



Informação estratégica para o programa
Computadores para Inclusão

Relatório Final

Informação estratégica para o programa Computadores para Inclusão

Relatório Final



Brasília, DF

Dezembro, 2023

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

Presidente

Fernando Cosme Rizzo Assunção

Diretor

Carlos Roberto Fortner

Relatório final da execução do projeto "Informação Estratégica para o Programa Computadores para Inclusão". Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2023.

175p.: il.

1. Computadores para Inclusão. 2. Inclusão digital. 3. Resíduos eletroeletrônicos. 4. Reciclagem. 5. Recondicionamento de computadores.
I. Título. II. CGEE.

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE SCS

Quadra 9 – Torre C – 4º andar – salas 401 a 405

Edifício Parque Cidade Corporate

70308-200 - Brasília, DF

Telefone: (61) 3424.9600

<http://www.cgEE.org.br>

Este relatório é parte integrante das atividades desenvolvidas no âmbito do 3º contrato de Gestão - 3º Termo Aditivo - Linha de ação: Estudo Análises e Avaliações / Projeto: Informações estratégicas para o Programa de Computadores para Inclusão - 1.10.05.01.01.02 / MCTI / 2023.

Todos os direitos reservados pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Os textos contidos nesta publicação poderão ser reproduzidos, armazenados ou transmitidos, desde que seja citada a fonte.

Projeto Temático: Informação estratégica para o programa Computadores para Inclusão

Relatório final

Supervisão

Fernando Cosme Rizzo Assunção

Equipe técnica do CGEE

Arthur de Oliveira Dias

Carlos Duarte de Oliveira Júnior

Carlson B. de Oliveira (Coordenador)

Egmar Alves da Rocha

Guilherme Dias Barbosa

Rayany de Oliveira Santos

Rogério da Silva Castro

Equipe de apoio do CGEE

Larissa Azevedo Soares

Parcerias tecnológicas

Circular Brain Plataforma Tecnológica de Economia Circular

*Núcleo de Design & Sustentabilidade da Universidade Federal do Paraná
(NDS/UFPR)*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	5
1.1	Objetivos	6
1.2	Origem da demanda e Governança do Projeto	7
2	ABORDAGEM METODOLÓGICA	8
2.1	Sobre a Demanda e a Abordagem Metodológica	8
2.1.1	Produção de Informação Gerencial e Estratégica	8
2.1.2	Estudos Técnicos	10
2.1.3	Estrutura Analítica do Projeto	13
3	CONCEITOS CENTRAIS	14
3.1	Equipamento Eletroeletrônico – EEE	14
3.2	Resíduo de Equipamentos Eletroeletrônicos – REEE	15
3.2.1	Composição material do REEE	15
3.2.2	Impactos Ambientais de REEE	17
3.2.3	Impactos Sociais de REEE	19
3.2.4	Impactos Econômicos de REEE	20
4	TRATAMENTO DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS NO BRASIL E NO MUNDO	23
4.1	Arcabouço Normativo	23
4.1.1	Mundo	23
4.1.2	Brasil	26
4.2	Sistemas de Tratamento de REEE	31
4.2.1	Estados Unidos	32
4.2.2	Inglaterra	39
4.2.3	Japão	46
4.2.4	Dinamarca	52
4.2.5	Considerações sobre a situação Brasileira	58
4.3	Política nacional relacionada a REEE	70
5	INFORMAÇÃO ESTRATÉGICA PARA O PROGRAMA COMPUTADORES PARA INCLUSÃO	76
5.1	O conceito de ciclo de vida de REEE	76
5.2	Dimensões da sustentabilidade na gestão de REEE	80
5.2.1	Dimensão Ambiental	80
5.2.2	Dimensão Social	82
5.2.3	Dimensão Econômica	84
5.3	Indicadores e Dashboard	86
5.3.1	Iniciativas globais voltadas a indicadores de REEE	89
5.3.2	Avanços da pesquisa sobre indicadores de REEE	94
5.3.3	Proposições de indicadores para REEE originadas na consulta à literatura	96
5.3.4	Proposições de indicadores REEE oriundas dos workshops internos	100
5.3.5	Proposições de indicadores REEE originadas em documentos e entrevistas	101
5.3.6	Proposições de indicadores REEE originadas na interação com inteligência artificial	102

5.3.7	Síntese Visual de uma Cesta de Indicadores para REEE	104
5.3.8	Uma proposta de dashboard.....	111
5.4	Apoio automatizado para Gestão e Acompanhamento.....	116
5.4.1	A Plataforma de Gestão	120
5.4.2	Módulo de Acompanhamento	121
6	PROTOCOLOS ASSOCIADOS A INDICADORES DE REEE	123
6.1	Contexto global.....	123
6.2	O Ecosistema de Indicadores de REEE no Brasil	125
6.3	Protocolos Existentes e Novos Protocolos	129
7	CENÁRIOS POTENCIAIS.....	132
7.1	Diagrama de Polaridade	132
7.2	META-CENÁRIO “A”: Responsabilidade Estendida	133
7.3	META-CENÁRIO “B”: Marketplace	137
7.4	META-CENÁRIO “C”: Reciclagem Distribuída.....	141
7.5	META-CENÁRIO “D”: Desfazimento Ampliado.....	145
7.6	META-CENÁRIO “E”: CRC como <i>HUBs</i> de Serviços de Reparo	150
8	PRINCIPAIS ACHADOS DO PROJETO	155
8.1	Entendimento do que é REEE.....	155
8.2	Entendimento de como o REEE é Tratado ao Redor do Mundo	156
8.3	gestão, Monitoramento e Avaliação do programa	157
8.4	Cenários.....	158
9	CONCLUSÃO	160
	REFERÊNCIAS.....	163
	LISTA DE FIGURAS	173
	LISTA DE QUADROS.....	175

1 INTRODUÇÃO

O Programa Computadores para Inclusão representa uma iniciativa do Governo Federal, sob a gestão do Ministério das Comunicações (MCom), focada na implementação de políticas públicas de inclusão digital. Seu principal propósito é apoiar e viabilizar ações que promovam a inclusão digital por meio dos Centros de Recondicionamento de Computadores – CRC, espaços especialmente adaptados para o recondicionamento de equipamentos eletroeletrônicos, onde são realizados cursos e oficinas. Além disso, o programa desempenha importante contribuição no descarte ambientalmente responsável de resíduos eletrônicos, em especial os tecnologia da informação e comunicação classificados como ociosos, recuperáveis ou antieconômicos da administração pública federal direta, autárquica e fundacional.

O Programa Computadores para Inclusão apresenta os seguintes resultados alcançados até 2023: 34.636 doações de equipamentos, beneficiando 2.482 Pontos de Inclusão Digital – PID e abrangendo 728 municípios. Foram ofertados 169 cursos, resultando na formação de mais de 33 mil alunos plenamente capacitados para o mercado de trabalho e a destinação de 3 mil toneladas de resíduos descartados de forma correta e consciente (MCOM, 2023).

Esses resultados expressivos, e os incentivos trazidos pela atualização da legislação pertinente, trouxeram consigo a necessidade do olhar para futuro consolidando a demanda ao Centro de Gestão e Estudos Estratégicos para elaboração de estudos relacionados ao tratamento de resíduos eletroeletrônicos para produção de informação gerencial e estratégica como subsídio ao acompanhamento, avaliação e construção de panorama evolutivo para o programa Computadores para Inclusão. A preocupação com a conformidade do programa em relação à legislação de resíduos sólidos nacional é um dos aspectos de gestão do Programa incluído neste estudo que, também, se propõe a apoiar a Secretaria de Telecomunicações do Ministério das Comunicações (SETEL/MCOM) na melhoria

da gestão do Programa por meio de instrumental para automação no sistema de acompanhamento e tratamento dos resíduos eletroeletrônicos.

Para atender essas demandas foram conduzidos estudos para esclarecer o ambiente de atuação do programa, por meio de pesquisa abrangente, considerando o contexto internacional e levantando protocolos e indicadores adotados em ações similares adotadas em outros países.

Além dos estudos, foi conduzida a identificação e seleção de uma aplicação digital para apoiar o programa no acompanhamento e controle das operações realizadas pelos parceiros (CRC). Essa aplicação tem como objetivo fornecer informações operacionais e gerenciais do Programa constituindo uma das fontes de dados para a cesta de indicadores complementando o conjunto de informações estratégicas para suporte à tomada de decisões.

1.1 OBJETIVOS

Este projeto teve como objetivo apoiar a SETEL/MCOM na produção de informação gerencial e estratégica para acompanhamento e avaliação do programa Computadores para Inclusão e na realização de estudos técnicos da situação atual no tratamento de resíduos eletroeletrônico, mapeamento de certificações relevantes no tema e benchmarking internacional para construção de panorama evolutivo para o programa Computadores para Inclusão.

Para promover melhor alcance dos objetivos do Programa é buscada a intensificação do uso das tecnologias de inteligência de dados, produzindo informação gerencial e estratégica para acompanhamento e avaliação da política, em especial no aspecto que envolve os resíduos eletroeletrônicos. Assim, o estudo realizou a identificação e uso piloto de plataforma digital de gestão de tratamento de resíduos eletroeletrônicos, contemplando as etapas do trabalho do programa Computadores para Inclusão. Por esse instrumental é possível a produção de dados para gestão do sistema de acompanhamento de tratamento dos resíduos

eletroeletrônicos por meio de cesta de indicadores e painel de visualização das informações coletadas e geradas.

Objetiva-se, também, obter melhoria na gestão e garantia da conformidade no tratamento de resíduos eletroeletrônicos com a legislação atual e as boas práticas identificadas, com suporte automatizado para ação do gestor público e demais envolvidos na execução das atividades do programa, bem como a diminuição de riscos operacionais e ambientais no sistema.

1.2 ORIGEM DA DEMANDA E GOVERNANÇA DO PROJETO

No âmbito do Ministério das Comunicações, o demandante e principal interlocutor foi o Departamento de Projetos de Infraestrutura e de Inclusão Digital - (DEPIN/SETEL-MCOM).

O projeto temático em questão foi executado no âmbito do 2º e 3º Contratos de Gestão do CGEE com o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), e tem a Secretaria de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento Social (SEDES/MCTI) como ponto de referência para o acompanhamento técnico e interlocução operacional do projeto.

O CGEE é o executor do projeto e realizou a definição metodológica, pesquisa e desenvolvimento experimental e gestão do projeto.

2 ABORDAGEM METODOLÓGICA

2.1 SOBRE A DEMANDA E A ABORDAGEM METODOLÓGICA

O projeto foi estruturado em dois eixos de trabalho que abordam conhecimentos e resultados que se complementam, conforme apresentado na Figura 1.



Figura 1 - Estrutura geral de trabalho. Fonte: Elaboração própria.

2.1.1 Produção de Informação Gerencial e Estratégica

A produção de informação gerencial e estratégica para o programa se deu por meio da identificação e seleção de uma plataforma digital de gestão de manufatura reversa e tratamento de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, cuja premissa básica para a plataforma é o atendimento às condições operacionais dos Centros de Recondicionamento de Computadores – CRC, em especial no que tange às suas atividades de tratamento e destinação dos equipamentos de tecnologia da informação.

A atuação dos CRC pode ser estruturada em três ações:

- i. a atividade de formação educacional e profissionalizante, que é desenvolvida pelos seus educadores sociais, voltada às tecnologias da informação e comunicação, estimulando a inovação, o empreendedorismo e o desenvolvimento local, proporcionando oportunidades de trabalho e ressocialização da comunidade que atuará nas atividades dos CRC;

- ii. o condicionamento de computadores e equipamentos de informática, que consiste na realização de limpeza, testes, troca dos componentes quando necessário e instalação de programas e aplicativos, em consonância com padrões estabelecidos de desempenho;
- iii. o tratamento correto dos resíduos eletroeletrônicos, que contempla a separação por propriedade e a destinação desses resíduos para reciclagem ou descarte, em sinergia com a Política Nacional de Resíduos Sólidos e demais diretrizes do Ministério do Meio Ambiente.

Há que se ressaltar que as ações apontadas nos itens (ii) e (iii) são atividades típicas de manufatura reversa e de reciclagem de resíduos eletroeletrônicos (REEE), essa última objeto da Lei 12.305/2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos, regulamentada pelo Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022.

O Governo está sujeito objetivamente às leis ambientais, conforme manifesta a citada lei em seu Capítulo I Art. 1º, § 1º:

“Estão sujeitas à observância desta Lei as pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, responsáveis, direta ou indiretamente, pela geração de resíduos sólidos e as que desenvolvam ações relacionadas à gestão integrada ou ao gerenciamento de resíduos sólidos.”

Com relação às atividades realizadas pelos CRC no programa, existe a norma ABNT NBR 16156:2013 que estabelece requisitos para proteção ao meio ambiente e para o controle dos riscos de segurança e saúde no trabalho na atividade de manufatura reversa de resíduos eletroeletrônicos e é aplicável a organizações que realizam atividades de manufatura reversa de resíduos eletroeletrônicos. A norma também estabelece controles previstos na legislação quanto a saúde segurança e processos, bem como previsões legais sob aspectos ambientais e de saúde pública. Esses controles são a base de onde se extrai a informação para avaliação dos atores envolvidos e seus respectivos processos de trabalho em relação à conformidade legal, viabilizando dessa forma mecanismo para prover segurança jurídica para o programa e mitigação do risco solidário.

Tais prescrições justificaram a escolha de uma plataforma de gestão da operação de reciclagem em conformidade com a norma ABNT 16156:2013, em virtude da imprescindibilidade dos gestores do Programa Computadores para Inclusão contarem com um mecanismo de acompanhamento e controle da operação dos CRC.

Outro requisito necessário previsto para a Plataforma de gestão, estabelecido pela Portaria 280/2020 do Ministério do Meio Ambiente, é a demanda pela integração ao Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos – SINIR, em função da natureza da operação dos CRC. A integração possibilitará a automatização da coleta, integração, sistematização e disponibilização dos dados referentes à operacionalização e implantação dos planos de gerenciamento de resíduos sólidos. Informações como: CNPJ, identificação do resíduo, quantidade do volume total em metros cúbicos (m³), peso (kg), tipologia dos resíduos, tecnologia do tratamento, identificação do gerador e identificação do transportador deverão ser gerados de forma automática, desde que os processos operacionais dos CRC estejam ajustados.

2.1.2 Estudos Técnicos

Os estudos técnicos buscaram levantar informações relacionadas ao tratamento de resíduos eletroeletrônicos, em especial equipamentos de tecnologia da informação, com vistas ao diagnóstico da situação atual e benchmarking com países de referência, mapeamento de certificações e elaboração de indicadores e respectivo painel de visualização, objetivando subsidiar a produção de informação gerencial e estratégica para acompanhamento e avaliação do programa.

O *corpus* de conhecimento já disponível sobre o assunto em âmbito mundial contempla estudos acadêmicos, legislações, sistemas regionais e nacionais, padronizações e certificações, dentre outras iniciativas. Esse extenso volume de informações levantadas e tratadas formam uma base de conhecimento utilizada

para o desenvolvimento da cesta de indicadores necessários à avaliação do programa.

Neste eixo foram realizados webinários, visita técnica internacional (Portugal e Espanha), *desk research* (Revisão Bibliográfica Sistemática - RBS e Assistemática - RBA), entrevistas com atores relevantes, workshops de criação coletiva e de validação, como principais métodos de trabalho.

A abordagem metodológica para a produção da informação estratégica consiste no Ciclo de Inteligência em CTI do CGEE (CGEE, 2017) representado graficamente na Figura 2. A convergência da cesta de indicadores proposta e dos dados operacionais é a matéria prima central para o estudo de inteligência de dados que viabiliza a elaboração de painéis de informações estratégicas resultante desse ciclo de inteligência.



Figura 2 - Ciclo de inteligência em CTI. Fonte: (CGEE, 2017).

A primeira etapa do ciclo é considerada a mais importante. É nesse momento que se buscará compreender as necessidades de informações para a tomada de decisão, ou seja, buscar-se-á expressar as incertezas e as dificuldades da organização em relação ao seu processo decisório. Estas incertezas são

desdobradas em tópicos e questões chave de inteligência conhecidos que, ao serem respondidos, construirão uma estrutura orientadora para a coleta de informações relevantes. Na abordagem do CGEE, essas questões chave são denominadas perguntas norteadoras, e a estrutura orientadora para a coleta de informação é denominada de narrativa.

Na etapa seguinte de Coleta e Armazenamento de Dados, são executadas as seguintes tarefas obtenção de informações a partir de fontes de dados, definição dos processos de coleta de informações, e definição dos modelos analíticos que serão posteriormente utilizados, para planejar a organização do ambiente de armazenamento das informações.

Na etapa de Análise dos Dados, transforma-se as informações coletadas em um produto de inteligência. O objetivo é definir o melhor ou os melhores métodos de análise das informações para a geração dos produtos de inteligência que se pretende. Por meio das informações reunidas, esta etapa visa a identificação de tendências e padrões significativos, ou seja, percepções exclusivas e conexões até então não relacionadas entre os dados.

A etapa da Produção de Resultados e Avaliações envolve a entrega do produto de inteligência, em um formato coerente, claro, objetivo aos clientes finais. Para que o uso ou disseminação dos resultados seja eficiente alguns aspectos precisam ser observados, como por exemplo, o melhor formato do documento a ser entregue pelos profissionais de inteligência para os responsáveis pela tomada de decisão na organização.

A etapa da Avaliação busca averiguar a eficiência deste produto para o cliente final, ou seja, verificar os resultados práticos obtidos com o uso dos produtos gerados para o cliente de inteligência.

2.1.3 Estrutura Analítica do Projeto

O plano de trabalho, em conformidade com a abordagem metodológica apresentada, resultou na Estrutura Analítica de Projeto (EAP) mostrada na Figura 3.

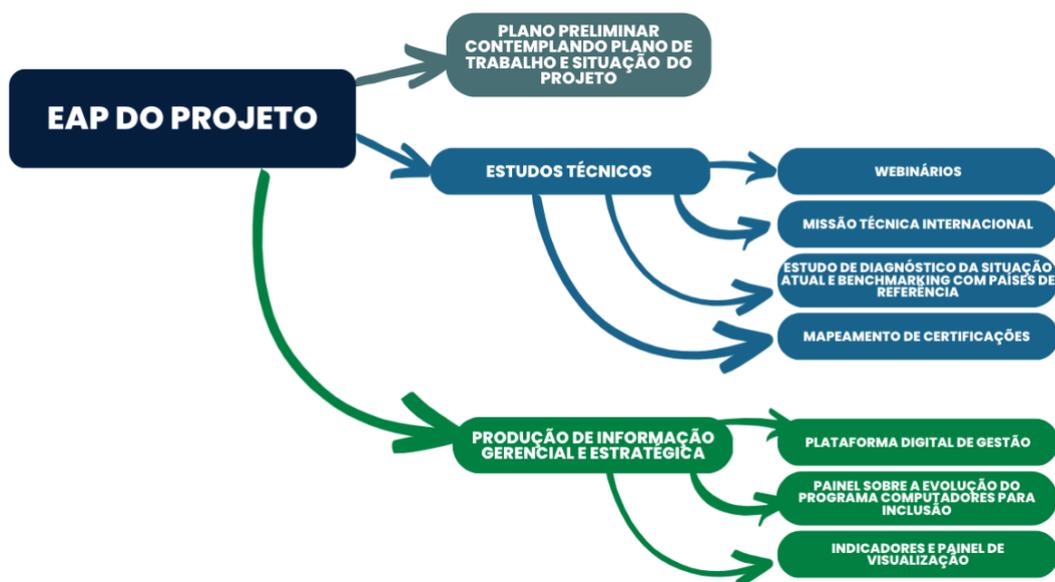


Figura 3 - Estrutura analítica do projeto. Fonte: Elaboração própria.

3 CONCEITOS CENTRAIS

3.1 EQUIPAMENTO ELETROELETRÔNICO – EEE

São equipamentos que se caracterizam por operar em campo eletromagnético e com correntes elétricas. Podem variar de aparelhos domésticos de pequeno porte a grandes equipamentos utilizados no setor corporativo. Inclui equipamentos hospitalares, automotivos, esportivos e de entretenimento.

A Diretiva 2012/19/UE da Comunidade Econômica Europeia estabelece 10 categorias de resíduos eletroeletrônicos (EU, 2012), conforme ilustra a Figura 4 a seguir:



Figura 4 - Categorias de EEE de acordo com a Diretiva 2012/10/UE. Fonte: Elaboração própria.

3.2 RESÍDUO DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS – REEE

Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE) contemplam todos os tipos de equipamentos eletroeletrônicos descartados, onde não há a intenção de reuso por parte de seu proprietário. Estes equipamentos caracterizam-se por operar em campo eletromagnético e com correntes elétricas, para os quais já não se tem mais demanda de uso e/ou estão fora de operação devido a demanda de reparo e/ou encontram-se ao final de seu ciclo de vida (UNEB, 2007; SRIVASTAV, et al., 2023; DIAS, MACHADO, HUDA, & BERNARDES, 2018).

3.2.1 Composição material do REEE

REEE podem ser classificados de acordo com o material de fabricação, podendo conter mais de 1000 constituintes diferentes (NEEDHIDASAN et al. 2014), alcançando 69 elementos da Tabela Periódica. Comumente sua constituição diversa é classificada como sendo composta por materiais ferrosos, não ferrosos, cerâmicos e poliméricos e outros materiais (SHITTU et al., 2021). No âmbito dos polímeros, por exemplo, tem-se fortemente presente em REEE os policarbonatos, polietileno, poliésteres, polipropileno e fenol-formaldeído, este último utilizado em circuitos impressos (HABIB et al. 2023; SRIVASTAV et al., 2023).

Cada componente eletroeletrônico apresenta materiais típicos: berílio e cobre na placa-mãe de computadores; cádmio e cloro nos cabos; chumbo na unidade central de processamento de dados (CPU), tubos de raios catódicos, baterias e placas de circuito impresso (PCI); eletrólitos líquidos em capacitores. Cerca de 50% das peças de computadores pessoais contêm mercúrio, arsênio e cromo hexavalente (IŞILDAR et al. 2019; FETANAT et al., 2021).

Os materiais presentes em REEE também podem ser categorizados como metais preciosos (platina, ouro, rádio, prata, cobre, irídio, rutênio e ósmio), matérias-primas críticas (como índio, cobalto, bismuto, paládio, antimônio e germânio, gálio, neodímio, ítrio, európio, lantânio, praseodímio, cério, gadolínio, térbio, disprósio,

tântalo, platina) e metais não críticos (como ferro e alumínio). Conforme Panchal et al. (2021) os materiais críticos são encontrados em computadores pessoais, laptops, notebooks, telefones, telefones sem fio, smartphones, aparelhos de televisão e lâmpadas fluorescentes e lâmpadas contendo mercúrio.

Alternativamente, os materiais presentes no REEE podem, também, ser classificados como (i) substâncias tóxicas - arsênio, cádmio, cromo, mercúrio, chumbo e selênio e o lixo eletrônico resistente ao fogo (YAMANE et al., 2011; WANG et al., 2011; WANG E XU, 2014; AKRAM, et al. 2019) e (ii) substâncias não tóxicas (SRIVASTAV et al., 2023). Os materiais tóxicos estão presentes em amianto, baterias, tubos de raios catódicos, substâncias contendo mercúrio, compostos orgânicos clorados e fluorados, plásticos contendo retardadores de fogo halogenados, bifenil policlorado que envolve capacitores, placas de circuito impresso (PCI), e cartuchos de toner (VAN DER VOET et al. 2013). PCI e baterias contém arsênico, selênio, mercúrio, chumbo, cádmio cromo hexavalente e retardadores de chamas, todos enquadrados como resíduos perigosos (WIDMER et al. 2005; PALANISAMY e SUBBURAJ, 2023).

Devido às características de fabricação de EEE, normalmente apresentam em sua constituição a presença de metais não ferrosos como, por exemplo, cobre e alumínio, além de metais valiosos, como, por exemplo, prata, platina, ouro e paládio. Tipicamente, cerca de 50% a 60% de sua constituição é composta de metais (em grande parte ferro e aço), 15 a 21% de polímeros, 13% de metais não ferrosos, além de outros elementos, como misturas de plásticos e metal (5%) e PCI (2%). Por exemplo, a presença de metal em resíduos de PCI ocorre na ordem de 28 a 30%, o restante dos materiais são não metais (plástico, cerâmica e resinas) (LI et al., 2008; YAMANE et al., 2011; WANG e XU, 2014; ARI, 2016; AKRAM et al., 2019; YONG et al., 2019; DEVAYANI et al., 2020; PALANISAMY e SUBBURAJ, 2023).

As placas de circuitos impressos (PCI) merecem destaque por serem uma mistura de resina reforçada com fibra de vidro e vários tipos de metal, sendo que suas características físicas e químicas especiais, incluindo a presença de muitos

materiais tóxicos, como metal pesado, plástico PVC e retardadores de chama bromados (BFR), dificultando sua reciclagem (LI et al., 2008). Esta variedade ampla de materiais é encontrada em outros componentes de REEE. Capacitores, por exemplo, são compostos por cerâmica, vidro, plástico, alumínio, tântalo, papel metalizado, teflon, poliéster, polipropileno e policarbonato (RAMACHANDRA e VARGHESE, 2004; SCHLUEP et al., 2009; IŞILDAR et al., 2018; IBANESCU et al., 2018).

Importante ressaltar que com a evolução das tecnologias eletroeletrônicas tem-se alterado também os impactos associados ao REEE. Os chips de computador na atualidade compreendem em média 61 elementos diversos quando comparados aos 12 elementos que eram usados na década de 1980 (DENT e WALMER, 2010). Ao mesmo tempo, observa-se a miniaturização de produtos e, por consequência, a drástica redução do conteúdo material em várias das categorias de REEE, inclusive dos materiais preciosos, além da crescente introdução de matérias-primas de fontes renováveis e atóxicas.

3.2.2 Impactos Ambientais de REEE

Como detalhado na seção anterior o REEE pode ser considerado uma mistura não homogênea e complexa de componentes potencialmente tóxicos (WILLIAMS, 2016; KUMAR et al., 2023). Tanto do ponto de vista ambiental como da saúde humana as substâncias liberadas pelo REEE podem ser categorizada em dois tipos: a) perigosas: aquelas que apresentam características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade; b) não perigosas: incluem metais cobre, selênio, platina, prata, entre outros (AWASTHI et al. 2016; ZENG et al. 2014; ZHANG et al. 2013; BRASIL, 2010). O grande volume de substâncias perigosas oriundas de REEE, quando não gerenciadas de maneira ambientalmente eficiente, dentro de limites permitidos e com estrito controle, representam uma ameaça latente à saúde humana e ao meio ambiente (FETANAT et al., 2021).

Vários resíduos eletrônicos primários perigosos (mercúrio, chumbo, cádmio e outros tóxicos secundários de REEE, incluindo hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, dioxinas e difuranos), são lançados no ambiente durante o próprio processamento para a reciclagem, principalmente através de lixiviação e solubilização no solo. Assim, quando usinas de reciclagem não adotam práticas adequadas na gestão de REEE, são consideradas uma das principais fontes responsáveis pela contaminação do solo no seu entorno, principalmente devido à liberação de metais e outros contaminantes em concentrações mais elevadas (ex: PCIs, éteres difenílicos polibromados, dibenzo-p-dioxinas policloradas e dibenzofuranos (PCDD/Fs), e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (AWASTHI et al. 2016; LIU et al. 2008; SHEN et al. 2009; SRIVASTAV et al., 2023; YONG et al., 2019). A queima de cavacos metálicos e circuitos elétricos libera metais como cádmio, cobre e chumbo no solo. Conforme relata a pesquisa de Luo et al. (2009), a contaminação por éteres difenílicos polibromados (PBDE) pode alcançar solos agrícolas até 2 km de distância no entorno de uma usina de reciclagem. Ressalte-se, entretanto, que a exposição a substâncias nocivas pode, ainda, apresentar maior gravidade em atividades realizadas em instalações informais de reparo e reciclagem de REEE (KIDDEE et al., 2013; ALI & SHIRAZI, 2023).

Quando presente em aterros sanitários os contaminantes derivados de REEE provocam poluição da água, afetando diretamente o conteúdo dos lixiviados, atingindo sistemas de esgoto e águas subterrâneas (AWUAL et al. 2019; AWUAL 2019). Por sua vez, o solo contaminado por lixo eletrônico é considerado uma das principais fontes de contaminação de culturas e vegetais, além da fauna. Quando contaminantes tóxicos de REEE entram no ambiente aquático ocorre o fenômeno da bioacumulação destes resíduos tóxicos. Neste processo as raízes das plantas podem facilmente assimilar as toxinas prejudiciais, incluindo metais pesados presentes no solo, transmitindo-as para várias partes da planta, incluindo caule, folha e fruta, incorrendo no risco de ingresso na cadeia alimentar humana (MENG et al. 2014; SRIVASTAV et al., 2023). Note-se que o nível dos impactos ambientais

do REEE vai depender da idade de seus componentes e, desta forma, apresentam variação dentro da mesma categoria de resíduos (SRIVASTAV et al., 2023).

3.2.3 Impactos Sociais de REEE

Programas de reparo/reuso e reciclagem de REEE voltados às populações mais fragilizadas e marginalizadas podem exercer relevante papel para inclusão social e redução da desigualdade digital. Contudo, alcançar tais impactos é particularmente desafiador em um setor onde há um grande volume de organizações operando de maneira informal. Em tais contextos frequentemente as medidas de segurança e as condições de trabalho são mais precárias, com baixa proteção socioeconômica em caso de enfermidade. Esta situação amplia os impactos da baixa equidade social, tendo em vista que grande parte dos trabalhadores provêm tipicamente de populações do estrato mais pobre da população (ILO, 2023; ALI e SHIRAZI, 2023; ZAMAN e LEHMANN, 2013).

Quando o REEE não passa por gerenciamento adequado há impacto direto na saúde humana, principalmente através da ingestão, inalação e absorção pela pele (MIELKE e REAGAN 1998; SRIVASTAV et al., 2023). Os riscos à saúde humana incluem dificuldade respiratória, desconforto respiratório, tosse, sensação de sufocamento, pneumonia, tremores, problemas neurológicos, coma e até morte (ADAM et al., 2021). Polímeros halogenados presentes em REEE emitem fumaça contendo halogênio após incineração ou pirólise, como dioxinas, furanos e bifenilos policlorados, podendo desencadear câncer (LAU et al., 2014; LABUNSKA et al., 2014); altas concentrações de chumbo no sangue danificam o sistema nervoso, sistema cardiovascular e rins, afetando o desenvolvimento cerebral de bebês e crianças pequenas (THANOMSANGAD et al., 2020); cádmio pode causar câncer em rins, danos ao sistema nervoso, além de doenças ósseas (RAMACHANDRA e VAR-GHESE 2004; FETANAT et al., 2021; PALANISAMY e SUBBURAJ, 2023); com a ação de microrganismos, o mercúrio inorgânico contido no REEE pode ser convertido em metil mercúrio, o que amplia o dano ainda mais ao sistema nervoso

humano; compostos de cromo danificam a sequência do DNA humano e causam doenças respiratórias como a asma; aterros ou queima ilegal de retardadores de chama bromados e plásticos clorados emitem substâncias altamente tóxicas, como dioxinas (CHIPPERFIELD et al., 2020; LIU et al., 2023).

Crianças e bebês são considerados os mais susceptíveis a patologias derivadas da exposição a contaminantes derivados de REEE, principalmente devido à alta frequência de respiração, altas chances de exposição *in utero*, amamentação frequente, ingestão frequente de alimentos, frequência com que levam a mão à boca e baixa eficiência da taxa de remoção de elementos tóxicos (GUO et al. 2012; XU et al., 2018; SRIVASTAV et al., 2023).

Destaca-se a exposição oral através do consumo de água e alimentos afetados por contaminantes oriundos de REEE (ZHENG et al. 2013; FU et al. 2008; SRIVASTAV et al., 2023). Os metais pesados bioacumulados nos tecidos de plantas cultivadas em solo contaminado são os principais responsáveis pelo aumento das concentrações destes contaminantes em produtos à base de carne (GONZÁLEZ-WELLER et al. 2006). Metais pesados conduzem a vários tipos de distúrbios entre seres humanos, incluindo problemas no sistema nervoso, urinário, cardiovascular, sangue, fígado, rim, redução da capacidade de aprendizado, câncer e problemas no sistema urinário (THOMAS et al. 2009; SINGH et al. 2010; BHUTTA et al. 2011; YAN et al. 2013; SRIVASTAV et al., 2023).

3.2.4 Impactos Econômicos de REEE

De acordo com o relatório Global E-Waste Monitor da ONU (FORTI, BALDÉ, KUEHR, & BEL, 2020) o consumo de EEE está fortemente ligado ao desenvolvimento econômico global geral, resultando em uma correlação entre o PIB e o volume de REEE gerado. Balde et al. (2015) confirmou esta correlação em estudo que comparou os dados do PIB e população com o total de REEE gerado em 50 países com o maior produto interno bruto (PIB).

Contudo, as mudanças climáticas e a escassez de recursos vêm impondo a revisão dos padrões de consumo e produção associados a EEE. As tendências contemporâneas mostram a reintrodução destes resíduos na economia segundo um modelo de economia circular, conforme exemplificado no Quadro 1 a seguir.

Quadro 1: Exemplificação de potenciais aplicações de materiais oriundos de REEE

Materiais recuperados	Fonte	Exemplos de aplicação
Metais base	PCIs	equipamentos elétricos, baterias, indústria de transporte, produtos para o ambiente construído
Metais preciosos	PCIs, resistores de chip de celulares	Jóias, aplicações odontológicas, eletrônicos, aplicações industriais
Nickel	Baterias de Nickel e Cádmio	baterias, ligas metálicas, aço inoxidável, mobiliário, revestimento
Lítio e Cobalto	Baterias de Lítio	galvanoplastia, baterias, imãs, resistências cerâmicas
Metais Pesados e Fosfato de Bário	Tubos de raios catódicos	aplicações ópticas, painéis solares, ligas de metal, celulares
Cromo	Tubos de raios catódicos e Baterias	aço inoxidável, controle do açúcar no sangue em pessoas com diabetes
Plástico	Cabos e carenagem de computadores	combustíveis, embalagens, sacolas plásticas
Mercurio	PCIs e interruptores	termômetros, ligas, baterias
Cádmio	Semicondutores e resistores de chip	Baterias, revestimentos contra corrosão, pigmentos, estabilizadores de polímeros
Arsênico	Tubos de raios catódicos, PCIs e LCD (Liquid Crystal Display)	semicondutores, vidro
Terras raras	Imãs	câmeras, lentes de telescópios, imãs, sistemas de refrigeração eficiente

Fonte: DAVE et al. (2016); GARLAPATI (2016); ALAM et al. (2022).

REEE representam uma fonte potencial de recursos materiais de grande valor econômico, posto que geralmente contém materiais valiosos e críticos, como ouro, paládio, prata, índio e terras raras (BAHERS & KIM, 2018). Estima-se que o valor econômico total dos resíduos eletrônicos é de U\$ 62,5 bilhões por ano, reforçando a relevância das atividades de mineração de materiais (WORLD ECONOMIC FORUM, 2023; DIAS et al., 2016; DIAZ et al., 2016; NELEN et al., 2014; DIAS et al., 2018). Cobre, o elemento mais concentrado em PCI, e metais preciosos como ouro e prata são materiais que tem justificado a viabilidade econômica do processo de reciclagem (PALANISAMY & SUBBURAJ, 2023). Desta forma, a recuperação

dos materiais e sua reintrodução no circuito econômico contribui para se alcançar modelos econômicos mais sustentáveis.

Dentre as decorrências econômicas das atividades associadas à extensão do ciclo de vida de REEE está a ampliação das oportunidades de geração de renda, tanto informais como formais, contribuição na implementação e consolidação de associações e cooperativas de catadores, com potencial de oferta de serviços com maior valor agregado (OLIVEIRA, 2016). Conforme UNIDO (2009), quando comparado com o mero descarte de computadores, as atividades de reparo e reuso geram 296 postos de trabalho a mais para cada dez mil toneladas de REEE/ano. A ampliação das oportunidades de geração de renda ocorre por serviços de coleta, triagem, reparo, reciclagem, demandando desde competências para o trabalho manual (desmontagem, triagem) até postos de trabalho de elevada sofisticação técnica, por exemplo os serviços de classificação de REEE via inteligência artificial.

4 TRATAMENTO DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS NO BRASIL E NO MUNDO

Foram exploradas as abordagens de tratamento de RREE, o arcabouço normativo existente no Brasil e no mundo, e os elementos chave das práticas brasileiras de gestão de REEE em relação a países de referência. Com isso, foi possível apontar que no caso brasileiro, o arcabouço legal está focado primariamente no planejamento e na governança, tendo pouca relevância quando se trata da minimização, reutilização e reciclagem do REEE.

Verificou-se que o programa Computadores para Inclusão se enquadra em parte significativa das políticas públicas voltadas ao REEE, evidenciando a grande relevância que o programa tem no contexto brasileiro.

4.1 ARCABOUÇO NORMATIVO

4.1.1 Mundo

Dois eventos em 1988 podem ser apontados como acionadores das iniciativas globais associadas ao REEE. O primeiro foi o caso da barcaça de carga Khian Sea, que foi carregada com mais de 14.000 toneladas de cinzas tóxicas da Pensilvânia, Estados Unidos, tendo sido recusada em Nova Jersey e no Caribe. Depois de navegar por 16 meses, os resíduos foram despejados como "fertilizantes de solo" no Haiti. Outro incidente no mesmo ano envolveu cinco navios que transportaram 8.000 barris de resíduos perigosos da Itália até a cidade nigeriana de Koko, em troca de um aluguel mensal de U\$ 100 que foi pago a um nigeriano pelo uso de suas terras agrícolas. Estes e outros eventos de natureza similar no mesmo período levaram à formação da Convenção da Basileia em 1989 que teve como foco conter o fluxo de substâncias venenosas de países desenvolvidos. Note-se que a gestão de resíduos perigosos já estava na agenda ambiental internacional desde o início da década de 1980, quando foi incluída como uma das três áreas prioritárias no primeiro Programa de Montevideu sobre Direito Ambiental do Programa das

Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) em 1981 (PATIL & RAMAKRISHNA, 2020).

A gênese do esforço global para combater REEE foi impulsionada pelo reconhecimento dos riscos ambientais e de saúde, pela necessidade premente de cooperação e articulação internacional dos esforços no tema, pela necessidade de adoção e disseminação de estruturas regulatórias e pela promoção de práticas mais sustentáveis de gestão destes resíduos. Neste sentido, a Convenção da Basileia sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e Seu Descarte, adotada em 1989, se configura como um dos principais marcos na indução de práticas mais sustentáveis na gestão global do REEE. A convenção, na qual o Brasil é um dos signatários, visa fundamentalmente minimizar a geração de resíduos eletrônicos perigosos, regular seu movimento transfronteiriço e promover uma gestão ambientalmente saudável. REEE é uma das categorias de lixo cobertas pela Convenção da Basileia. Desde então, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), a União Internacional de Telecomunicações (ITU) e outras organizações internacionais têm promovido diálogos e acordos para lidar com REEE em escala global. O Brasil também é signatário de outras convenções chave para o contexto de REEE, como a Convenção de Estocolmo que busca eliminar globalmente a produção e o uso de algumas das substâncias tóxicas, e a Convenção de Minamata que estabelece controles e reduções em uma série de produtos, processos e indústrias onde o mercúrio é usado, liberado ou emitido.

Em âmbito mundial observa-se a proliferação de iniciativas seguindo uma diversidade ampla de configurações, desde aquelas lideradas por governos até aquelas coordenadas por empresas e comunidades locais. Destas, destaca-se o SWICO, implantado em 1991 na Suíça, tendo sido o primeiro sistema de reciclagem de lixo eletrônico, iniciando com a coleta de refrigeradores antigos, mas expandindo gradualmente para abranger todos os dispositivos. A organização SWICO é uma parceria entre varejistas de produtos de TIC (Tecnologia da Informação e Comunicação) (DOAN & LEE, 2019). Dentre as iniciativas globais destaca-se, por exemplo, o Global E-waste Statistics Partnership (GESP) (UNU & ITU, 2023),

fundada em 2017 pela União Internacional de Telecomunicações (ITU), a Universidade das Nações Unidas – Programa de Ciclos Sustentáveis (UNU-SCYCLE) e a Associação Internacional de Resíduos Sólidos (ISWA). O GESP agora é implementado pela ITU e UNITAR-SCYCLE.

Do ponto de vista de regulamentações voltadas a REEE talvez o marco mais importante tenha sido a Diretiva Europeia 2012/19/UE que versa sobre resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos. Essa “Diretiva de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos” (Diretiva WEEE) tornou-se Lei Europeia em fevereiro de 2003 e abrange todos os aspectos da reciclagem de todos os tipos de aparelhos. Associada à mesma têm-se a Diretiva Europeia 2011/65/UE, publicada em 2011, que restringe o uso de certas substâncias perigosas em equipamentos elétricos e eletrônicos colocados no mercado europeu, como chumbo, mercúrio, cádmio (UE, 2023). Concomitante ao lançamento da Diretiva Europeia sobre REEE, em 2003 foi publicado a Diretiva de Restrição de Substâncias Perigosas (RoHS) (ex: chumbo, cádmio, mercúrio, cromo hexavalente, bifenil polibromado e éter difenílico polibromado).

