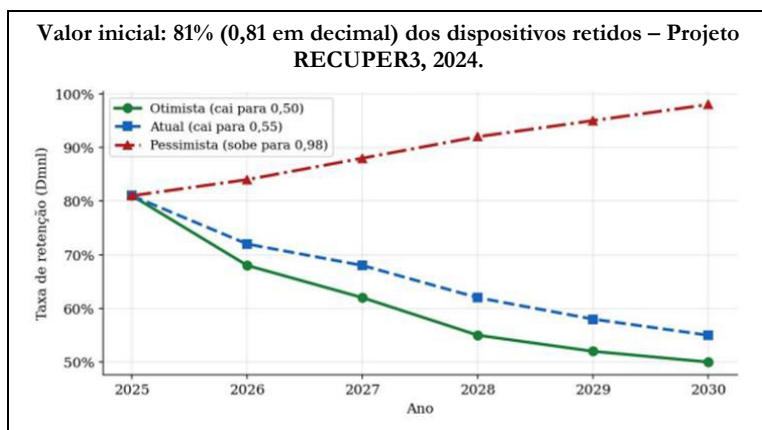


Fonte: Elaboração própria a partir de dados gerados com o software Vensim PLE, 2025.

Figura 24. Retenção.

A retenção é determinada principalmente pela taxa de retenção (Figura 25), que se altera ao longo dos cinco anos de acordo com os cenários simulados. Assim como outras variáveis do modelo, sua taxa de variação é influenciada pela variável time, que estabelece a progressão temporal da simulação.

A comparação entre os cenários revela que, ao final de 2030, o cenário otimista apresenta o menor índice de retenção, seguido pelo cenário atual e, por último, pelo cenário pessimista.



Fonte: Elaboração própria utilizando o software Vensim PLE, 2025.

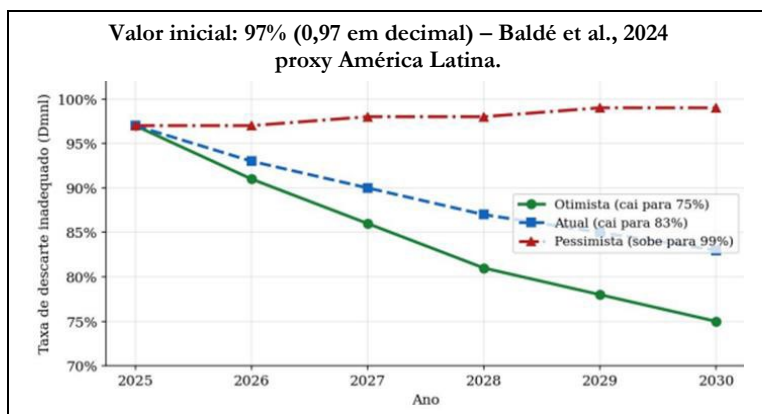
Figura 25. Taxa de variação da retenção.

No cenário otimista, a taxa de variação da retenção e, consequentemente, o volume de dispositivos retidos, tende a ser menor, cerca de 50%. Esse resultado decorre da maior conscientização dos consumidores, que passam a adquirir menos dispositivos e a manter por mais tempo aqueles já existentes, reduzindo o acúmulo domiciliar. No cenário atual, a taxa sobe para aproximadamente 55%, enquanto no cenário pessimista alcança cerca de 98%, indicando retenção significativamente maior.

O desempenho do cenário pessimista sugere que o aumento da renda, quando não acompanhado de políticas de educação ambiental e estímulo ao descarte correto, tende a intensificar o acúmulo domiciliar de resíduos eletroeletrônicos.

Disposição Inadequada dos REEE

A taxa de descarte inadequado (Figura 26) parte de 97% (BALDÉ et al., 2020/dado para América Latina, adotado como proxy) e evolui conforme os cenários: Otimista → 75%; Atual → 83%; Pessimista → 99% em 2030.



Fonte: Elaboração própria utilizando o software Vensim PLE, 2025.