Sob a perspectiva do projeto de EEE um importante avanço ocorreu em 2009 com a implantação na Europa da Diretiva de Ecodesign - 2009/125/EC (UE, 2023) que cria uma estrutura para definir requisitos para o design ecologicamente correto de produtos que usam energia e produtos relacionados à energia (Diretiva Energética ErP-EuP). Em direta conexão ao tema do projeto de EEE está a BS8887-211 (Inglaterra), publicada em 2012 e que trata do “Design para fabricação, montagem, desmontagem e processamento de fim de vida”, orientada aos processos de reutilização.

A primeira norma Europeia totalmente dedicada à reutilização foi a EN62309, aprovada e publicada em 2004, introduzindo requisitos e pré-requisitos como forma de verificar a confiabilidade e funcionalidade das peças reutilizadas e permitir a sua utilização em novos produtos. Em se tratando especificamente do REEE atualmente tem-se a EN 50614:2020 que trata de requisitos para a preparação ao reuso de REEE.

Sob a perspectiva das atividades de reparo/reuso destaca-se a norma PAS 141, publicada em 2011 na Inglaterra. Consiste em uma especificação de gerenciamento do processo para a reutilização de equipamentos elétricos e eletrônicos usados e descartados. Esta norma tem como objetivos: a) melhorar os padrões de reutilização e renovação de equipamentos elétricos e eletrônicos que atingiram o fim de sua primeira vida útil no Reino Unido; b) atender à demanda dos consumidores por garantia de que os produtos elétricos usados que adquirem são eletricamente seguros para uso e funcionalmente adequados para a finalidade. Em 2014 a Alemanha implementou a norma VDI2343 que trata da “Reciclagem de equipamentos elétricos e eletrônicos – reutilização”, com foco em recomendações práticas para a reciclagem de REEE e reutilização. O conjunto destes contribuíram para a formulação e publicação em 2020 da norma europeia EN 50614 “Requisitos para a preparação para reutilização de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos”.

4.1.2 Brasil

Este contexto internacional encontra eco nas políticas e respectivas legislações e regulamentações no Brasil. Em 2010, o Brasil implementou a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (BRASIL, 2023), que estabeleceu diretrizes para a gestão de resíduos, incluindo o REEE. A política prioriza a redução de resíduos, a reciclagem e o descarte adequado. Também incentiva a responsabilidade estendida do produtor (EPR), situação em que os fabricantes são responsáveis pela coleta e tratamento adequado dos resíduos de seus produtos no final de seu ciclo de vida, incluindo aqueles adquiridos pelo Estado.

Como decorrência da assinatura da Convenção de Minamata foi promulgado o Decreto nº 9.470 em 2018, estabelecendo a proibição da produção, importação ou exportação de produtos contendo mercúrio a partir de 2020 (CETEM/MCTI, 2023), com direta implicação em EEE pois este material está presente em produtos como lâmpadas fluorescentes, alguns tipos de interruptores/relés e baterias. Em 2019 foi

publicada a Norma Técnica ABNT NBR IEC 63000 “Documentação técnica para a avaliação de produtos elétricos e eletrônicos com relação à restrição de substâncias perigosas”, tendo como base a Norma Europeia EN 50581:2012, a qual serve de base para a Diretiva 2011/65/EU.

Em 2020 foi promulgado pelo governo federal o Decreto nº 10.240 que regulamenta o inciso VI do caput do art. 33 e o art. 56 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 – que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos – e complementa o Decreto nº 9.177, de 23 de outubro de 2017, quanto à implementação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico. Nesta regulamentação fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes são obrigados a implementar e estruturar sistemas de logística reversa para resíduos eletroeletrônicos após o uso pelo consumidor. Associado ao tema tem-se a norma ABNT NBR 16.156:2013, aplicável a organizações que realizam atividades da cadeia de manufatura reversa de resíduos eletroeletrônicos, com vistas à estruturação de um sistema de gestão voltado ao controle e mitigação das ocorrências de agressões ao meio ambiente e aos trabalhadores envolvidos nos processos de reciclagem de REEE.

Em 2022, o governo federal promulgou o Decreto 10.936¹ dando nova regulamentação à Lei 12.305/2010 e tendo como principal aspecto de inovação o lançamento do Programa de Logística Reversa, visando melhorar a coleta e a destinação ambientalmente correta do lixo eletrônico. O programa exige que fabricantes, importadores, distribuidores e varejistas implementem sistemas de devolução de produtos eletrônicos. Na perspectiva da PNRs, nasce o Acordo Setorial para Logística Reversa de Eletroeletrônicos, elaborado por entidades representativas do setor eletroeletrônico e o governo federal com o desafio de implementar um sistema no âmbito nacional. Por meio deste acordo são estabelecidas metas, cronogramas, definições jurídicas, tributárias e ambientais,

¹ <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.936-de-12-de-janeiro-de-2022-373573578>

prevendo que até 2025 seja feita a coleta e destinação correta de 17% do resíduo eletroeletrônico gerado no Brasil (BRASIL, 2019).

Mais recentemente, em 2022 o governo federal promulgou a Lei Nº 14.479 que instituiu a Política Nacional de Desfazimento e Recondicionamento de Equipamentos Eletroeletrônicos. Esta política inclui como objetivos: a) garantir o pleno exercício do direito ao acesso às tecnologias da informação e comunicação aos cidadãos brasileiros, dispondo-lhes os meios e insumos necessários para produzir, registrar, gerir e difundir conhecimento; b) contribuir para o descarte de equipamentos e bens de informática da administração pública direta e das autarquias e fundações, de maneira correta e sustentável; c) contribuir para a qualificação profissionalizante da população brasileira, estimulando a criatividade, a inovação, a geração de renda e o empreendedorismo; d) fomentar a pesquisa e o desenvolvimento de soluções nacionais nas áreas de ciência, tecnologia e inovação. A promulgação dessa lei concretiza a iniciativa do Decreto No 9.373, de 11 de maio de 2018 (alterado pelo Decreto No 10.340, de 06 de maio de 2020), que dispõe sobre a alienação, a cessão, a transferência, a destinação e a disposição final ambientalmente adequadas de bens móveis no âmbito da administração pública federal direta, autárquica e fundacional, conferindo respaldo legal para órgãos de governo realizar a doação de equipamentos de tecnologia da informação para o Programa Computadores para Inclusão.

Em 13 de fevereiro de 2023 o governo federal publicou os decretos 11.413 e 11.414, sendo que o primeiro institui três novos instrumentos no âmbito dos sistemas de logística reversa:

- a. Certificado de Crédito de Reciclagem de Logística Reversa: documento emitido pela entidade gestora que comprova a restituição ao ciclo produtivo da massa equivalente dos produtos ou das embalagens sujeitas à logística reversa;
- b. Certificado de Estruturação e Reciclagem de Embalagens em Geral: documento emitido por entidade gestora que certifica a empresa como titular de projeto estruturante de recuperação de materiais recicláveis e comprova a restituição ao ciclo produtivo da massa equivalente dos produtos ou das embalagens sujeitas à

logística reversa e à reciclagem;

- c. Crédito de Massa Futura: documento emitido por uma entidade gestora que permite à empresa obter antecipadamente o cumprimento de sua meta de logística reversa, permitindo que investimentos financeiros sejam antecipados para implementar sistemas de reciclagem estruturantes.

O decreto 11.414/2023 trata de instrumento em prol dos catadores de recicláveis e reutilizáveis, instituindo o Programa Diogo Sant’Ana Pró-catadoras e Catadores para a Reciclagem Popular e o Comitê Interministerial para Inclusão Socioeconômica de Catadoras e Catadores de Materiais Reutilizáveis e Recicláveis. Todos os instrumentos estão no âmbito dos sistemas de logística reversa, e são regulados pela Política Nacional de Resíduos Sólidos.

A Figura 5 resume o cenário legal brasileiro em relação às legislações internacionais de maior relevância. Observa-se pontos de ausência na legislação brasileira em aspecto relacionados relevantes para o Programa Computadores para Inclusão, no que tange à requisitos para reutilização de REEE, assim como para contexto geral de REEE na forma diretrizes para produtos sustentáveis contemplando critérios ecológicos no processo produtivo, incluindo concepção, desenvolvimento, transporte e reciclagem.

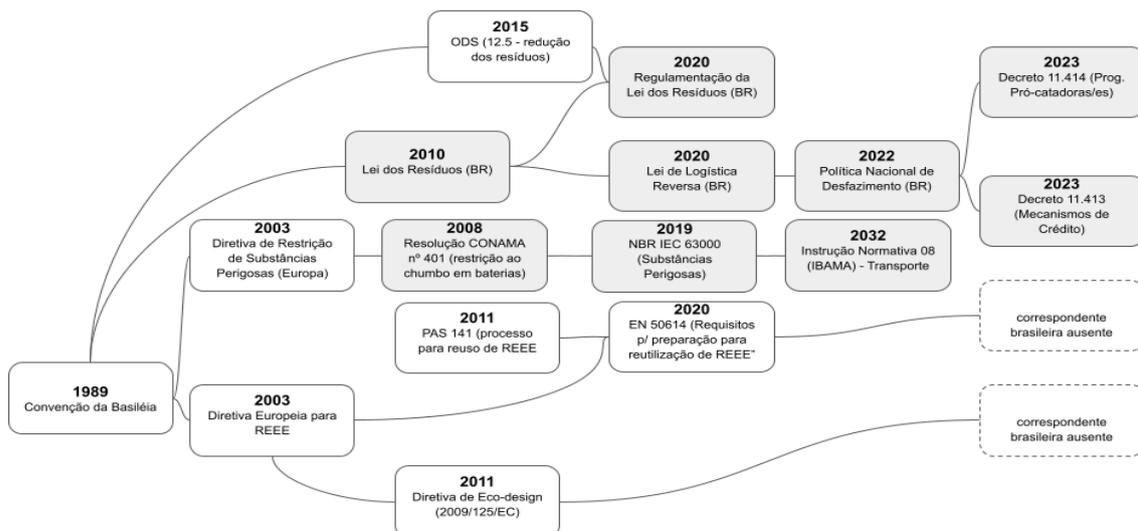


Figura 5 - Evolução das legislações associadas a REEE - contexto nacional e internacional. Fonte: Elaboração própria.

O refinamento, expansão e consolidação das políticas e legislações brasileiras voltadas ao REEE é um desafio permanente. Conforme exemplificado acima, há substanciais oportunidades de avanços no arcabouço da legislação atual em temas como diretrizes para os projetos de EEE, banimento de substâncias tóxicas e, também, diretrizes e especificações direcionadas para as atividades de reuso e reparo.

Importante notar na Figura 5 que as políticas associadas ao REEE se integram em diversos dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), os quais constituem-se na agenda mundial adotada durante a Cúpula das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável realizada em 2015. Esta agenda é composta por 17 objetivos e 169 metas a serem atingidos até 2030 sendo que a meta ODS 12.5 visa justamente reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio de prevenção, redução, reparo, reciclagem e reutilização.

Um dos principais desafios brasileiros em se tratando do REEE é a deficiente aplicação da regulamentação e políticas nacionais (ECHEGARAY & HANSSTEIN, 2017; DOMINGUES et al., 2016) e a incerteza relacionada a questões econômicas na logística reversa (BOUZON, GOVINDAN, RODRIGUEZ, & CAMPOS, 2016) Para alcançar efetividade estas políticas necessitam integrar uma perspectiva de ciclo de vida associada aos EEE, além da educação dos consumidores e da adoção de práticas de governança e planejamento, inclusão social e integração de tecnologias digitais emergentes no próprio processo de gestão de REEE (CGEE, 2022). Requer-se, portanto, uma perspectiva compreensiva e holística das diversas dimensões de uma política voltada ao tema, conforme ilustra a Figura 6.



Figura 6 - Perspectiva multidimensional de uma política abrangente para REEE. Fonte: Elaboração própria.

4.2 SISTEMAS DE TRATAMENTO DE REEE

O projeto trouxe em um de seus objetivos a realização de um benchmarking internacional para construção de panorama evolutivo para o programa Computadores para Inclusão.

Para atender a esse requisito utilizou-se como parâmetro de seleção dos países alvo o volume de REEE gerado e a taxa de reciclagem (vide Figura 7), além da relevância na adoção de práticas e realizações de estudos sobre o tema. Com base nesse critério foram selecionados os Estados Unidos da América (EUA), Inglaterra e Japão. Outro país selecionado foi a Dinamarca dada a relevância que tem apresentado nos últimos anos.

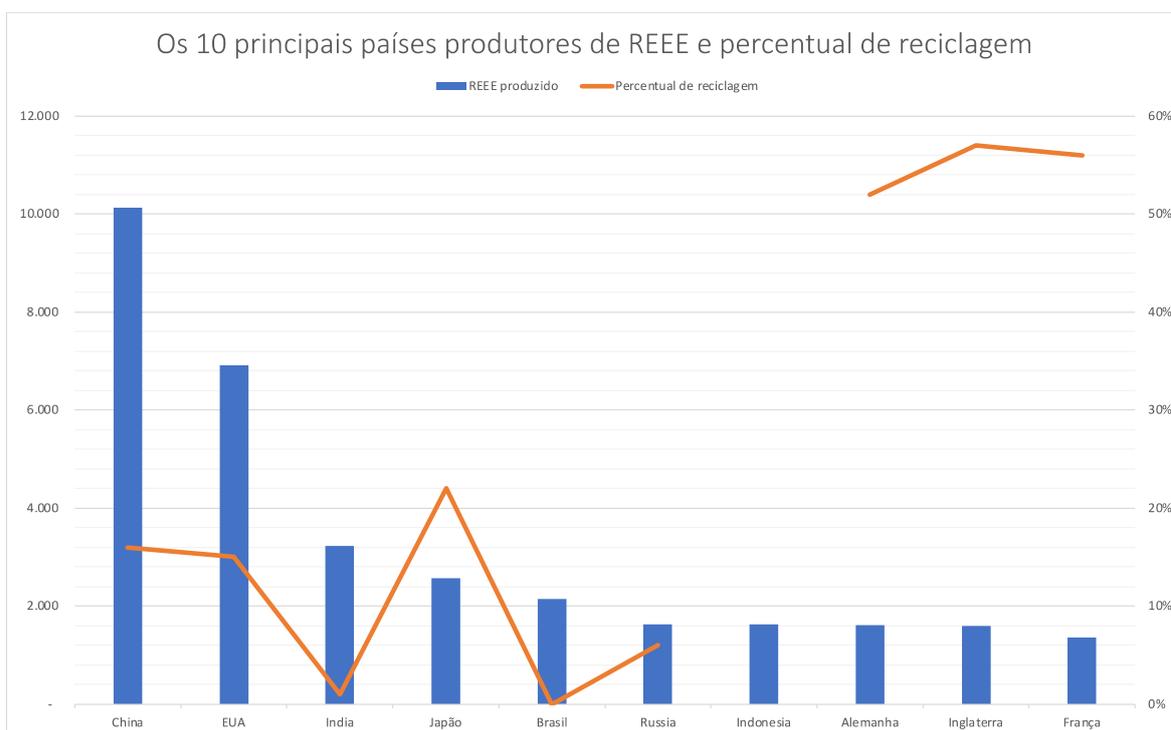


Figura 7 - Os 10 principais países produtores de REEE e percentual de reciclagem. Fonte: (RUIZ, 2023).

Por fim, contemplou-se a situação brasileira para fins de comparação.

4.2.1 Estados Unidos

4.2.1.1 Legislação

Não há regulamentação federal dedicada especificamente a REEE nos Estados Unidos. Embora o tema tenha sido objeto na negociação da Convenção de Basileia e, na sequência, o governo americano tenha assinado o tratado em 1990, não ocorreu a ratificação do acordo pelo Congresso dos EUA. Ratificar a Convenção de Basileia demandaria promulgar legislação para restringir a importação e exportação de resíduos perigosos. Assim como ocorre em outros países que assinaram e implantaram o acordo isto exigiria que os exportadores de resíduos obtivessem garantias de descarte ambientalmente correto (SACHS, 2012; SCHUMACHER e

AGBEMABIESE, 2019). Os tubos de raios catódicos presentes em monitores de computadores e em televisores são os únicos REEE expressamente proibidos de se exportar. Desta forma o país continua exportando parcela de seu REEE, incluindo PCI, vidro CRT e baterias de chumbo-ácido, além de outros materiais (GIBBS et al., 2010; LIU et al., 2023).

Na ausência de legislação federal, municípios e estados americanos não têm a autoridade jurisdicional para regular contra a exportação de REEE. Desta forma, a estratégia mais disseminada para a promoção de práticas adequadas de gestão do final do ciclo de vida de REEE é a demanda de padrões de processamento em toda a cadeia de fornecedores por meio de acordos contratuais (SCHUMACHER e AGBEMABIESE, 2019). A partir de 2023 vários estados nos EUA lançaram suas próprias leis sobre gerenciamento de REEE, todas com o objetivo de reciclar REEE e proibir ou impedir sua destinação para aterros (NAMIAS, 2013; SCHUMACHER e AGBEMABIESE, 2019; LIU et al., 2023). Atualmente 25 estados americanos já aprovaram leis que exigem a coleta e reciclagem de REEE e/ou proibindo o aterro e a incineração do REEE (EIFERT, 2009; SCHUMACHER e AGBEMABIESE, 2019).

4.2.1.2 Visão Geral do Sistema

A cadeia de valor associada ao REEE nos EUA envolve departamentos municipais, revendedores, recicladores, organizações sem fins lucrativos, certificadoras, agências de proteção ambiental, fabricantes ou organizações do setor e programas de parceria governamental (PETRIDIS et al., 2020; WAGNER, 2009; LIU et al., 2023). A maioria dos fabricantes está envolvida na reciclagem de lixo eletrônico por meio da Associação Nacional de Fabricantes de Equipamentos Elétricos ou, alternativamente, através de seus respectivos representantes comerciais nos Estados Unidos. Existem atualmente mais de 2.000 empresas envolvidas no tratamento do REEE em todos os 50 estados dos EUA (KAHHAT et al., 2008; KOLLIKATHARA et al., 2009; LIU et al., 2023). A Figura 8 ilustra o sistema americano.

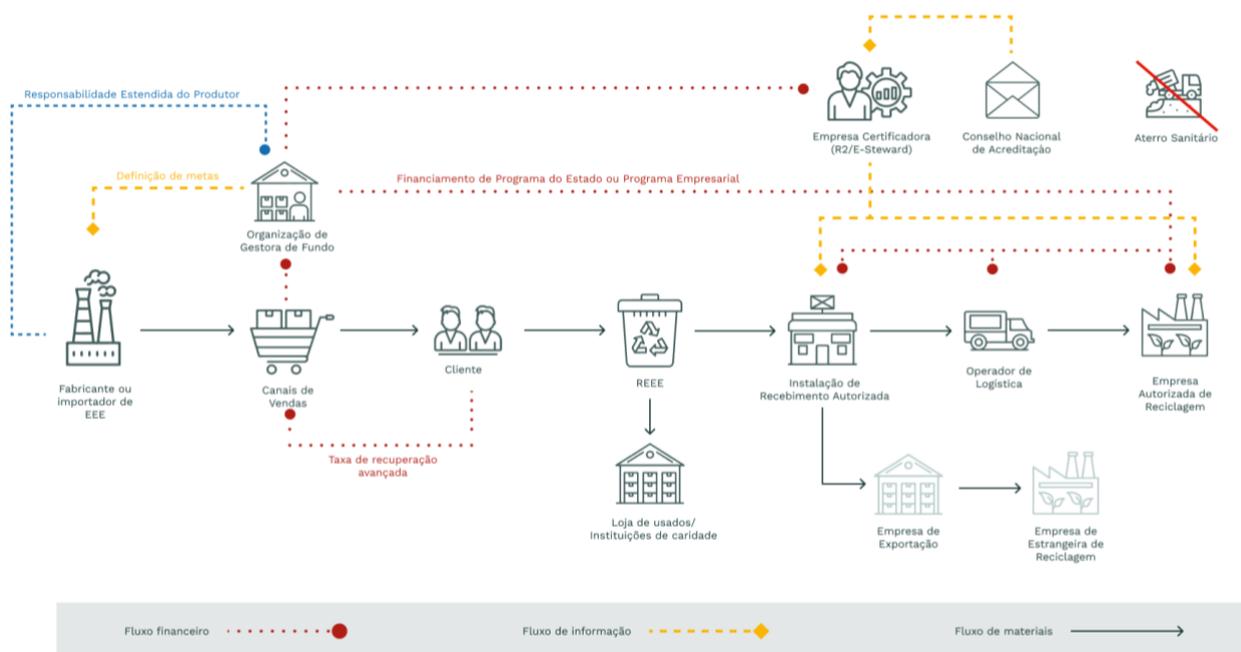


Figura 8 - Sistema norte americano de gestão de REEE. Fonte: Elaboração própria.

Dois modelos de coleta centralizada e programas de reciclagem são atualmente praticados por estados com legislação de lixo eletrônico:

- a. modelo onde o estado gerencia o programa ou contrata/designa por lei a gestão de um programa centralizado, aprovando os coletores e recicladores, bem como as taxas que os fabricantes devem pagar para cobrir os custos de transporte, consolidação e reciclagem;
- b. modelo onde uma entidade gestora administre a rede de coleta, faz acordos com os recicladores e, em alguns casos, supervisiona as obrigações financeiras dos fabricantes.

Alguns estados permitem que os fabricantes optem por não participar do programa centralizado, desde que seu programa de reciclagem individual atenda a certos padrões. A responsabilidade de uma entidade gestora integra em seu escopo a supervisão e a auditoria de toda a rede de reciclagem de lixo eletrônico, incluindo a comunicação de onde e como os eletrônicos coletados são gerenciados em toda a cadeia de fornecedores, exigindo relatórios regulares dos fabricantes e

recicladores sobre volumes de coleta e conformidade de suas práticas. Contratos de reciclagem podem ser descontinuados se os padrões não forem atendidos, assim como exigências de certificação podem ser estabelecidas (SHUMACHER & AGBEMABIESE, 2019).

Há variação nas organizações e indivíduos que podem descartar resíduos nos programas estaduais de gestão de REEE. Enquanto todos os programas estaduais incluem residentes/ famílias, alguns estados também permitem empresas, organizações sem fins lucrativos e escolas. Alguns estados estipulam o tamanho da organização ou o número de dispositivos que podem ser reciclados de uma determinada entidade. Por exemplo, o Estado Oregon permite o encaminhamento em seu sistema de reciclagem o REEE oriundo de empresas e organizações sem fins lucrativos com menos de 10 funcionários e qualquer residente com menos de 7 unidades de REEE (SHUMACHER & AGBEMABIESE, 2019).

Organizações sem fins lucrativos têm um papel importante no sistema americano, particularmente no que concerne à reutilização de equipamentos. Organizações de caridade, como Goodwills e Salvation, têm como vantagem sua configuração distribuída e boa reputação de revender mercadorias usadas, revertendo a renda para causas sociais. Como resultado, essas organizações não apenas apoiam a reutilização do equipamento, mas também fornecem um mercado para os consumidores com menor poder aquisitivo que, de outra forma, não seriam capazes de comprar produtos eletrônicos (SHUMACHER & AGBEMABIESE, 2019).

4.2.1.3 Financiamento

O mecanismo de financiamento de programas de reciclagem de REEE nos Estados Unidos varia de estado para estado. Geralmente contemplam tanto a opção de pagamento de taxa pelos fabricantes para que o estado realize o gerenciamento de programa de reciclagem, aprovando os coletores/recicladores e cobrando taxas dos fabricantes. Empresas também podem financiar de forma coletiva o sistema, encaminhando taxas para uma entidade gestora ou, alternativamente, cada empresa assume os custos de seu próprio sistema individualizado, sendo este

passível de auditoria por agências do estado (SHUMACHER & AGBEMABIESE, 2019). A maioria utiliza programas de Responsabilidade Estendida do Produtor (REP) via entidade gestora, sendo que a supervisão do programa é financiada por meio de uma “taxa de inscrição”. Os Fabricantes são responsáveis por financiar a coleta e reciclagem de REEE dentro de cada estado. Califórnia e Utah, empregam uma “taxa de recuperação avançada” (ARF), que diferentemente da abordagem orientada a cobrança no final do ciclo de vida, obriga o adiantamento dos fundos já no ato de comercialização dos EEE (SHUMACHER & AGBEMABIESE, 2019).

Alguns estados exigem que os fabricantes ofereçam programas de coleta de REEE ou serviços de reciclagem para seus produtos, enquanto outros oferecem incentivos adicionais para promover programas de reciclagem. Por exemplo, Maryland oferece uma taxa de registro reduzida (US\$ 500 em vez de US\$5,000) para os fabricantes que fornecem um programa de reciclagem de REEE gratuito, bem como instruções de limpeza de dados. Muitos estados impõem multas aos fabricantes que não cumprem a lei, não atendendo os requisitos de coleta e reciclagem. Estas penalidades podem ser impostas aos varejistas que vendem produtos de fabricantes não registrados ou diretamente junto a fabricantes que não se registraram no respectivo estado (SHUMACHER & AGBEMABIESE, 2019).

4.2.1.4 Abordagens de Responsabilização e Participação dos Atores na Cadeia de Valor

Fabricantes de EEE são obrigados a se registrar no órgão de supervisão de cada estado e assumir a responsabilidade financeira e gerencial pela reciclagem dos produtos que inserem no mercado. O estado de Vermont, por exemplo, opera um programa de registro on-line para recicladores de REEE. Coletores, transportadores e recicladores enviam seus números de processamento para o programa de forma online, que executa todos os cálculos necessários. O programa de Vermont oferece dois modelos alternativos: fabricantes podem assinar e pagar no programa estadual ou podem “optar por não participar” do programa estadual e fornecer um programa individual, com desempenho igual ou melhor que o programa

estadual. Coletores, transportadores e recicladores de REEE devem se registrar no estado a cada ano e fornecer um plano de ação, incluindo atividades de divulgação e previsões financeiras (SHUMACHER & AGBEMABIESE, 2019).

4.2.1.5 Exemplos de Certificações e Registros Requeridos

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos estabeleceu a certificação R2 (Reciclagem Responsável) em 2009, que inclui questões como o sistema de gerenciamento ambiental, saúde e segurança; a reutilização e recuperação – recicladores certificados devem estabelecer uma política por escrito priorizando as opções de reutilização e recuperação dos materiais antes de considerar soluções como incineração ou aterro; o documento deve incluir as práticas pertinentes à destruição de dados. Em 2010 foi lançado a certificação E-Steward, abrangendo práticas ISO 14001 e R2 e, muito importante, proibindo que aqueles que aderem a esta certificação descartem resíduos tóxicos em aterros e incineradores de resíduos sólidos. Portanto, a certificação E-Steward requer total conformidade com tratados internacionais que versam sobre exportação/importação de REEE.

Nova Jersey, Pensilvânia, Rhode Island, Carolina do Sul e Vermont exigem que os recicladores em seu estado sejam certificados R2 ou E-Stewards, enquanto o Michigan exige que os recicladores tenham certificação ISO 14001. Na Carolina do Norte, por exemplo, os governos municipais devem usar um reciclador certificado R2 ou E-Steward caso realizem pleitos de recursos do Fundo Estadual de Eletrônicos. O Oregon e o estado de Washington exigem auditorias anuais como parte da legislação estadual; no entanto, ambos os estados permitem a certificação de terceiros em vez de padrões estaduais (SHUMACHER & AGBEMABIESE, 2019). Independente da abordagem é o ANSI-ASQ *National Accreditation Board* (ANAB) a organização que credencia os órgãos de certificação nos Estados Unidos (KAHHAT et al., 2008; LIU et al., 2023).

4.2.1.6 Mecanismos de Controle e Monitoramento

Em 13 estados americanos observa-se a utilização de metas de desempenho quanto à quantidade necessária de REEE que deve ser reciclada anualmente pelos fabricantes, dentro de programas de Responsabilidade Estendida do Produtor (REP). As metas podem ser estabelecidas segundo parâmetro “per capita” ou definidas com base em uma porcentagem das vendas do ano anterior, o que pode incluir porcentagem em peso do EEE comercializados ou porcentagem em peso de REEE encaminhado para reciclagem. Os critérios baseados em peso têm como desafio o fato de que os novos aparelhos eletrônicos estão cada vez mais leves. Neste sentido alguns estados, como Havaí, Maine e Carolina do Norte, estabelecem metas de coleta baseadas na fatia de mercado de cada fabricante (SHUMACHER & AGBEMABIESE, 2019).

O Oregon é o único estado a ter uma meta futura de coleta de lixo eletrônico, ou seja, determina o peso total de dispositivos eletrônicos que deve ser reciclada no estado no ano seguinte, tomando como referência o desempenho no ano anterior. Cada fabricante que vende produtos no Oregon recebe uma parte da meta de coleta como sua obrigação mínima de reciclagem (SHUMACHER & AGBEMABIESE, 2019).

4.2.1.7 Abordagem para Educação do Consumidor

Ações de educação/divulgação associadas aos programas de gestão de REEE estão incluídos na legislação de muitos estados americanos, designando quais entidades (por exemplo, fabricantes, municípios, varejistas ou o próprio estado) são responsáveis por educar os consumidores sobre a legislação voltada a REEE, bem como sobre as oportunidades e protocolos para reciclagem (SHUMACHER & AGBEMABIESE, 2019).

4.2.1.8 Abordagens quanto ao Design de EEE

A legislação americana enfatiza aspectos de eficiência energética no Design de EEE. A Lei de Política e Conservação de Energia (EPCA - *Energy Policy and*

Conservation Act) o Departamento de Energia estabeleceu requisitos mínimos de eficiência energética para certos tipos de produtos eletrônicos (televisores, refrigeradores, condicionadores de ar, iluminação). No Programa Energy Star (<https://www.energystar.gov/>), coordenado pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA) e DOE, fabricantes voluntariamente certificam seus produtos com respeito a critérios específicos de eficiência energética.

A diretiva europeia de Restrição de Substâncias Perigosas (RoHS - *Restriction of Hazardous Substances*) é utilizada por muitas empresas americanas que fabricam produtos voltados ao mercado global, garantindo conformidade aos regulamentos internacionais. De maneira similar, a Lei de “Libertação da Poluição Plástica” (*Break Free From Plastic Pollution Act*), elaborada com o intuito de reduzir a produção e o uso de certos produtos e embalagens de plástico de uso único, tem influenciado no conteúdo do projeto de produtos eletrônicos. Sua aplicação tem resultado em maior responsabilidade de fabricantes no projeto, coleta, reutilização, reciclagem e descarte de seus produtos de consumo e embalagens.

4.2.2 Inglaterra

4.2.2.1 Legislação

Os regulamentos ingleses sobre REEE entraram em vigor em 2003 como parte de uma iniciativa da União Europeia. Estes regulamentos foram atualizados em 2013, com a transposição para legislação nacional a partir da Diretiva WEEE (2012/19/UE). Destaca-se a transposição em 2012 da Diretiva de Restrição de Substâncias Perigosas (RoHS) (2002/95/EC) – que limita a quantidade de certas substâncias tóxicas em EEE (incluindo chumbo, cádmio, mercúrio, cromo hexavalente, bifenil polibromado e éter difenílico polibromado) (CLARKE et al., 2019).

As regulamentações do país consideram dez grandes categorias de REEE, dentre as quais se destacam os grandes eletrodomésticos, os equipamentos de

iluminação, os dispositivos médicos, os equipamentos de TI e telecomunicações e os pequenos eletrodomésticos. O escopo de regulamentação para REEE foi ampliado em janeiro de 2019 para cobrir outras categorias de produtos eletrônicos, como a iluminação doméstica (incluindo tomadas elétricas, interruptores e plugues), unidades de ar-condicionado, caldeiras a gás, entre outros. Equipamentos que não são contemplados na legislação inglesa incluem: produtos para uso militar; equipamento projetados e instalados em outro tipo de equipamento (exemplos: sistema de navegação por satélite embutido em carros, barcos ou aviões); lâmpadas de filamento além das lâmpadas de LED, às quais se aplicam os regulamentos próprios; equipamentos projetados para serem enviado ao espaço; ferramentas industriais estacionárias de grande porte; instalações fixas de grande porte que realizam operações industriais específicas; equipamento de transporte de pessoas ou mercadorias, exceto veículos elétricos de 2 rodas não homologados; máquinas móveis fora de estrada e para uso profissional; equipamentos projetados apenas para uso em pesquisa e desenvolvimento e disponíveis apenas via *Business to Business* (B2B); dispositivos médicos implantáveis e dispositivos médicos que são infecciosos no fim da vida (GOV.UK, 2023).

4.2.2.2 Visão geral do Sistema

No modelo britânico as empresas devem necessariamente aderir a um sistema de gestão de REEE, conforme ilustra a Figura 9. Neste escopo inclui-se empresas que fabricam ou vendem EEE com marca própria no Reino Unido; empresas que compram EEE e, em seguida, fazem alterações para renomear o produto e revendê-lo no mercado do Reino Unido; empresas que importam EEE para comercialização no Reino Unido; empresas que estão estabelecidas fora do Reino Unido mas fornecem EEE diretamente ao mercado do Reino Unido por meio de vendas à distância; distribuidores (incluindo varejistas) que disponibilizam EEE no mercado do Reino Unido, inclusive por venda à distância. Note-se, no entanto, que consumidores que importam produtos não são obrigados a cumprir os

regulamentos que requerem adesão a um sistema de gestão de REEE (GOV.UK, 2023).

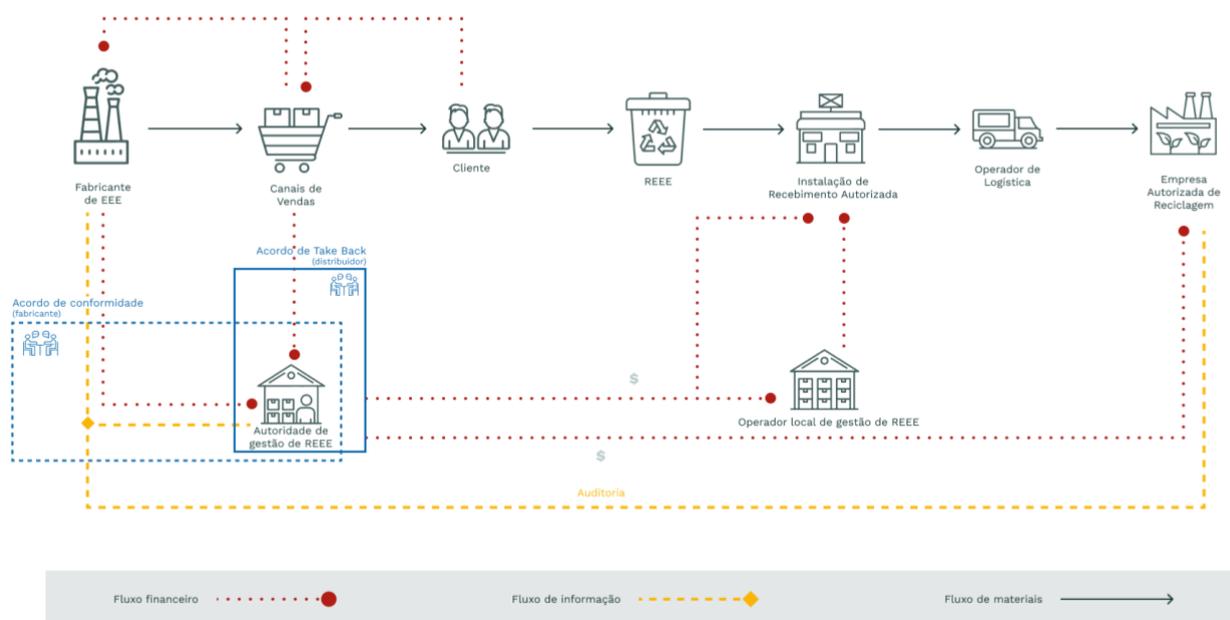


Figura 9 - Sistema britânico de gestão de REEE. Fonte: Elaboração própria.

Destaca-se que o sistema britânico adota como prática o uso de “Instalação de Tratamento Autorizada” (ATF - *Approved Authorised Treatment Facility*). Nestas instalações as atividades podem incluir despoluição, desmontagem, trituração, recuperação ou preparação para descarte. A participação das ATFs é relevante em especial pois somente estas unidades podem emitir notas de evidência para o tratamento, recuperação ou reciclagem de WEEE que ocorre no Reino Unido. As evidências devem estar relacionadas ao tratamento, recuperação e reciclagem realizados em um local aprovado ou a tratamento, recuperação e reciclagem posteriores realizados em outros locais. As notas de evidência serão exigidas pelos esquemas de conformidade em nome dos produtores que necessitam destes documentos para provar que uma certa quantidade de REEE foi tratada, recuperada e reciclada.

4.2.2.3 Financiamento

No modelo britânico cabe ao produtor ou representante autorizado financiar os custos de coleta, tratamento, recuperação e descarte ambientalmente adequado. Note-se que a regulamentação britânica não impede que um fabricante estabeleça acordos alternativos com usuários para financiar os custos de coleta, tratamento, recuperação e descarte ambientalmente adequado de REEE. Quando não foi utilizado um esquema (acordo setorial) de logística reversa para financiar a coleta, tratamento, recuperação e disposição ambientalmente correta de REEE, é possível o pagamento de uma “taxa de conformidade” (GOV.UK, 2023).

O parlamento britânico reconheceu a vantagem competitiva de grandes varejistas e mercados online (por exemplo a Amazon) e a premente necessidade de se estabelecer obrigação destas plataformas para coleta do REEE junto a seus clientes. Para se evitar que a devolução seja oferecida apenas em armazéns remotos e inconvenientes, o mesmo organismo defende a proposição e que grandes varejistas e mercados on-line devem organizar e pagar pela coleta de REEE junto ao cliente, incluindo aqueles de pequeno porte.

4.2.2.4 Abordagens de Responsabilização e Participação dos Atores na Cadeia de Valor

Fabricantes de EEE necessitam aderir a um “esquema de conformidade do produtor” (PCS) administrado por uma entidade gestora. Esta entidade é responsável por registrar todos os seus membros todos os anos, devendo garantir que cumpre as suas obrigações financeiras ao abrigo dos regulamentos de REEE e, também, o cumprimento de suas obrigações quanto a relatório de dados. Como proceder a este registro depende de quanto EEE a empresa colocou no mercado do Reino Unido no ano anterior:

- a. se colocarem menos de 5 toneladas de EEE podem se registrar diretamente com seu regulador ambiental como um pequeno fabricante;
- b. se colocarem no mercado mais de 5 toneladas de EEE, devem aderir a um esquema de conformidade do produtor (PCS).

Estes esquemas (ou acordos) assumem as obrigações de financiar a recolha, tratamento, recuperação e destinação ambientalmente correta dos REEE domésticos coletados no Reino Unido (GOV.UK, 2023).

Para distribuidores de EEE a conformidade é geralmente obtida por meio da adesão a um esquema de logística reversa (Distributor Take-Back Scheme - DTS). O distribuidor é financeiramente responsável por coletar e transportar os REEE. Um distribuidor que fornece novos EEE ao consumidor doméstico inglês deve garantir que o REEE possa ser devolvido gratuitamente e individualmente pelo cliente, independentemente de a aquisição ter sido feita em loja, online ou por correspondência; pode ser realizada devolução de produto diferente do originalmente adquirido, desde que este realize a mesma função. Distribuidores que forneçam novos EEE a partir de uma área de vendas de pelo menos 400m² devem providenciar a recolha gratuita inclusive de EEE muito pequenos (GOV.UK, 2023).

4.2.2.5 Exemplos de Certificações e Registros Requeridos

A fabricantes de EEE ou seus representantes autorizados é solicitado anualmente uma “declaração de conformidade” à autoridade competente. Esta declaração necessita incluir todas as provas documentais em relação ao período de conformidade a que a declaração se refere. As informações a serem fornecidas para as autoridades competentes incluem: a relação de EEE colocados trimestralmente no mercado, discriminados por categoria e por utilização doméstica e não doméstica; quantidades de REEE encaminhados para reutilização ou reparo ou, ainda, para exportadores aprovados (GOV.UK, 2023).

Para se tornar uma Instalação de Tratamento Autorizada (ATF - *Approved Authorised Treatment Facility*) é necessário autorização da Agência Ambiental da Inglaterra, sendo necessário o preenchimento de formulário específico para esta solicitação². A agência pode eventualmente requerer consulta à comunidade local,

² Vide formulário em:

https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/750725/WMP5-application-form-for-approval-as-an-AATF-for-WEEE.pdf

partes interessadas relevantes e grupos ambientais como parte do processo de inscrição. Importante notar que atividades restritas a reparação ou renovação de REEE não requerem licença de operação da Agência Ambiental, sendo permitido que todo o item de REEE ou qualquer parte possa ser reutilizado para sua finalidade original ou recuperado. É necessário, no entanto, realizar a solicitação formal desta isenção e, também, há a necessidade de se pagar taxas a cada três anos.

4.2.2.6 Mecanismos de Controle e Monitoramento

Os regulamentos de REEE no Reino Unido colocam a responsabilidade de financiar e participar do sistema de gerenciamento de REEE nos produtores, distribuidores e varejistas de EEE. O principal órgão regulador é a Agência Ambiental, responsável por supervisionar e fazer cumprir as regulamentações ambientais naquele país, incluindo o monitoramento de instalações de tratamento autorizadas e aprovadas. O fabricante/distribuidor necessita manter registros acerca da quantidade em toneladas de todos os EEE que efetivamente colocou no mercado no Reino Unido durante o período de conformidade que se enquadra, todos devidamente categorizados. Os relatórios de monitoramento de dados, incluindo aqueles encaminhados via entidade gestora, permitem o monitoramento de conformidade e do progresso do sistema em relação a metas estabelecidas (GOV.UK, 2023).