Figura 26. Taxa de descarte inadequado.

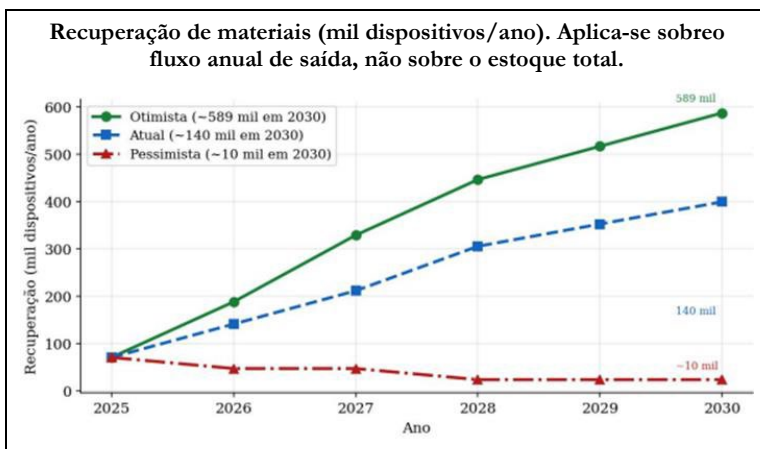
A *taxa de descarte inadequado* parte de 97% (BALDÉ et al., 2020) e, ao final dos cinco anos simulados, evolui para os seguintes valores em cada cenário:

- Otimista: queda para 75%
- Atual: aproximadamente 83%
- Pessimista: chega a 99% em 2030

Recuperação de Materiais

A variável *recuperação de materiais* (Figura 27) representa os dispositivos encaminhados à reciclagem, reuso ou recondicionamento.

Nota importante: a taxa de recuperação de 25% (cenário otimista) aplica-se sobre o *fluxo anual de dispositivos saindo da mão do consumidor*, e não sobre o estoque total acumulado. Isso explica por que o volume absoluto recuperado (589 mil equipamentos/ano) é substancialmente inferior a 25% do estoque total de $\sim 10^{10}$ unidades, o que seria fisicamente impossível em um único ano.



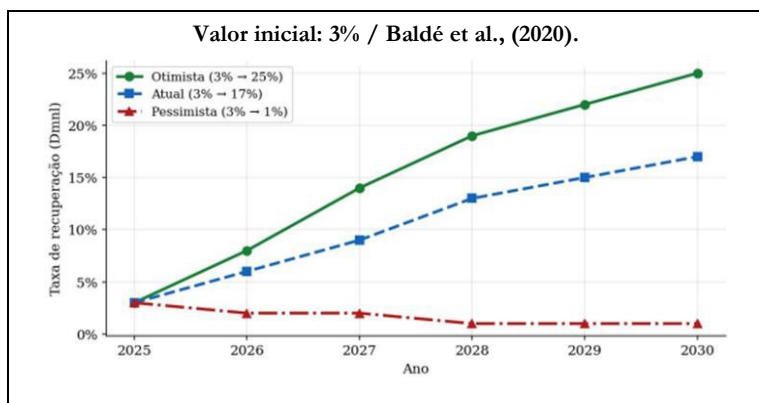
Fonte: Elaboração própria a partir de dados gerados com o software Vensim PLE, 2025.

Figura 27. Recuperação de materiais.

Os resultados da simulação mostram que, no Cenário Otimista, impulsionado pelo aprimoramento da infraestrutura de coleta e reciclagem, o volume de recuperação de materiais é significativamente superior aos cenários Atual e Pessimista.

Ao final dos cinco anos simulados (2025 a 2030), o Cenário Otimista se destaca como o caminho de maior sucesso, projetando um volume de recuperação de materiais consideravelmente superior ao Cenário Atual e ao Cenário Pessimista. Sua superioridade é justificada por um sistema impulsionado pelo aprimoramento da infraestrutura de coleta e reciclagem. No Cenário Otimista, portanto, o sistema demonstra a maior eficiência na destinação adequada dos materiais, com maior volume sendo reciclado, reutilizado ou recondicionado, resultando em uma redução expressiva do descarte incorreto e no maior volume de recuperação total.

O volume de recuperação de materiais é diretamente influenciado pela **taxa de recuperação** (Figura 28), que representa a proporção de materiais descartados de forma ambientalmente adequada e enviados para processos de recuperação. Essa taxa também varia ao longo do tempo (**TIME**) e utiliza como valor inicial o índice de 3% para o ano de 2025, conforme Baldé et al. (2020).



Fonte: Elaboração própria utilizando o software Vensim PLE, 2025.

Figura 28. Taxa de recuperação de materiais.

Os cenários novamente evidenciam diferenças marcantes. Mantido o cenário atual, a taxa de recuperação alcança 17% após cinco anos. No cenário pessimista, essa taxa permanece extremamente baixa, atingindo apenas 1%, refletindo pouca efetividade na destinação adequada dos resíduos eletroeletrônicos. Já o cenário otimista alcança uma taxa de 25% ao final do período, indicando maior engajamento social, melhor infraestrutura e maior eficiência operacional do sistema, resultando em menor pressão ambiental e maior circularidade de materiais.

A partir da taxa inicial de 3% (BALDÉ et al., 2020), os cenários evoluem de maneiras contrastantes:

- Otimista: recuperação atinge 25% em 2030 (589 mil equipamentos).
- Atual: cerca de 17% (~140 mil equipamentos).
- Pessimista: apenas 1% (~10 mil equipamentos).

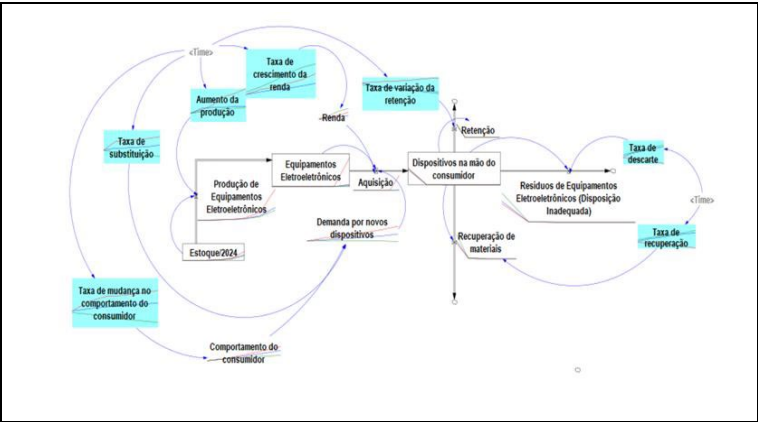
Este é o indicador mais sensível ao comportamento do consumidor e à infraestrutura de reciclagem.

Visão Integrada dos Cenários Simulados

A análise integrada confirma que o comportamento do consumidor é determinante para o equilíbrio entre geração, retenção, descarte e recuperação dos REEE.