4.2.2.7 Abordagens para Educação do Consumidor

Observa-se grande intensidade de campanhas públicas e privadas, além de iniciativas em escolas e promovidas por ONGs, para ampliação da conscientização do consumidor inglês acerca das implicações de REEE para o meio ambiente e para a sociedade. Além disto, o sistema inglês exige que sejam disponibilizadas informações aos usuários de EEE acerca dos sistemas de coleta e devolução que estão disponíveis nas proximidades, assim como informações sobre os impactos potenciais no meio ambiente e no ser humano decorrente dos resíduos tóxicos oriundos de REEE. Após um ano de colocação de EEE no mercado do Reino Unido,

é recomendado que os fabricantes se certifiquem de que as informações sejam disponibilizadas sobre o reprocessamento de componentes e materiais de EEE (GOV.UK, 2023).

Para contribuir com a destinação correta do REEE os fabricantes têm que certificar-se de que um símbolo de “lata de lixo cruzada” de tamanho apropriado de acordo com o padrão BSI EN50419 seja exibido no produto. Este símbolo significa que o produto deve ser levado para coleta seletiva no final de sua vida útil, não podendo ser encaminhado para o sistema de coleta de lixo municipal indiferenciado.

4.2.2.8 Abordagens quanto ao Design de EEE

A legislação nacional permanece aderente ao conteúdo da “Diretiva de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos” (Diretiva Europeia 2012/19/UE) que abrange todos os aspectos da reciclagem de todos os tipos de aparelhos. Contudo, com o desmembramento da Comunidade Europeia, o país não está participando de forma direta do processo de revisão da Diretiva Europeia 2011/65/UE, que restringe o uso de certas substâncias perigosas em equipamentos elétricos e eletrônicos colocados no mercado europeu, como chumbo, mercúrio e cádmio.

Importante notar que a legislação inglesa coloca no Secretário de Estado a responsabilidade máxima pelo incentivo ao Design de EEE que facilite desde o desmantelamento até a reciclagem de REEE. Presentemente são preconizados os requisitos para o Design de produtos que facilitem a reutilização e o tratamento de REEE, nos mesmos moldes daqueles estabelecidos na Diretiva de Ecodesign 2009/125/CE (UE, 2009). Esta diretiva trata de produtos que usam energia e produtos relacionados à energia. Dentro do arcabouço legal nacional, as questões pertinentes especificamente ao “Design para fabricação, montagem, desmontagem e processamento de fim de vida” são tratadas na BS8887-211, orientada aos processos de reutilização.

4.2.3 Japão

4.2.3.1 Legislação

Em 1998, o Japão promulgou a Lei de Reciclagem de Eletroeletrônicos Domésticos, que estabeleceu que o consumidor deveria arcar com custos de transporte e reciclagem de REEE. Em 2000, o Japão promulgou a Lei de Base para Promover o Estabelecimento de uma Sociedade Circular, seguida de uma série de leis relacionadas. Dentre estas leis está a Lei de Promoção do Uso Efetivo de Recursos (LPUER), promulgada em 2001, que trata de medidas para reciclar produtos e reduzir a geração de resíduos. Esta lei visa ao estabelecimento de um sistema econômico baseado na reciclagem por meio do fortalecimento de medidas como coleta e reutilização de produtos pelas empresas; uso racional de materiais usados em produto; prolongamento da vida útil dos produtos e reutilizar componentes de produtos coletados. Esta lei alcança os computadores pessoais, baterias, televisores, ar-condicionado e produtos de linha branca.

Outra iniciativa legislativa chave é a Lei de Reciclagem de Eletrodomésticos Específicos (LREE), que também entrou em vigor em 2001, estabelecendo as responsabilidades de fabricantes e consumidores. Esta lei se aplica a condicionadores de ar domésticos, televisões, geladeiras e máquinas de lavar, estabelecendo um papel claro para fabricantes, importadores, varejistas, consumidores e governos municipais e nacionais (BO & YAMAMOTO, 2010).

A principal diferença entre a LPUER e a LREE é que a primeira busca encorajar fabricantes a realizar esforços voluntários, enquanto a segunda impõe obrigações aos fabricantes. Além disto, enquanto a LPUER não estabelece nenhuma responsabilidade compulsória para varejistas, a LREE coloca os varejistas como atores centrais no processo de reciclagem de computadores, em função da dinâmica de aquisição destes produtos onde os próprios consumidores transportam os computadores e tem maior facilidade de transportar os produtos usados (CHUNG & MURAKAMI-SUZUKI, 2008).

Segundo o disposto na LREE as prefeituras não são obrigadas a coletar, transportar, reciclar ou descartar REEE. Mesmo assim, as prefeituras coletam e tratam eletrodomésticos em suas áreas de jurisdição, incluindo aquelas que são ilegalmente descartadas. Assim como as empresas do varejo, as prefeituras recebem as taxas de transporte e reciclagem e encaminham estes produtos para os pontos de coleta designados (CHUNG & MURAKAMI-SUZUKI, 2008).

4.2.3.2 Visão Geral do Sistema

No Japão os REEE podem ser encaminhados para reciclagem de duas maneiras: por meio dos revendedores de EEE ou através de locais designados pelo governo. A partir destes pontos, são encaminhados para instalações de reciclagem dos fabricantes ou outras empresas encarregadas de processar REEE. O descarte de REEE no Japão é pago diretamente pelos consumidores, que arcam com os custos de transporte e descarte. Estes recursos contribuem na formação de um fundo destinado a empresas que realizam o manuseio do REEE (YOSHIDA & YOSHIDA, 2014; LIU et al., 2023). A Figura 10 ilustra o sistema japonês.

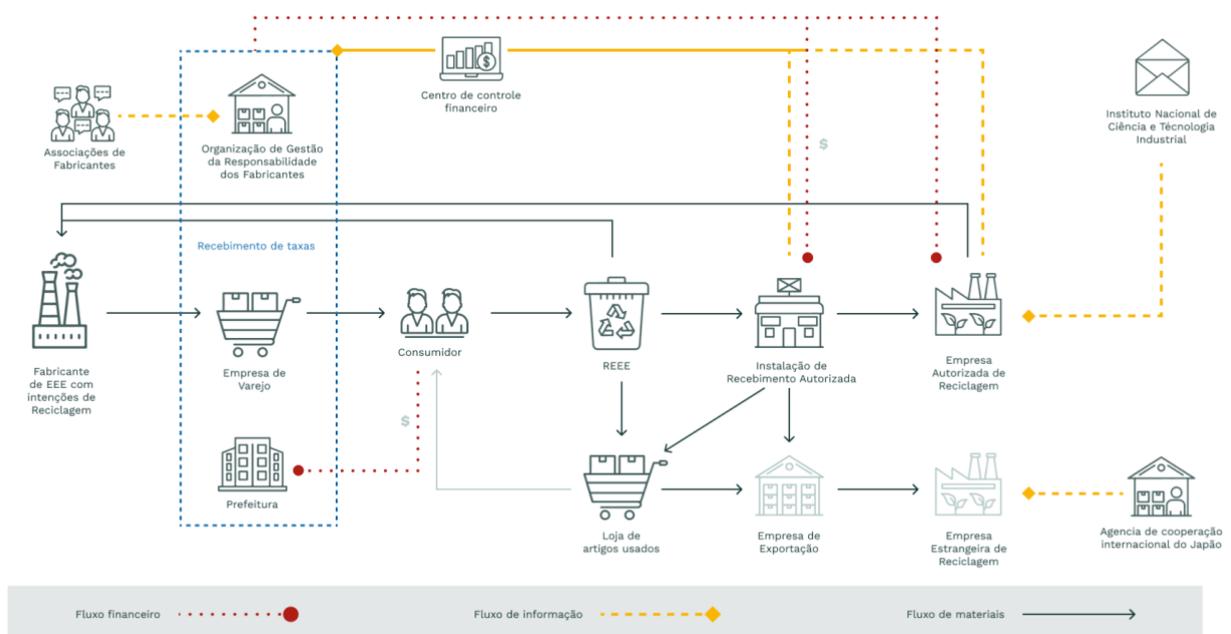


Figura 10 - Sistema japonês de gestão de REEE. Fonte: Elaboração própria.

Os fabricantes japoneses implementaram uma ampla rede de pontos de coleta de REEE, organizados via contratos com recicladores locais, plantas especializadas de processamento de resíduos ou, alternativamente, por meio das próprias instalações nas empresas. No encaminhamento do REEE para reciclagem os consumidores podem utilizar o sistema de correio. Note-se que o descarte ilegal de resíduos também está presente no ambiente japonês (CHUNG & MURAKAMI-SUZUKI, 2008).

Na gestão do final de ciclo de vida de REEE os fabricantes são organizados em grupos para evitar infringir leis antitruste. O Grupo A é composto por empresas como Matsushita e Toshiba, enquanto o Grupo B é composto por Hitachi, Sharp, Mitsubishi, Sanyo, Sony e outras empresas. O Grupo A garante que os resíduos de eletrodomésticos sejam entregues a uma usina de reciclagem dentro das instalações dos fabricantes ou usina de reciclagem designada por eles. O Grupo B emprega um sistema em que os REEE são desmontados, tratados e reciclados em uma das usinas de reciclagem designadas mais próximas. Neste sistema os varejistas assumem a responsabilidade de receber de volta qualquer EEE que vendeu e, subsequentemente, encaminhá-lo ao fabricante (BO & YAMAMOTO, 2010).

4.2.3.3 Financiamento

Desde 2003 fabricantes japoneses têm se envolvido voluntariamente em atividades de coleta e reciclagem de computadores. Os custos do processo de reciclagem são financiados diretamente pelos consumidores que pagam uma taxa no ato de encaminhamento do REEE para reciclagem. Este sistema de tíquetes de reciclagem foi desenvolvido pela Associação de Eletrodomésticos, sendo que a coleta e processamento são realizados pelos fabricantes organizados em alianças (BO & YAMAMOTO, 2010; YANG et al., 2021). Os consumidores compram um tíquete de reciclagem de eletrodomésticos para que o produto seja descartado, entregando-o diretamente ou por meio de um revendedor, ou loja onde o consumidor comprou o EEE, em um dos locais de coleta designados.

Uma característica relevante a se destacar acerca da operação do fundo de REEE do Japão é que não há nenhuma fundação ou agência governamental para gerenciar a reciclagem de REEE de forma unificada. Consumidores e fabricantes assumem total responsabilidade pela gestão destes fundos, o que reduz os custos de operação. Uma central de informações coleta e dissemina informações financeiras e de movimentação física acerca de todo o processo de retorno dos produtos dos consumidores aos fabricantes (YANG et al., 2021).

4.2.3.4 Abordagens de Responsabilização e Participação dos Atores na Cadeia de Valor

A legislação japonesa utiliza o princípio da Responsabilidade Estendida dos fabricantes a todo o ciclo de vida de EEE. Os consumidores são responsáveis pelo transporte assim como pelo custo de reciclagem. Consumidores podem solicitar e varejistas são obrigados a receber eletrodomésticos usados. Custos de transporte após o recebimento do REEE são pagos em separado para varejistas, que encaminham então os produtos para pontos de coleta designados pelos fabricantes. Fabricantes são requisitados a estabelecer instalações de reciclagem ou contratar empresas comerciais que realizem esta tarefa, sendo obrigados a alcançar metas de reciclagem (CHUNG & MURAKAMI-SUZUKI, 2008).

4.2.3.5 Certificações e Registros Requeridos

As licenças para operação da gestão de REEE no Japão incluem a licença de gerenciamento de REEE, emitida pelo governo local ou pelo Ministério do Meio Ambiente. Esta licença deve ser renovada a cada 5 ou 7 anos. Para ter esta licença as instalações a serem utilizadas devem satisfazer a padrões tecnológicos mínimos; deve-se demonstrar competência na gestão de resíduos industriais e a viabilidade financeira do empreendimento (JWNET, 2018). Esta licença não é exigida quando os geradores de resíduos destinam os resíduos para outras entidades designadas por portaria do Ministério do Meio Ambiente daquele país.

A depender da posição na cadeia de valor pode ser requeridas, também, a licença de tratamento de resíduos industriais, para aquelas instalações que lidam com resíduos industriais, incluindo certos tipos de lixo eletrônico; licenças de controle de poluição do ar: garante que a instalação atende padrões de qualidade do ar e de controle de emissões; licenças de controle de poluição da água: quando há processos que possam levar à poluição da água, como tratamento químico ou lavagem; licenças de segurança contra incêndio e manuseio de materiais perigosos; permissões de controle de ruído; licenças de construção e zoneamento. Dependendo da escala e natureza da reciclagem é demandado, também, a realização de avaliação do impacto ambiental, buscando avaliar e abordar quaisquer impactos ambientais potenciais das operações da instalação.

4.2.3.6 Mecanismos de Controle e Monitoramento

Fabricantes e importadores são obrigados a enviar relatórios sobre a quantidade de lixo eletrônico coletado e reciclado, possibilitando o monitoramento do progresso dos esforços de reciclagem e o estado de atingimento das metas de reciclagem. O governo realiza inspeções e auditorias nas instalações de reciclagem para garantir que atendam aos padrões ambientais e de segurança exigidos. Verificações de conformidade também são realizadas para verificar se os fabricantes e importadores cumprem suas obrigações. Desta forma, dentre as vantagens do sistema de reciclagem no Japão inclui-se a facilidade de monitorar dados do sistema e avaliar a efetividade das medidas de mitigação do impacto do consumo de EEE no meio ambiente. Importante ressaltar que apesar da eficiência deste sistema, mantêm-se algumas desvantagens que incluem a existência de despejo e exportação ilegais de REEE (BO & YAMAMOTO, 2010).

4.2.3.7 Abordagens para Educação do Consumidor

A pesquisa de Wang e Hazen (2016) aponta que os japoneses têm uma percepção positiva da reciclagem de REEE, em particular os benefícios ambientais e pessoais, resultando em uma intenção favorável a reciclar (DHIR et al., 2021). Portanto, a

reciclagem de REEE é compatível com as crenças, valores e necessidades dos consumidores japoneses (KANG et al., 2015; DHIR et al., 2021). Contudo, parcela dos consumidores optam por vender o REEE para lojas de segunda mão, com imediatos benefícios financeiros, evitando pagar as taxas de reciclagem. O mercado de segunda mão por sua vez abastece as exportações de REEE japonesas. Desta forma, Dhir et al. (2021) defende a necessidade de revisão da legislação e regulamentações de maneira a minimizar o descarte de lixo eletrônico em lojas de segunda mão.

4.2.3.8 Abordagens relativas ao Design de EEE

Assim como acontece em outros países, o Japão dispõe de legislação voltada ao uso racional de energia em produtos (Lei de Conservação de Energia), estabelecendo padrões mínimos de eficiência energética para EEE. Similarmente à prática Europeia, o país dispõe, também, de regulamentos para Restrição de Substâncias Perigosas (RoHS), restringindo a utilização de certas substâncias em produtos eletrônicos. A lei RoHS do Japão combina a Lei de Reciclagem (Lei para Promoção da Utilização Eficaz de Recursos no Japão) com o padrão JIS C 0950 (marcação da presença de substâncias químicas específicas para equipamentos elétricos e eletrônicos) e é conhecida como J-MOSS (ROHSGUIDE, 2023). O país é signatário e ratificou a Convenção de Estocolmo que tem como objetivo o banimento de substâncias classificadas como Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs); é signatário e ratificou a Convenção de Roterdã que regula o comércio internacional de produtos químicos perigosos e, também, a Convenção de Minamata que estabelece restrições ao uso de mercúrio e incentiva sua substituição por substâncias com menor grau de impacto.

Não há uma legislação de ecodesign no Japão. Destaca-se, no entanto, a “Lei sobre a Promoção da Coleta Classificada e Reciclagem de Recipientes e Embalagens” que incentiva a redução de resíduos derivados de embalagens, incluindo aquelas aplicadas em produtos eletrônicos. No âmbito dos processos de compras governamentais, o país tem a “Lei de Compras Verdes” que busca

promover a priorização pelo Estado da aquisição de produtos “ecologicamente corretos”. Observa-se a utilização de rotulagem ecológica voluntária também aplicável à EEE, como por exemplo o padrão J-Moss Green Mark que estabelece os limites para uso de seis substâncias tóxicas que são restritas no Japão em produtos comercializáveis, incluindo produtos EEE..

4.2.4 Dinamarca

4.2.4.1 Legislação

O sistema dinamarquês também inclui um quadro legislativo e regulatório compreensivo, tratando desde a devolução de produtos eletroeletrônicos ao final do ciclo de vida e a implementação da responsabilidade estendida do produtor (OSIBANJO & NNOROM, 2017). Desde 2005, assim como em toda a União Europeia, os produtores e vendedores de dispositivos elétricos e eletrônicos são responsáveis pela recolha e reciclagem de REEE, ou seja, produtos em fim de vida. Esta responsabilidade envolve deveres de registro, comunicação, informação e rotulagem, sendo a base jurídica a Diretiva REEE da UE 2012/19/UE, baseada na reformulação da diretiva original de 2004. A Diretiva Europeia REEE foi convertida em legislação dinamarquesa por meio da Lei Dinamarquesa de Proteção Ambiental e de ordem executiva que trata do processo de comercialização de equipamentos elétricos e eletrônicos e o tratamento de REEE (BEK nº 130 de 02/06/2014) (ZACHO et al., 2018).

A Diretiva Europeia REEE entrou em vigor em 2003 e foi revista novamente em 2012, com efeitos a partir de 2014 (Comissão Europeia, 2012). Seu conteúdo visa prevenir a produção de REEE e incentivar a reutilização, a reciclagem e outras abordagens associadas a resíduos. A diretiva estabelece taxas mínimas de recolhimento e valorização da reciclagem e metas de preparação para reutilização. De maneira geral, o país tem como meta cumprir as metas da UE de aumentar a reciclagem de resíduos urbanos para 55 por cento em 2025, 60 por cento em 2030 e 65 por cento em 2035. A taxa mínima de coleta de REEE (65% em 2019) é

formulada utilizando como parâmetro o peso médio dos equipamentos elétricos e equipamentos eletrônicos colocados no mercado nos últimos três anos. A diretiva também especifica substâncias, componentes e misturas que necessitam ser removidos para tratamento seletivo (ZACHO et al, 2018).

4.2.4.2 Visão geral do Sistema

A implementação da Diretiva Europeia REEE na Dinamarca resultou em um modelo com configuração centralizada. Antes da implementação, as autoridades locais eram responsáveis tanto pelo recolhimento quanto pelo tratamento de REEE provenientes dos consumidores. Após a implementação, as autoridades locais são agora apenas responsáveis pela coleta e triagem de REEE, tanto os de origem doméstica como de indústrias (RIBER et al., 2005). O envolvimento das municipalidades tem garantido que os componentes perigosos presentes no REEE sejam gerenciados e descartados adequadamente. A Figura 11 apresenta os principais elementos do sistema dinamarquês.

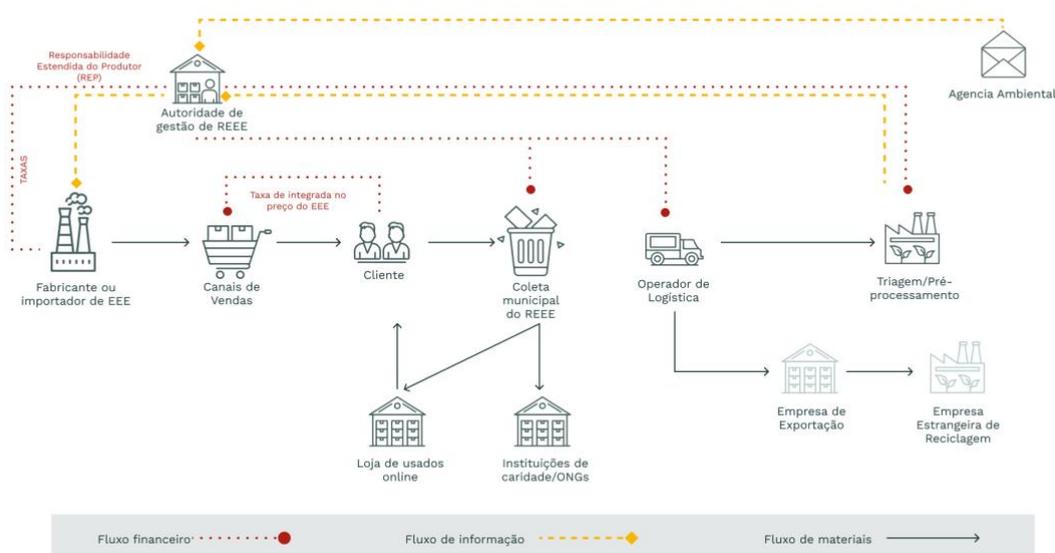


Figura 11 - Sistema dinamarquês de gestão de REEE. Fonte: Elaboração própria.

Os cidadãos descartam os seus REEE usados em centros de reciclagem de propriedade municipal. Nestes locais, uma área demarcada é reservada com

gaiolas para coleta de REEE. Os produtores são responsáveis por fazer a coleta dos equipamentos. As transportadoras recolhem os REEE e direcionam para os recicladores, que os processam e enviam para posterior reciclagem. Os recicladores normalmente realizam algum tipo de tratamento dos REEE antes de encaminhar para a efetiva reciclagem.

O Programa de Responsabilidade Estendida administra a implementação da Diretiva REEE, reportando os resultados para a Agência de Proteção Ambiental (EPA) dinamarquesa. Importante notar que poucos fabricantes/distribuidores de EEE assumem responsabilidade individual pelo REEE no sistema dinamarquês. De fato, a maioria é membro de cooperativas, sendo estas responsáveis por gerir a fase de fim de vida dos EEE (GRUNOW & GOBBI, 2009). Note-se que a Dinamarca não possui instalações de processamento final e apenas algumas instalações de pré-processamento. Ainda assim, estas instalações apresentam investimento de desmontagem estrutural (ZACHO et al, 2018).

4.2.4.3 Financiamento

No modelo Dinamarquês o fabricante ou importador adiciona a taxa de REEE a seus preços junto aos distribuidores. As atividades da entidade gestora DPA (*Danish Producer Responsibility*) são financiadas por taxas repassadas diretamente pelos fabricantes e importadores. Este valor, por sua vez, é utilizado para arcar com as despesas ao longo do gerenciamento dos resíduos. Tanto os consumidores como as empresas podem devolver seu REEE gratuitamente nos pontos de coleta e, por sua vez, os varejistas de equipamentos eletrônicos são obrigados a receber REEE dos consumidores gratuitamente. Os consumidores já pagaram pela gestão do final do ciclo de vida o REEE por meio da taxa integrada no preço do EEE. Sob esta estratégia de financiamento, juntamente com o arcabouço regulamentar, a Dinamarca vem apresentando um bom desempenho na gestão de REEE comparativamente à média global, com taxas de reciclagem entre 38% e 50% (ANDERSEN, JÆGER , & MISHRA, 2020).

4.2.4.4 Abordagens de Responsabilização e Participação dos Atores na Cadeia de Valor

Na Dinamarca, a responsabilidade pela gestão dos resíduos eletrônicos recai sobre os produtores, importadores e distribuidores de EEE, incluindo resíduos de baterias e REEE oriundo de veículos elétricos. Estes são obrigados a financiar e organizar a recolha e reciclagem de produtos descartados, sendo facultativo que esta atuação seja de forma coletiva ou individual. O consumidor encaminha o resíduo para os centros de coleta da prefeitura, onde é feita a triagem por tipo de REEE. A partir desse ponto os fabricantes ou entidade gestora remunerada, recolhe os resíduos e os encaminha para reciclagem, sendo que no território dinamarquês esta etapa restringe-se em grande parte na desmontagem, trituração e triagem. A reciclagem efetivamente ocorre em outros países, demandando a exportação dos resíduos (ZACHO et al., 2018).

Conforme Zacho et al. (2018) verifica-se que apenas 0,2% dos REEE recolhidos na Dinamarca são efetivamente reutilizados. Alguns centros municipais de reciclagem de resíduos domésticos administram lojas de EEEE usados, que vendem ou doam produtos usados que ainda podem ser reutilizados. Esses reaproveitamentos muitas vezes empregam pessoas com necessidades especiais, contribuindo para ampliar as oportunidades de emprego e renda para esta população. Existem empresas especializadas no acondicionamento, reparando e acondicionando REEE para revenda, muito embora o mercado para este perfil de produto ainda seja bastante reduzido (ZACHO et al, 2018).

4.2.4.5 Certificações e Registros Requeridos

O emprego da Responsabilidade Estendida do Produtor (EPR) tem efetivamente resultando na responsabilização das empresas fabricantes/distribuidoras ao longo do ciclo de vida, obrigando o financiamento da coleta, reciclagem e destinação ao fim do ciclo de vida do REEE. As licenças exigidas no país e com foco na reciclagem de REEE são vinculadas aos regulamentos da União Europeia (UE) e na legislação nacional. A Diretiva-Quadro de Resíduos da UE, implementada em 2008, levou a

Dinamarca a priorizar a reciclagem em vez da incineração de resíduos domésticos e industriais (HOAG et al., 2023). Esta diretiva exige que todos os estados membros da UE, incluindo a Dinamarca, implementem esquemas de segregação na fonte para a recolha de materiais recicláveis, a fim de aumentar as taxas de reciclagem de resíduos.

Além dos regulamentos da UE, a Dinamarca também tem as suas próprias práticas na fase de prevenção da gestão de resíduos de embalagens, tais como as regulamentações enfatizando o uso de tecnologias limpas e contabilidade verde. Dentre as licenças demandadas para a operação de REEE inclui-se “autorização ambiental” (condições e requisitos específicos) para o manuseio e processamento de REEE; “licença de manuseio de resíduos”; adesão a “esquema de responsabilidade estendida do fabricante”; “licença de transporte” para materiais perigosos. Há, também, demandas de licenças, certificações e autorizações associadas a “regulamentos sobre resíduos perigosos”; “regulamentos de segurança elétrica” e, finalmente, “regulamentos de segurança de dados” (VUK et al., 2023).

4.2.4.6 Mecanismos de Controle e Monitoramento

Os regulamentos de REEE na Dinamarca colocam maior responsabilidade nos fabricantes, incluindo o financiamento e a gestão do sistema de gerenciamento dos resíduos. Os consumidores arcam com uma taxa no ato de compra de equipamento eletrônico e são responsáveis por entregar os equipamentos eletrônicos aos centros de reciclagem da prefeitura ou no comércio varejista. O principal órgão regulador é a Agência Dinamarquesa de Proteção Ambiental, responsável por supervisionar e fazer cumprir as regulamentações ambientais naquele país, incluindo o monitoramento de instalações de tratamento autorizadas e aprovadas e a aplicação de multas quando detectado o não cumprimento dos regulamentos em vigor. O fabricante/distribuidor é obrigado a manter registros acerca da quantidade em toneladas de todos os EEE que efetivamente colocou no mercado durante o período de conformidade que se enquadra, bem como os dados sobre as

quantidades recolhidas e recicladas (ZACHO et al, 2018). Os dados são comunicados à Agência Dinamarquesa de Proteção Ambiental que, por sua vez, utiliza esses dados no aperfeiçoamento contínuo do sistema e nas práticas de governança e transparência.

4.2.4.7 Abordagens para Educação do Consumidor

A Dinamarca apresenta uma política de estado voltada a incentivar os indivíduos a reciclar utilizando-se de restrições regulamentares, impostos e, também, ações de caráter educativo. Nesta última dimensão muitos esforços são realizados em cooperação com os outros países nórdicos. Materiais educacionais, incluindo planos de aula, são disponibilizados de forma aberta e gratuita para professores, contribuindo para facilitar sua introdução na sala de aula. Complementarmente, campanhas em redes sociais promovem regularmente a ampliação da conscientização no tema, envolvendo todos os atores relevantes na cadeia de valor. Estas ações em redes sociais são também instrumentalizadas com o provimento de material para dar suporte ao desenvolvimento de campanhas. Como resultado, conforme mostra o estudo de Ylä-Mella et al. (2015), os consumidores dinamarqueses têm apresentado nível elevado de consciência quanto à importância da reciclagem e reutilização de REEE.

4.2.4.8 Abordagens quanto ao Design de EEE

A legislação nacional na Dinamarca permanece aderente ao conteúdo da “Diretiva de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos” (Diretiva Europeia 2012/19/UE) que abrange todos os aspectos da reciclagem de todos os tipos de aparelhos eletroeletrônicos. Sob a perspectiva do Design destacam-se o emprego de regulamentos e políticas de incentivo à implantação da economia circular, como o aumento da vida útil do produto, maior capacidade de reparação e renovação de produtos, maior disponibilidade de peças sobressalentes, melhores possibilidades de reciclagem e reutilização de componentes e matérias-primas (ANDERSEN, JÆGER , & MISHRA, 2020). Um dos diferenciais da estratégia dinamarquesa em

relação a outros países é o estímulo à maior durabilidade dos produtos com a demanda de garantia de durabilidade de EEE de dois anos, além da garantia de qualidade de dois anos obrigatória junto aos consumidores. O país tem adotado níveis mínimos de materiais reciclados em EEE, com taxa que chega a 10%. Há, também, restrições severas quanto à presença de materiais perigosos. Painéis fotovoltaicos, por exemplo, não devem conter chumbo³.

4.2.5 Considerações sobre a situação Brasileira

4.2.5.1 Legislação

O Brasil dispõe de arcabouço em processo de evolução e consolidação. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (Lei nº 12.305) estabeleceu em 2010 as diretrizes para a gestão de resíduos, incluindo o REEE. Desta forma, o país apresenta situação mais bem estruturada quando comparado à situação dos Estados Unidos, onde não há regulamentação federal semelhante, dificultando ações integradas de caráter nacional. Por outro lado, o Brasil começou tardiamente suas iniciativas legislativas específicas no tema do REEE. O Japão tem sua primeira legislação específica sobre REEE (Lei de Reciclagem de Eletroeletrônicos Domésticos) promulgada em 1998; na Inglaterra o estabelecimento de legislações no tema começara em 2003 com a transposição da “Diretiva de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos” (Diretiva WEEE). Enquanto isto, somente em 2020 foi promulgado no Brasil o Decreto Nº 10.240 que trata da implementação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico.

A necessidade de melhorar a temporaneidade do alinhamento do Brasil às iniciativas globais de legislações/regulamentações internacionais acerca do REEE é reforçada quando se observa as iniciativas voltadas a restringir a utilização de materiais tóxicos ou perigosos em produtos eletroeletrônicos. O tema tem sido

³ <https://producentansvar.dk/en/products-and-responsibility/organising-your-producer-responsibility/compliance-schemes/>

contemplado na Europa já a partir de 2003, com a Diretiva de Restrição de Substâncias Perigosas (RoHS) enquanto que no Brasil, somente em 2019 foi publicado a Norma Técnica Brasileira adotada ABNT NBR IEC 63000 - “Documentação técnica para a avaliação de produtos elétricos e eletrônicos com relação à restrição de substâncias perigosas”, tendo como base a Norma Europeia EN 50581:2012, a qual serve de base para a Diretiva 2011/65/EU.

Do ponto de vista dos esforços para induzir a melhoria do projeto de EEE um importante marco ocorreu em 2009 com a implantação na Europa da Diretiva de Eco-design (2009/125/EC) (UE, 2009) que estrutura a definição de requisitos para o design ecologicamente correto de produtos (Diretiva Europeia ErP-EuP), conexa com a BS8887-211 inglesa, publicada em 2012, que abordam o design para fabricação, montagem, desmontagem e processamento de fim de vida e apoiam os processos de reutilização. No Brasil, iniciativa próxima a essa temática ocorre através da NBR ISO 14006:2014 – Sistemas da gestão ambiental — que trata de diretrizes para se estabelecer, documentar, implementar, manter e melhorar continuamente sua gestão de ecodesign como parte de um sistema de gestão ambiental (SGA). Portanto, reconhece-se a oportunidade de realizar avanços legislativos/normativos em se tratando de parâmetros e diretrizes que estimulem o projeto orientado à sustentabilidade no ciclo de vida de produtos. Tal iniciativa é condição para a utilização de práticas que viabilizem e/ou estimulem o reuso/reparo como, por exemplo, a utilização do “índice de reparabilidade” em processos licitatórios.

Observa-se a carência no Brasil de legislação/norma dedicada especificamente a estabelecer requisitos/parâmetros voltados à reutilização de REEE. Desde 2004, quando ainda pertencia à Comunidade Econômica Europeia, a Inglaterra utiliza a EN62309, que introduz requisitos e pré-requisitos como forma de verificar a confiabilidade e funcionalidade das peças reutilizadas e permitir a sua utilização em novos produtos. Em 2020 a Europa publicou a norma EN 50614:2020 que trata de requisitos para a preparação para o reuso de equipamentos eletroeletrônicos. Outra norma importante nesta temática é a PAS 141, publicada em 2011 na Inglaterra,

tratando do gerenciamento do processo para a reutilização de equipamentos elétricos e eletrônicos usados e descartados. Note-se, também, que o estabelecimento de medidas para instrumentalizar o reuso/reciclagem de resíduos, inclusive de eletrônicos, é tratado no caso japonês já em 2001 com a Lei de Promoção do Uso Efetivo de Recursos (LPUER).

Em 2020 regulamentou-se no país o sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico (note-se que a temática foi contemplada já em 2000 pelo Japão, com a Lei de Base para Promover o Estabelecimento de uma Sociedade Circular). Em 2022, com o Decreto 10.936 o governo brasileiro lança o Programa de Logística Reversa, exigindo que fabricantes, importadores, distribuidores e varejistas implementem sistemas de devolução de produtos eletrônicos. Há um acordo setorial para implantação do sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos restrito àqueles de uso doméstico e seus componentes. Não há acordo setorial semelhante tratando da regulamentação da relação dos fabricantes e distribuidores de EEE com as compras realizadas pelo Estado, ou do tratamento de REEE gerados por essas compras. Considerando que a servitização das aquisições do estado é uma estratégia que contribui para o efetivo engajamento de fabricantes na gestão do ciclo de vida de EEE, tais acordos necessitam considerar não só a aquisição de produtos, mas, também, a aquisição de EEE como serviço.

O estado é um dos maiores clientes de produtos do setor. Em 2021 o mercado corporativo, que inclui as compras governamentais, respondeu por 49% das vendas totais de computadores no país (INFOMONEY, 2023). Algumas das principais oportunidades que se vislumbra para inovações pautadas pelo uso de 5G no país estão em áreas onde os governos de todos os níveis são os principais compradores. Computadores e outros EEE comercializados junto ao estado brasileiro devem atender ao disposto na Lei Nº 14.479 (2022) que estabelece que “Os fabricantes, os importadores, os distribuidores, os comerciantes, os consumidores e os titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos são responsáveis pelo ciclo de vida dos produtos. Não se

observa, no entanto, regulamentações ou normas estabelecendo de forma clara as responsabilidades (logísticas, financeiras, técnicas) dos fabricantes quando do final do ciclo de vida do REEE oriundo do estado.

Na Política Nacional de Desfazimento e Recondicionamento de Equipamentos Eletroeletrônicos observa-se similaridades com as proposições com a Ordem Executiva 12999 nos Estados Unidos, assinada em 1996, que estendeu o que estava disposto na Ordem Executiva 12821 de 1992. Esta ordem permitia que as agências federais dos EUA transferissem o excesso de computadores e periféricos relacionados para organizações educacionais e sem fins lucrativos. Similarmente ao Programa Computadores para Inclusão implementado no Brasil, nos Estados Unidos tem-se o Programa Computadores para Aprendizagem (CFL - *Computers for Learning*), que evoluiu como um guia para a implementação da Ordem Executiva 12999. Em ambos os casos há a ênfase na inclusão digital através do desfazimento de REEE em associação com iniciativas de educação. No caso americano as contribuições do desfazimento são estritamente para contextos educacionais.

Avanço importante, comparativamente a outros países, foi o lançamento dos decretos 11.413 e 11.414 que criam instrumentos de financiamento relativamente inovadores (Certificado de Crédito de Reciclagem de Logística Reversa; Certificado de Estruturação e Reciclagem de Embalagens em Geral; Crédito de Massa Futura). Destaca-se o decreto 11.414/2023 que trata de instrumento em prol dos catadores de recicláveis e reutilizáveis. Formas inovadoras como esta também foram observadas nos países analisados, desde a prática de utilização de incentivos financeiros, descontos ou até mesmo vouchers para pessoas que participam ativamente de programas de reciclagem ou atingem metas específicas de reciclagem. No caso da Alemanha tem-se implementado sistema de depósito-reembolso para certos materiais recicláveis, como embalagem de bebidas (Der Grüne Punkt - www.gruener-punkt.de/en/). A prática pode ser relevante para garantir a destinação correta de consumíveis associados a REEE (ex: baterias) onde consumidores pagam um pequeno depósito na compra de um produto, recebendo reembolso quando devolvem em local apropriado. A emissão de “títulos

verdes” para arrecadar fundos para projetos de reciclagem são também bastante disseminados nos países analisados. O “*Climate Bonds Standard*”, por exemplo, é um esquema de rotulagem para títulos e empréstimos. Critérios científicos garantem que os títulos e empréstimos com Certificação sejam consistentes com o limite de aquecimento de 1,5°C do Acordo de Paris. O Esquema é usado globalmente por emissores de títulos, governos, investidores e mercados financeiros para priorizar investimentos que genuinamente contribuem para enfrentar as mudanças climáticas. (vide <https://www.climatebonds.net/standard/waste>). Prática similar é observada na Inglaterra: quando a organização utilizou um esquema (acordo setorial) de logística reversa é possível o pagamento de uma “taxa de conformidade” (GOV.UK, 2023).

4.2.5.2 Visão Geral do Sistema

A maioria dos recicladores brasileiros realiza apenas as primeiras etapas da reciclagem de REEE: triagem e desmontagem. Componentes complexos são tipicamente classificados, desmontados, moídos e enviados para o exterior para empresas estrangeiras realizarem efetivamente o processo de reciclagem, incluindo placas de circuito impresso (PCI), discos rígidos (HD), memórias de computador, processadores de computador e refrigeradores. Enquanto cobre, alumínio e ferro são metais valiosos que precisam ser reciclados, os componentes exportados são ricos em ouro, platina, prata e terras raras, que são metais preciosos com alto valor de mercado (GHISOLFI et al., 2017; DIAS et al., 2018). Em contraste, os Estados Unidos e Japão detém em suas fronteiras de instalações para realização de etapas do processo de reciclagem. No caso inglês, estudo do Comitê de Meio Ambiente do Parlamento daquele país realizado em 2019 concluiu que a falta de infraestrutura apropriada de recuperação de recursos no Reino Unido tem perpetuado a economia linear porque o sistema atual é fortemente focado na recuperação de energia e não na recuperação de materiais.

Observa-se nos países analisados um repertório bastante variado na dinâmica e formas de organização da cadeia de valor associada ao REEE, conforme ilustra o

Quadro 2. No caso americano observa-se a presença tanto do estado como de organização que realiza a gestão do sistema de reciclagem de REEE como o modelo onde uma entidade gestora realiza esta gestão, sendo que em alguns estados fabricantes podem optar por não participar do programa centralizado, desde que seu programa de reciclagem individual atenda a padrões exigidos. No Japão há a possibilidade de fabricantes realizarem a gestão do final do ciclo de vida em suas próprias instalações. A organização de fabricantes em grupos, de maneira a distinguir aqueles que adotam esta estratégia, facilita a gestão do sistema japonês. Assim como no Brasil, no Japão é adotado no sistema o conceito de Verificador de Resultados, que deve ser cadastrado, homologado e fiscalizado pelo Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima.

Quadro 2: Papel do governo e de organizações terceirizadas na gestão de REEE

Atividade	USA	Japão	UK	Alemanha	Brasil
aprovação dos coletores e processadores	governo	entidade gestora	governo	governo	governo
Coleta dos pagamentos	governo	entidade gestora	entidade gestora	entidade gestora	organização terceirizada
Reembolso dos coletores e processadores	governo	entidade gestora	entidade gestora	entidade gestora	entidade gestora
Fiscalização	governo	governo	governo	governo	governo
Produção de EEE per capita (kg)	22,1	17,3	23,5	21,7	7,0
Produção total de REEE (mT)	7	2,2	1,5	7,7	1,4

Fonte: StEP (2013); Baldé et al. (2017); StEP (2011)

Note-se que no contexto norte americano há tratamento distinto em alguns estados quanto ao perfil e tamanho do gerador de REEE, como o número de funcionários ou número das unidades de REEE. Há, também, papel ativo das organizações sem fins lucrativos no encaminhamento do REEE para reutilização, viabilizam um repertório amplo de alternativas economicamente mais viáveis para acesso a EEE pela população de menor poder aquisitivo.

O sistema brasileiro é esquematicamente representado na Figura 12.