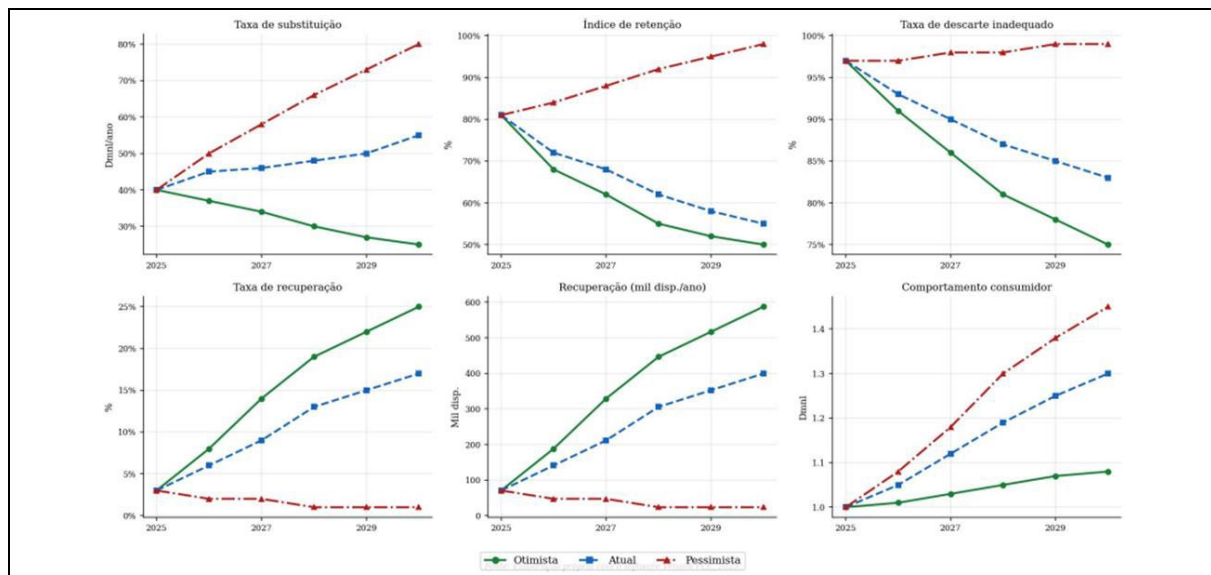
Os cenários simulados para o comportamento do consumidor entre 2025 e 2030 variam conforme as condições econômicas, culturais e sociais. A Figura 29 apresenta simultaneamente os três cenários modelados. No cenário otimista, projeta-se um crescimento econômico sólido, acompanhado de aumento da renda disponível, avanços tecnológicos e maior conscientização

socioambiental. Nesse contexto, os consumidores tendem a demonstrar maior confiança para consumir, porém com preferência por produtos e serviços sustentáveis, duráveis e com menor impacto ambiental.



Fonte: Elaboração própria utilizando o software Vensim PLE, 2025.

Figura 29. Cenários simulados.



Fonte: Elaboração própria utilizando o software Vensim PLE, 2025.

Figura 30. Visão integrada dos cenários simulados (2025-2030).

A análise conjunta dos cenários evidencia que o comportamento do consumidor no período 2025-2030 será fortemente influenciado não apenas pela conjuntura econômica e tecnológica, mas também pela crescente preocupação ambiental. Independentemente da trajetória considerada, espera-se uma intensificação da busca por produtos mais duráveis, recicláveis e alinhados aos princípios da economia circular. Nesse sentido, o cenário otimista se destaca por abrir espaço para novos modelos de negócios voltados à circularidade e ao uso eficiente de recursos.

Com o objetivo de sintetizar os resultados e facilitar a comparação entre os cenários, elaborou-se o Quadro 1. Ele resume os principais indicadores analisados, contrastando o cenário de continuidade (atual), o cenário crítico (pessimista) e a alternativa mais sustentável (otimista), destacando os impactos potenciais do comportamento do consumidor sobre a gestão de resíduos eletroeletrônicos no Brasil.

Quadro 1. Comparativo entre os cenários simulados (2025-2030).

Indicador / Variável	Cenário Atual	Cenário Pessimista	Cenário Otimista
Crescimento da renda	Lento	Elevado	Elevado
Aquisição de novos dispositivos	Moderada	Muito alta	Baixa (apesar da alta renda)
Comportamento do consumidor	Consumo elevado, baixa conscientização	Consumo muito elevado, baixa conscientização	Consumo consciente, valorização da durabilidade
Taxa de substituição	~55%	~80%	~25% (vida útil de 4 anos)
Índice de retenção	~55%	~98%	~50%
Taxa de descarte inadequado	~83%	~99%	~75%
Taxa de recuperação de materiais	~17%	~1%	~25%
Dispositivos em circulação (2030)	$\sim 1,2 \times 10^{10}$	$\sim 1,3 \times 10^{10}$	$\sim 1,0 \times 10^{10}$
Materiais recuperados/ano (2030)	~140 mil equipamentos	~10 mil equipamentos	~589 mil equipamentos
Impacto ambiental projetado	Elevado	Crítico	Reduzido, com potencial de circularidade

Fonte: Elaboração própria, 2025.

A análise comparativa demonstra a influência direta de distintos padrões de consumo sobre a integralidade da cadeia de gestão de REEE. O cenário otimista projeta os melhores resultados ambientais, pautado pela premissa de que o aumento da renda, quando conjugado com maior conscientização e menor propensão ao consumo impulsivo, impulsiona taxas elevadas de recuperação de materiais e a consequente redução do descarte inadequado. Em nítido contraste, o cenário pessimista expõe os riscos inerentes a um crescimento econômico dissociado da responsabilidade ambiental, resultando em uma tríade problemática: alta substituição acelerada, retenção prolongada de dispositivos e um descarte incorreto de caráter quase generalizado.

A síntese dos achados revela que:

- O cenário otimista é o único capaz de mitigar consistentemente os indicadores de substituição, aquisição, descarte inadequado e retenção de REEE.
- O cenário pessimista projeta um futuro ambientalmente crítico, marcado por um consumo acelerado e uma infraestrutura de reciclagem manifestamente insuficiente.
- O cenário atual, por sua vez, permanece insustentável, perpetuando padrões de consumo e descarte que ampliam continuamente a geração de REEE.

Em face desses resultados, reforça-se a importância estratégica de integrar políticas públicas eficazes, instrumentos robustos de logística reversa e ações contínuas de educação ambiental. Tais medidas são essenciais para promover comportamentos mais sustentáveis e acelerar a transição para uma economia circular no setor de equipamentos eletroeletrônicos.

4 | CONCLUSÃO

A análise dos dados coletados evidencia que, apesar do nível de conhecimento dos entrevistados sobre REEE, as práticas de gestão desses materiais permanecem inadequadas. Embora 94% dos consumidores reconheçam a importância do descarte correto, aproximadamente 82% dos domicílios ainda mantêm algum REEE armazenado.

A simulação com o modelo de Dinâmica de Sistemas evidenciou que o comportamento do consumidor brasileiro determina, de forma quantificável, a eficiência da gestão de REEE. No cenário otimista, a redução da taxa de substituição para ~25%/ano (vida útil média de 4 anos) e da disposição inadequada para 75% elevou a recuperação de materiais a 25% em 2030 (~589 mil equipamentos/ano). No cenário pessimista, a substituição de 80%/ano e a retenção domiciliar de 98% levaram a recuperação a apenas 1% (~10 mil equipamentos/ano). No cenário atual, a recuperação alcança 17% (~140 mil equipamentos/ano), indicando avanço insuficiente frente à geração crescente de REEE. Esses contrastes confirmam que políticas isoladas são insuficientes sem mudanças efetivas no padrão de consumo.

Entre as principais limitações do estudo, destacam-se: (i) a agregação de todos os EEE em uma única categoria de vida útil, o que superestima a taxa de substituição de equipamentos de longa durabilidade; (ii) o horizonte curto de cinco anos, que pode não capturar transformações estruturais de médio-longo prazo na logística reversa brasileira; e (iii) a unidimensionalidade da variável renda, que não distingue o efeito diferenciado de diferentes faixas de renda sobre o comportamento de descarte.

Em face desses resultados, recomenda-se a integração de políticas públicas diretamente ligadas às variáveis do modelo: (i) campanhas de educação ambiental atuam sobre a *taxa de mudança no comportamento do consumidor*, reduzindo a demanda impulsiva e a retenção domiciliar; (ii) expansão de pontos de entrega voluntária e logística reversa estruturada reduz a *taxa de descarte inadequado* e eleva a *taxa de recuperação*; (iii) incentivos econômicos, como descontos na compra de novos dispositivos mediante devolução dos antigos, atuam sobre a *taxa de substituição*, estimulando ciclos de uso mais longos; e (iv) regulação de obsolescência programada afeta diretamente a *vida útil média*, base do cálculo da taxa de substituição.