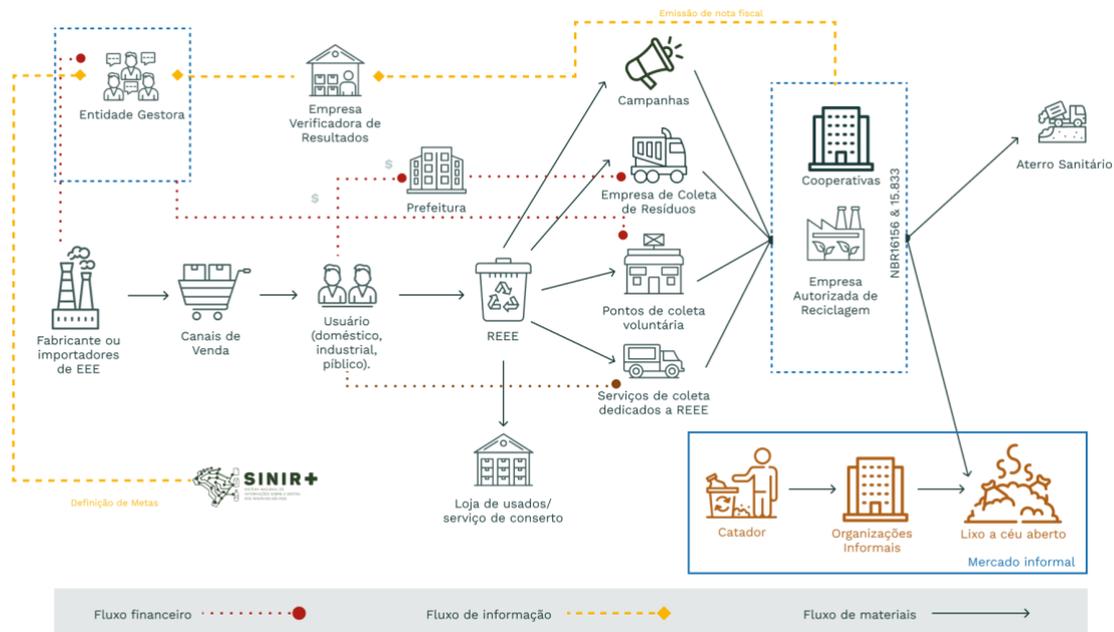


Figura 12 - Sistema brasileiro de gestão de REEE. Fonte: Elaboração própria.

4.2.5.3 Financiamento

O decreto 10.936/2022, que confere nova regulamentação à Lei 12.305/2010 e cria o Programa Nacional de Logística Reversa, prevê a sustentabilidade econômico-financeira dos serviços de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, via instrumento de remuneração, com cobrança dos usuários, garantindo a recuperação dos custos decorrentes da prestação dos serviços essenciais e especializados. Com a absorção destes fundos, cabe às empresas fabricantes arcar com os custos de gestão do final do ciclo de vida do REEE, seja via entidade gestora ou programas individuais. No caso de adoção do modelo com entidade gestora o sistema de logística reversa faz uso dos instrumentos instituídos pelos decretos 11.413 e 11.414: “Certificado de Crédito de Reciclagem de Logística Reversa”, “Certificado de Estruturação e Reciclagem de Embalagens em Geral” e “Crédito de Massa Futura”.

O decreto 10.936/2022 prevê a implementação e a operacionalização do sistema de logística reversa por meio de instrumento legal firmado entre a cooperativa ou a

associação e as empresas ou entidades gestoras para prestação dos serviços. No caso de CRC, vinculados ao Programa de Computadores para Inclusão, estes podem captar recursos de doações e buscar repasses junto aos governos municipal/estadual/federal (exemplo: Fundo Nacional do Meio Ambiente, Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico). Contudo, presentemente o REEE provindo do Estado carece de mecanismo de repasse de recursos das empresas fabricantes para entidade gestoras, de maneira a viabilizar o repasse de recursos de forma direta das empresas fabricantes aos CRC. Para que isto ocorra o planejamento orientado para as empresas do setor necessitam integrar metas de reuso de REEE comercializado para o estado. O conteúdo destas metas pode ser integrado no escopo das compras governamentais, como ocorre no Japão com a “Lei de Compras Verdes”.

Nos países analisados identificou-se uma ampla variedade de mecanismos de cobranças das taxas para reciclagem, cada uma apresentando vantagens já identificadas anteriormente por StEP (2013):

- a. pagamento antecipado (integrado no preço de venda do EEE): sua vantagem é a simplicidade;
- b. pagamento antecipado visível (custo da reciclagem visível na divulgação do preço do EEE: além da simplicidade sua vantagem é a maior transparência;
- c. pagamento relativo à fatia de mercado de produtos comercializados: sua vantagem é a melhor conexão com os custos econômicos e ambientais efetivamente realizados;
- d. pagamento proporcional à taxa de retorno de produtos do respectivo fabricante no sistema de gestão de resíduos: maior acurácia de custos atribuídos a cada fabricante;
- e. pagamento de taxa ao final do ciclo de vida: simples e transparente.

Na maior parte dos estados americanos, assim como na Inglaterra, os fabricantes são responsáveis por financiar a coleta e reciclagem de REEE dentro de cada estado. A “taxa de recuperação avançada” (ARF), presente na Califórnia e Utah,

mostra uma alternativa, com o adiantamento dos fundos já no ato de comercialização dos EEE (SHUMACHER & AGBEMABIESE, 2019). No Japão os custos do processo de reciclagem são financiados diretamente pelos consumidores que pagam uma taxa no ato de encaminhamento do REEE para reciclagem. Este sistema de tíquetes de reciclagem tem levado parcela dos consumidores a encaminhar seus REEE para o mercado de usados, sem que estes produtos sejam efetivamente reutilizados. No modelo britânico cabe ao fabricante ou representante autorizado financiar os custos de coleta, tratamento, recuperação e descarte ambientalmente adequado. Quando não foi utilizado um esquema (acordo setorial) de logística reversa para financiar a coleta, tratamento, recuperação e disposição ambientalmente correta de REEE, é possível o pagamento de uma “taxa de conformidade”. Em se tratando do processo de realização destes pagamentos, mostra-se como uma prática relevante a existência de uma central de informações no Japão que coleta e dissemina informações financeiras e de movimentação física acerca de todo o processo de retorno dos produtos dos consumidores aos fabricantes.

4.2.5.4 Certificações e Registros Requeridos

No Brasil um centro ou unidade voltada à reciclagem de REEE deve ter seu pessoal devidamente qualificado, com infraestrutura e protocolos que garantam o manuseio seguro dos resíduos, tanto para o ser humano como para o meio ambiente. Esta adequação necessita ser comprovada por meio de registros como o AVCB (Auto de Vistoria do Corpo de Bombeiros), que atesta as regras de segurança e prevenção de incêndios; a ISO 14001 que trata do desenvolvimento do sistema de gestão ambiental; o Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional (PCMSO) que trata da identificação e antecipação de medidas para tratar qualquer aspecto que possa afetar a saúde dos colaboradores do empreendimento; Programa de Prevenção de Risco Ambiental (PPRA), que busca estabelecer um plano de ação para a preservação da integridade física e mental dos colaboradores; Certificação R2 (não obrigatória), que inclui um conjunto de processos, documentos e medidas de

segurança para recicladoras de equipamentos eletrônicos (GREENELETRON, 2023). Note-se que no caso americano a exigência de certificação (R2 ou E-steward) é em muitos estados exigido como condição para a operação no sistema de REEE, prática não presente no caso brasileiro. A existência de certificações como a E-Steward, proibindo o descarte de resíduos tóxicos em aterros e incineradores de resíduos sólidos ampliaria a conformidade brasileira com tratados internacionais que versam sobre exportação/importação de REEE.

Além disto, para a realização das operações de reciclagem é necessário o Cadastro Técnico Federal (CTF), registro demandado pelo IBAMA, tanto para pessoas físicas quanto jurídicas, que realizam APPs (Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais); Certificado de Regularidade (CR) é o documento por meio do qual o IBAMA atesta a conformidade da empresa com as obrigações do cadastro; Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) é um documento que indica a forma correta de manejo, transporte, reciclagem e disposição final dos resíduos; Licença de Operação (LO); Documento/licença de transporte de resíduos; Outorga (caso aplicável) para o uso de água de curso de cursos d'água, rios ou lagos; Anotação de Responsabilidade Técnica (ART), que ajuda a garantir que o empreendimento está sendo acompanhado por profissional capacitado; Licença de Operação junto ao órgão ambiental; licença de exportação (caso necessário); apólice de seguro da empresa e Plano de Atendimento a Emergências (GREENELETRON, 2023). As empresas envolvidas nos processos de gerenciamento dos resíduos (exportação, armazenamento e transporte) devem, também, ter Certificado de Regularidade válido e em situação regular no Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais (CTF/APP). Licenças similares são também exigidas no caso japonês, sendo requerido sua renovação a cada 5 ou 7 anos, notando-se que é exigido, também, demonstração da viabilidade financeira do empreendimento, licenças de controle de poluição do ar e água, licença de ruído e a depender da escala e natureza da reciclagem, avaliação do impacto ambiental. No caso da Inglaterra a Instalação de Tratamento Autorizada (ATF - Approved Authorised

Treatment Facility) pode eventualmente requerer consulta à comunidade local, partes interessadas relevantes e grupos ambientais como parte do processo de inscrição. Atividades restritas a reparação ou renovação (REEE) não requerem licença de operação da Agência Ambiental, sendo permitido que todo o item de REEE ou qualquer parte possa ser reutilizado para sua finalidade original ou recuperado.

O sistema britânico distingue-se pelo fato de o REEE poder ser encaminhado somente para “Instalação de Tratamento Autorizada” (ATF - Approved Authorised Treatment Facility). As notas de evidência são encaminhadas por estas unidades para esquemas de conformidade em nome dos produtores que necessitam destes documentos para provar que uma certa quantidade de REEE foi tratada, recuperada e reciclada. No Japão o REEE pode ser encaminhado para reciclagem de duas maneiras: através dos revendedores de EEE ou através de locais designados pelo governo.

4.2.5.5 Educação do Consumidor

A educação ambiental consta do decreto Nº 10.936 de 2022, tendo como objetivo o “aprimoramento do conhecimento, dos valores, dos comportamentos e do estilo de vida relacionados com a gestão e com o gerenciamento ambientalmente adequado de resíduos sólidos”. Apesar disto, permanece o desconhecimento das pessoas quanto à natureza dos REEE e seus impactos, assim como a ausência de cultura de separação. Educação é tema que consta da legislação associada ao REEE de muitos estados americanos e inclui fabricantes e varejistas como corresponsáveis pela atividade. No caso do sistema inglês avanço importante neste aspecto é a maior clareza na demanda de provimento de informações ao consumidor acerca dos procedimentos para encaminhamento do REEE nas proximidades onde vive assim como informações sobre os impactos ambientais associados ao REEE. Produtos eletroeletrônicos necessitam apresentar o símbolo de “lata de lixo cruzada”, orientando consumidores de que os produtos não podem ser encaminhados junto ao lixo comum. No ambiente inglês o ativismo é mais

fortemente presente, com forte participação da sociedade em eventos de conscientização e voluntariado acerca do tema, práticas estas que poderia ser integrada e estruturada nas políticas brasileiras.

4.2.5.6 Design de EEE

Assim como os americanos, ingleses e japoneses, o Brasil também tem programa razoavelmente consolidado que enfatiza a eficiência energética de EEE. No caso do Brasil tem-se o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - INMETRO e, no caso americano, tem-se o Programa Energy Start, que é coordenado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. No Japão este direcionamento ocorre através da Lei de Conservação de Energia, que estabelece padrões mínimos de eficiência energética para EEE. Similarmente, a legislação e normas brasileiras para a restrição de substâncias perigosas encontram conteúdos análogos/semelhantes ao encontrado nos países analisados, como Lei RoHS do Japão, que combina a Lei de Reciclagem (Lei para Promoção da Utilização Eficaz de Recursos no Japão) com o padrão JIS C 0950 (marcação da presença de substâncias químicas específicas para equipamentos elétricos e eletrônicos).

Contudo, observa-se no Brasil a carência de legislações ou normas apontando diretrizes e critérios para o projeto de produtos e componentes eletroeletrônicos que contribuam para facilitar a montagem/desmontagem e, por consequência, a maior facilidade de manutenção, atualização ou destinação para novos usos. No caso da Inglaterra estes direcionamentos ocorrem principalmente por meio da transposição da Diretiva de Ecodesign 2009/125/CE (1) (UE, 2023) e através da norma BS8887-211, que trata do “Design para fabricação, montagem, desmontagem e processamento de fim de vida”. Conforme mostra o exemplo dinamarquês, a indução destas práticas pode ocorrer através da exigência de período de durabilidade mínima, o que pode contribuir de forma positiva na redução das práticas de obsolescência tecnológica e estética programada.

4.3 POLÍTICA NACIONAL RELACIONADA A REEE

A política nacional relacionada a resíduos eletroeletrônicos enfatiza predominantemente aspectos pertinentes ao planejamento e governança do sistema, tais como:

- a. mecanismos de participação da sociedade e o estabelecimento de metas;
- b. escopo dos planos exigidos nas várias esferas de governo;
- c. definições quanto ao perfil, papéis e formas de cadastro e regularização dos atores do sistema;
- d. estratégias de controle e monitoramento do desempenho do sistema, incluindo as penalidades.

Outro aspecto que apresenta ênfase na política nacional, consubstanciada na legislação e regulamentações vigentes, trata da sustentabilidade econômica do sistema de gestão de REEE, como o disposto no Decreto 10.936 (2022), onde se propõe:

- a. incentivos fiscais, financeiros e creditícios;
- b. cessão de terrenos públicos;
- c. destinação dos resíduos descartados pela administração pública federal às associações e às cooperativas de catadores;
- d. subvenções econômicas;
- e. estabelecimento de critérios, metas e outros dispositivos para as aquisições e contratações públicas;
- f. pagamento por serviços ambientais;
- g. apoio à elaboração de projetos no âmbito de mecanismos decorrentes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.

Destaca-se o Decreto 11.413 (2023) que regulamentou o estabelecimento de “Crédito de Reciclagem de Logística Reversa”; “Certificado de Estruturação e Reciclagem de Embalagens em Geral” e o “Crédito de Massa Futura”, instrumentos que contribuem de forma direta à viabilização econômica da gestão de REEE.

Avaliando o arcabouço existente na dimensão econômica com o estado da arte revisado permite identificar algumas oportunidades de avanços, conforme descrito a seguir:

- a. legislação/regulamentação, programas e projetos voltados a ampliar a efetividade econômica da mineração urbana, incentivando o estabelecimento de uma infraestrutura no país para a recuperação de materiais valiosos e raros presentes em REEE;
- b. legislação/regulamentação, programas e projetos para promover o estabelecimento de organizações privadas voltadas ao reparo, certificação (ex: certificado de saneamento de dados) e comercialização de equipamentos eletrônicos usados;
- c. legislação/regulamentação, programas e projetos voltados à integração do setor formal com o setor informal ao longo do ciclo de vida de REEE, contribuindo para a melhoria da saúde ocupacional e a renda desta população.

Com presença menor no arcabouço legal brasileiro estão as políticas voltadas à promoção de comportamentos e competências para a gestão do ciclo de vida de REEE e as políticas para a inclusão social por meio da gestão de REEE. A política de promoção de comportamentos e competências relacionadas a REEE estão mais fortemente presentes no Decreto Nº 10.240 (2020), que trata de logística reversa para EEE e seus componentes domésticos, e a Lei Nº 14.479 (2022), que trata da Política Nacional de Desfazimento e Recondicionamento de EEE e do Programa Computadores para Inclusão. As estratégias de ação previstas incluem principalmente treinamentos para desenvolvimento de profissionais com competência no tema, promoção da educação ambiental e campanhas de conscientização de consumidores. Estas estratégias estão, geralmente, interligadas e presentes nas iniciativas vinculadas à política de inclusão social através da gestão de REEE, sendo que seu conteúdo está mais presente na Lei Nº 14.479 (2022), que trata da Política Nacional de Desfazimento e Recondicionamento de EEE e do Programa Computadores para Inclusão e do Decreto 11.414 (2023), que contempla os catadores de recicláveis e reutilizáveis. As estratégias de ação previstas incluem o provimento de infraestrutura de trabalho

para esta população, favorecimento no encaminhamento de resíduos provindos do Estado, facilitação do acesso de cooperativas e associações de catadores a contratações públicas além de provimento de financiamento.

Quadro 3: Normativos nacionais e políticas para REEE no Brasil.

Política Nacional de REEE	% de conteúdos diretamente vinculados às categorias de políticas p/ REEE					
	Lei nº 12.305 (2010) (Política Nacional de Resíduos Sólidos)	Decreto Nº 10.240 (2020) (logística reversa p/ EEE e seus componentes domésticos)	Decreto 10.936 (2022) (Regulamenta a Política Nacional de Resíduos Sólidos)	Lei Nº 14.479 (2022) (Política Nacional de Desfazimento)	Decreto 11.413 (2023) Crédito de Reciclagem de Logística Reversa	Decreto 11414 (2023) Programa Pró-Catadoras(es)
Prevenção	2	0	0	0	0	0
Minimização	2	0	0	0	0	0
Reutilização	4	1	1	6	1	1
Reparo	2	0	0	6	1	0
Reciclagem	5	0	2	7	5	4
Recuperação energética	1	0	2	0	0	0
Tratamento e destinação	8	1	4	1	1	0
Planejamento e governança	49	64	60	22	48	40
Sustentabilidade econômica	15	6	12	8	19	21
Promoção de comportamentos	5	16	7	18	5	8
Inclusão social	3	1	7	22	6	25
Integração da TIC	3	9	6	10	12	1

Fonte: Elaboração própria.

Políticas associando as tecnologias de informação e comunicação à gestão de REEE são encontradas em menor número, estando mais presentes no Decreto 11.413 (2023), que trata do estabelecimento de Crédito de Reciclagem de logística Reversa, Certificado de Estruturação e Reciclagem de Embalagens em Geral e Crédito de Massa Futura. As estratégias de ações presentes nas políticas em vigor atêm-se a demandas quanto ao fluxo de informações sobre EEE/REEE entre

instituições privadas e governo e interoperabilidade entre sistemas de informação; formas de viabilizar o controle e monitoramento de fluxos de EEE/REEE; emissões de relatórios regulares para o governo; além de mecanismos de auditoria e segurança dos dados e informações. Há claramente necessidade de aperfeiçoamentos na legislação/regulamentação em vigor de maneira a se estimular que se faça uso do pleno potencial das tecnologias digitais emergentes (exemplos: Inteligência Artificial - IA, *Blockchain*, IoT, *BigData*, RFID, GPS) para a gestão eficaz do ciclo de vida de EEE, destacando-se as seguintes oportunidades de avanço:

- a. legislação/regulamentação, programas e projetos para estabelecimento de padrões e protocolos de intercâmbio de dados e informações entre os vários atores envolvidos no ciclo de vida de REEE;
- b. legislação/regulamentação, programas e projetos para incentivo à implantação de tecnologias digitais emergentes para maior eficiência e eficácia da gestão de REEE, assim como incentivos no estabelecimento de empresas provedoras de serviços ao setor a partir destas tecnologias.

As políticas de prevenção e minimização da geração de REEE são as que apresentam a menor presença na política nacional, com reduzida menção a ações efetivas, muito embora os termos estejam amplamente presentes. Em se tratando de prevenção da geração de REEE destaca-se as seguintes oportunidades de avanços:

- a. legislação/regulamentação, programas e projetos para a promoção de padrões de consumo que reduzam efetivamente o crescimento da demanda de recursos ambientais associados a EEE, como o estímulo a modelos de negócio e hábitos de consumo que privilegiem o empréstimo, aluguel ou compartilhamento de EEE, assim como a revenda e desfazimento de REEE;
- b. legislação/regulamentação, programas e projetos para estimular a indústria a projetar produtos mais duráveis, tanto funcional como esteticamente, como ocorre através da Diretiva de Ecodesign europeia; estímulo à miniaturização do projeto de EEE, reduzindo drasticamente a demanda por recursos; estímulo ao

- desenvolvimento de EEE multifuncionais e com maior flexibilidade de aplicações;
banimento de substâncias tóxicas nos produtos ofertados no mercado nacional;
- c. legislação/regulamentação, programas e projetos que estimulem o provimento de funções providas pelo EEE de forma parcial ou integralmente digital, remota e compartilhada (exemplo: virtualização de estações de trabalho);
 - d. legislação/regulamentação, programas e projetos que estimulem consumo de EEE baseado em serviços (por exemplo: nuvem computacional), viabilizando modelos de negócio com ofertas de sistemas produto+serviço (PSS) orientado ao produto (com o usuário sendo proprietário do produto, onde há oferta de serviços para apoiar o ciclo de vida do mesmo); PSS orientado ao uso (onde o usuário não é proprietário do produto, contratando o acesso a uma plataforma de produtos e serviços para satisfazer suas necessidades); PSS orientado ao resultado (onde o usuário contrata o resultado que culmina em sua satisfação, não requerendo sequer a operação dos produtos do sistema)
 - e. legislação/regulamentação, programas e projetos que possibilitem a maior automação e autonomia da operação de REEE de maneira a se alcançar uso mais racional de recursos, particularmente na fase de uso.

O conteúdo das políticas nacionais vigentes associadas ao tema reparo e reuso, embora citados nas legislações, apresenta direcionamentos pouco explícitos e aquém do estado da arte no tema. Embora a reutilização seja apontada como prioritária em relação à reciclagem, não há explicitação quanto aos critérios e procedimentos para adoção de tal prática, tendo em vista as diferenças de impactos na fase de produção e na fase de uso dentre as várias categorias de EEE. Ademais, a Lei Nº 14.479 (2022) enfatiza o setor público, carecendo de política análoga para o setor privado. Desta forma, destaca-se as seguintes oportunidades de avanço nas políticas nacionais:

- a. legislação/regulamentação, programas e projetos voltados a uma política de desfazimento que integrem o primeiro setor (governo), segundo setor (empresa) e terceiro setor (organizações sem fins lucrativos), avaliando a possibilidade de estabelecimento de metas para reuso;
- b. legislação/regulamentação, programas voltados ao estabelecimento do “direito ao

reparo”, possibilitando que usuários tenham a capacidade de reparar seus equipamentos eletrônicos, com acesso a ferramentas, componentes e software requeridos para possibilitar os reparos. Estas iniciativas podem incluir o estabelecimento do “índice de reparabilidade” junto a fabricantes, tangibilizando a capacidade dos equipamentos de receber atualizações de hardware e software e estabelecendo critério indutor de melhorias por meio das compras do Estado; aqui inclui-se as leis/regulamentações que estabeleçam critérios e protocolos para induzir a maior facilidade de EEE serem desmontados/montados ou de receberem atualizações;

- c. legislação/regulamentação, programas de incentivo ao reparo ou reuso, incluindo o estímulo ao estabelecimento de plataformas voltadas a este fim, provendo suporte à melhoria contínua das competências dos atores envolvidos nas atividades de reuso e reparo.

5 INFORMAÇÃO ESTRATÉGICA PARA O PROGRAMA COMPUTADORES PARA INCLUSÃO

Um dos requisitos do projeto foi a realização de estudo que contemplasse a proposição de uma cesta de indicadores com seu respectivo painel de visualização, além de um mapeamento das certificações relevantes que oferecesse ao programa Computadores para Inclusão a possibilidade de realizar o acompanhamento e avaliação de sua operação.

O método adotado para a produção de subsídios para o monitoramento e avaliação envolveu uma etapa descritiva pautada por uma lógica indutiva, realizada através de Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) e Assistemática (RBA), seguida da análise de estudos de caso nacionais e internacionais. Por meio de um processo abduutivo esse material foi debatido em dois workshops de criação coletiva.. Por meio de entrevistas com representantes do sistema (empresas Circular Brain e Green Eletron, e o CRC Porto Alegre – RS), além de uma pesquisadora especialista no tema foi realizada investigação e validação das informações coletadas na etapa anterior. Como resultado prático foram produzidos: um Protocolo de Verificação; uma cesta de indicadores; e de um Painel de Visualização (Dashboard) piloto.

5.1 O CONCEITO DE CICLO DE VIDA DE REEE

Alcançar o “desenvolvimento sustentável” requer a adoção de uma perspectiva de ciclo de vida sobre os produtos, o que impacta na configuração das estratégias de controle e monitoramento, foco do presente relatório. No contexto da gestão de REEE (Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos), o termo "ciclo de vida" refere-se a toda as fases da “vida” dos produtos eletrônicos e elétricos (Figura 13), começando com o design/desenvolvimento do produto, seguido pela extração de recursos, produção (produção de materiais, bem como fabricação/fornecimento do produto), uso e, finalmente, atividades de fim de vida, contemplando

recolha/triagem, reparo, reutilização, reciclagem, destinação dos resíduos (REBITZER, et al., 2004).

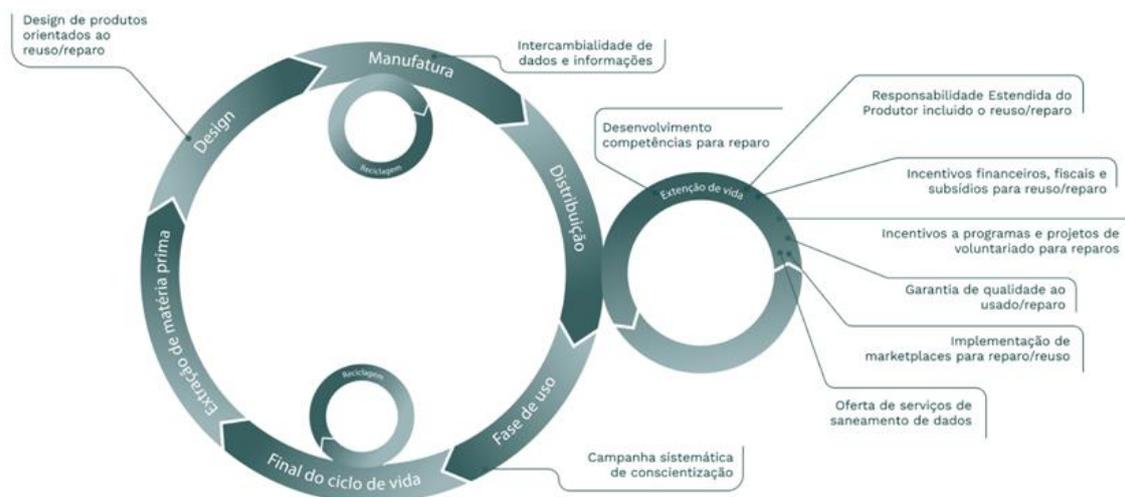


Figura 13 - Ciclo de Vida do REEE. Fonte: Rebitzer & Fleischer, 2000.

A primeira etapa do ciclo de vida – Design, refere-se ao projeto e desenvolvimento dos produtos, onde surge os apontamentos sobre impactos ambientais, sociais e econômicos (REBITZER G. , 2002). Ao mesmo tempo, conforme Doshi et al. (2016) é justamente esta etapa a que oferece os menores custos relativos para mudanças em contraposição aos respectivos impactos. Portanto, sob a perspectiva da eficácia e eficiência das atividades de desfazimento do produto no seu final de vida (REEE), é esta etapa que oferece os impactos potenciais de maior relevância. As características de reuso ou reciclagem, incluindo a direção e prioridade dos esforços de extração de matéria prima, os parâmetros de consumo (energia, água), durabilidade, reparabilidade e capacidade de reciclagem advém das definições adotadas nessa fase inicial.

A seguir tem-se a Manufatura que contempla a fabricação de materiais, partes, peças e produtos eletroeletrônicos. Durante esse processo, são consumidos

recursos naturais, energia e água, além de gerar emissões de gases de efeito estufa e outros poluentes. Segundo Wäger e Hischer (2015), "a fase de produção é responsável pela maior parte do impacto ambiental total dos REEE".

Após a fabricação tem-se a etapa de Distribuição e comercialização de EEE, quando os produtos são distribuídos a atacadistas e varejistas. Esta etapa inclui todas as operações de logísticas requeridas para a movimentação dos produtos dos fabricantes até os usuários finais.

A Fase de Uso dos dispositivos eletroeletrônicos é a mais longa do ciclo de vida dos REEE. Durante esse período, o maior impacto dos dispositivos está associado ao consumo de energia. Além das características de performance dos produtos nesta etapa do ciclo de vida, outro fator determinante em seu desempenho ambiental é o comportamento do usuário. De fato, conforme alerta Ankit et al. (2021), o uso prolongado de dispositivos eletroeletrônicos pode aumentar ainda mais a pegada de carbono e outros impactos associados ao consumo de energia. Além disso, a manutenção adequada e uso responsável podem contribuir para com o prolongamento da vida útil do produto, evitando o descarte prematuro.

Ao final da etapa de uso, os equipamentos eletroeletrônicos podem passar por uma fase de reparo e reuso – Extensão de vida, possibilitando o prolongamento de sua vida útil e reduzindo a necessidade de fabricação de novos produtos. As atividades nesta etapa podem envolver desmontagem, inspeção, limpeza, teste, recuperação de componentes, reparo, troca e remontagem (KISSLING, et al., 2012). Esta etapa pode contribuir significativamente para a redução da massa total de REEE ou, ao menos, no atraso de seu descarte. A realização do reuso de EEE deve considerar os benefícios ambientais da operação em comparação com a reciclagem dos materiais. Produtos com alto impacto na fase de uso podem se beneficiar de ciclos de vida reduzidos, sendo substituídos por tecnologia de melhor performance. O estudo de Hischer e Böni (2021), por exemplo, mostrou que alguns dispositivos apresentam maior impacto ambiental na fase de uso (máquinas de lavar, geladeiras) enquanto outros (smartphones e laptops) apresentam maior impacto ambiental na fase de produção (HISCHIER & BÖNI, 2021; PALANISAMY &

SUBBURAJ, 2023). Nesta etapa do ciclo de vida o uso de indicadores que medem a quantidade de resíduos reciclados ou reutilizados em relação ao total gerado são importantes para avaliar a eficácia das políticas de reciclagem e identificar oportunidades de melhoria.

Uma vez encerrada a etapa de uso/reuso o REEE é então encaminhado para a etapa de reciclagem – Extração de matéria prima, quando se busca a extração de recursos materiais como aço e cobre, além de materiais considerados valiosos e críticos, como ouro, paládio, prata, índio e terras raras (BAHERS & KIM, 2018). A reciclagem de REEE pode mitigar a demanda por matérias-primas virgens, reduzindo a pressão sobre as fontes de recursos naturais e contribuindo para a redução de emissões de gases de efeito estufa.

Não sendo mais possível, desejável e viável o reuso ou reciclagem de REEE tem-se então a etapa de descarte, salientando-se que a NBR 10.004 classifica o REEE como classe I (perigoso), não podendo ser lançado junto ao resíduo comum (BRASIL, 2004). Neste sentido, é importante notar que há um crescente banimento da utilização de substâncias tóxicas em EEE, sendo que em alguns países ocorre já a proibição por completo da destinação de REEE para aterros sanitários (LIU et al., 2023). De fato, a atividade de descarte de REEE apresenta grande risco ambiental, considerando a quantidade, variedade, complexidade e heterogeneidade dos componentes potencialmente tóxicos presentes no REEE (ex: chumbo, mercúrio, cádmio, cromo, retardadores de chama halogenados ou bromados (PALANISAMY e SUBBURAJ, 2023; KUMAR et al., 2017).

Indicadores para gestão de REEE podem ser agrupados e configurados de acordo com estas etapas. No caso do escopo atual do Programa Computadores para Inclusão, por exemplo, há maior relevância das etapas de coleta, triagem, reparo, reutilização, reciclagem e destinação dos resíduos. De todo modo, o desempenho destas etapas é afetado pelo desempenho das etapas anteriores, sendo, portanto, estratégico considerar o monitoramento de indicadores chave pertinentes a estas etapas iniciais do ciclo de vida.

A utilização de uma perspectiva de Ciclo de Vida na formulação e implementação de indicadores é essencial para sua efetividade como suporte ao processo de decisão.

5.2 DIMENSÕES DA SUSTENTABILIDADE NA GESTÃO DE REEE

O monitoramento e controle do ciclo de vida de REEE com vistas a contribuir com o desenvolvimento sustentável necessita considerar as três dimensões do “tripé da sustentabilidade” para que ocorra contribuição efetiva com a maior resiliência do planeta. Os princípios centrais que regem cada uma destas dimensões são sintetizados a seguir.

5.2.1 Dimensão Ambiental

A dimensão ambiental trata do capital natural e compreende as questões relacionadas às ciências naturais, ecologia, diversidade biológica, poluição, proteção da saúde humana e administração de recursos renováveis e não renováveis, entre outros (MANZINI & VEZZOLI, 2002; SAMPAIO, et al., 2018). Os impactos da dimensão ambiental incluem os danos à saúde humana (ex: carcinogênicos, contaminação do solo); danos ecológicos (ex: aquecimento global e mudanças climáticas, destruição da camada de ozônio, acidificação, chuva ácida, eutrofização, desflorestamento, eco toxicidade); depleção dos recursos naturais (ex: poluição da água, combustíveis fósseis, exploração de metais e minerais, erosão do solo) e a geração de resíduos (SAMPALIO, et al., 2018). No caso de REEE tem-se a presença de materiais tóxicos e poluentes (ex: retardadores de chama bromados), que podem contaminar o solo, a água e o ar quando seu ciclo de vida não é gerenciado corretamente. As consequências dessa poluição para os ecossistemas incluem a perda de biodiversidade, o esgotamento dos recursos naturais e a perturbação das cadeias alimentares (DUMAN & KONGAR, 2023). No

âmbito da gestão do ciclo de vida de REEE os princípios associados a esta demanda incluem:

- a. Escolha de recursos de baixo impacto ambiental: este princípio trata da seleção recursos materiais atóxicos, biocompatíveis, renováveis e, sempre que possível, de fonte local (FUAD-LUKE, 2002);
- b. Minimização no uso de recursos: este princípio trata da redução da quantidade de recursos requeridos ao longo do ciclo de vida de um produto. No limite, pode implicar inclusive na desmaterialização do consumo, quando um artefato físico é substituído por um mix de produtos e serviços que reduzem drasticamente ou mesmo totalmente a demanda por materiais/energia para atendimento das necessidades do usuário/cliente (HUMANA, 2023);
- c. Otimização da vida útil dos produtos: otimizar significa alcançar o rendimento ótimo na utilização de um dado produto, resultando na maior intensidade de uso durante sua vida útil. Este princípio pode ser alcançado desde a adoção da multifuncionalidade no projeto de um produto até na sua integração em sistemas de compartilhamento (SAMPAIO, et al., 2018).
- d. Extensão da vida útil dos materiais: este princípio trata da reintegração e revalorização de materiais no ciclo produtivo e de consumo (SAMPAIO, et al., 2018);
- e. Facilitando a montagem/desmontagem: este princípio trata da separação eficaz e eficiente de partes e peças de tal forma a permitir a facilidade na manutenção, reparação, atualização, adequação, refabricação e, também, reciclagem de produtos (MANZINI & VEZZOLI, 2002).

A interrelação destes princípios permite inferir que indicadores de avaliação voltados à dimensão ambiental de EEE podem impactar mais de um princípio, ao mesmo tempo que podem contemplar simultaneamente mais de uma etapa do ciclo de vida. Outro grande desafio é equilibrar o desenvolvimento econômico associado a EEE, demandado por economias emergentes como a brasileira, com a degradação ambiental decorrente da geração de volumes crescentes de REEE (TSAI, 2020; WEN, LIN, & LEE, 2009; MARTI & PUERTAS, 2021; BUI, TSENG, TSENG, & LIM, 2022).

Indicadores voltados à dimensão ambiental pertinente a REEE tem enfatizado as atividades de reciclagem, permitindo a avaliação da efetividade de políticas, programas e projetos, além de cenários de gestão de resíduos sólidos municipais. Neste sentido destaca-se a ACV (Análise do Ciclo de Vida) como abordagem efetiva na obtenção destes indicadores, a utilidade da ACV e a criação de oportunidades de emprego nos sistemas de gerenciamento de resíduos e enfocam a importância das comunidades locais na coleta de resíduos e sua relação com a taxa de reciclagem. Outro método associado à ACV trata da Análise de Fluxo de Materiais (AFM) associados ao REEE. AFM é uma abordagem contábil baseada no princípio do balanço de massa. Indicadores como a Taxa de Redução de Resíduos e a Razão de Custo-Benefício Ambiental são utilizados na análise (ISMAIL & HANAFIAH, 2021). Abordagens de Tomada de Decisão com Múltiplos Critérios e o Processo de Hierarquia Analítica também se apresentam como ferramentas efetivas para analisar indicadores associados a riscos ambientais (MARINELLO & GAMBERINI, 2021; MAGRINI et al., 2021).

5.2.2 Dimensão Social

A dimensão social na avaliação da gestão de REEE trata do capital humano e está relacionada de forma direta com a aplicação plena dos direitos humanos na busca por uma sociedade com mais coesão social e equidade. Os princípios centrais associados a esta dimensão podem ser sintetizados como:

- a. Melhoria das condições de trabalho e emprego: este princípio trata tanto da concepção e implantação condições no ambiente de trabalho que garantam segurança e higiene, assim como às condições do emprego, resultando em maior motivação, dignidade e respeito (CHAVES, et al., 2019);
- b. Favorecer/integrar os fracos e marginalizados: este princípio trata das soluções voltadas à maior equidade e ética na sociedade, com foco naqueles que por razões de credo, raça, religião, etnia, situação econômica, entre outras, encontram-se em situação desprivilegiada ou fragilizada (CHAVES, et al., 2019);

- c. Melhorar a coesão social: este princípio trata da promoção da construção do tecido social, através do respeito e valorização das diferenças ao mesmo tempo que se desenvolve visões e objetivos comuns;
- d. Valorizar recursos e competências locais: este princípio significa promover e favorecer sistemas, produtos e serviços que permitam a proteção, a regeneração e a valorização dos recursos (materiais, energia, infraestrutura) e competências (CHAVES, et al., 2019);
- e. Promover a educação para a dimensão ambiental da sustentabilidade: este princípio trata do desenvolvimento de soluções que contribuam para o aprendizado sobre a dimensão ambiental da sustentabilidade, junto aos atores ao longo do ciclo de vida de um produto (CHAVES, et al., 2019);
- f. Instrumentalizar o consumo ambientalmente responsável: este princípio trata de instrumentalizar o consumo responsável através da criação e da implementação de soluções (produtos, serviços, sistemas) que permitam organizações e indivíduos tomarem decisões com maior consciência aos respectivos impactos ambientais (CHAVES, et al., 2019).

Indicadores pertinentes à dimensão social de REEE estão em destaque, como observado por Alblooshi et al. (2022). Os temas usualmente contemplados nos indicadores pertinentes a esta dimensão incluem inclusão social, saúde, segurança, entre outros (ANDERSEN, JÆGER , & MISHRA, 2020). Para se obter estes indicadores destaca-se a abordagem da Avaliação Social do Ciclo de Vida (ASCV) de produtos que, conforme proposição do UNEP (2009), contempla a avaliação dos impactos sociais e socioeconômicos ao longo do ciclo de vida de um produto, por meio da observação de toda a cadeia de fornecimento. Como se trata de uma avaliação voltada ao ciclo de vida dos produtos, envolve desde a extração e processamento da matéria-prima, a fabricação, a distribuição, o uso, reutilização, manutenção, o reparo/reuso, até a reciclagem e descarte final.

As implicações sociais de REEE têm repercutido na formulação de indicadores de ESG específicos ao tema. As atividades informais de reciclagem de REEE, envolvendo o desmantelamento manual e a extração de materiais ocorre

frequentemente em condições de trabalho inseguras, expondo os trabalhadores, incluindo as crianças, a substâncias perigosas e aumentando o risco de sofrer efeitos adversos para a saúde, tais como doenças respiratórias, doenças de pele e distúrbios neurológicos (DUMAN & KONGAR, 2023). Indicadores ESG associados à dimensão social de REEE incluem questões como: a) Saúde e Segurança do Trabalhador: Garantir a segurança e o bem-estar dos trabalhadores envolvidos na produção, desmontagem e reciclagem de produtos eletrônicos; b) práticas Trabalhistas: monitoramento de práticas trabalhistas justas, incluindo salários justos, horas de trabalho e adesão às leis e normas trabalhistas; c) responsabilidade da cadeia de fornecimento: avaliam o fornecimento ético e responsável de materiais na cadeia de fornecimento eletrônico, incluindo fornecimento de minerais oriundos de situações de conflito; e) educação do consumidor: promover a conscientização e o consumo responsável de produtos eletrônicos, incluindo informações sobre reciclagem e descarte.

5.2.3 Dimensão Econômica

A dimensão econômica da sustentabilidade refere-se ao desenvolvimento do valor econômico associado ao bem-estar, almejando-se por uma sociedade onde há mais equidade e justiça na distribuição da riqueza. A dimensão econômica da sustentabilidade refere-se, portanto, ao paradigma onde evolução econômica ocorre de forma justa e ética, em conjunção ao desenvolvimento do bem-estar humano, alcançado em harmonia com a natureza (VEZZOLI, SANTOS, SRINIVASA, & KOHTALA, 2018; DALY, 2010; SACHS, 2012; SAMPAIO, et al., 2018; DUARTE, 2022). A seguir são apresentados os princípios centrais na perspectiva contemporânea da “economia verde”:

- a. Fortalecer e valorizar recursos locais: este princípio trata da priorização, sempre que possível, dos recursos locais (matéria-prima, infraestrutura, serviços), contribuindo para que estes recursos alcancem maior vantagem competitiva em relação aos recursos exógenos à região (VEZZOLI, 2010; SACHS, 2012; DUARTE, 2022);

- b. Respeitar e Valorizar a Cultura local: respeitar e valorizar os ativos intangíveis locais trata da atribuição de valor econômico à cultura local de maneira a contribuir à maior equidade econômica e social, envolvendo os atores sociais que dela fazem parte;
- c. Promover a economia local: promover a economia local significa procurar envolver e permitir maior protagonismo dos atores locais na cadeia de valor, contribuindo para a ampliação das oportunidades de renda e fortalecendo o empreendedorismo local;
- d. Promover organizações em rede: este princípio trata de conferir prioridade e incentivo às organizações configuradas ou atuando em rede, contribuindo para elevar o poder de barganha de indivíduos e pequenos negócios locais e, desta forma, possibilitando que se alcance maior equidade econômica;
- e. Valorizar a reintegração de resíduos: este princípio trata do desenvolvimento e implementação de soluções que resultem na conversão de resíduos em ativos econômicos, contribuindo na redução do volume de capital requerido para a exploração de matéria-prima virgem;
- f. Promover a Educação para a Economia Sustentável: este princípio trata do desenvolvimento de competências nas pessoas e organizações que resultem na valorização de práticas orientadas a uma economia “verde”. Este princípio é pautado pelos princípios listados previamente descritos e orientado a estimular hábitos, atitudes e opiniões orientados à cooperação e ao compartilhamento (DUARTE, 2022).