Recomenda-se que este modelo seja utilizado como ferramenta de apoio à formulação de programas nacionais de gestão de REEE, com calibração regional e segmentação por categoria de equipamento em versões futuras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREE (Associação Brasileira de Reciclagem de Eletroeletrônicos). **Relatório sobre a Reciclagem de Eletroeletrônicos no Brasil**. 2020. Disponível em: <www.abree.com.br>. Acesso em: mar. 2025.

ARORA, R.; PATEROK, K.; BANERJEE, A.; SALUJA, M.S. Potential and relevance of urban mining in the context of sustainable cities. *IIMB Management Review*, v. 29, n. 4, p. 210-224, 2017. DOI: 10.1016/j.iimb.2017.06.001.

BALDÉ, C.P. et al. **The Global E-waste Monitor 2020**. Bonn/Geneva/Rotterdam: United Nations University/United Nations Institute for Training and Research/International Telecommunication Union/International Solid Waste Association, 2020. Disponível em: <<https://ewastemonitor.info/>>.

BALDÉ, C.P. et al. **The Global E-waste Monitor 2024**. Geneva: International Telecommunication Union, 2024. Disponível em: <<https://ewastemonitor.info/>>.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Diário Oficial da União, Brasília, 3 ago. 2010. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>.

BRASIL. Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. **Regulamenta a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Diário Oficial da União, Brasília, 24 dez. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm>.

BRASIL. Decreto nº 10.240, de 12 de fevereiro de 2020. Regulamenta o art. 33 da Lei nº 12.305/2010 para logística reversa de eletroeletrônicos. *Diário Oficial da União*, Brasília, 13 fev. 2020.

CARVALHO, D.; FERREIRA, V. Sustainable Consumption and Brazilian Consumer Behaviour. In: *Sustainable Consumption*. Springer, 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-16985-5_5.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO CONSUMIDOR (CNC). **Consumo Consciente 2024**. Brasília: CNC, 2024. Disponível em: <<https://portal-bucket.azureedge.net/wp-content/2024/07/Relatorio-Pesquisa-do-Consumo-Consciente-2024.pdf>>.

HARTL, B.; HOFMANN, E. To sort or not to sort? Consumers' waste behavior in public. *Journal of Cleaner Production*, v. 475, 2024, art. 143677. DOI: 10.1016/j.jclepro.2024.143677.

INSTITUTO AKATU. **Vida saudável sustentável: Relatório Brasil 2020**. São Paulo: Instituto Akatu, 2020. Disponível em: <<https://akatu.org.br/wp-content/uploads/2023/02/vss2020.pdf>>.

ITU – INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION. **Creating a Circular Economy for Electronic and Electrical Equipment**. Geneva: ITU, 2024. Disponível em: <<https://www.itu.int/en/mediacentre/backgrounders/Pages/e-waste.aspx>>.

JAIN, M. et al. Review on E-waste management and its impact on the environment and Society. *Waste Management Bulletin*, v. 1, n. 3, p. 34-44, 2023. DOI: 10.1016/j.wmb.2023.06.004.

KAZA, S.; YAO, L.; BHADA-TATA, P.; VAN WOERDEN, F. **What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050**. Washington, D.C.: World Bank Group, 2018. DOI: 10.1596/978-1-4648-1329-0.

AL-NUAIMI, S.R.; AL-GHAMDI, S.G. Sustainable Consumption and Education for Sustainability in Higher Education. *Sustainability*, v. 14, n. 12, art. 7255, 2022. DOI: 10.3390/su14127255.

NETO, G.A.; SOUZA, T.S.; LIMA, F.C. Household Practices Regarding E-Waste Management: A Case Study from Brazil. *Environmental Management and Sustainable Development*, v. 11, n. 2, p. 193-208, 2022. DOI: 10.5539/emsd.v11n2p193.