Importante notar que a aplicação destes princípios no processo de gestão de REEE implica em profundas divergências entre a racionalidade econômica ortodoxa (baseada na busca contínua pela eficiência econômica na exploração de recursos) e a racionalidade ecológica (baseada na contenção do consumo de forma a garantir resiliência dos recursos ambientais) (MANZINI; VEZZOLI, 2008; DUARTE, 2022). Ao longo da cadeia de valor e o ciclo de vida do EEE/REEE há diversos indicadores de grande relevância como custo de transporte (ALBLOOSHI et al., 2022), % de atores locais atuantes na cadeia de valor, renda per capita associada a REEE (R\$/pessoa), número de cooperativas envolvidas, % de resíduos reintegrados em novos produtos. A dimensão da governança no âmbito dos indicadores de ESG tem

direta pertinência à dimensão econômica da sustentabilidade. Neste sentido, a governança pode incluir indicadores que avaliam o nível de implementação e cumprimento de regulamentos que promovem a gestão responsável do REEE, como o grau de adesão a políticas de responsabilidade estendida do produtor (EPR) (Duman & Kongar, 2023).

5.3 INDICADORES E DASHBOARD

Um indicador é uma medida, geralmente quantitativa, que pode ser utilizada para ilustrar e comunicar de forma simples o estado de uma variável relevante ao longo do tempo e/ou espaço, fornecendo informações sobre um fenômeno de interesse maior, permitindo realizar comparações e identificar tendências e progressos (PWC, 2017). Fornece, desta forma, informação sobre o estado ou condição de algo, constituindo em instrumentos de apoio à tomada de decisão (LIMA & FORMOSO, 2005). Indicadores simplificam a informação sobre fenômenos complexos (HAMMOND, 1995), sendo um indicador como uma variável relevante para a avaliação de uma política (ASTLEITHNER et al., 2004; DIAS, 2017).

O uso de indicadores integra o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, em seu Art. 19º, parágrafo VI, apontando seu uso como parte do conteúdo mínimo que deve estar presente nos planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos (BRASIL, 2023). No caso específico de REEE, indicadores permitem avaliar e acompanhar o desempenho de sistemas de gestão (DIAS, 2017), apoiando o processo de concepção, planejamento, implementação e monitoramento de planos de gestão e de políticas públicas em nível local, nacional e internacional. O uso de indicadores no monitoramento da eficácia e eficiência de políticas públicas é exemplificado com o caso dos relatórios regulares produzidos pela E-Waste Monitor acerca dos fluxos de REEE na Holanda, conforme descreve o Quadro a seguir.

Quadro 4: A prática de produção do relatório de fluxos de REEE na Holanda.

	<p>E-waste Monitor - Holanda</p> <p>Descrição: Quantifica os fluxos de REEE holandeses de 2018 de maneira comparável ao estudo holandês de fluxos de REEE de 2010. Este relatório apresenta o EEE inserido no mercado (PoM), REEE gerado, a coleta de REEE regulamentada em conformidade e os fluxos de REEE fora do sistema de gerenciamento regulamentado na Holanda.</p> <p>Perfil da organização: Parceria público-privada</p> <p>Website: https://ewastemonitor.info/the-dutch-weee-flows-2020/</p>	
<p>Indicadores usados:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Total de EEE colocados no mercado (PoM) - Total de REEE gerado 		

Fonte: Elaboração própria.

A utilização de indicadores em um sistema de inteligência para REEE é fundamental para avaliar a eficácia das estratégias de gestão, superar barreiras e alavancar incentivos para a transição para uma economia circular. A avaliação de dados, indicadores econômicos, sociais e tecnológicos, bem como o monitoramento de produtos preparados para reutilização, contribuem para uma abordagem abrangente. A reflexão sobre metas e aprimoramentos na responsabilidade estendida do produtor completam a perspectiva sobre o uso de indicadores nesse cenário, Ida Mae de Waal (2023), por exemplo, alerta para os riscos de favorecer a reciclagem em detrimento da reutilização e reparação. Sugerem, também, a proposição de metas mais rigorosas, qualitativas ou relacionadas à reutilização. No caso europeu, os autores apontam a estrutura de metas que prioriza a reciclagem como um obstáculo para uma cadeia de REEE mais circular, impactando a quantidade de resíduos coletados. Ao mesmo tempo, Andersen, Jaeger & Mishra (2020) apontam para a falta de informações disponíveis e diferenças na implementação do tratamento de REEE entre os países como

desafios, reforçando a importância de coleta de indicadores para um processo de tomada de decisão mais efetivo.

A partir dos anos 1980, tem-se desenvolvido indicadores associados à sustentabilidade na gestão de resíduos sólidos. Há uma ampla gama de metodologias, nomenclaturas e formas de medição, o que tem resultado em dificuldades de comparações e categorizações. A seleção de indicadores pode ser avaliada com base em: i) validade (capacidade de medir o que se pretende); ii) confiabilidade (capacidade de reproduzir os mesmos resultados quando aplicado em condições similares); iii) disponibilidade de dados (a existência de protocolos estabelecidos para a coleta dos dados); iv) a relevância (capacidade de responder às prioridades estabelecidas); v) custo de coleta e análise; vi) facilidade de interpretação/compreensão (JANUZZI, 2002; SICHE et al., 2007; PEREIRA & RIBEIRO, 2017).

Indicadores podem apresentar uma aplicação operacional, tática ou estratégica e se apresentarem em linguagem dedicada a um público específico ou para demandas de públicos diversos. No âmbito estratégico são úteis, por exemplo, para avaliar cenários de tratamento de REEE (Ismail e Hanafiah 2021), conforme exemplifica o Quadro a seguir. No âmbito tático podem contemplar indicadores o peso do REEE reciclado e a comparação com as metas setoriais estabelecidas (CONSTANTINESCU, et al., 2022).

Quadro 5: Resíduo Eletrônico Global – Alemanha.

	<p>Resíduo Eletrônico Global - Estatísticas e Fatos - Alemanha</p>	
	<p>Descrição: Statista é uma plataforma global de dados e business intelligence com uma extensa coleção de estatísticas, relatórios e insights sobre mais de 80.000 tópicos de 22.500 fontes em 170 setores. Fundada na Alemanha em 2007, a Statista opera em 13 locais em todo o mundo e emprega cerca de 1.100 profissionais.</p>	

	Website: https://www.statista.com/statistics/632721/e-waste-recycling-denmark/ ; https://www.statista.com/topics/3409/electronic-waste-worldwide/#topicOverview	
Indicadores usados: <ul style="list-style-type: none"> - Geração global de resíduo eletrônico 2010-2019 - Taxas de coleta e reciclagem de resíduo eletrônico em todo o mundo em 2019, por região - Resíduo eletrônico global documentado para ser coletado e reciclado em 2019, por região - Países abrangidos pela legislação, política e regulamentação sobre resíduo eletrônico em todo o mundo 2014-2019 		

Fonte: Elaboração própria.

Contemporaneamente a coleta e análise de dados que culminam em indicadores para a gestão de REEE pode se beneficiar das tecnologias digitais emergentes como Big Data, IoT, Blockchain e Inteligência Artificial. Blockchain, por exemplo, vem sendo discutida como uma forma de aprimorar cadeias de suprimentos circulares, permitindo a troca transparente e rastreável de informações, o que pode melhorar a gestão de resíduos e sistemas de Responsabilidade Estendida do Produtor (REP) (MARINELLO & GAMBERINI, 2021; MAGRINI et al., 2021).

5.3.1 Iniciativas globais voltadas a indicadores de REEE

A história recente de iniciativas internacionais sobre indicadores de REEE remonta ao final dos anos 1990 a partir da **Convenção de Basileia** sobre o Controle dos Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e a sua Eliminação, conforme ilustra a Figura 14. A Convenção de Basileia foi adotada em 1989 e entrou em vigor em 1992, a partir de amplo consenso internacional quanto à necessidade de regulamentação rigorosa da exportação de resíduos perigosos de países industrializados para países em desenvolvimento. Sua implementação passou a ser instrumento para a melhoria do desempenho ambiental na gestão de REEE nos movimentos transfronteiriços (WÄGER et al. 2011). No mesmo período foi implementada a **Convenção de Bamako** (1991), estabelecendo a proibição da importação de resíduos perigosos, incluindo REEE, para África e o controle do seu movimento e manuseio transfronteiriço na África. Esta convenção ampliou os

critérios de classificação dos resíduos como perigosos, incluindo todos aqueles que pertençam a pelo menos uma categoria especificada e não cumulativamente, como na Convenção de Basileia (TATARINOV & SELEDCHIK, 2023).



Figura 14 - Perspectiva Histórica das Principais Iniciativas Globais Associadas a Indicadores de REEE. Fonte: Elaboração própria.

Ambas convenções tem repercutido desde então na implementação de indicadores de monitoramento de seus objetivos como o número de treinamentos para ampliar a consciência e promover o uso sustentável dos recursos; % de países que requerem a separação de resíduos perigosos de não perigosos; % de países que possuem um inventário nacional de resíduos perigosos; % das cadeias de resíduos encaminhadas para reuso ou reciclagem; número de países que apontam redução no volume de resíduos perigosos (UNEP, 2023).

Em 2004 surgiu a iniciativa Solving the E-waste Problem (StEP), como uma plataforma independente e multissetorial para conceber estratégias que abordassem todas as dimensões de REEE. Inicialmente lançada para promover a cooperação internacional no tema, atualmente converteu-se em uma organização, tendo como um de seus focos o desenvolvimento de indicadores de REEE voltados a medir os impactos ambientais e sociais do REEE, bem como para acompanhar o progresso na gestão do REEE. A StEP desenvolveu diretrizes para indicadores de resíduo eletrônico, com foco na quantificação de resíduo eletrônico gerado,

coletado e gerenciado adequadamente (StEP, 2023). Estes indicadores integram uma metodologia para comparar e avaliar a performance das políticas públicas e demais soluções em termos de gestão de REEE nos países parceiros. Na publicação “StEP green paper on e-waste Indicators”, o conjunto de indicadores proposto abrange cinco categorias e 29 indicadores, a maioria tem caráter qualitativo. Seu propósito é de viabilizar uma avaliação de caráter global da implementação da logística reversa de REEE em um país/região (GOSSART, 2011).

Uma das iniciativas contemporâneas mais relevantes no tema é a Parceria Global para Estatísticas de Resíduos Eletrônicos (GESP), criada em 2017 pelo PNUMA, a União Internacional de Telecomunicações (UIT), a Associação Internacional de Resíduos Sólidos (ISWA) e a Universidade das Nações Unidas (UNU). O GESP visa melhorar a disponibilidade e a qualidade dos dados sobre REEE em todo o mundo, incluindo o desenvolvimento de indicadores padronizados sobre REEE, instrumentalizando o monitoramento da evolução do REEE ao longo do tempo. Com isto, a iniciativa busca contribuir para a qualidade do processo de tomada de decisão no tema, melhorando a compreensão e a interpretação dos dados globais sobre o resíduo eletrônico e a sua relação com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). O Global E-waste Monitor 2020 (www.globalewaste.org) é um produto colaborativo da Global E-waste Statistics Partnership (GESP). A iniciativa utiliza a ferramenta “WEEE Calculation” desenvolvida pelo UNU-SCYCLE. Indicadores utilizados incluem média do número de equipamentos per capita de acordo com o PIB; total de REEE gerado globalmente (toneladas); % de REEE coletado e documentado; total de resíduos gerados por tipo de EEE (toneladas); geração resíduos per capita (kg/pessoa); % de países apresentando legislação sobre REEE (FORTI et al., 2020; YUMASHEV & BALDÉ, 2023).

Quadro 6: Caso Global E-Waste Monitor.

	Global E-Waste Monitor	
	Descrição: Possui foco em desenvolvimento de relatórios que apresentem um panorama da geração e fluxos de REEE anualmente no mundo.	
	Perfil da organização: Governamental	
Website: https://ewastemonitor.info/global-e-waste-monitors/		
Indicadores usados: <ul style="list-style-type: none"> - Total de EEE colocados no mercado (PoM) - Total de REEE gerado - REEE oficialmente coletado e reciclado - Taxa de coleta de REEE 		

Fonte: Elaboração própria.

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (2015) das Nações Unidas têm também contribuído para ampliar e consolidar as iniciativas voltadas ao monitoramento de indicadores chave associados ao REEE (vide Quadro a seguir). Destacam-se os indicadores associados ao Objetivo 12, que trata da promoção do consumo e produção responsáveis, como: pegada material (quantidade total de matéria-prima extraída para atender às demandas de consumo final), pegada material per capita e pegada material por PIB; consumo interno de materiais, consumo interno de materiais per capita e consumo interno de materiais por PIB; resíduos perigosos gerados per capita; proporção de resíduos perigosos tratados, por tipo de tratamento; Taxa nacional de reciclagem, toneladas de material reciclado (UN, 2023).

Quadro 7: Indicadores ODS - Nações Unidas.

	<p>Indicadores ODS - Repositório Metadados - Nações Unidas</p> <p>Descrição: Os metadados disponíveis neste repositório são um trabalho em andamento. Reflete as mais recentes informações de metadados de referência fornecidas pelo Sistema das Nações Unidas e outras organizações internacionais sobre dados e estatísticas para os indicadores de Nível I e II no quadro de indicadores globais. Este repositório será atualizado e revisado periodicamente em cooperação com os respectivos compiladores de dados.</p> <p>Website: https://unstats.un.org/sdgs/metadata/ ; https://unstats.un.org/sdgs/metadata/files/Metadata-12-05-01.pdf</p>	
<p>Indicadores usados:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reciclagem de resíduos eletrônicos (toneladas) - Reciclagem de resíduos eletrônicos, taxa (%) - Reciclagem de resíduos eletrônicos, per capita (Kg) 		

Fonte: Elaboração própria.

Atualmente Agências internacionais, como a Organização de Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE), a Organização Mundial da Saúde (OMS), o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e a Divisão de Estatísticas das Nações Unidas (UNSD, Seção de Estatísticas Ambientais) vem coletando dados sobre REEE junto a ministérios, agências e institutos nacionais de estatística, responsáveis pelo monitoramento do REEE. Estas iniciativas têm enfatizado a melhoria na qualidade dos procedimentos de coleta, na comunicação dos resultados na forma de relatórios e no desenvolvimento de indicadores padronizados para medir o efetivo progresso no tema. Estas iniciativas desempenham um papel crucial na sensibilização para os impactos ambientais e sociais de REEE e na orientação de políticas e ações no sentido de práticas mais sustentáveis na gestão de REEE (ADRIAN, et al., 2020).

5.3.2 Avanços da pesquisa sobre indicadores de REEE

Pereira (2018) e Silva et al. (2023) apontam para a pouca difusão do tema “indicadores para REEE” na literatura científica. Dentre os estudos que buscam propor um conjunto de indicadores para a gestão de REEE destaca-se:

- Dias (2017): propôs a partir de pesquisa bibliográfica um grupo de 40 indicadores, agrupados segundo seis dimensões (política/institucional, conhecimento/cobertura, econômica, social, tecnológica, ambiental e ecológica), propondo um índice para avaliação da gestão de resíduos;
- Pereira, Ribeiro e Günther (2017): buscou identificar e analisar comparativamente indicadores de gestão de REEE, propondo 44 indicadores aplicáveis ao contexto brasileiro, organizados em dois grupos (um para avaliação global da situação da implementação da LR de REEE; outro para avaliação da performance dos sistemas de Logística Reversa de REEE);
- Jain e Gurtoo (2019): utilizou 24 indicadores para medição da sustentabilidade nas dimensões ambiental, social e econômica, junto a empresas produtoras de resíduo eletrônico;
- Gavrilcu et al. (2021): propôs um sistema de avaliação da sustentabilidade na gestão de REEE através da metodologia SUSTWEEE que envolve quatro níveis de classificação e um número variado de indicadores;
- Silva et al. (2023): propõe uma matriz de indicadores de sustentabilidade com foco na avaliação do sistema de gerenciamento de REEE em municípios brasileiros. A matriz proposta é composta por 21 indicadores agrupados em cinco dimensões da sustentabilidade: política/institucional, conhecimento/cobertura, econômica, social e ambiental.

Observa-se na literatura, estudos orientados também à formulação de indicadores para etapas específicas do ciclo de vida de REEE. Andersen, Jæger e Mishra (2020) propõem o monitoramento de indicadores acerca da quantidade de produtos

preparados para reutilização ou reciclagem como métrica incentivadora destas mesmas atividades. Troschinetz & Mihelcic (2009) dedicam-se à formulação de indicadores específicos para a etapa de coleta de REEE. Conforme os autores, indicadores que avaliam a eficiência desta coleta, como a taxa de cobertura da coleta em determinada área ou a quantidade de componentes coletados, são relevantes para monitorar o desempenho dos programas que envolvem REEE. Outros indicadores associados a esta etapa do ciclo de vida de REEE são propostos por Cifrian et al. (2012) e incluem: taxa de coleta (kg/capita), fração de EEE colocados no mercado); transporte de REEE (ex: kg/capita); taxa de tratamento por categoria de REEE: quantidades de REEE reutilizados versus a quantidade de reciclados. Da mesma forma, observam-se propostas de indicadores que acompanham a quantidade de resíduos para destinação final, incluindo índice de recuperação de energia por meio da incineração, permitindo avaliar o desempenho da gestão dos resíduos na fase final do ciclo de vida desses produtos (THI et al., 2019).

Destaca-se também que alguns autores se dedicam à formulação de indicadores para atividades específicas pertinentes à gestão do ciclo de vida de REEE. Gómez-Narraro et al. (2017), por exemplo, propõe indicadores de REEE voltados à avaliação do direcionamento das políticas públicas, permitindo estimar as necessidades futuras de tratamento e disposição. Para tanto propõe indicadores que incluem desde a quantidade de resíduos gerados per capita até a proporção de resíduos recicláveis em relação aos resíduos descartados em aterros sanitários (GÓMEZ-NARRARO et al., 2017). De maneira similar, Cifrian et al. (2012) investiga indicadores para avaliação de políticas públicas, com foco na região de Cantabria (Espanha). O estudo sugere a utilização de indicadores como “eco-eficiência na geração de resíduos” (Euros/t)”, “taxas de reciclagem”, “pegada de carbono” (tCO₂e). Este último está associado a políticas de redução da contribuição dos resíduos nas mudanças climáticas através da aplicação de medidas que reduzam o potencial de emissão de gases do efeito estufa.

Finalmente, destaca-se muitos estudos dedicados à definição de protocolos e métricas para o monitoramento de indicadores de REEE. Ibanescu et al. (2018), por exemplo, propõe a utilização da pegada de carbono como abordagem para avaliar o impacto da reciclagem de REEE. Em seu estudo as pegadas de carbono totais nacionais do sistema de gestão de REEE apresentaram valores negativos tendo em vista que a atividade de reciclagem representou uma contribuição significativa em termos de emissões evitadas ou em benefícios ambientais. De fato, geralmente tem-se que usualmente uma contribuição significativa da reciclagem na redução dos valores do indicador de pegada de carbono total associada a REEE. Uma tendência de diminuição deste indicador pode significar que as medidas tomadas e as práticas implementadas são eficientes na diminuição do impacto ambiental de REEE. Indicadores associados à pegada de carbono incluem, por exemplo, a “Pegada de carbono da reciclagem (CO₂e t/ano)” e “Eficiência nas Emissões de Gases de Efeito Estufa (Pegada de Carbono do REEE tratado/quantidade de REEE tratados)”.

5.3.3 Proposições de indicadores para REEE originadas na consulta à literatura

Este primeiro grupo de indicadores tem como origem a literatura nacional e internacional consultada com pertinência específica ao tema REEE, seja via Revisão Bibliográfica Sistemática como Revisão Bibliográfica Assistemática. Conforme mostra o Quadro 8, foram levantados ao todo 84 indicadores, sendo 14 na categoria “desfazimento”, 14 na categoria “economia”, 25 na categoria “reciclagem”, 12 na categoria “reuso” e 18 na categoria “social”.

Quadro 8: Indicadores para REEE levantados a partir da literatura

N	Indicador	Unidade	Categoria	Referência	Fonte de dados
1	Pegada de carbono do desfazimento	CO ₂ e	Desfazimento	Alblooshi et al. (2022)	PCI ⁴
2	Distância de transporte do REEE	km	Desfazimento	Análise documental	Circular Brain
3	Taxa de consumo de EEE/funcionário público	t/funcionário	Desfazimento	Balde et al. (2015)	ComprasNet
4	Grau de conformidade com a legislação ambiental sobre REEE	%	Desfazimento	Bing.ai; Keshavarz-Ghorabae et al. (2022)	Greeneletron
5	Taxa de eficiência do transporte de REEE	km/t	Desfazimento	Alblooshi et al. (2022)	Circular Brain
6	Custo do sistema de coleta de REEE	R\$/t	Desfazimento	Gossart (2011)	CRC
7	Receita total por CRC	R\$/t	Desfazimento	Gossart (2011)	CRC
8	Taxa de redução na geração de REEE	t	Desfazimento	Ismail & Hanafiah, 2021	Greeneletron
9	Número de CRCs com sistema de gestão ambiental	unidades	Desfazimento	Jain & Gurtoo (2019)	CRC
10	Investimento total para implantação de CRC	R\$	Desfazimento	Keshavarz-Ghorabae et al. (2022)	CRC
11	Taxa de coleta por tipo de recolhimento	t	Desfazimento	Malmir, Ranjbar & Eicke (2020)	CRC
12	% de computadores adquiridos com adesão a acordos setoriais	%	Desfazimento	UNSTATS (2023)	ComprasNet
13	Peso total de EEE comercializado no Brasil	t	Desfazimento	UNSTATS (2023)	Greeneletron
14	Número de empresas publicando relatórios de desfazimento	relatórios	Desfazimento	UNSTATS (2023)	Greeneletron
15	Taxa de geração de REEE por habitante	t/habitante	Desfazimento	UNSTATS (2023)	Greeneletron
16	Relevância do REEE no PIB	R\$/t	Economia	Kusch & Hills (2017)	IBGE
17	Custo da desmontagem	R\$	Economia	Alblooshi et al. (2022)	CRC
18	Custo do reparo	R\$	Economia	Alblooshi et al. (2022)	CRC
19	Custos de inspeção/triagem	R\$	Economia	Alblooshi et al. (2022)	CRC
20	Custos de instalação de pontos de coleta de REEE	R\$	Economia	Alblooshi et al. (2022)	Greeneletron
21	Custos total do descarte	R\$	Economia	Alblooshi et al. (2022)	Recicladora
22	Economia com a extensão do ciclo de vida de REEE	R\$	Economia	Alblooshi et al. (2022)	Secretaria de Gestão do Patrimônio
23	Receita das vendas de REEE recondicionado	R\$	Economia	Alblooshi et al. (2022)	CRC
24	Custo do transporte	R\$	Economia	Alblooshi et al. (2022); Marinello & Gamberini (2021)	CRC
25	Taxa de desemprego no município	desempregados/empregados	Economia	Gossart (2011)	IBGE
26	Custo do recondicionamento por computador	R\$/unidade	Economia	Jain & Gurtoo (2019)	CRC
27	Taxa de geração de empregos indiretos	empregos	Economia	Jain & Gurtoo (2019)	CAGED/Receita
28	Taxa de geração de empregos	empregos/toneladas	Economia	Jain & Gurtoo (2019); Keshavarz-Ghorabae et al. (2022); Gossart,	CAGED/Receita

⁴ Programa Computadores para Inclusão.

N	Indicador	Unidade	Categoria	Referência	Fonte de dados
				(2011); Alblooshi et al. (2022)	
29	Custos total de operação do CRC	R\$	Economia	Keshavarz-Ghorabae et al. (2022); Alblooshi et al. (2022)	CRC
30	Pegada hídrica	Litros/toneladas	Reciclagem	Alblooshi et al. (2022)	CRC
31	% de REEE exportado	%	Reciclagem	Balde et al. (2015)	Greeneletron
32	Taxa de REEE coletado de informalmente	kg/pessoa	Reciclagem	Balde et al. (2015)	Greeneletron
33	Taxa de REEE coletado formalmente	kg/pessoa	Reciclagem	Balde et al. (2015)	Greeneletron
34	total de REEE exportados	t/ano	Reciclagem	CETEM	Greeneletron
35	Taxa de circularidade da água	%	Reciclagem	Circular Transition Indicators v4.0	CRC
36	Taxa de desvios de REEE para o setor informal	%	Reciclagem	Gossart (2011)	Greeneletron
37	Número de itens encaminhados para reciclagem	unidades	Reciclagem	Gossart (2011)	CRC
38	Taxa de produtos colocados no mercado interno - PoM (Put on Market)	computadores/ano	Reciclagem	Gossart (2011); National WEEE Register (2023); Balde et al. (2015)	Greeneletron
39	% utilização de matéria prima reciclada em novos produtos	%	Reciclagem	Jain & Gurtoo (2019)	ComprasNet
40	Custo da reciclagem	R\$/t	Reciclagem	Jain & Gurtoo (2019)	Recicladora
41	Taxa de emissões de gases de efeito estufa	CO2	Reciclagem	Jain & Gurtoo (2019); scite.ai	PCI
42	Geração de resíduos sólidos secundários	t	Reciclagem	Keshavarz-Ghorabae et al. (2022)	Recicladora
43	Índice de Poluição sonora	decibéis	Reciclagem	Keshavarz-Ghorabae et al. (2022)	Greeneletron
44	Taxa de geração de água residual	Litros/toneladas	Reciclagem	Keshavarz-Ghorabae et al. (2022)	Recicladora
45	Taxas de exportação para reciclagem	%	Reciclagem	National WEEE Register (2023)	Greeneletron
46	Eficiência energética da reciclagem	MWatts/t	Reciclagem	National WEEE Register (2023)	CRC
47	Taxa de reciclagem	%	Reciclagem	National WEEE Register (2023); Spoann et al. (2019); UNSTATS (2023); Jain & Gurtoo (2019)	Circular Brain
48	Cargas ambientais evitadas com a reciclagem	t	Reciclagem	Nelen et al. (2014)	PCI
49	Taxa de recuperação de materiais críticos	t/mês	Reciclagem	Nelen et al. (2014)	Recicladora
50	% de materiais críticos presentes no REEE	%	Reciclagem	Nelen et al. (2014); Circular Transition Indicators v4.0 (2023)	Recicladora
51	Taxa de recuperação de materiais na reciclagem	%	Reciclagem	Silva (2021)	Recicladora
52	Payback do investimento em reciclagem	anos	Reciclagem	Silva (2021)	CRC
53	Número de empresas de reciclagem ou gerenciadoras de REEE	empresas	Reciclagem	Silva (2021); CETEM/MCTI (2023)	Receita
54	Taxa de descarte correto	%	Reciclagem	Spoann et al. (2019)	Greeneletron
55	Facilidade de desmontagem	%	Reuso	Alblooshi et al. (2022)	Circular Brain

N	Indicador	Unidade	Categoria	Referência	Fonte de dados
56	Índice de Reparabilidade	%	Reuso	Alblooshi et al. (2022); Flipsen et al. (2016)	CRC
57	Redução na pegada de carbono	CO2e	Reuso	Circular Transition Indicators v4.0 (2023)	PCI
58	Taxa de Reuso	%	Reuso	De Waal (2023); National WEEE Register (2023); Spoann et al. (2019)	Circular Brain
59	Ecoeficiência do reuso	R\$/CO2e	Reuso	Ismail & Hanafiah (2021)	PCI
60	Número de reclamações	unidades	Reuso	Jain & Gurtoo (2019)	PCI
61	Tempo de vida útil do REEE até o desfazimento	anos	Reuso	KASPER et al. (2011); ZHANG et al. (2012); ONGONDO et al. (2015); OLIVEIRA (2016); KUMAR et al. (2017); FETANAT et al. (2021)	Secretaria do Patrimônio
62	Densidade das operações da planta do CRC	t/m2	Reuso	Keshavarz-Ghorabae et al. (2022)	CRC
63	Número de prestadores de serviço de reparo de EEE	empresas	Reuso	Silva (2021)	Receita
64	Total de adesões ao sistema de logística reversa de REEE	empresas	Reuso	Silva (2021)	Greeneletron
65	Número de estabelecimentos que comercializam EEE de segunda mão	lojas	Reuso	Silva (2021)	Receita
66	Taxa de satisfação do usuário	%	Reuso	Spoann et al. (2019)	PCI
67	% de pessoas vulneráveis capacitadas	%	Social	Alblooshi et al. (2021)	CRC
68	Número de cursos oferecidos pelo CRC	cursos	Social	Alblooshi et al. (2022)	CRC
69	Taxa de trabalhadores em situação vulnerável atuando no CRC	peessoas	Social	Alblooshi et al. (2022)	CRC
70	% de resíduos que são destinados para cooperativas	%	Social	Decreto 11.414/2023	CRC
71	Cidadãos que percebem como positiva a percepção da gestão de REEE	%	Social	Gossart (2011)	BI/PCI
72	Densidade Populacional	peessoas/km2	Social	Gossart (2011)	IBGE
73	População total no município	peessoas	Social	Gossart (2011)	IBGE
74	Taxa de acidentes ocupacionais relacionados ao gerenciamento de REEE	acidentes/dia	Social	Gossart (2011)	CRC
75	Taxa de participação do setor informal	%	Social	Gossart (2011)	CRC
76	Grau de conformidade a padrões de saúde e segurança	%	Social	Gossart (2011); Jain & Gurtoo (2019); Silva (2021); Keshavarz-Ghorabae et al. (2022)	SIT/MT
77	Número total de vagas ofertadas para os cursos do CRC	vagas/ano	Social	Jain & Gurtoo (2019)	CRC
78	Número total de colaboradores	peessoas	Social	Jain & Gurtoo (2019)	CRC
79	Proporção de colaboradores mulheres	%	Social	Jain & Gurtoo (2019)	CRC
80	Taxa de absenteísmo devido a doenças	dias	Social	Jain & Gurtoo (2019)	CRC
81	Percepção positiva quanto à governança da gestão dos REEE	%	Social	Silva (2021)	BI/PCI
82	Recursos alocados para ações de treinamento e educação	R\$	Social	Silva (2021); Jain & Gurtoo (2019)	CRC

N	Indicador	Unidade	Categoria	Referência	Fonte de dados
83	Taxa de inclusão digital	computador/pessoa	Social	Spoann et al. (2019); Gossart, 2011	IBGE
84	Número total de alunos	alunos	Social	UNSTATS (2023)	CRC

Fonte: Elaboração própria.

5.3.4 Proposições de indicadores REEE oriundas dos workshops internos

Este segundo grupo de indicadores tem como origem em dois workshops internos realizando com a equipe de pesquisadores do NDS/UFPR. Foram levantados ao todo 40 indicadores, distribuídos nas categorias “social” (12), “econômica” (12), “desfazimento” (6), “reciclagem” (5) e “reuso” (5). Note-se que a proposição destes indicadores leva em conta o perfil das demandas do Programa de Computadores para Inclusão assim como os conceitos de ciclo de vida do REEE e as implicações das heurísticas da sustentabilidade em suas três dimensões, Quadro 9.

Quadro 9: Indicadores para REEE propostos a partir dos workshops internos da equipe de pesquisa.

N	Indicador	Unidade	Categoria	Origem	Fornecedor
1	% de resíduos com origem federal	%	Desfazimento	Workshops	CRC
2	Pegada ecológica do desfazimento	gha/R\$	Desfazimento	Workshops	PCI
3	% de resíduos com origem estadual	%	Desfazimento	Workshops	CRC
4	% de resíduos com origem municipal	%	Desfazimento	Workshops	CRC
5	Taxa de REEE para desfazimento por funcionário público	t/funcionários	Desfazimento	Workshops	Secretaria do Patrimônio
6	Total de funcionários públicos	funcionários	Desfazimento	Workshops	Ministério do Planejamento
7	% Aumento de CRC's por ano	%	Economia	Workshops	PCI
8	Custo do processo de reciclagem de REEE	R\$	Economia	Workshops	Reciclador
9	Número de empresas fundadas por egressos	empresas	Economia	Workshops	Receita
10	% de egressos empregados	alunos	Economia	Workshops	CAGED/Receita
11	% de aumento de renda média após capacitação	%	Economia	Workshops	CAGED/Receita
12	Renda média dos alunos	R\$/mês	Economia	Workshops	CAGED/Receita
13	Eficiência econômica da reciclagem	R\$/tonelada	Economia	Workshops	CRC
14	Quantidade de CRCs	CRCs	Economia	Workshops	PCI
15	Total de alunos por gênero	alunos	Economia	Workshops	CRC
16	Total de egressos	alunos	Economia	Workshops	CRC
17	Número de empregos gerados associados a REEE	empregos	Economia	Workshops	CAGED/Receita
18	PIB Brasileiro	R\$	Economia	Workshops	IBGE
19	Tempo de processamento dos resíduos no CRC (triagem e separação para descarte)	Horas	Reciclagem	Workshops	CRC
20	Faturamento gerado da venda para reciclagem	R\$	Reciclagem	Workshops	CRC
21	Quantidade de água utilizada	l/mês	Reciclagem	Workshops	CRC

N	Indicador	Unidade	Categoria	Origem	Fornecedor
22	Pegada ecológica da fase de reciclagem de REEE	gha	Reciclagem	Workshops	PCI
23	Quantidade de materiais críticos presentes no REEE	t	Reciclagem	Workshops	Recicladora
24	% de computadores oriundos no desfazimento em bom estado de conservação	%	Reuso	Workshops	CRC
25	Custo total do condicionamento	R\$/computador	Reuso	Workshops	CRC
26	Número de HDs substituídos nos CRCs	unidades	Reuso	Workshops	CRC
27	Produtividade das operações de reparo de computadores	computadores/CRC	Reuso	Workshops	Circular Brain
28	Pegada ecológica da fase de uso do EEE	gha	Reuso	Workshops	PCI
29	Número de computadores adaptados para pessoas com necessidades especiais	Computadores	Social	Workshops	CRC
30	% centros comunitários com acesso a computadores no município	%	Social	Workshops	Prefeituras
31	% de instituições de ensino com acesso à internet	%	Social	Workshops	Prefeituras
32	% de pessoas com acesso à internet no município	%	Social	Workshops	IBGE
33	Taxa de crescimento do número de organizações parceiras	%	Social	Workshops	PCI
34	Idade média de alunos de cursos de capacitação	anos	Social	Workshops	CRC
35	Quantidade de alunos de CRC matriculados no ensino médio	alunos	Social	Workshops	CRC
36	% de alunos desistentes	%	Social	Workshops	CRC
37	Número de professores por CRC	professores	Social	Workshops	CRC
38	Número de municípios atendidos pelo desfazimento	municípios	Social	Workshops	CRC
39	Número de estados atendidos pelo desfazimento	estados	Social	Workshops	CRC
40	Número total de participantes em eventos do CRC	pessoas	Social	Workshops	CRC

Fonte: Elaboração própria.

5.3.5 Proposições de indicadores REEE originadas em documentos e entrevistas

Este terceiro grupo de indicadores tem como origem documentos e entrevistas com especialistas e atores da rede vinculados direta ou indiretamente ao Programa Computadores para a Inclusão. Foram levantados ao todo 19 indicadores distribuídos nas categorias “desfazimento” (6), “reciclagem” (4), “reuso” (7) e “economia” (2). Importante notar que alguns destes indicadores foram também apontados pela literatura. O número menor de indicadores obtidos a partir das entrevistas quando comparado com a totalidade de indicadores de REEE levantados neste estudo permite inferir que há ainda baixa intensidade de sua utilização no cotidiano do setor.

Quadro 10: Indicadores para REEE levantados a partir das entrevistas

N	Indicador	Unidade	Categoria	Origem	Fornecedor
1	Peso de REEE por fabricante	t	Desfazimento	Entrevistas	Circular Brain
2	% de REEE por tipo de acondicionamento	%	Desfazimento	Entrevistas	CRC
3	Peso do REEE de desfazimento	t/mês	Desfazimento	Entrevistas	Circular Brain
4	Número de Pontos de Entrega Voluntária (PEVs)	Unidade	Desfazimento	Entrevistas; (Silva, 2021)	Greeneletron
5	Quantidade de EEE encaminhados para desfazimento	unidades	Desfazimento	Entrevistas	Secretaria de Gestão do Patrimônio
6	Número de computadores oriundos de desfazimento	computadores	Desfazimento	Entrevistas	CRC
7	Custo do REEE por tipo de destinação	R\$/tonelada	Reciclagem	Entrevistas	CRC
8	Preço do REEE por tipo de material	R\$/tonelada	Reciclagem	Entrevistas	CRC
9	% de item encaminhados para reciclagem por empresa	t/empresa	Reciclagem	Entrevistas	Circular Brain
10	Peso dos itens encaminhados para reciclagem	t	Reciclagem	Entrevistas	Circular Brain
11	Leadtime para recondicionamento	horas	Reuso	Entrevistas	CRC
12	Peso dos itens encaminhados para reuso	t	Reuso	Entrevistas	CRC
13	Peso estocado por categoria de REEE	t	Reuso	Entrevistas	Circular Brain
14	Número de itens encaminhados para reuso	unidades	Reuso	Entrevistas	CRC
15	Quantidade total de REEE estocado	t	Reuso	Entrevistas	Circular Brain
16	tempo de desmontagem	dias (decimal)	Reuso	Entrevistas	Circular Brain
17	% de resíduo descaracterizado	%	Reuso	Entrevistas	Circular Brain
18	Total de recursos aportados aos CRCs	R\$/ano	Economia	Documentos	PCI
19	Total de recurso aportado por CRC	R\$/ano	Economia	Documentos	PCI

Fonte: Elaboração própria.

5.3.6 Proposições de indicadores REEE originadas na interação com inteligência artificial

Este quarto grupo de indicadores tem como origem a interação com plataformas de inteligência artificial de acesso público. Foram levantados ao todo 31 indicadores identificados exclusivamente através da I.A., distribuídos nas categorias “social” (6), “economia” (2), “desfazimento” (13) e “reciclagem” (10). As plataformas de inteligência artificial utilizadas para a formulação destas proposições incluem: ChatGPT, Chat-IA - Bing, Chat D-ID, AgentGPT, Literallyanything e Ora.sh, scite.ai. Salienta-se que muitos dos indicadores apontados nas seções anteriores deste relatório também foram apontados nas plataformas de I. A. consultadas.

Quadro 11: Indicadores para REEE levantados a partir da interação com inteligência artificial

N	Indicador	Unidade	Categoria	Origem	Fornecedor
1	Capacidade da planta de reciclagem	t/dia	Reciclagem	agentgpt	CRC
2	Índice de distribuição geográfica das empresas recicladoras de REEE	unidades/km2	Economia	agentgpt	Receita
3	Taxa de recuperação de materiais perigosos	t	Reciclagem	agentgpt	Recicladora
4	Eficiência energética dos equipamentos de reciclagem de REEE	MWatts/t	Reciclagem	agentgpt	CRC
5	Índice de inclusão de catadores informais	t/pessoa	Social	agentgpt	CRC
6	Taxa de conformidade regulatória em saúde e segurança	%	Desfazimento	agentgpt	SIT/MT
7	Número de aparelhos eletrônicos vendidos ao governo por ano	unidades	Desfazimento	chat d-id	ComprasNet
8	Número de multas emitidas por descarte inadequado de REEE	unidades	Desfazimento	chat d-id	MMA
9	Taxa de redução na geração de REEE	%	Desfazimento	chatgpt	Circular Brain
10	% de fabricantes cadastrados em acordos setoriais	empresas	Desfazimento	chatgpt	Greeneletron
11	% produtores que atendem às obrigações de EPR	empresas	Reciclagem	chatgpt	Greeneletron
12	Densidade da rede de coleta	unidade/habitante	Desfazimento	chatgpt	Greeneletron
13	Grau de aplicação de princípios de ecodesign nos EEEE licitados	%	Desfazimento	chatgpt	ComprasNet
14	Taxa de desfazimento	unidades/mês	Desfazimento	chatgpt	Circular Brain
15	Número de casos de exportação ilegal evitados	unidades	Reciclagem	chatgpt	Greeneletron
16	Orçamento Alocado para Gestão de REEE	R\$	Desfazimento	chatgpt	PCI
17	Taxas de utilização dos PEVs	t/PEV	Desfazimento	chatgpt	Greeneletron
18	Volume de contribuições financeiras dos fabricantes	empresas	Economia	chatgpt	Greeneletron
19	Número de ações legais tomadas por não conformidade dos CRCs	unidades	Social	chatgpt	CNJ
20	Número de campanhas de conscientização pública	unidades	Desfazimento	chatgpt; ora.ai; chatgpt; agentgpt	CRC
21	Taxa de coleta diária de REEE do desfazimento	t/dia	Desfazimento	ora.ai	Circular Brain
22	Número de dias sem acidentes no CRC	dias	Social	ora.ai	CRC
23	Número de treinamentos oferecidos aos colaboradores dos CRCs	horas/colaborador	Social	ora.ai	CRC
24	Taxa de uso de equipamentos de proteção individual (EPIs)	horas/colaborador	Social	ora.ai	CRC
25	Total de REEE coletado no Brasil	t	Reciclagem	ora.ai; agentgpt	Greeneletron
26	Consumo de energia na reciclagem	MWatts	Reciclagem	scite.ai	CRC
27	Número de fabricantes com adesão a programas de EPR	empresas	Reciclagem	scite.ai	Greeneletron
28	Volume gerado de REEE	m3	Reciclagem	scite.ai	Greeneletron
29	Taxa de substituição de EEE	anos/computador	Desfazimento	scite.ai	Secretaria do Patrimônio
30	Número de visitas no site dos CRCs	visitas	Social	scite.ai	CRC

N	Indicador	Unidade	Categoria	Origem	Fornecedor
31	% de recicladores em conformidade com regulamentos	%	Reciclagem	scite.ai; ora.ai; chatgpt	Greeneletron

Fonte: Elaboração própria.

5.3.7 Síntese Visual de uma Cesta de Indicadores para REEE

5.3.7.1 Visão Geral

O estudo levantou um total de 174 indicadores pertinentes a diversos aspectos e dimensões da gestão do ciclo de vida de REEE. Deste total, 48% tiveram como origem a literatura, nacional e internacional e 23% tiveram como origem os dois workshops de criação realizados pela equipe de pesquisa, conforme mostra a Figura 15. As entrevistas realizadas possibilitaram compreender que o repertório de indicadores constantes neste relatório claramente representa repertório para além da prática presente no setor. Parcela destes indicadores trazem, portanto, uma perspectiva de longo prazo para a gestão do Programa Computadores para Inclusão, constituindo em repositório a ser revisitado ao longo do tempo.

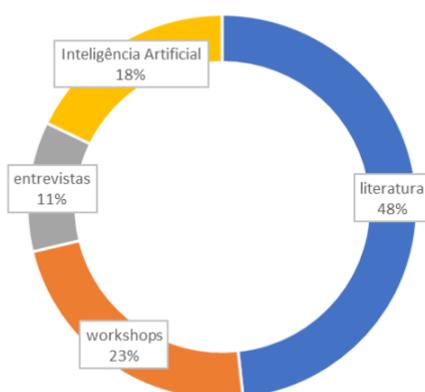


Figura 15 - Distribuição dos indicadores de acordo com sua origem no estudo.
Fonte: Elaboração própria.

Esta “cesta” de indicadores foi elaborada propositalmente de forma ampla com o intuito de instrumentalizar o programa a longo prazo no aperfeiçoamento de seu sistema de gestão, acompanhamento e avaliação.

5.3.7.2 Amostra de indicadores para uma perspectiva de curto prazo

A Figura 16 representa uma síntese visual de parcela dos indicadores propostos sob uma perspectiva de implantação a curto prazo e leva em conta os resultados das entrevistas, priorizando-se aqueles indicadores que apresentam possibilidade imediata de coleta, com relativo baixo custo de implantação ou de adoção de novos procedimentos de gestão. Este arranjo de curto prazo é pautado pela política presente bem como as práticas cotidianas dos parceiros CRC. Este cenário de curto prazo integra 26 indicadores, sendo 10 indicadores primários (cor verde), 10 secundários (cor amarela) (indicadores secundários são derivados dos indicadores primários) e 6 terciários (sem cor) (derivados dos indicadores primários e secundários). O conjunto de indicadores estão distribuídos de acordo com os cinco campos do dashboard identificados nos workshops de criação: reciclagem, desfazimento, reuso, social e econômico.

CURTO PRAZO

(26 indicadores)

10 indicadores primários/10 indicadores secundários/6 indicadores terciários

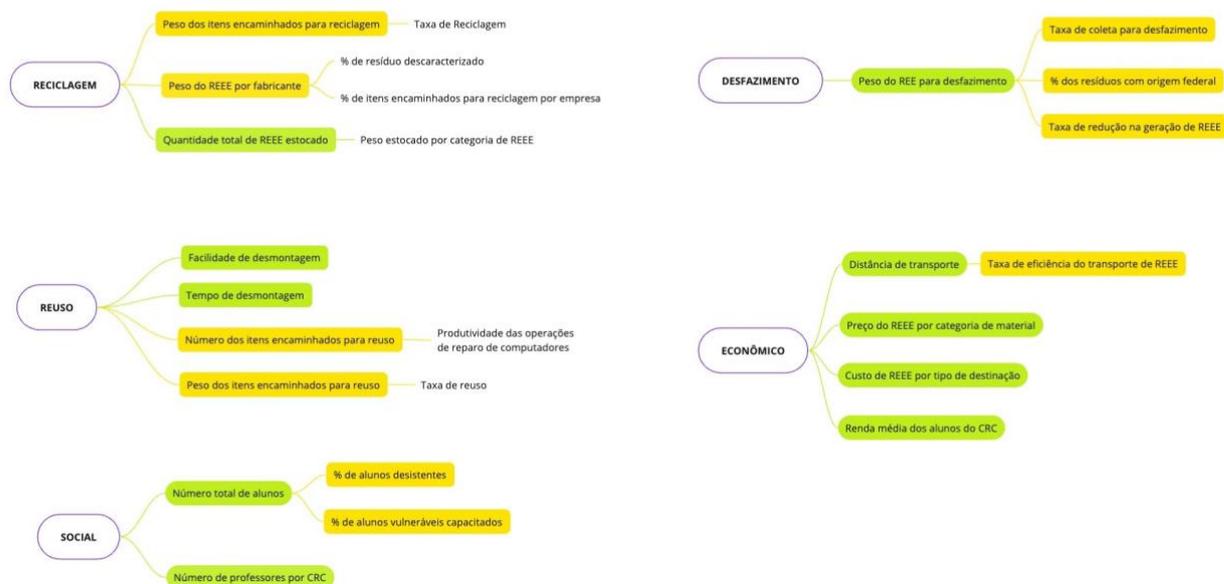


Figura 16 - Arranjo de parcela dos indicadores sob uma perspectiva de curto prazo. Fonte: Elaboração própria.

A figuras a seguir apresentam em escala maior cada uma das dimensões dos indicadores neste cenário de curto prazo para o dashboard.



Figura 17 - Indicadores curto prazo para a categoria Reciclagem. Fonte: Elaboração própria.



Figura 18 - Indicadores curto prazo para a categoria Desfazimento. Fonte: Elaboração própria.

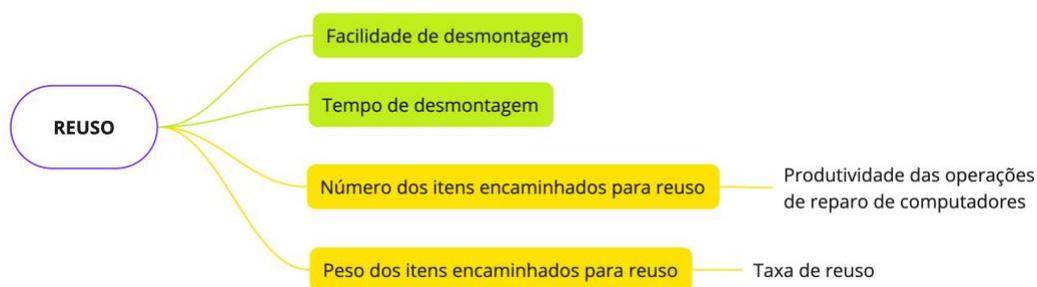


Figura 19 - Indicadores curto prazo para a categoria Reuso. Fonte: Elaboração própria.



Figura 20 - Indicadores curto prazo para a categoria Social. Fonte: Elaboração própria.



Figura 21 - Indicadores curto prazo para a categoria Econômico. Fonte: Elaboração própria.

5.3.7.3 Amostra de indicadores para uma perspectiva de médio prazo

Considerando o resultado das entrevistas quanto à plausibilidade, viabilidade e relevância de um conjunto maior de indicadores, contemplando um universo de aspectos maior na gestão do REEE, elaborou-se um cenário de médio prazo, ilustrado na Figura 22. Alguns destes indicadores necessitam de novos procedimentos para a coleta de dados, ajustes nos sistemas de gestão de dados/informações, além de capacitação de pessoal. Este cenário utiliza um total de 49 indicadores, distribuídos entre 29 indicadores primários, 16 secundários (derivados dos primários) e 6 terciários (derivados dos primários e secundários). Assim como no cenário de curto prazo aqui também são utilizados os cinco campos do dashboard: reciclagem, desfazimento, reuso, economia e social.

MÉDIO PRAZO

49 indicadores

(29 indicadores primários/ 16 indicadores secundários / 6 indicadores terciários)

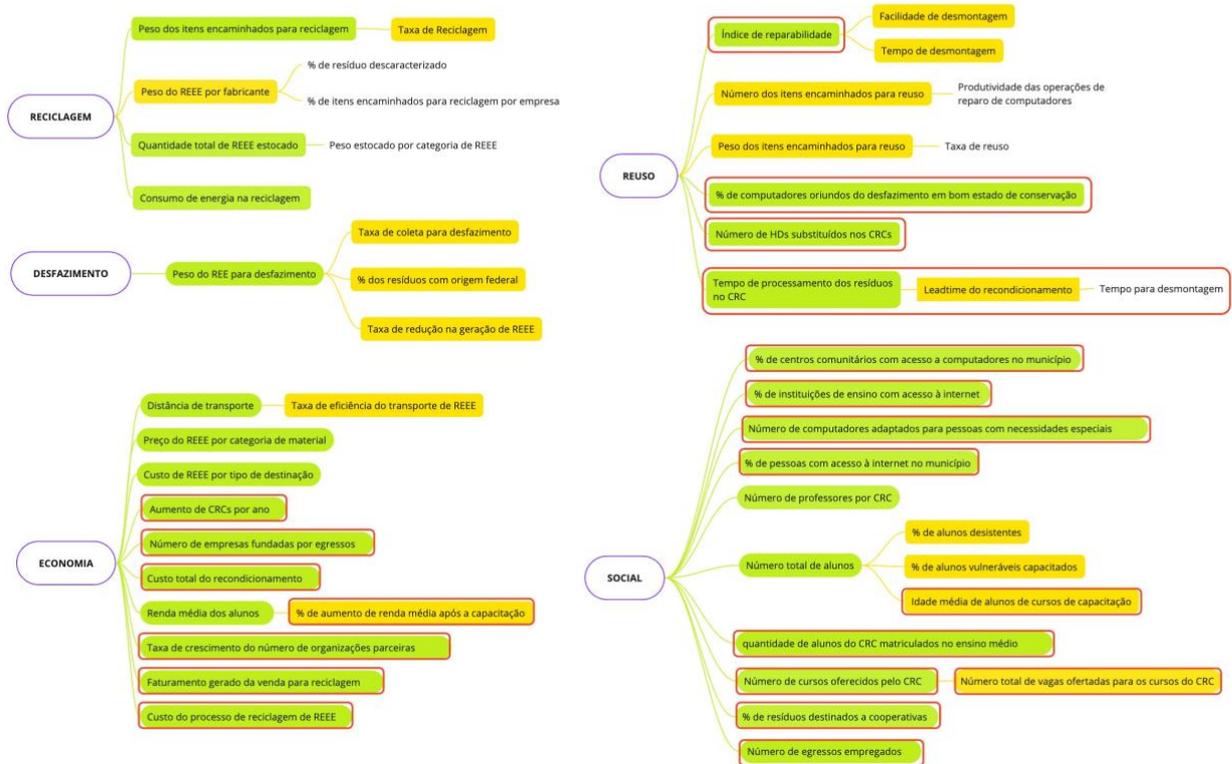


Figura 22 - Arranjo de parcela dos indicadores sob uma perspectiva de médio prazo. Fonte: Elaboração própria.

Neste cenário a médio prazo as categorias reciclagem e desfazimento continuam com os mesmos indicadores, ou seja, não há acréscimo em relação ao curto prazo. Conforme ilustram as próximas figuras, os indicadores com borda vermelha são aqueles também presentes no cenário de curto prazo.

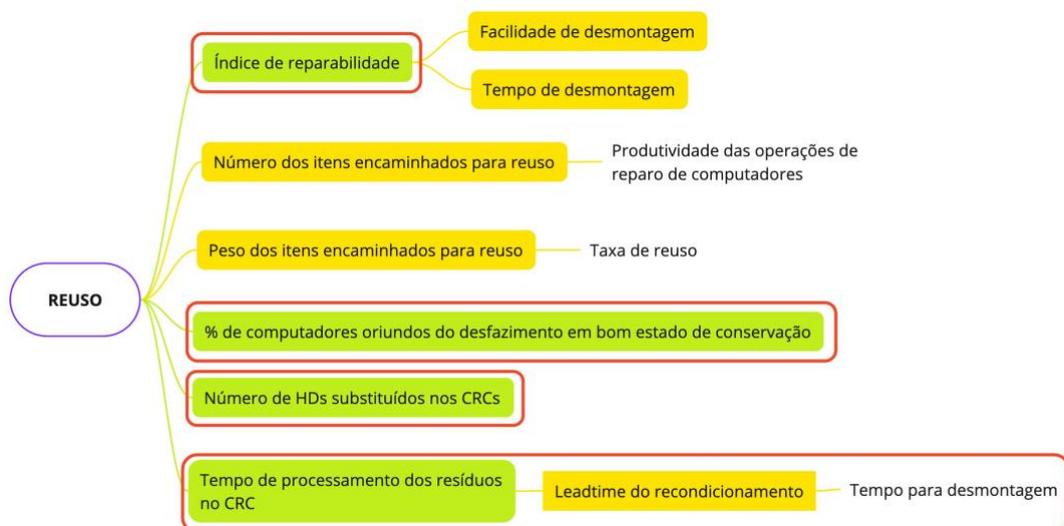


Figura 23 - Indicadores médio prazo para a categoria Reuso. Fonte: Elaboração própria.



Figura 24 - Indicadores médio prazo para a categoria Social. Fonte: Elaboração própria.

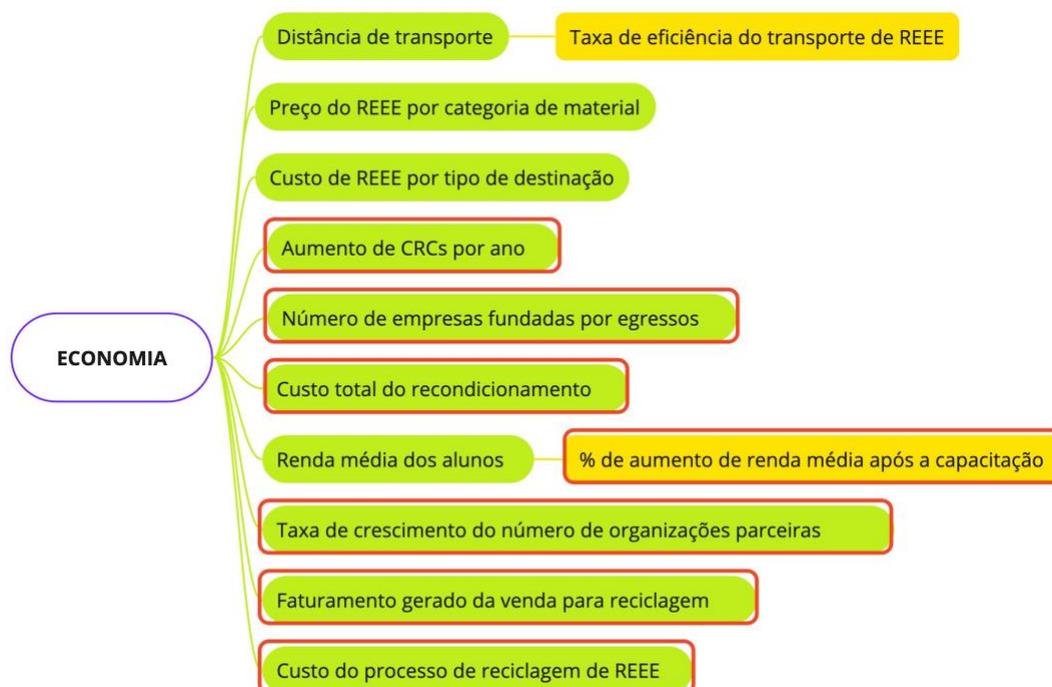


Figura 25 - Indicadores médio prazo para a categoria Economia. Fonte: Elaboração própria.

5.3.8 Uma proposta de dashboard

Com objetivo de apresentar os indicadores aos interessados (gestores e técnicos do governo, cidadão, atores do sistema dentre outros) são expostas na sequência propostas de painéis gráficos integrados (dashboards).

A arquitetura da informação que direciona a organização dos painéis é mostrada na Figura 26.

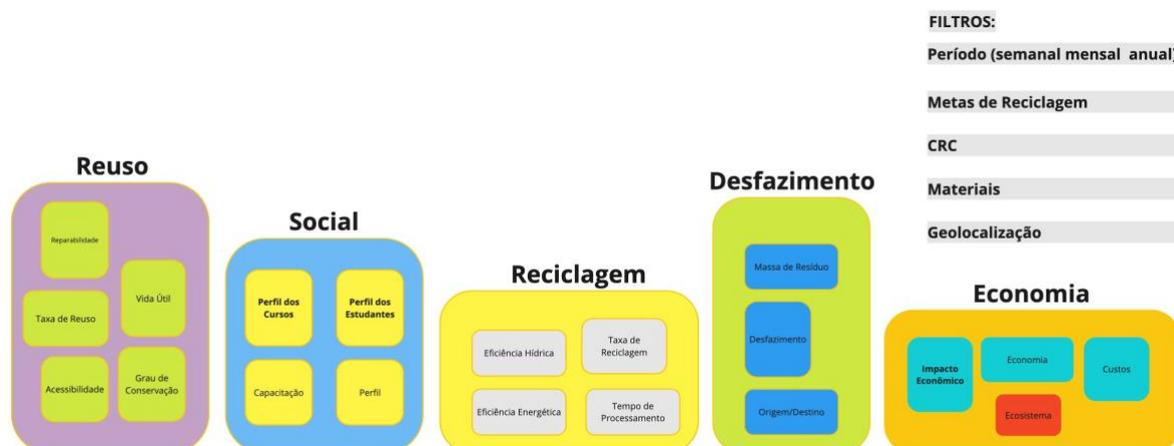


Figura 26 - Arquitetura de visões para a proposta de painéis de informação.
 Fonte: Elaboração própria.

O protótipo atual está voltado para o ator gestor e técnico de governo, que tem acesso à todas as dimensões e indicadores. Derivados dessa proposta podem ser construídos painéis direcionados para gestão do Programa Computadores para a Inclusão, acompanhamento e avaliação do Programa, visão do cidadão e visão de atores do sistema.

5.3.8.1 Visão Geral

Os painéis de visualização ilustrados a seguir foram criados no programa “Figma”, com base no infográfico presente no site do Ministério das Comunicações. Foi feita uma pesquisa imagética de dashboards e utilização do ChatGPT para gerar números fictícios.



Figura 27 - Visualização do Dashboard para o Curto Prazo. Fonte: Elaboração própria.

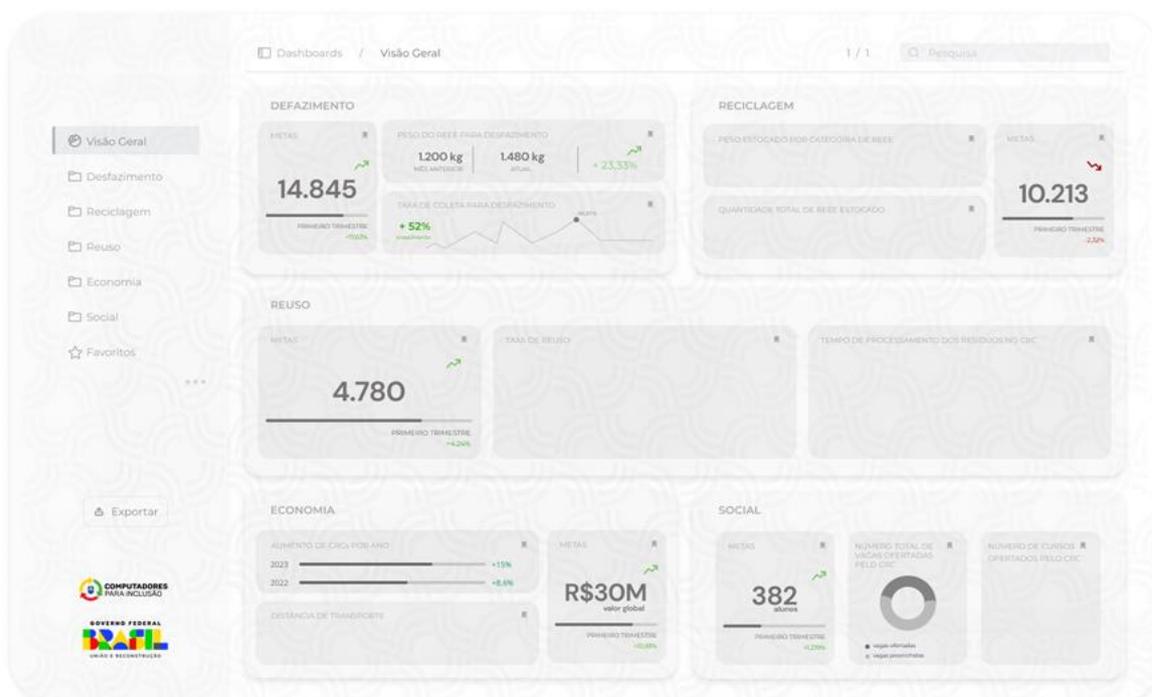


Figura 28 - Visualização da Aba de “Visão Geral” do Dashboard. Fonte: Elaboração própria.



Figura 29 - Visualização da Aba “Desfazimento” do Dashboard. Fonte: Elaboração própria.



Figura 30 - Visualização da Aba “Economia” do Dashboard. Fonte: Elaboração própria.

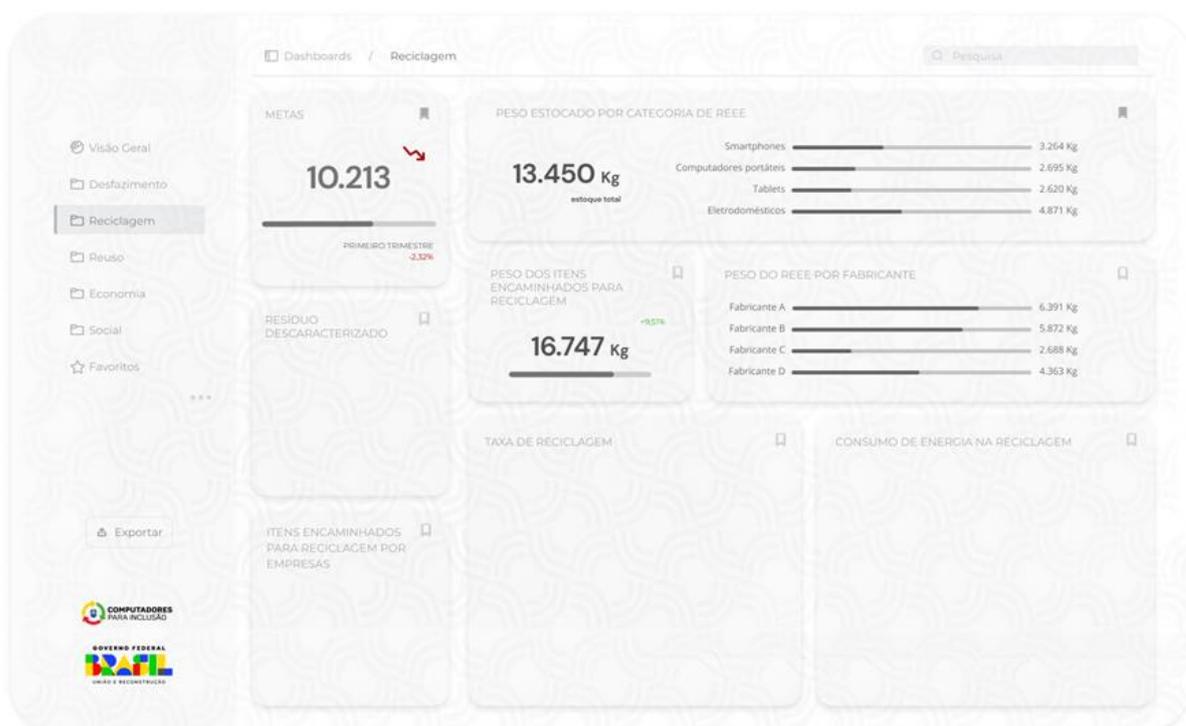


Figura 31 - Visualização da Aba “Reciclagem” do Dashboard. Fonte: Elaboração própria.

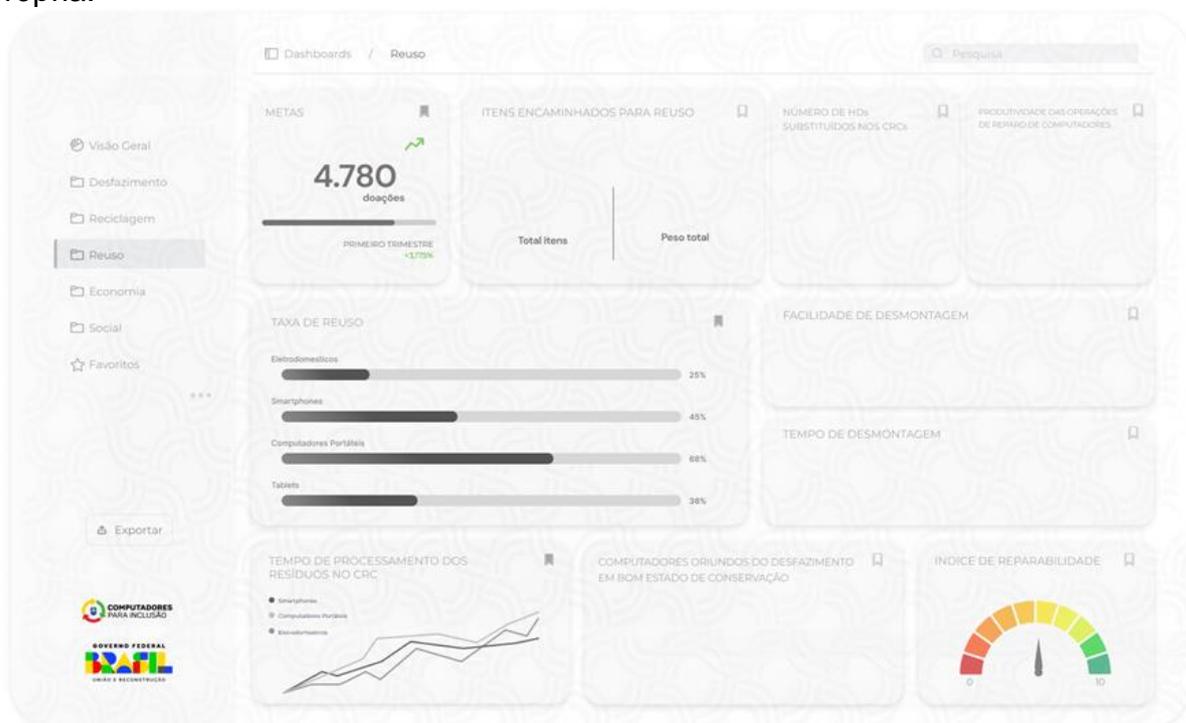


Figura 32 - Visualização da Aba “Reuso” do Dashboard. Fonte: Elaboração própria.



Figura 33 - Visualização da Aba “Social” do Dashboard. Fonte: Elaboração própria.

5.4 APOIO AUTOMATIZADO PARA GESTÃO E ACOMPANHAMENTO

O mecanismo proposto para a obtenção cotidiana de insumos para a realização do acompanhamento e controle foi uma plataforma dotada de capacidade para gerenciamento da operação realizada nos CRC.

Além da plataforma foi proposto um módulo que permitisse aos gestores do programa gerenciar, acompanhar e controlar toda a operação.

Foram estudadas duas formas de obtenção da plataforma digital de gestão de manufatura reversa e acompanhamento de tratamento de resíduos eletroeletrônicos.

Numa das formas tratou-se de levantar a viabilidade de desenvolvimento de uma plataforma a partir do zero e para tanto foram contatadas algumas instituições visando à obtenção de propostas técnicas e de preço. Esta primeira abordagem se mostrou inviável em função dos requerimentos de investimento e tempo para o desenvolvimento da solução.

A alternativa foi a busca de soluções disponíveis no mercado que atendessem aos requisitos do projeto, ou seja, que garantisse o apoio automatizado para produção de informação gerencial e estratégica para o programa.

Vale ressaltar que a estrutura operacional do programa Computadores para Inclusão é formada pela rede de CRC e as atividades desenvolvidas estão subordinadas diretamente à norma ABNT NBR 16156:2013 que estabelece requisitos para proteção ao meio ambiente e para o controle dos riscos de segurança e saúde no trabalho na atividade de manufatura reversa de resíduos eletroeletrônicos e é aplicável a organizações que realizam atividades de manufatura reversa de resíduos eletroeletrônicos. A norma também estabelece controles previstos na legislação quanto a saúde segurança e processos, bem como previsões legais sob aspectos ambientais e de saúde pública. Esses controles são a base de onde se extrai a informação para avaliação dos atores envolvidos e seus respectivos processos de trabalho em relação à conformidade legal, viabilizando dessa forma mecanismo para prover segurança jurídica para o programa e mitigação do risco solidário.

A identificação de uma solução de mercado também foi pautada nos requisitos apresentados no Caderno de Requisitos (CGEE, 2023), parte dos produtos resultantes deste projeto.

No processo de busca por soluções disponíveis no mercado foi levantada a disponibilidade de fornecedores com aplicações voltadas à logística reversa e reciclagem em específico resíduos eletroeletrônicos.

Dentre as empresas levantadas foram localizadas e estudadas as seguintes soluções:

- Sistema para Gerenciadora de Resíduos - SISGR: Trata-se de um ERP *Cloud* voltado a empresas gerenciadoras de resíduos que coletam, transportam e fazem a gestão do resíduo até sua destinação final. O sistema foi criado em 2016, tendo por foco facilitar os processos operacionais da gerenciadora de resíduos, proporcionando a integração da operação desde a solicitação de coleta ao Certificado de Destinação Final. O SISGR é dotado

de oito módulos que possuem funcionalidades específicas atendendo as necessidades das áreas fiscal, comercial, financeira, reciclagem, atendimento ao cliente e operacional. Não foi identificada funcionalidade específica para tratamento de resíduos eletrônicos.

- Green Plant: É uma plataforma ESG (*Environmental, Social and Corporate Governance*) com funcionalidades de rastreamento e monitoramento de toda a cadeia produtiva em tempo real, possibilitando a comprovação da logística reversa e fomentando o descarte correto de resíduos. A plataforma possibilita a conexão entre geradores, transportadores e destinos facilitando assim a troca de informações, contribuindo para que o resíduo reciclado retorne ao setor produtivo como matéria-prima. Não foi identificada funcionalidade específica para tratamento de resíduos eletrônicos.
- VGR: Plataforma online que auxilia na otimização de processos internos, economia de tempo na geração de relatórios e documentos obrigatórios, busca por fornecedores homologados, proporcionando a conformidade ambiental exigida na gestão de resíduos. O sistema, atua por meio de um mecanismo automático, possibilitando o controle e a gestão (rastreadabilidade) desde a geração até a destinação final dos resíduos. O sistema gera alertas, chamando atenção às pendências e vencimentos de prazos. Por meio da plataforma é possível definir e acompanhar os indicadores de desempenho, inclusive indicadores financeiros relacionados a gestão de resíduos. Não foi identificada funcionalidade específica para tratamento de resíduos eletrônicos.
- ResiClean: Plataforma destinada ao gerenciamento de resíduos de forma ecologicamente correta. O *software* de Gerenciamento de Resíduos tem como principal objetivo detalhar informações sobre os resíduos gerenciados. A plataforma permite o gerenciamento de licenças e documentações, as mantendo atualizadas. A ferramenta permite a emissão do Manifesto de Transporte de Resíduo (MTR), auxiliando no monitoramento e na destinação do resíduo gerado e tratado. Emite ainda certificados e outros documentos

relacionados aos resíduos, bem como gera relatórios e gráficos por períodos de coleta. Não foi identificada funcionalidade específica para tratamento de resíduos eletrônicos.

- Think Circular: A plataforma, atualmente denominada “Circulare” se autodenomina como um *hub* de soluções digitais em Economia Circular como logística reversa, segurança da informação, reuso, reciclagem e disposição final de produtos complexos, incluindo resíduos eletrônicos. A plataforma tem por base um algoritmo de rastreabilidade que centraliza as informações dos fluxos dos produtos e materiais e emite, de forma automatizada, relatórios voltados à comunicação dos resultados. A função de emissão de relatórios fica centralizada em um portal online onde também podem ser realizadas as solicitações de coletas, bem como o acompanhamento dos processos de descarte. A plataforma suporta um ecossistema para Gestão de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos, estimulando assim, não apenas o direcionamento correto dos resíduos gerenciados pela plataforma, mas também possibilitando que toda a cadeia esteja trabalhe de forma harmônica, ampliando sua capacidade operacional e capilaridade geográfica. Solução voltada ao gerenciamento de resíduos eletrônicos.

A plataforma Circulare foi a única que à época da pesquisa contava com a certificação emitida pela ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas na norma NBR 16.156:2013. Apresentava ferramentas normatizadas para a gestão e destinação de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos - REEE, incluindo gestão logística, comercial (CRM – *Customer Relationship Manager*), gestão de documentos e requisitos ambientais, e de saúde e segurança, manufatura reversa, com rastreabilidade ponta a ponta através de tecnologia Sankey, incluindo gestão eletrônica do MTR - Manifestos de Transporte de Resíduos e CDF - Certificado de Destinação Final integrado aos órgãos ambientais estaduais e federal (SINIR).

Diante da maturidade da solução Circulare da empresa Circular Brain Plataforma Tecnológica de Economia Circular S/A, frente aos requisitos necessários para

atendimento aos objetivos do projeto, bem como sua conformidade com a norma ABNT 16156:2013, a solução foi adotada como piloto funcional para uso no projeto e consolidação do conjunto de requisitos para uma solução de apoio automatizado à operacionalização do Programa Computadores para Inclusão. A disponibilização da plataforma foi acompanhada de capacitação e implantação nos parceiros (CRC) e adaptada aos processos de gestão conduzidos no âmbito da SETEL/MCOM.

A solução implantada está acompanhada do Caderno de Requisitos que permite ao MCOM buscar ou desenvolver outra solução conforme a oportunidade e conveniência da gestão do Programa.

5.4.1 A Plataforma de Gestão

A plataforma de gestão se destina aos Centros de Recondicionamento de Computadores (CRC) e usada no registro, acompanhamento e controle da operação realizada nesses centros.

No apoio instrumental oferecido pela plataforma ao CRC e ao MCOM são coletados e gerados os dados operacionais que serão destinados aos painéis de informação. Essa funcionalidade de integração de dados é um dos requisitos centrais para uma visão integrada do sistema como um todo.

A plataforma conta com cinco módulos acessíveis pelos CRC:

- a. Logística: Emissão e acompanhamento das ordens de transporte emitidas;
- b. Recebimento: Emissão de relatórios de entrada de materiais/equipamentos;
- c. Processamento: Acompanhamento do processo de manufatura reversa e de materiais/equipamentos recondicionados
- d. Estoque: Realização de triagem, segregação de materiais/equipamentos destinados à manufatura reversa, segregação materiais/equipamentos recondicionados, relatório de estoques disponíveis;
- e. Destinação: Relatório de materiais/equipamentos encaminhados à destinação final.

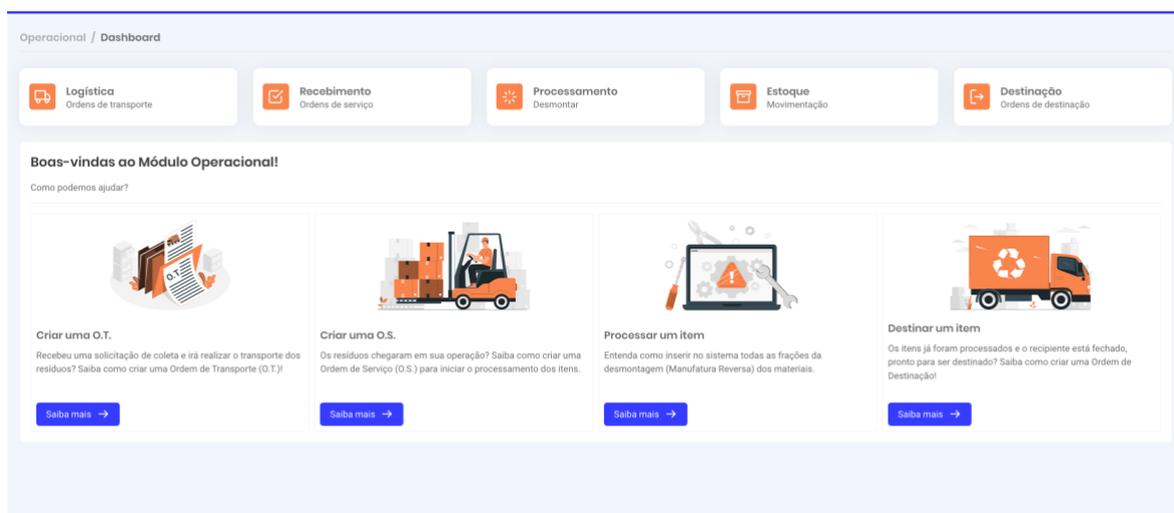


Figura 34 – Página Inicial da plataforma de gestão de operações dos CRC. Fonte: Plataforma CIRCULARE.

5.4.2 Módulo de Acompanhamento

A mesma empresa responsável por fornecer a plataforma de gestão desenvolveu o módulo de acompanhamento destinado à utilização dos gestores do programa Computadores para Inclusão.

A especificação do módulo, descrita sucintamente a seguir, passou por diversas atualizações chegando à versão final com as características apresentadas no Caderno de Requisitos apresentado em anexo a este relatório.

5.4.2.1 Cadastros

O módulo permite o cadastramento das informações necessárias à operação, acompanhamento e controle do programa, passando pelos órgãos que manifestarem o desejo de iniciar uma operação de desfazimento, pelos CRC e pelos pontos de inclusão digital (PID).

5.4.2.2 Operação/Processo

O módulo disponibiliza funcionalidade para realizar a operação/processo de desfazimento e de doação.

A partir da manifestação de interesse de um órgão em proceder a um desfazimento, é possível cadastrar no módulo aquela operação, inserindo uma lista de materiais/equipamentos e associando essa lista a um órgão previamente cadastrado. Nesse processo é possível verificar qual foi o órgão doador, qual o *status* daquela lista de desfazimento (se foi somente cadastrada ou se já foi enviada a um CRC), qual a localidade de origem da lista e encaminhar comunicação ao conjunto de CRC para fins de manifestação de interesse.

Na operação/processo de doação, a partir da verificação de estoques de equipamentos disponíveis, o programa pode fazer a destinação desses estoques a um PID.

O módulo encaminha então ao CRC de origem dos equipamentos disponíveis uma requisição de encaminhamento para um PID. Essa mesma comunicação é também encaminhada ao PID de destino.



Nome Fantasia	Admin	Cidade	UF
Escola exemplo	admin escola exemplo	Rio das Ostras	RJ

Figura 35 – Página Inicial do Módulo de Acompanhamento MCOM. Fonte: <https://mcom.circulare.com.br/home> .

6 PROTOCOLOS ASSOCIADOS A INDICADORES DE REEE

6.1 CONTEXTO GLOBAL

Governos de todo o mundo estão criando políticas e leis para enfrentar o aumento de produtos eletrônicos descartados. Em última instância estas políticas e respectivos arcabouços legais estabelecem o direcionamento de programas e projetos, o *locus* de aplicação dos recursos públicos e as métricas relevantes a serem utilizadas na avaliação de sua efetividade. Até outubro de 2019, 78 países já implementaram alguma forma de lei ou regulamentação para o descarte de resíduos eletrônicos, abrangendo 71% da população mundial, um aumento de 5% desde 2017 (GSMA, 2023). Para monitorar os avanços destas iniciativas observa-se o crescimento de iniciativas nacionais e internacionais (vide exemplo no Quadro a seguir) que buscam estabelecer critérios e parâmetros que viabilizem a comparação de dados e a avaliação da efetividade das diferentes estratégias e configurações adotadas em cada país na gestão do REEE.

Quadro 12: Registro Nacional de REEE – Holanda.