SHAHRASBI, A.; SHOKOUHYAR, S.; ZEIDYAHYAE, N. Consumers' behavior towards electronic wastes from a sustainable development point of view: An exploration of differences between developed and developing countries. *Sustainable Production and Consumption*, v. 28, p. 1736-1756, 2021. DOI: 10.1016/j.spc.2021.09.016.

VARGAS, D.B.; CAMPOS, L.M.D.S.; LUNA, M.M.M. Brazil's Formal E-Waste Recycling System: From Disposal to Reverse Manufacturing. *Sustainability*, v. 16, n. 1, art. 66, 2024. DOI: 10.3390/su16010066.

XAVIER, L.H.; OTTONI, M.; LEPAWSKY, J. Circular economy and e-waste management in the Americas: Brazilian and Canadian frameworks. *Journal of Cleaner Production*, v. 297, 2021. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126570.

XAVIER, L.H. et al. **Diagnóstico da Mineração Urbana dos Resíduos Eletroeletrônicos no Brasil: Projeto MINARE.** Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2023. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/2632/1/Projeto_MINARE_2023.pdf>.

SÉRIES CETEM

As Séries Monográficas do CETEM são o principal material de divulgação da produção científica realizada no Centro. Até o final do ano de 2025, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, mais de 390 títulos, distribuídos entre as seis séries atualmente em circulação: Rochas e Minerais Industriais (SRMI), Tecnologia Mineral (STM), Tecnologia Ambiental (STA), Estudos e Documentos (SED). A Série Iniciação Científica consiste numa publicação eletrônica anual.

A lista das publicações poderá ser consultada em nossa homepage. As obras estão disponíveis em texto completo para download. Visite-nos em <https://www.gov.br/cetem/pt-br/assuntos/repositorio-mineralis-e-biblioteca>.

Últimos números da Série Estudos e Documentos

SED-111 – **Transição energética e dependência por minerais críticos: aspectos geopolíticos, socioambientais e a perspectiva brasileira.** Fernando Ferreira de Castro, Geraldo Sandoval Góes, Carlos Cesar Peiter, Guilherme Sandoval Góes, Fábio Giusti de Britto, Maria Pereira Lima Green e Felipe Soter de Mariz e Miranda, 2022.

SED-110 – **O setor mineral brasileiro e o impacto socioambiental causado pela exploração ilegal dos recursos minerais.** Ana Maria Botelho M. da Cunha e Márcia Viana Sá Earp, 2022.

SED-109 – **O setor mineral brasileiro e a pandemia da Covid-19.** Ana Maria Botelho M. da Cunha e Márcia Viana Sá Earp, 2022.

INFORMAÇÕES GERAIS

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral
Avenida Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária
21941-908 – Rio de Janeiro – RJ
E-mail: biblioteca@cetem.gov.br
Homepage: <http://www.cetem.gov.br>

NOVAS PUBLICAÇÕES

Se você se interessar por um número maior de exemplares ou outro título de uma das nossas publicações, entre em contato com a nossa biblioteca no endereço acima.

Solicita-se permuta.

We ask for interchange.



Missão Institucional

Desenvolver tecnologias inovadoras e sustentáveis, e mobilizar competências visando superar desafios nacionais do setor mineral.

O CETEM

O Centro de Tecnologia Mineral - CETEM é um instituto de pesquisas, vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações - MCTI, dedicado ao desenvolvimento, à adaptação e à difusão de tecnologias nas áreas minerometalúrgica, de materiais e de meio ambiente.

Criado em 1978, o Centro está localizado no campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, na Cidade Universitária, no Rio de Janeiro e ocupa 20.000m² de área construída, que inclui 25 laboratórios, 4 plantas-piloto, biblioteca especializada e outras facilidades.

Durante seus 48 anos de atividade, o CETEM desenvolveu mais de 800 projetos tecnológicos e prestou centenas de serviços para empresas atuantes nos setores minerometalúrgico, químico e de materiais.