	<p>Registro Nacional de REEE - Holanda</p> <p>Descrição: Instituição especializada em relatórios ambientais onde os dados são coletados a partir dos produtores e importadores de EEE; processadores de REEE na Holanda; exportadores de REEE para tratamento no exterior; exportadores de EEE para reutilização no exterior. Os dados são registados de forma a cumprir a Diretiva n.º 2012/19/UE. O registro é financiado pelos produtores de EEE. O cliente do registro é o governo. Também conta com documentos de apoio em sua plataforma, como orientações para definição de categoria de REEE e modelos de decisão de enquadramento na lei de REEE no país.</p> <p>Perfil da organização: Parceria público-privada</p> <p>Website: https://nationalealweeeregister.nl/</p>	
<p>Indicadores usados:</p> <ul style="list-style-type: none"> - total de EEE comercializados no país por tipo de produto e total (PoM - Put on Market) - taxa de recolhimento de REEE em pontos de coleta, coleta domiciliar e outras formas - taxas de exportação para reuso - taxas de reciclagem no país - taxas de reuso no país - taxas de REEE processados no país (inclui desde primeira operação de manutenção) 		

Fonte: *Nationaal (W)EEE Register*.

Os protocolos associados à coleta e conversão indicadores de REEE em informação e inteligência desempenham um papel crucial na avaliação e gestão eficaz desses resíduos complexos e crescentes (SANTOS, 2012). Esses protocolos oferecem estruturas metodológicas para medir e quantificar diversos aspectos dos resíduos eletroeletrônicos, incluindo suas origens, fluxos, impactos ambientais e socioeconômicos, conforme exemplifica o Quadro a seguir. Dada a crescente preocupação com o descarte inadequado de dispositivos eletrônicos e seus efeitos negativos no meio ambiente e na saúde humana, a utilização de protocolos bem definidos é fundamental para a implementação de estratégias sustentáveis de gerenciamento.

Quadro 13: E-waste Statistic - Nações Unidas.

	<p>E-waste Statistic - Guidelines on classification reporting and indicators - Nações Unidas</p> <p>Descrição: A segunda edição de “ Estatísticas de resíduo eletrônico: Diretrizes para classificação, relatórios e indicadores ” fornece uma estrutura de medição de resíduo eletrônico universalmente relevante e uma classificação de resíduo eletrônico. As diretrizes facilitam a implementação de conceitos harmonizados para medir o tamanho do mercado de resíduo eletrônico de um país, seu movimento transfronteiriço de resíduo eletrônico e o desempenho da reciclagem de resíduo eletrônico dentro desse país. As orientações também fornecem ferramentas, orientações práticas, metodologias matemáticas e ajudarão os países a compreender como recolher fontes de dados para compilar estatísticas sobre resíduos eletrônicos comparáveis a nível internacional. Orientar os países na sua recolha de dados é particularmente necessário, uma vez que, até à data, apenas 41 países reportam a compilação de estatísticas nacionais sobre o resíduo eletrônico.</p> <p>Website: https://www.itu.int/en/ITU-D/Climate-Change/Documents/2018/EWaste_Guidelines_final.pdf</p>	
<p>Indicadores usados:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Total de EEE colocados no mercado (unidade kg/hab) - Total de resíduo eletrônico gerado (unidade kg/hab) - resíduo eletrônico coletado formalmente (unidade kg/inh) - Taxa de coleta de resíduo eletrônico = resíduo eletrônico coletado / resíduo eletrônico gerado 		

Fonte: ITU (*International Telecommunication Union*).

À medida que se amplia a compreensão quanto à necessidade de gestão integrada dos fluxos de REEE não só no âmbito global, mas também na esfera global, observa-se a implantação de esforços para harmonização de mecanismos de

coleta, unidades de medida e estratégias de análise e divulgação. Reitera-se aqui a importância seminal da Convenção da Basileia e da Convenção de Bamako na indução de mecanismos de coleta de indicadores no âmbito global. Com a concordância dos países quanto à necessidade de controle rigoroso da exportação de resíduos perigosos de países industrializados para países em desenvolvimento passou-se a ter a necessidade de efetivo rastreamento dos fluxos de REEE. Alguns destes protocolos já se encontram instrumentalizados na forma de normas e certificações enquanto outros apresentam ainda uma variedade de formatos e mecanismos de aplicação. A escolha dos instrumentos apropriados dependerá das metas e objetivos específicos de uma organização, bem como das regulamentações e diretrizes aplicáveis em cada país.

6.2 O ECOSISTEMA DE INDICADORES DE REEE NO BRASIL

Leis e decretos muito frequentemente integram em seu conteúdo indicadores e respectivos protocolos ou, ao menos, elementos que permitem inferir quais os indicadores mais relevantes para avaliar a efetividade da própria lei/decreto, bem como sua forma de coleta. Exemplo neste sentido é a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, estabelece diretrizes gerais para a gestão de resíduos sólidos no Brasil. Esta lei aborda a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a logística reversa e a gestão de resíduos perigosos, incluindo os resíduos eletroeletrônicos. Associado a esta lei tem-se o Decreto Nº 10.936/2022 que regulamenta a PNRS, estabelecendo o Programa Nacional de Logística Reversa, que pretende otimizar a gestão do resíduo no Brasil. Parâmetros para avaliar as práticas de gestão de REEE são encontrados em resoluções, como a formulada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) que estabelece critérios para o licenciamento ambiental de atividades relacionadas à gestão de resíduos eletroeletrônicos, incluindo a reciclagem; na mesma linha tem-se o termo de referência do IBAMA que especifica como fabricantes e importadores devem elaborar o plano de gerenciamento e

mapear a logística reversa dos resíduos eletroeletrônicos. Este último instrumentaliza o estabelecimento as metas de redução dos resíduos eletroeletrônicos, o objetivo é buscar estimativas compatíveis com a realidade brasileira.

Parcela dos indicadores e respectivos protocolos de coleta, relevantes para a gestão de REEE, estão amplamente presentes de forma explícita ou implícita em normas da ABNT, onde são definidos critérios e requisitos para a adequada gestão de REEE. A norma NBR 16156/2013, por exemplo, estabelece requisitos para proteção ao meio ambiente e para o controle dos riscos de segurança e saúde no trabalho na atividade de manufatura reversa de resíduos eletroeletrônicos; a NBR 15833/2018, determina os procedimentos para o transporte, armazenamento e desmonte com reutilização, recuperação dos materiais recicláveis e destinação final de resíduos dos aparelhos de refrigeração. A NBR 10.004/2004 classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente.

Acordos setoriais como o que foi estabelecido para o setor de eletroeletrônicos também provém subsídios para a definição de procedimentos para a coleta de indicadores, de maneira a se avaliar o cumprimento de metas. Este acordo é uma iniciativa baseada na PNRS e envolve fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de equipamentos eletroeletrônicos. Prevê a implementação da logística reversa desses produtos, estabelecendo metas para a coleta e destinação adequada de resíduos eletroeletrônicos. Seu escopo envolve duas fases, sendo a primeira dedicada à estruturação do sistema e a segunda relacionada à sua implementação e operacionalização, com metas anuais e crescentes, prazos e ações concretas.

No âmbito do Estado a operacionalização de políticas voltadas a REEE são frequentemente articuladas através de programas, os quais incluem já no ato de implementação o estabelecimento de metas e, conseqüentemente, os respectivos indicadores de avaliação. Em se tratando de REEE tem-se, por exemplo, o Programa de Inclusão Digital (Programa de Governo Eletrônico — Serviço de

Atendimento ao Cidadão - Gesac) que embora não seja exclusivamente uma política de gestão de resíduos eletroeletrônicos, busca ampliar o acesso à internet em áreas remotas do Brasil, incentivando o uso de computadores recondicionados e a doação de equipamentos desativados; o Programa Computadores para Inclusão (Recondicionamento), vinculado à política de Inclusão Digital e tendo como objetivo recondicionar computadores e outros equipamentos eletroeletrônicos para doação a escolas públicas e instituições sociais; o Programa Nacional de Apoio à Gestão Administrativa e Fiscal dos Municípios Brasileiros – PNAFM, que busca apoiar os municípios na melhoria da gestão pública, incluindo a gestão de resíduos eletroeletrônicos.

No âmbito do Estado destaca-se, também, as plataformas especializadas que muitas vezes impõe através de procedimentos burocráticos o provimento destes dados como condição para a manutenção da operação da empresa. Como exemplo, tem-se o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR) que é, também, um instrumento da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). É coordenado e articulado pelo Governo Federal, por meio do Ministério do Meio Ambiente – MMA, e sua organização e manutenção são de responsabilidade compartilhada entre os governos municipais, estaduais e Distrito Federal. O fornecimento de informações necessárias sobre resíduos de acordo com sua esfera de competência, com periodicidade anual, nos canais e formatos criados para essa finalidade é, também, de responsabilidade dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios.

Os atores envolvidos na cadeia de valor do REEE, tanto do primeiro, segundo como terceiro setor, têm papel central na definição dos protocolos para a coleta de indicadores. Destaca-se o papel das entidades gestoras, como a Green Eletron (terceiro setor), atuante na gestão de Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos. Esta entidade tem como objetivo principal auxiliar as empresas no atendimento à lei 12.305/2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos). Em sua operação a organização coleta dados anualmente associados à gestão do REEE, como a quantidade total de equipamentos coletados e destinados, quantidade por

região do Brasil, por estado e por cidade. Além disto a organização realiza a Análise do Ciclo de Vida com base na logística reversa realizada anualmente, coletando indicadores como a quantidade de cada material coletado, a quantidade evitada de emissão de GHG, consumo evitado de água, de combustíveis fósseis e quantidade de recursos minerais recuperados por tipo de mineral.

Atores do segundo setor (setor privado) envolvidos no provimento de serviços e infraestrutura de suporte na gestão da cadeia de valor de REEE também exercem papel relevante na coleta de dados chave para a formulação de indicadores. A empresa Circular Brain, por exemplo, oferece soluções de Logística Reversa Individual em conformidade ambiental para fabricantes e importadores de eletrônicos, além de destinação ambiental adequada para empresas. Oferece a Circulare, uma plataforma de gestão de ciclo de vida e rastreamento de resíduos eletrônicos para recicladores em todo o Brasil, ajudando parceiros de recicladores de eletrônicos no atendimento de requisitos legais. A plataforma Circulare possibilita a rastreabilidade total da operação tornando-o um ativo ambiental, lastreado pelo controle de balanço de massas, possui certificação da Norma ABNT NBR 16.156, citada anteriormente.

No Brasil, a gestão de resíduos eletroeletrônicos é regida por uma série de exigências legais e regulamentares para garantir o manejo adequado desses materiais e minimizar os impactos ambientais e de saúde pública. Os atores envolvidos são diversos e fragmentados e, desta forma, os protocolos de coleta de dados bem como as bases de dados resultantes não são integrados. Atores de grande relevância em se tratando de REEE incluem o Ministério do Meio Ambiente (MMA), responsável por políticas e regulamentos ambientais no Brasil; Agência Nacional de Resíduos Sólidos (ANRS): responsável por regulamentar e fiscalizar a gestão de resíduos no Brasil; Normas Técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) desenvolve normas técnicas relacionadas à gestão de resíduos eletroeletrônicos, que podem incluir indicações de protocolos para avaliação.

6.3 PROTOCOLOS EXISTENTES E NOVOS PROTOCOLOS

A partir da análise das legislações, regulamentações e *modus operandis* dos principais atores no contexto brasileiro foi possível estabelecer relação de licenças e certificações requeridas para a implantação de instalações de coleta, triagem, desmantelamento e reciclagem de REEE. Esta relação é apresentada no Quadro a seguir na forma de uma lista de verificação (*checklist*) para implantação destas unidades. Note-se que a maioria destes itens implicam na aplicação de rotinas de monitoramento e controle, em última instância resultando na produção de indicadores.

Quadro 14: Licenças e certificados pertinentes à implantação de Unidades de Coleta, Triagem e Desmantelamento e Reciclagem de REEE.

	Item	Descrição	Organismo demandante
<input type="checkbox"/>	Outorga	Para o uso de água de curso de cursos d'água, rios ou lagos tendo em vista que se trata de um bem público	Organismos ambientais municipais e estaduais
<input type="checkbox"/>	Licença Ambiental de Operação	ABNT NBR 16156/2013: que estabelece requisitos para proteção ao meio ambiente e para o controle dos riscos de segurança e saúde no trabalho. CONAMA 401/2008: estabelece critérios para o licenciamento ambiental de atividades relacionadas à gestão de resíduos eletroeletrônicos, incluindo a reciclagem.	Organismos ambientais municipais e estaduais; IBAMA
<input type="checkbox"/>	Plano de Gerenciamento de Resíduos	Instituída pela Lei nº 12.305/2010, estabelece diretrizes para a gestão de resíduos sólidos, incluindo a responsabilidade compartilhada, a logística reversa e a gestão de resíduos perigosos, incluindo os resíduos eletroeletrônicos (BRASIL, 2010).	SISNAMA – Sistema Nacional do Meio Ambiente.
<input type="checkbox"/>	Cadastro Técnico Federal (CTF)	para pessoas físicas quanto jurídicas, que realizam APPs (Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais)	IBAMA
<input type="checkbox"/>	Certificado de Regularidade (CR)	atesta a conformidade da empresa com as obrigações do cadastro	IBAMA
<input type="checkbox"/>	Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos	documento que indica a forma correta de manejo, transporte, reciclagem e disposição final dos resíduos	Organismos ambientais municipais e estaduais; IBAMA
<input type="checkbox"/>	Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA)	Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA) é um conjunto de ações visando à preservação da saúde e da integridade/segurança dos trabalhadores.	Organismos ambientais municipais e estaduais; IBAMA
<input type="checkbox"/>	Certificado de Boas Práticas	Certificado R2: mecanismo voluntário e baseado no mercado para garantir as melhores práticas na reciclagem de eletrônicos	Entidade gestora
<input type="checkbox"/>	Certificado de Estruturação e Reciclagem de Embalagens em Geral – CERE	Decreto nº 11.413, de 13 de fevereiro de 2023	Entidade gestora
<input type="checkbox"/>	Certificado de Destinação Final	Necessário acessar o MTR Online no SINIR: todas as partes envolvidas no processo (gerador, transportador, armazenador e destinatário) devem compartilhar importantes informações dos resíduos.	SINIR
<input type="checkbox"/>	Notificação de consentimento prévio do país importador	Decreto n. 875, de 19 de julho de 1993, Resolução Conama n. 452, 02 de julho de 2012	IBAMA

✓	Item	Descrição	Organismo demandante
<input type="checkbox"/>	Licença de exportação	Decreto n. 875, de 19 de julho de 1993, Resolução Conama n. 452, 02 de julho de 2013	IBAMA
<input type="checkbox"/>	Seguro ambiental	Artigo 40 da Lei nº12.305/2010 faculta ao órgão licenciador a decisão de exigir a contratação do seguro na ocasião do licenciamento ambiental de empreendimentos ou atividades que operem com resíduos perigosos.	Entidade gestora
<input type="checkbox"/>	Certificado de Crédito de Reciclagem de Logística Reversa	Decreto nº 11.413, de 13 de fevereiro de 2023	Entidade gestora
<input type="checkbox"/>	Certificado de Crédito de Massa Futura	Decreto nº 11.413, de 13 de fevereiro de 2023	Entidade gestora
<input type="checkbox"/>	Anotação de Responsabilidade Técnica (ART)	garantir que o empreendimento está sendo acompanhado por profissional capacitado	Prefeitura
<input type="checkbox"/>	Auto de Vistoria do Corpo de Bombeiro (AVCB)	Documento requerido para emissão do alvará de funcionamento do estabelecimento	Corpo de bombeiros
<input type="checkbox"/>	Plano de Atendimento a Emergências (PAE)	Documento que estabelece procedimentos necessários para prevenção de eventos de risco, sejam causados por incêndios, acidentes, desastres naturais ou outros imprevistos.	Ministério do Trabalho
<input type="checkbox"/>	Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional (PCMSO)	Programa com base na Norma Regulamentadora número 7 do Ministério do Trabalho (NR 7), de caráter preventivo, voltado ao rastreamento e diagnóstico precoce dos agravos à saúde relacionados ao trabalho.	Ministério do Trabalho
<input type="checkbox"/>	Documento/licença de transporte de resíduos	ABNT NBR 15833/2018: que determina os procedimentos para o transporte, armazenamento e desmonte com reutilização, recuperação dos materiais recicláveis e destinação final de resíduos dos aparelhos de refrigeração	Estado
<input type="checkbox"/>	Alvará de Localização e Funcionamento	Concedido pela Prefeitura ou outro órgão governamental municipal e alega o direito a exercer certas atividades em determinados locais.	Prefeitura

Fonte: Elaboração própria.

A comparação das práticas brasileiras com o que foi observado na literatura e nos casos internacionais, incluindo o benchmarking internacional, permitiu identificar algumas práticas que não estão presentes no Brasil ou, alternativamente, não são explicitamente formuladas na forma como é observado em outros países. A relação de licenças e certificados adicionais, que podem oferecer contribuição valiosa no aperfeiçoamento do sistema brasileiro de gestão de REEE, é apresentado no Quadro a seguir, também no formato de lista de verificação.

Quadro 15: Licenças e Certificados Adicionais Observados em Outros Países.

✓	Item	Descrição	Organismo demandante
<input type="checkbox"/>	Certificado de Saneamento de Dados	ISO 27701: Sistema de gerenciamento de conformidade de dados - Com base na ISO / IEC 27001, a ISO / IEC 27701 cobre o gerenciamento de riscos relacionados a Informações de identificação pessoal (PII) e auxilia na conformidade com os regulamentos GDPR (Regulamento Geral de Proteção de Dados) da União Europeia.	Estado/empresas
<input type="checkbox"/>	Plano de Encerramento das Atividades	As instalações de tratamento são obrigadas a apresentar vários documentos adicionais com a sua notificação, incluindo: Plano de encerramento e estimativa de custo de fechamento	Estado (USA)
<input type="checkbox"/>	Consulta à comunidade local e partes interessadas relevantes	No caso da Inglaterra a Instalação de Tratamento Autorizada (ATF - Approved Authorised Treatment Facility) pode eventualmente requerer consulta à comunidade local, partes interessadas relevantes e grupos ambientais como parte do processo de inscrição	Organismos ambientais municipais e estaduais; IBAMA
<input type="checkbox"/>	Certificado de Gestão da Qualidade	ISO 9001:2015 (Qualidade): descreve requisitos para um sistema de gestão da qualidade.	Entidade gestora
<input type="checkbox"/>	Permissões de controle de ruído	Permissão exigida no Japão (JWNET, 2018; JICA, 2023; JAPAN, 2023).	Prefeitura
<input type="checkbox"/>	Notificação de Intenção de Implementação de Instalação voltada a REEE	Notificação de Intenção (NOI) ao Departamento de Controle de Substâncias Tóxicas (DTSC) com pelo menos 30 dias de antecedência para qualquer local onde você planeja aceitar dispositivos eletrônicos, painéis CRT simples ou vidro CRT externos, incluindo um evento de coleta.	
<input type="checkbox"/>	Certificado de Boas Práticas	Certificado R2/E-Stewards: mecanismos voluntários e baseados no mercado para garantir as melhores práticas na reciclagem de eletrônicos	Entidade gestora
<input type="checkbox"/>	Certificado Ambiental	ISO 14001:2015 (Ambiental): ISO 14001:2015 é um padrão internacional para sistemas de gestão ambiental. Em vez de impor requisitos de desempenho ambiental, esta norma fornece uma estrutura que as empresas podem seguir.	Entidade gestora
<input type="checkbox"/>	Licença Ambiental de Operação	No Japão esta licença não é exigida quando os geradores de resíduos destinam os resíduos para outras entidades designadas por portaria do Ministério do Meio Ambiente (UNEP, 2013).	
<input type="checkbox"/>	Licenças de controle de poluição do ar	No Japão esta licença garante que a instalação atende padrões de qualidade do ar e de controle de emissões JWNET, 2018; JICA, 2023; JAPAN, 2023).	

7 CENÁRIOS POTENCIAIS

Os cenários potenciais apresentados a seguir foram gerados tomando como base informacional a revisão bibliográfica sistemática e assistemáticas, a qual enfatizou periódicos internacionais no período de 2019 a 2023, nos múltiplos estudos de caso revisados, no benchmarking realizado entre Brasil, Inglaterra, Japão, Estados Unidos e Dinamarca e estão alinhados com os achados resultantes dos webinários realizados no primeiro ano de execução do projeto e na missão internacional realizada a Portugal e Espanha.

7.1 DIAGRAMA DE POLARIDADE

Foram gerados ao todo cinco meta-cenários para o Programa Computadores para Inclusão, conforme mostra o Diagrama de Polaridade a seguir. Como ilustra o Diagrama de Polaridade a seguir, o eixo horizontal trata do grau de envolvimento de atores locais no processo de negócio, sendo que em um extremo as operações voltadas ao reparo/reuso são integralmente realizadas no âmbito do CRC e de plantas de reciclagem centralizadas; no outro extremo tem-se um modelo de operação mais distribuído, com maior envolvimento de atores locais.

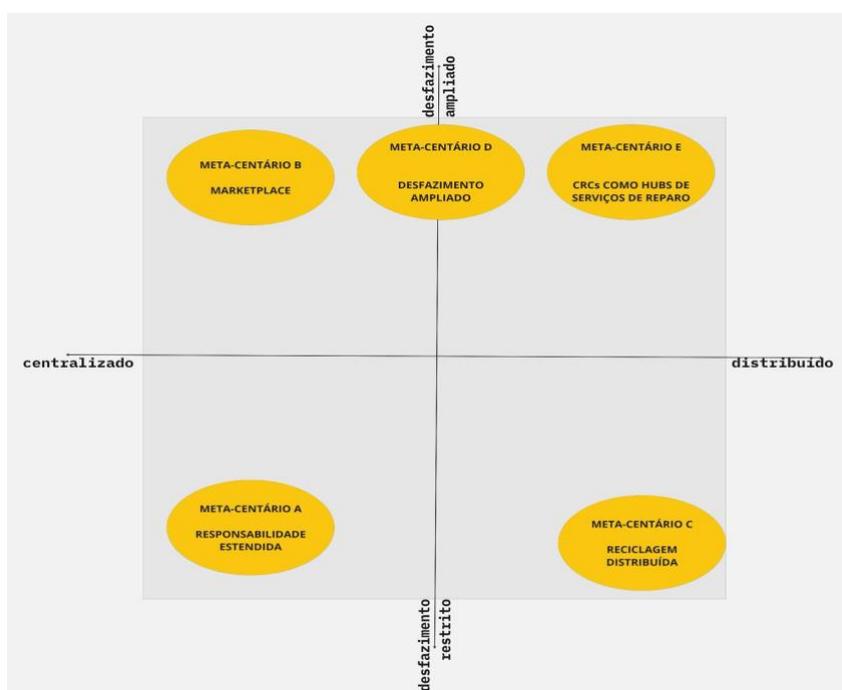


Figura 36 - Diagrama de Polaridade. Fonte: Elaboração própria.

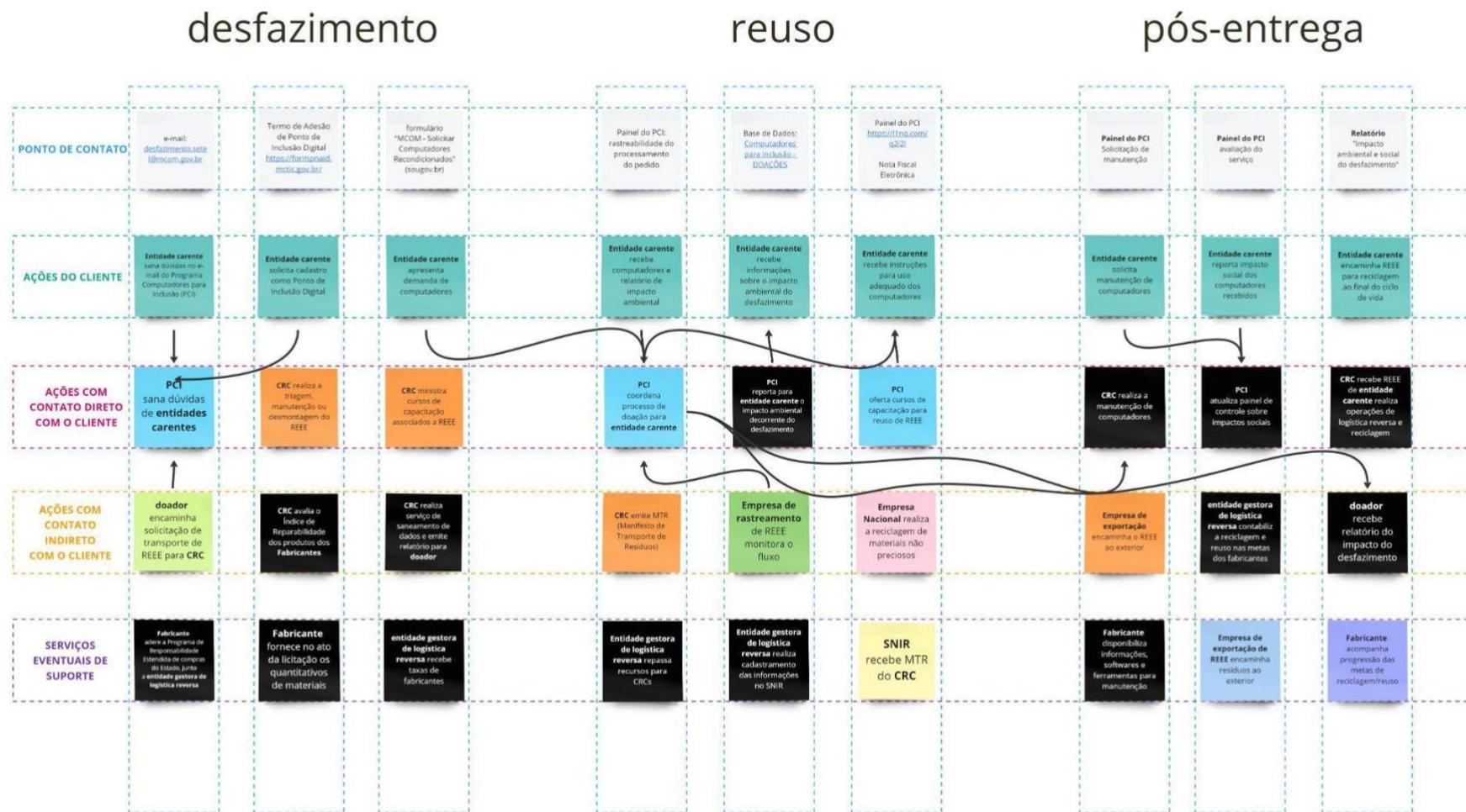


Figura 38 - Conceito A “Responsabilidade Estendida” - Blueprint. Fonte: Elaboração própria.

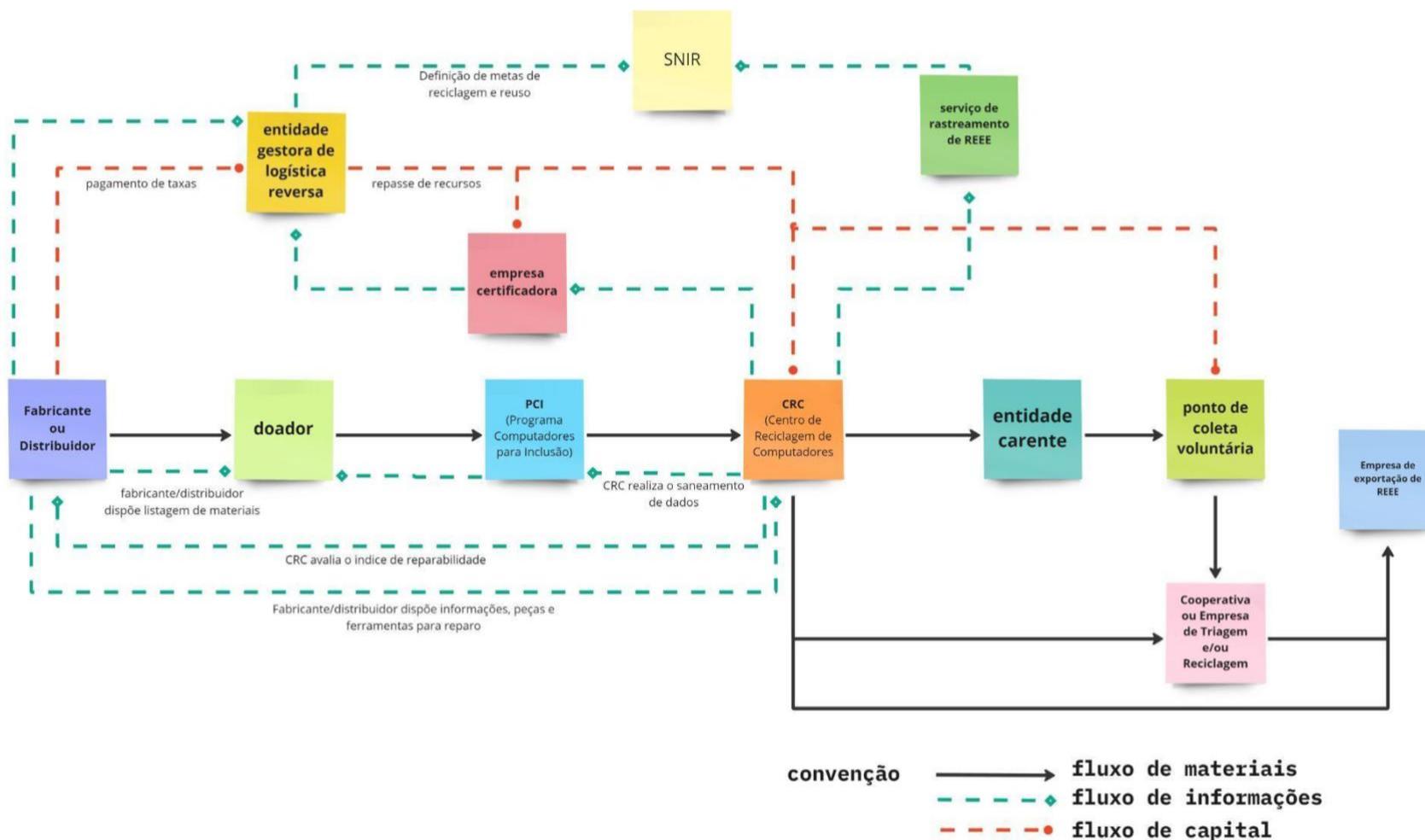


Figura 39 - Conceito A “Responsabilidade Estendida” – Mapa do Sistema. Fonte: Elaboração própria.

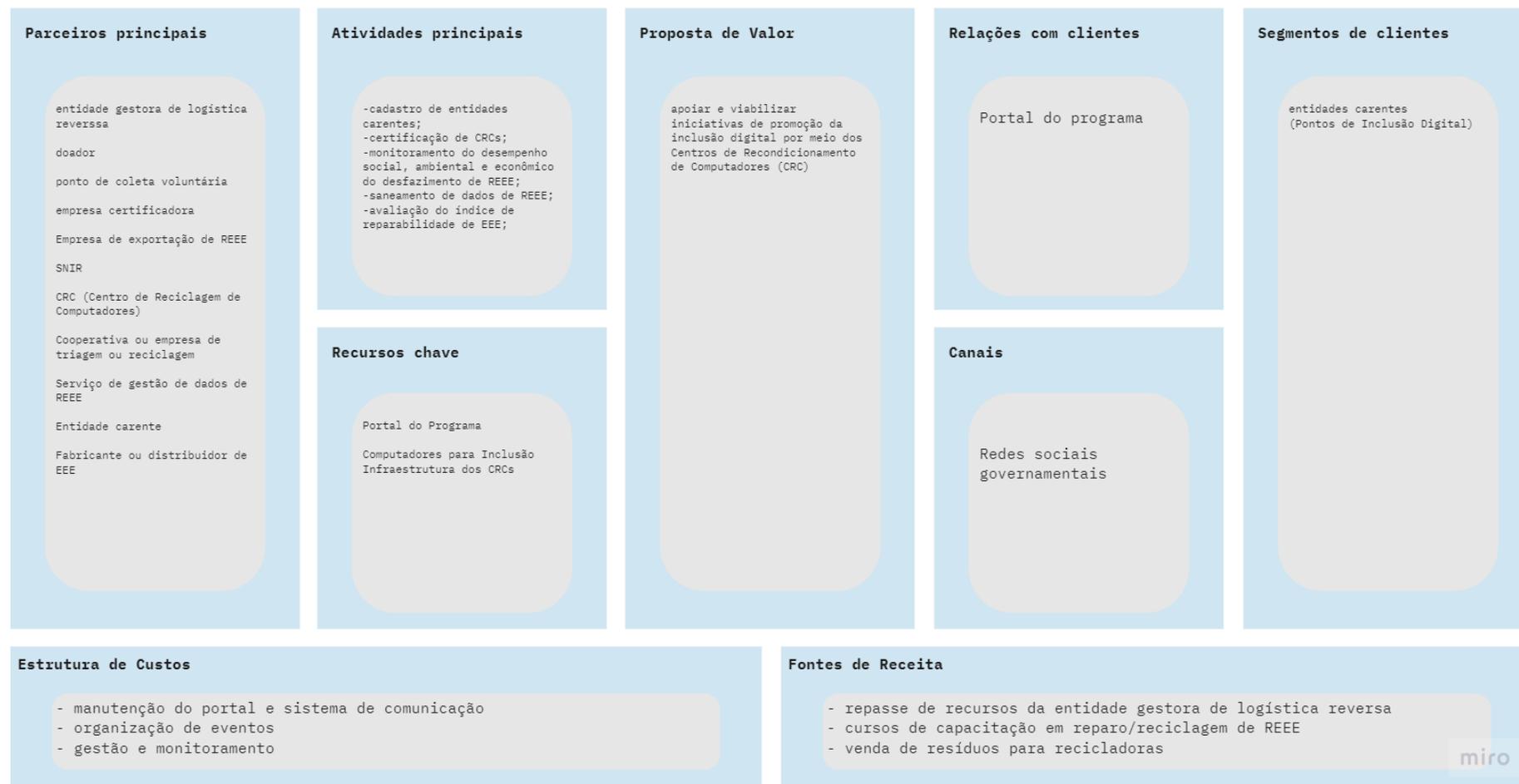


Figura 40 - Conceito A “Responsabilidade Estendida” – Canvas. Fonte: Elaboração própria.

7.3 META-CENÁRIO “B”: MARKETPLACE

Descrição:

- **Desfazimento orientado tanto a instituições como cidadãos carentes:** neste meta-cenário tanto organizações carentes como cidadãos em situação vulnerável podem se cadastrar para receber computadores de CRCs;
- **Marketplace para o desfazimento:** neste meta-cenário as ofertas futuras e presentes de equipamentos eletroeletrônicos oriundas do desfazimento da parte do Estado, são organizadas em formato de marketplace, conectando os atores do sistema como CRCs, organizações carentes, voluntários para reparos, empresas fabricantes, dentre outros;
- **CRCs realizando manutenção de equipamentos de reuso:** organizações e cidadãos carentes recebem computadores com um período mínimo de garantia, dentro do qual é possível solicitar manutenção no CRC;
- **Responsabilidade Estendida para aquisições do Estado:** este conceito tem como pressuposto a implementação de um acordo setorial que instrumentalize a participação ativa de fabricantes e distribuidores na gestão do final do ciclo de vida de EEE vendido ao estado, com taxas que são pagas para a entidade gestora de logística reversa e, destas, para o PCI e CRCs;
- **Informações e capacitação para reparo:** informações e treinamentos para reparo produzidas pelos fabricantes são publicadas no marketplace para o desfazimento;
- **Ampliação do valor agregado dos CRCs:** alinhando as práticas dos CRCs com as práticas internacionais este meta-cenário contempla o provimento dos serviços de saneamento de dados e, também, de análise do índice de reparabilidade dos produtos eletroeletrônicos.



Figura 41 - Conceito B “Marketplace” - Storyboard. Fonte: Elaboração própria.

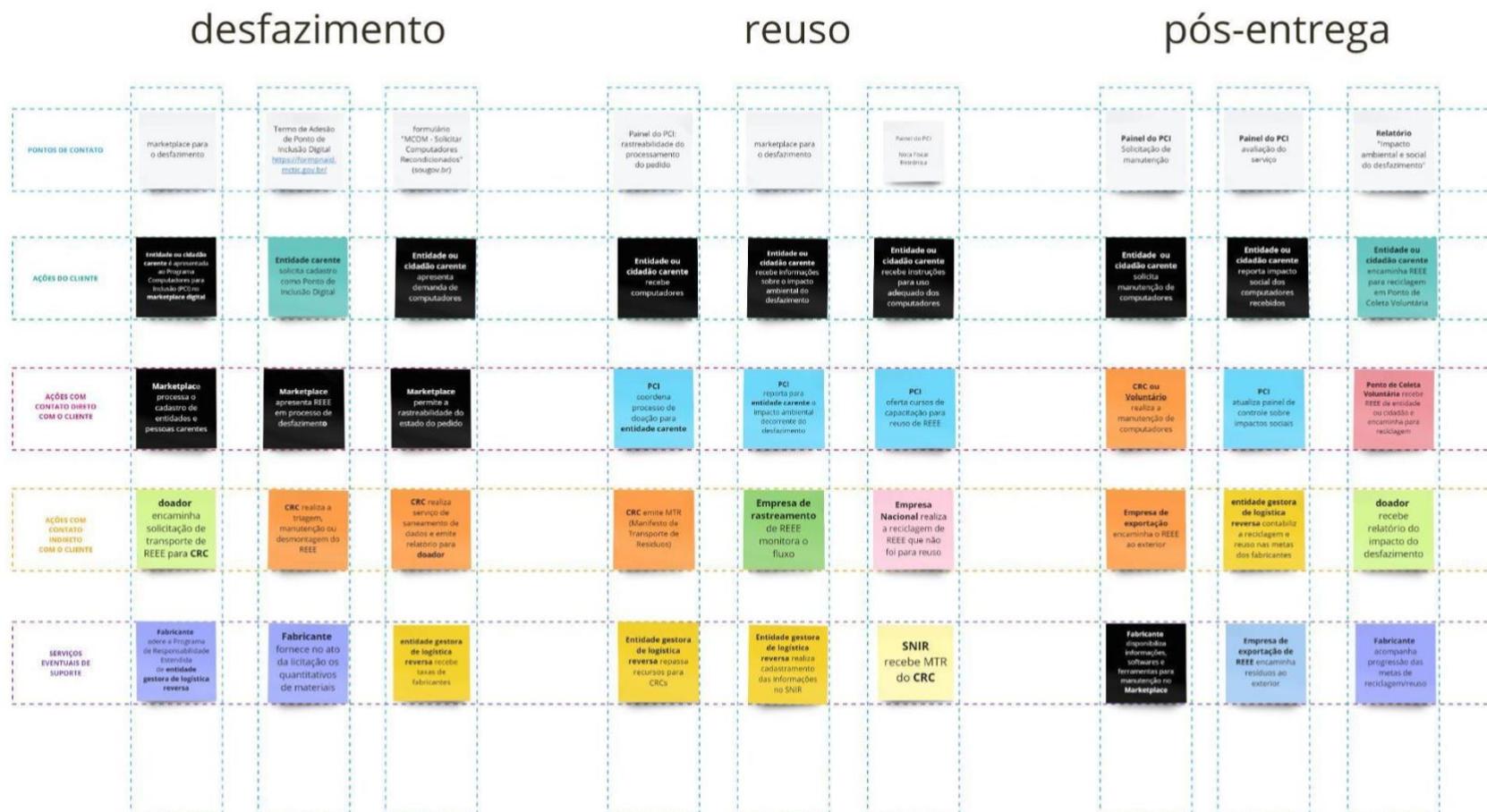


Figura 42 - Conceito B "Marketplace" - Blueprint. Fonte: Elaboração própria.

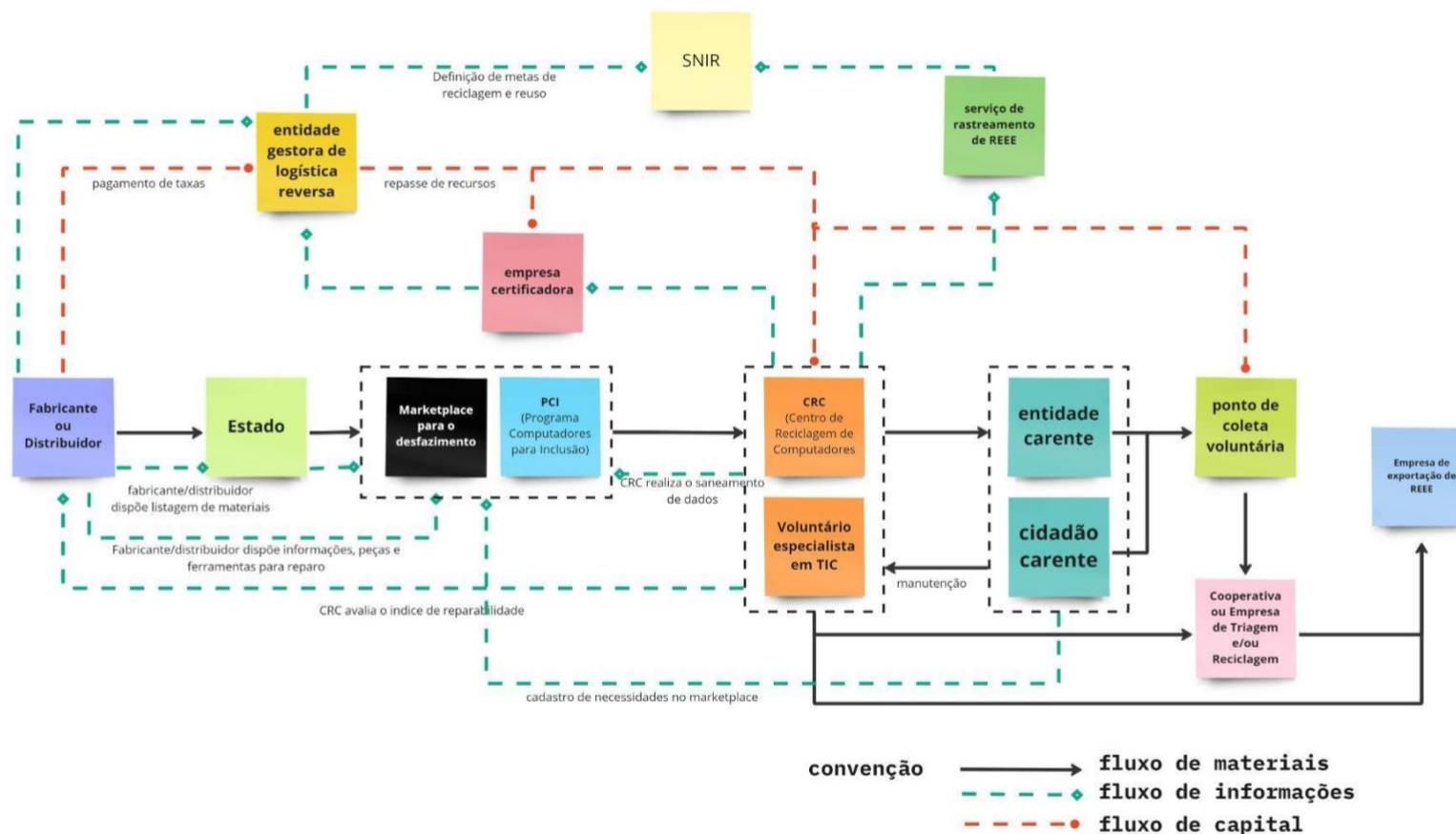


Figura 43 - Conceito B “Marketplace” – Mapa do Sistema. Fonte: Elaboração própria.



Figura 44 - Conceito B “Marketplace” – Canvas. Fonte: Elaboração própria.

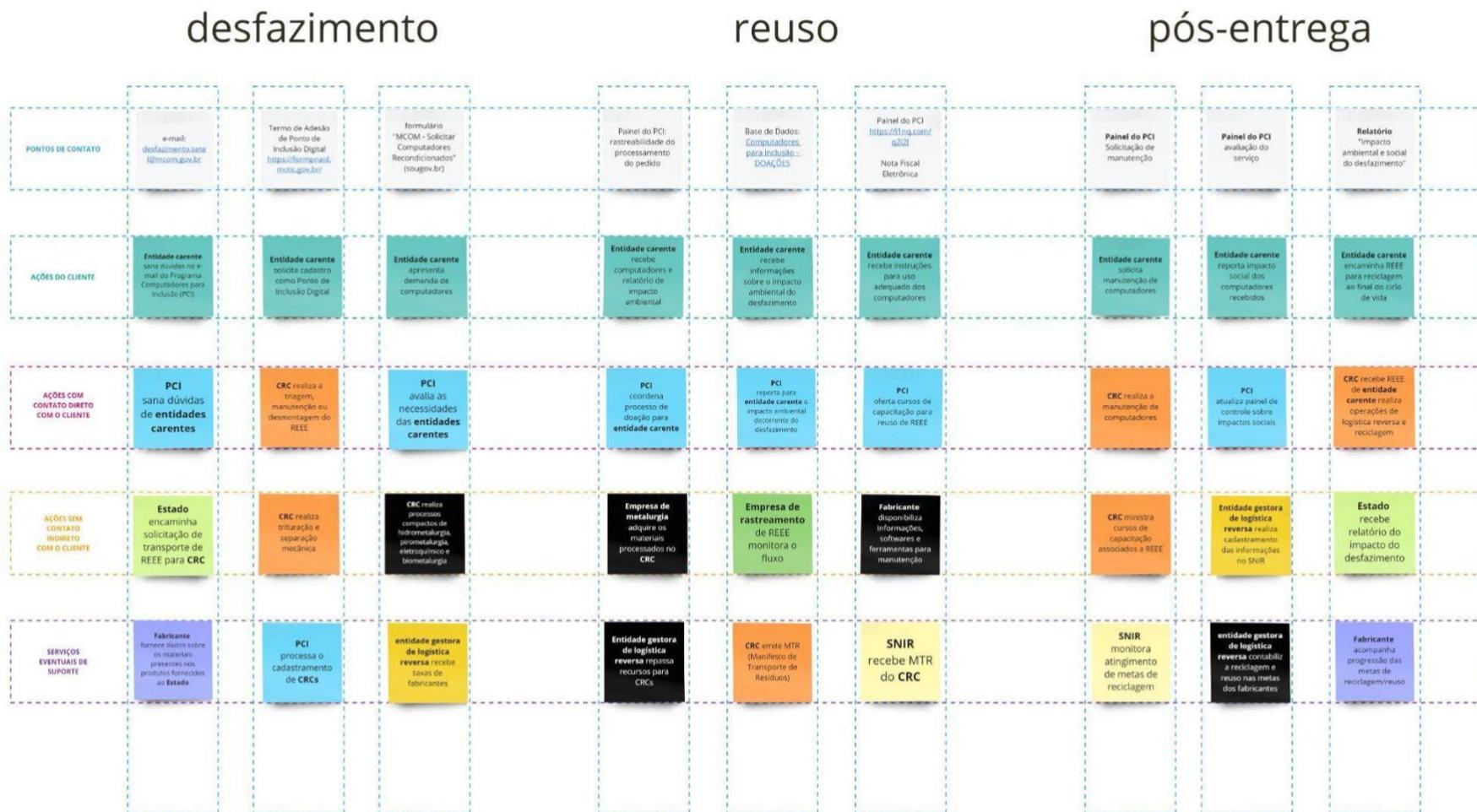


Figura 46 - Conceito C “Reciclagem Distribuída” – Blueprint. Fonte: Elaboração própria.



Figura 48 - Conceito C “Reciclagem Distribuída” – Canvas. Fonte: Elaboração própria.

7.5 META-CENÁRIO “D”: DESFAZIMENTO AMPLIADO

Descrição:

- **Planta nacional para reciclagem de REEE:** este meta-cenário considera a implantação em solo brasileiro de uma planta industrial para processamento da fração de REEE que hoje é enviado ao exterior;
- **Inclusão digital ampliada:** este meta-cenário considera a possibilidade de que o desfazimento via Pontos de Inclusão Digital possa contemplar não só organizações carentes mas, muito importante, pessoas e famílias carentes, participantes de programas sociais do governo;
- **Desfazimento ampliado:** o conceito contempla a possibilidade de que cidadãos ou empresas possam encaminhar computadores e outros equipamentos eletroeletrônicos para desfazimento junto ao CRC, condicionado à disponibilidade da unidade e ao estado de conservação do REEE. O reparo desses equipamentos para a inclusão digital é remunerado a partir das taxas recebidas pela entidade gestora de logística reversa, a qual pode computar os mesmos nas metas de reuso e reciclagem setoriais;
- **Voluntariado:** além dos serviços dos CRCs o conceito contempla a implementação de plataforma para articular o voluntariado, oferecendo oportunidades para especialistas locais realizarem o reparo de REEE destinado para organizações e pessoas carentes;
- **Responsabilidade Estendida para aquisições do Estado:** este conceito tem como pressuposto a implementação de um acordo setorial que instrumentalize a participação ativa de fabricantes e distribuidores na gestão do final do ciclo de vida de EEE vendido ao estado, com taxas que são pagas para a entidade gestora de logística reversa e, destas, para o PCI e CRCs;
- **Informações e capacitação para reparo:** informações e treinamentos para reparo produzidas pelos fabricantes são disponibilizadas no ato das licitações para o Estado e publicadas no portal do PCI para acesso dos colaboradores e estudantes dos CRCs, ampliando a capacidade de encaminhamento de REEE para reuso junto a Pontos de Inclusão Digital;
- **Ampliação do valor agregado dos CRCs:** este meta-cenário contempla a ampliação do valor agregado das atividades dos CRCs, como o provimento dos serviços de saneamento de dados e, também, de análise do índice de reparabilidade dos produtos eletroeletrônicos.



Figura 49 - Conceito D “Desfazimento Ampliado” – Storyboard. Fonte: Elaboração própria.

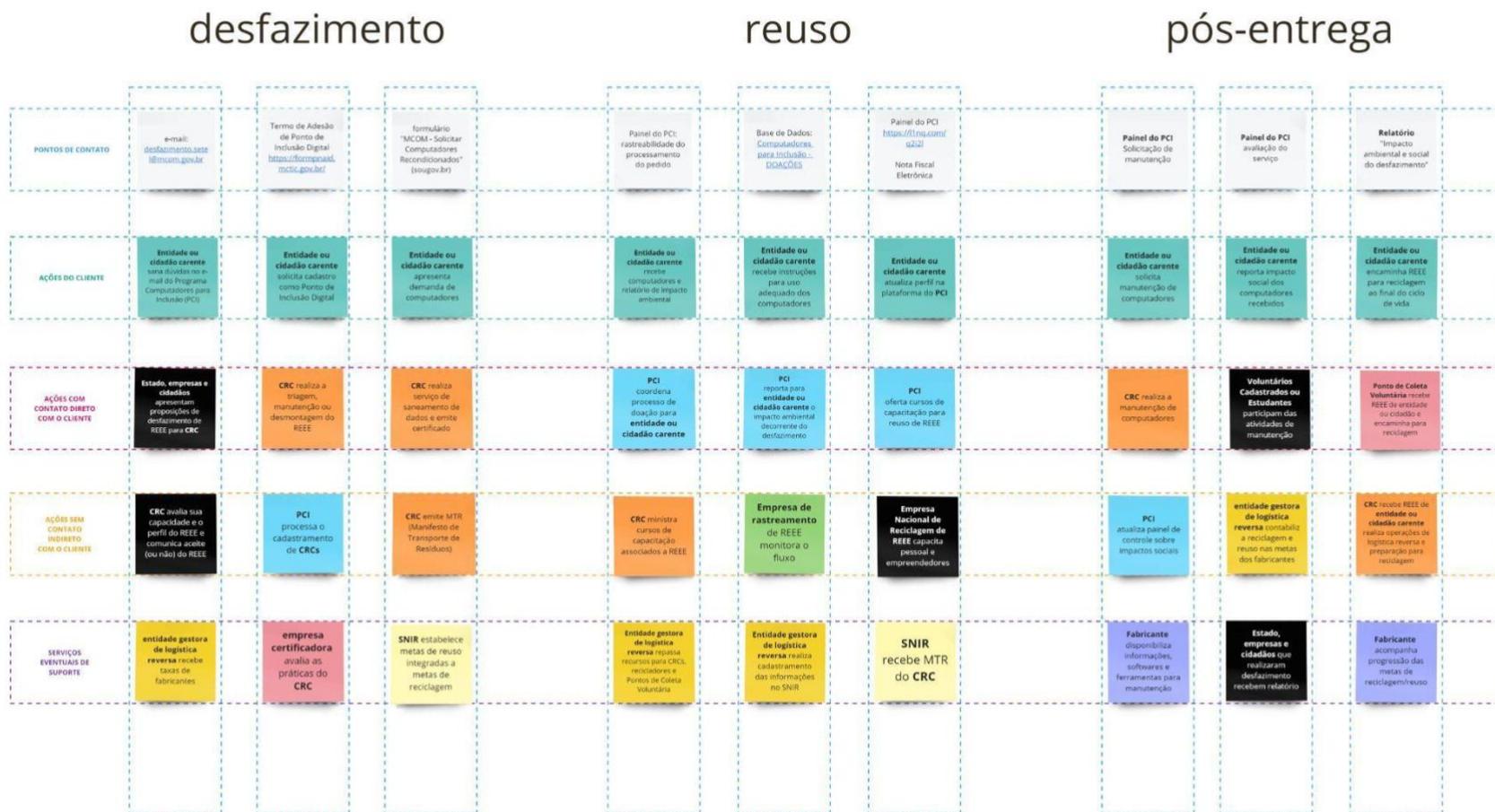


Figura 50 - Conceito D “Desfazimento Ampliado” – Blueprint. Fonte: Elaboração própria.

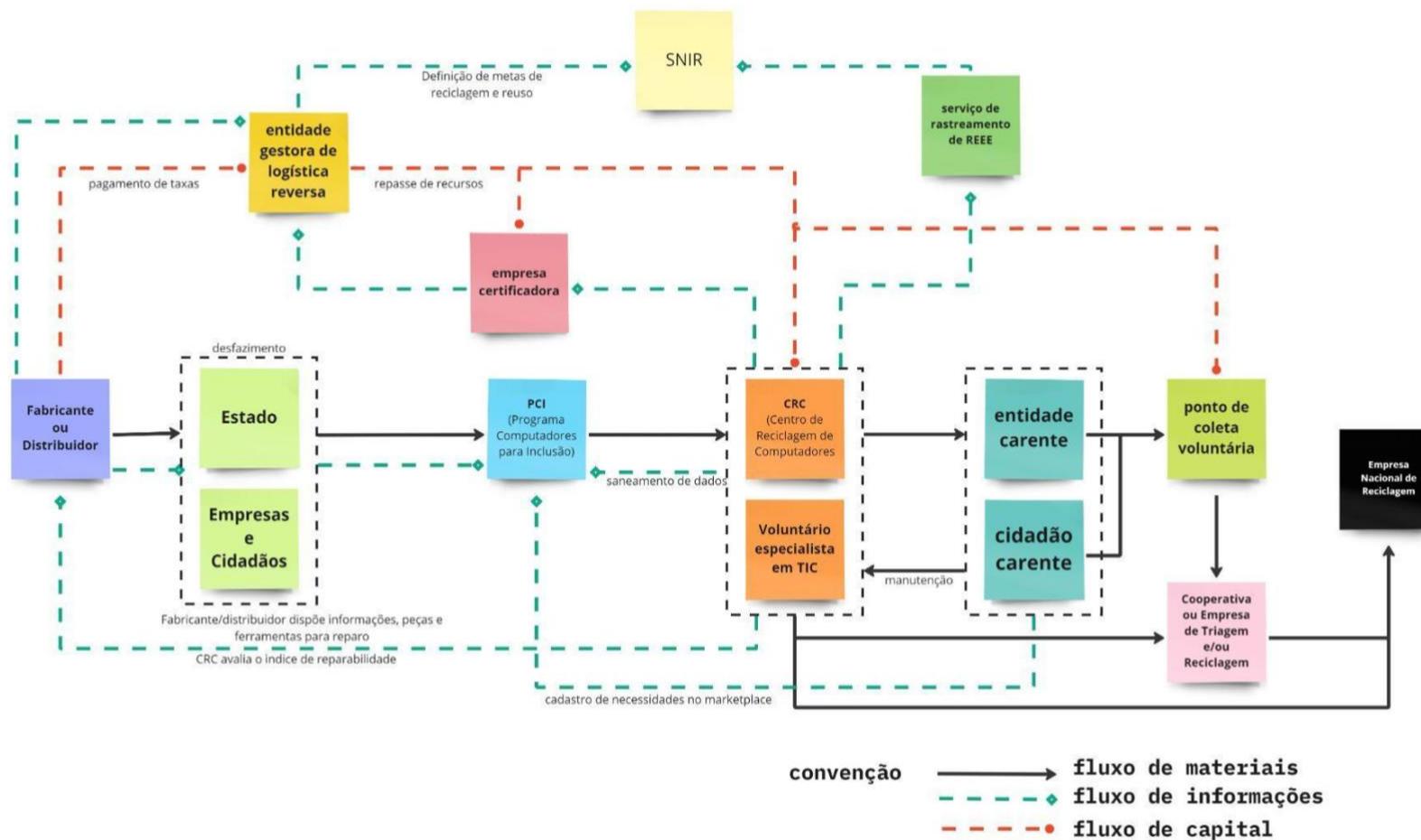


Figura 51 - Conceito D “Desfazimento Ampliado” – Mapa do Sistema. Fonte: Elaboração própria.

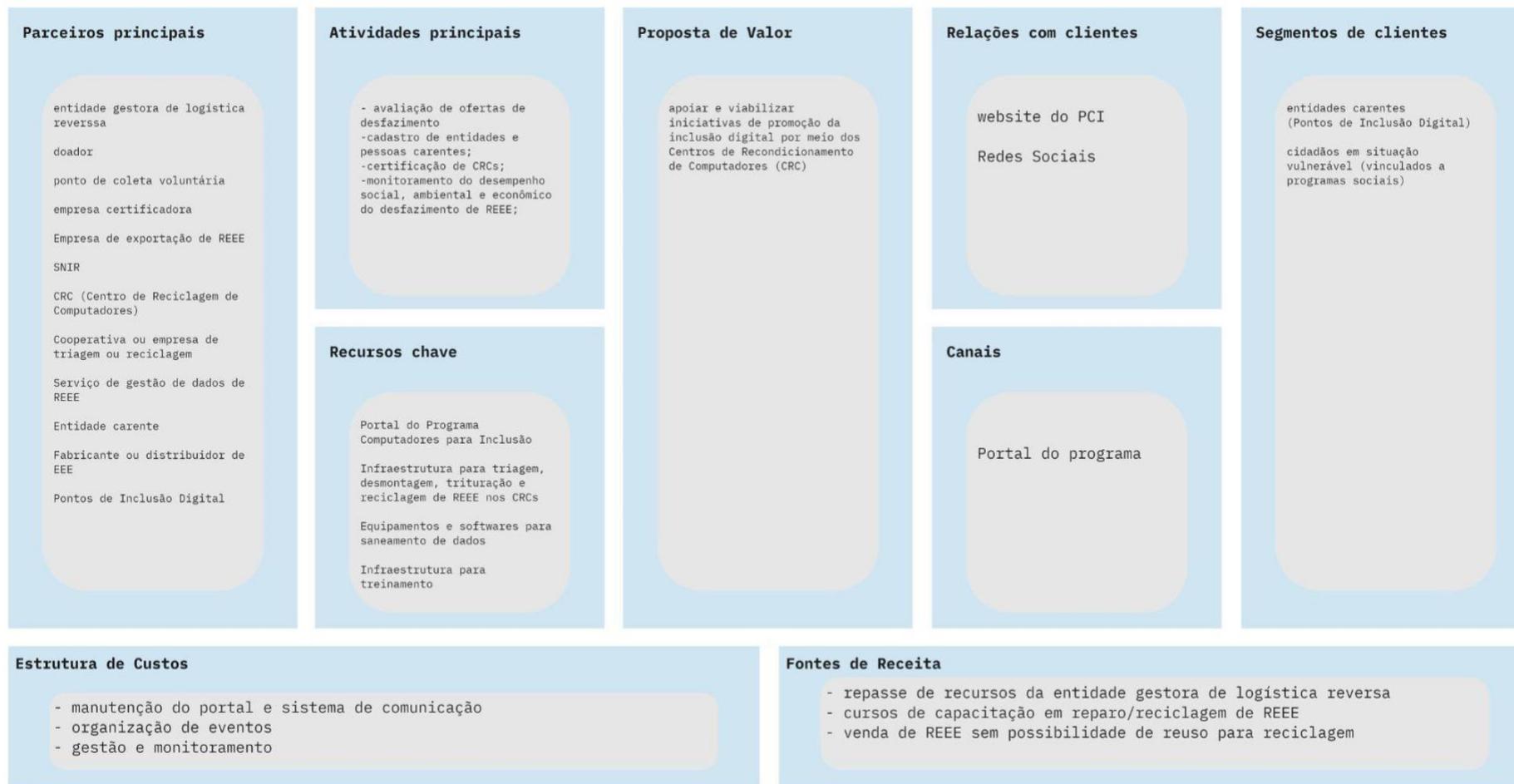


Figura 52 - Conceito D “Desfazimento Ampliado” – Canvas. Fonte: Elaboração própria.

7.6 META-CENÁRIO “E”: CRC COMO *HUBS* DE SERVIÇOS DE REPARO

Descrição:

- **Desfazimento ampliado:** o conceito contempla a possibilidade de que cidadãos ou empresas possam encaminhar computadores e outros equipamentos eletroeletrônicos para desfazimento junto ao CRC, condicionado à disponibilidade da unidade e ao estado de conservação do REEE. O reparo desses equipamentos para a inclusão digital é remunerado a partir das taxas recebidas pela entidade gestora de logística reversa, a qual pode computar os mesmos nas metas de reuso e reciclagem setoriais;
- **Contratação de prestadores de serviço locais:** demandas de reparo não atendidas pelo CRC para o REEE provindos do Estado podem ser realizadas junto a prestadores de serviço de reparo e manutenção locais, pagos com vouchers de reparo providos pela entidade gestora e logística reversa;
- **Responsabilidade Estendida para aquisições do Estado:** este conceito tem como pressuposto a implementação de um acordo setorial que instrumentalize a participação ativa de fabricantes e distribuidores na gestão do final do ciclo de vida de EEE vendido ao estado, com taxas que são pagas para a entidade gestora de logística reversa e, destas, para o PCI e CRCs;
- **Informações e capacitação para reparo:** informações e treinamentos para reparo produzidas pelos fabricantes são disponibilizadas no ato das licitações para o Estado e publicadas no portal do PCI para acesso dos colaboradores e estudantes dos CRCs, ampliando a capacidade de encaminhamento de REEE para reuso junto a Pontos de Inclusão Digital;
- **Ampliação do valor agregado dos CRCs:** este meta-cenário contempla a ampliação do valor agregado das atividades dos CRCs, como o provimento dos serviços de saneamento de dados e, também, de análise do índice de reparabilidade dos produtos eletroeletrônicos;
- **Planta nacional para reciclagem de REEE:** este meta-cenário considera a implantação em solo brasileiro de uma planta industrial para processamento da fração de REEE que hoje é enviado ao exterior.



Figura 53 - Conceito E “CRC como um Hub de Serviços” – Storyboard. Fonte: Elaboração própria.

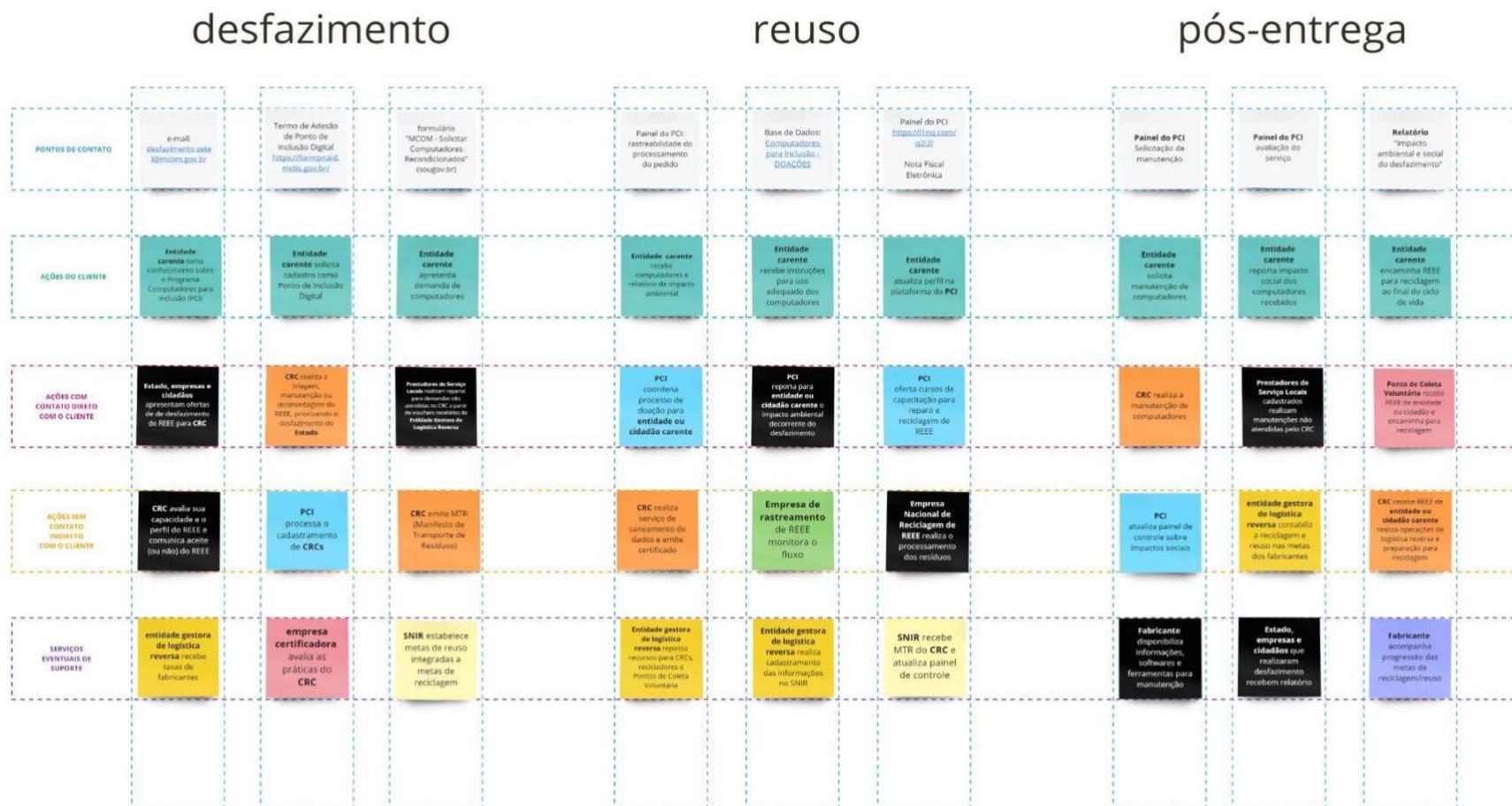


Figura 54 - Conceito E “CRC como um Hub de Serviços” – Blueprint. Fonte: Elaboração própria.

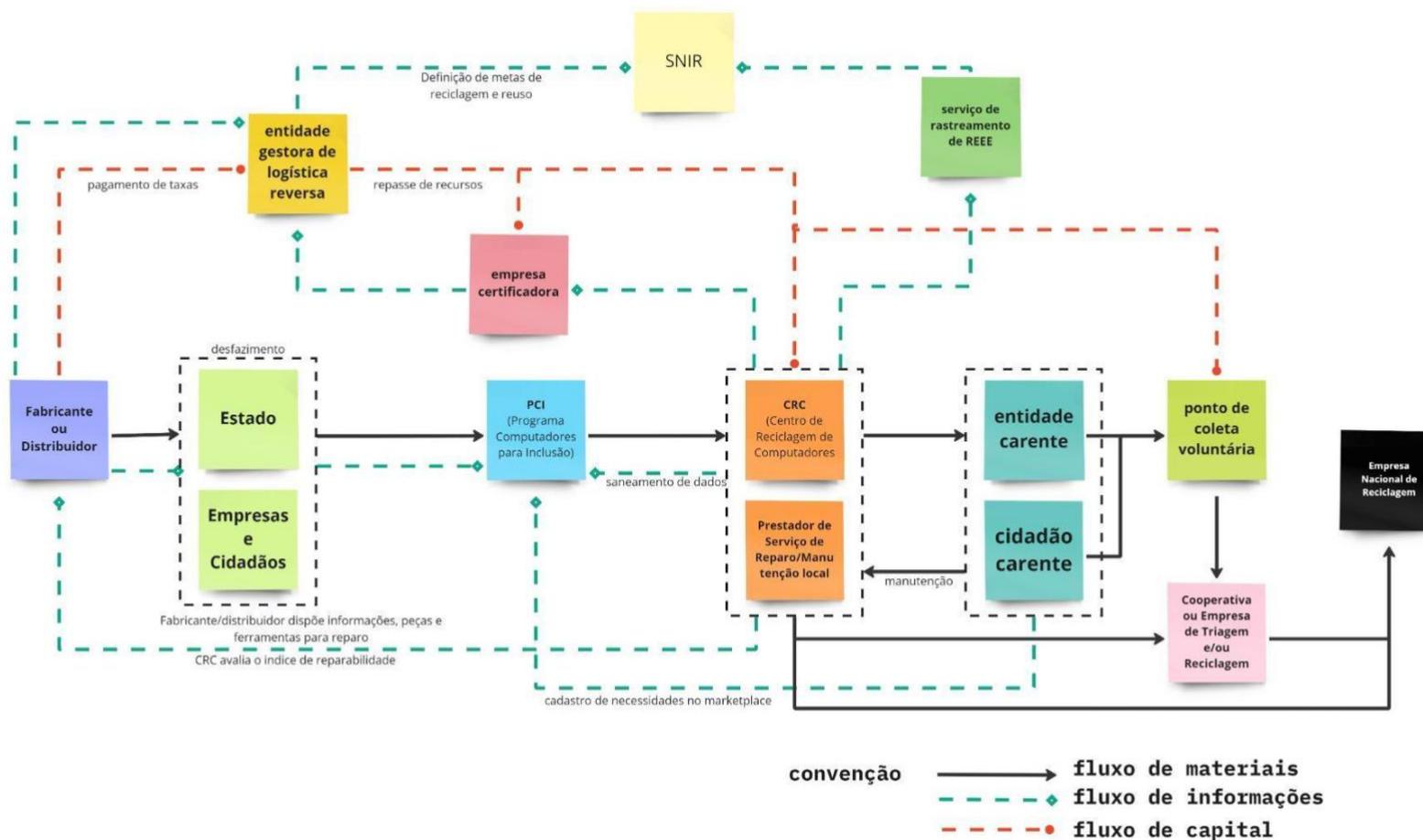


Figura 55 - Conceito E “CRC como um Hub de Serviços” – Mapa do Sistema. Fonte: Elaboração própria.



Figura 56 - Conceito E “CRC como um Hub de Serviços” – Canvas. Fonte: Elaboração própria.

8 PRINCIPAIS ACHADOS DO PROJETO

A execução do projeto possibilitou um conhecimento amplo sobre aspectos envolvidos na operação do Programa Computadores para Inclusão, extrapolando em muitos casos, aquilo que se entende atualmente como missão do Programa.

Entretanto, entende-se que um trabalho de investigação é realizado para buscar o que se encontra além do contexto do objeto de estudo e, nesse sentido a pesquisa realizada trouxe em seu bojo achados significativos que contribuem para a evolução do Programa e expansão e inovação de políticas públicas que envolva a temática dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos.

A seguir será exposta uma síntese e as potenciais aplicações desses achados.

8.1 ENTENDIMENTO DO QUE É REEE

A despeito do que o senso comum pode atribuir como conceito de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, a investigação evidenciou que tal conceito vai muito além daquilo que as pessoas comuns conseguem assimilar.

O projeto possibilitou entender as consequências advindas do consumo de equipamentos eletroeletrônicos mostrando seus impactos ambientais, sociais e econômicos.

No que se refere aos impactos ambientais, a investigação salientou que o problema não é somente estético, ou seja, não é somente o que fica aparente como o descarte inadequado de sucatas. O problema se desdobra em um impacto social relevante, pois provoca a contaminação de mananciais, solo e ar, acarretando problemas de saúde de curto, médio e longo prazo às pessoas.

Os impactos econômicos se refletem particularmente na escassez de materiais utilizados na construção dessa categoria de equipamentos. Na medida em que se amplia de forma exponencial o seu consumo, se depara com a carência de materiais valiosos e críticos, como ouro, paládio, prata, índio e terras raras.

Todos esses impactos mencionados já estão sendo trabalhados pelo programa na medida de seu alcance. A ampliação da capacidade de atuação do programa significa a ampliação do abrandamento desses impactos.

8.2 ENTENDIMENTO DE COMO O REEE É TRATADO AO REDOR DO MUNDO

A investigação possibilitou entender a evolução histórica do arcabouço normativo voltado ao tratamento de REEE, principalmente aquele emanado de organismos internacionais como o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), a União Internacional de Telecomunicações (UIT), bem como pela União Europeia.

O estudo trouxe luz também ao arcabouço legal adotado no território nacional incluindo a nova legislação sobre o desfazimento de equipamentos eletroeletrônicos no âmbito da administração pública.

Além do aspecto normativo, o estudo produziu um comparativo estruturado entre EUA, Inglaterra, Japão, Dinamarca e Brasil, países produtores / recicladores de EEE de relevância mundial, no qual podem ser comparados parâmetros tais como: legislação, visão geral do sistema com seus atores e fluxos de informação, material e financeiro, financiamento, responsabilidades de atores da cadeia de valor, exemplos de certificações e registros requeridos, mecanismos de controle e monitoramento, abordagem de educação ao consumidor e abordagem quanto ao design de EEE.

O estudo permite vislumbrar alguns aperfeiçoamentos das políticas adotadas pelo Brasil, dos quais pode-se apontar:

- a. Aperfeiçoamento da legislação e adoção de fiscalização sobre as práticas vinculadas ao tratamento de REEE;
- b. Proposição de normativos que esclareçam questões quanto à responsabilidade do fabricante e do consumidor, principalmente no que se refere à responsabilidade estendida do fabricante e do direito ao reparo;
- c. Ampliação das iniciativas de sensibilização da população quanto aos deveres e

direitos ligados ao tratamento de REEE;

- d. Criação de políticas públicas voltadas à prevenção, minimização, reutilização e reparo de REEE.

8.3 GESTÃO, MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DO PROGRAMA

Para a proposição de melhorias no monitoramento e avaliação para o Programa Computadores para Inclusão foi realizado ampla pesquisa voltada à identificação de indicadores na temática REEE no mundo que resultou na estruturação de uma cesta de indicadores que observa o ciclo de vida dos REEE e as dimensões ambiental, social e econômica, as quais organizam a visualização de informação.

A partir desses pontos de vista, foi proposto o seguinte arranjo de consolidação dos indicadores:

- a. **Reciclagem:** consolida os indicadores ligados à operação executada nos Centros de Recondicionamento de Computadores;
- b. **Desfazimento:** consolida os indicadores ligados à operação de desfazimento pelos órgãos públicos;
- c. **Reuso:** consolida os indicadores ligados à recuperação, reparo e remanufatura de REEE;
- d. **Social:** consolida os indicadores ligados ao processo de formação propiciado pelo Programa Computadores para Inclusão;
- e. **Econômico:** consolida os indicadores econômicos vinculados à operação do programa.

Organizados por esse arranjo, foi elaborada uma cesta com 174 indicadores pertinentes a gestão, acompanhamento e avaliação do Programa, cuja implementação pode se dar de forma gradativa, conforme a necessidade e conveniência dos gestores. Para a apresentação dessa cesta de indicadores, foi construído um protótipo funcional de painéis de informação integrados (*dashboards*) em PowerBI explorando as características de estruturação de visões, identidade gráfica e navegabilidade.

Adicionalmente foi realizada pesquisa de mercado para identificar plataforma eletrônica de gestão com dois objetivos principais. O primeiro, implementar uma ferramenta de software de apoio ao funcionamento do Programa junto aos atores envolvidos (Órgão doador, CRC e PID), automatizando a coleta de evidências relevantes à gestão do fluxo de atividades desde a doação, passando pelo tratamento e reuso de EEE, até o descarte adequado do REEE, observando em especial a coleta de dados sobre estoque, normatizações ambientais e trabalhistas, e a destinação de EEE reconicionados e REEE. Esses dados conformam uma das fontes de dados bruto que alimenta os painéis de informação integrados (*dashboards*). O segundo objetivo alcançado foi, a partir do uso dessa plataforma, derivar as características técnicas e requisitos funcionais para uma tal plataforma de gestão.

Com o fito de fortalecer a segurança jurídica do programa foi elaborada lista de verificação (*checklist*) de protocolos, boas práticas e certificados requeridos para atuação dos parceiros (CRC) do Programa. Adicionalmente foi elaborada lista de verificação contemplando licenças e certificados adicionais, que podem oferecer contribuição valiosa no aperfeiçoamento do sistema brasileiro de gestão de REEE, por exemplo, por meio da qualificação técnica dos serviços providos pelos parceiros.

8.4 CENÁRIOS

Conforme apresentado na seção 7 do presente documento, foram propostos cenários evolutivos que contemplam as tendências e boas práticas observadas no estudo, os quais fornecem subsídios para a implementação de políticas públicas não existentes e para o fortalecimento daquelas já implantadas.

Dentre as propostas sugeridas destacam-se:

- a. **Responsabilidade estendida para aquisições do Estado:** tem como pressuposto a implementação de um acordo setorial que instrumentalize a participação ativa de fabricantes e distribuidores na gestão do final do ciclo de vida de EEE vendido ao

estado, com taxas pagas para a entidade gestora de logística reversa e, destas, para o Programa Computadores para Inclusão e CRC;

- b. **Desfazimento orientado tanto a instituições como a cidadãos carentes:** tanto organizações carentes como cidadãos em situação vulnerável poderiam se cadastrar para receber computadores originados no programa;
- c. **Informações e capacitação para reparo:** informações e treinamentos para reparo produzidas pelos fabricantes seriam disponibilizadas no ato das licitações para o Estado e publicadas no portal do Programa Computadores para Inclusão para acesso dos colaboradores e estudantes dos CRC, ampliando a capacidade de encaminhamento de REEE para reuso junto a Pontos de Inclusão Digital;
- d. **Desfazimento ampliado:** possibilidade de que cidadãos ou empresas possam encaminhar computadores e outros equipamentos eletroeletrônicos para desfazimento junto ao CRC, condicionado à disponibilidade da unidade e ao estado de conservação do REEE. O reparo desses equipamentos para a inclusão digital seria remunerado a partir das taxas recebidas pela entidade gestora de logística reversa, a qual pode computar os mesmos nas metas de reuso e reciclagem previstas no acordo setorial.

9 CONCLUSÃO

O Programa Computadores para Inclusão promove a execução de processos de recepção, triagem, recondicionamento, estoque, descarte e doação de equipamentos eletroeletrônicos, além de promover a inclusão digital por meio da capacitação de pessoas em situação de vulnerabilidade e instrumentação de equipamentos públicos com equipamentos de tecnologia da informação que passaram por processos de recondicionamento pelos parceiros do Programa.

Para melhor alcance dos objetivos do Programa, o MCom encomendou estudo técnico ao CGEE no sentido de intensificar o uso das tecnologias de inteligência de dados, produzindo informação gerencial e estratégica para acompanhamento e avaliação da política, em especial no aspecto que envolve os resíduos eletroeletrônicos e melhoria na gestão e garantia da conformidade no tratamento de resíduos eletroeletrônicos com a legislação atual e as boas práticas identificadas, com suporte automatizado para ação do gestor público e demais envolvidos na execução das atividades do programa, bem como a diminuição de riscos operacionais e ambientais no sistema.

O CGEE, no intuito de atender a demanda do MCom, realizou estudo estratégico amplo nos eixos (i) técnico-acadêmico sobre o tema resíduos de equipamentos eletroeletrônica (REEE) e (ii) inteligência de dados e inovação. O estudo contempla recomendações para endereçar melhorias e evolução para o Programa integrando-o no pano de fundo dos conceitos mais amplos de economia circular, sustentabilidade do uso de recursos naturais, ameaças enfrentadas pela rápida evolução tecnológica que caracteriza os tempos atuais e o aproveitamento de oportunidades trazidas pelo debate mundial sobre o assunto.

O estudo técnico-acadêmico revelou achados significativos, proporcionando *insights* valiosos para aprimorar não apenas o próprio programa, mas também para orientar novas políticas públicas relacionadas aos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos. Esses achados podem contribuir significativamente para a

evolução e consolidação do panorama brasileiro no que tange à gestão responsável de REEE.

No que diz respeito ao entendimento do conceito de REEE, a pesquisa evidenciou as amplas consequências da fabricação, consumo e fim de uso desses equipamentos nos âmbitos ambiental, social e econômico.

O programa já atua no enfrentamento desses impactos e, a expansão de sua capacidade operacional, representa uma oportunidade para mitigar ainda mais esses efeitos.

O estudo estratégico contemplou um benchmarking e posição nacional frente ao desafio de REEE que revelou diversas abordagens adotadas por quatro diferentes países, um deles o Brasil, no tratamento de REEE. Essa compreensão mais ampla permitiu vislumbrar possíveis aperfeiçoamentos para as políticas públicas nacionais, incluindo aspectos como legislação, responsabilidade do fabricante, sensibilização da população e abordagens mais abrangentes que vão além do gerenciamento para incluir a prevenção, minimização, reutilização e reparo de REEE.

Na linha de inteligência de dados e inovação o estudo municiou a sistemática de monitoramento e avaliação do Programa Computadores para Inclusão, por meio de uma cesta de indicadores abrangente, considerando dimensões ambientais, sociais e econômicas que integram indicadores do Programa com indicadores mais amplos sobre o sustentabilidade e gestão de REEE no sistema nacional, alinhando-se com as diretrizes do Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Por meio da identificação e implantação piloto de plataforma de gestão digital abrangendo o MCom e os atores do Programa (doadores, CRC, PID), o estudo inovou com ferramenta de software para o apoio à operacionalização do Programa bem como coleta de dados operacionais para a implementação dos indicadores.

Na mesma linha e, guarnecido pelo conhecimento advindo do *benchmarking* realizado, o projeto proporcionou significativas contribuições para a segurança jurídica do Programa por meio da compilação de protocolos, certificações e

normatizações pertinentes à atuação no tratamento de REEE, consolidando duas listas de verificação de conformidade. A primeira compreende os requisitos mínimos para a atuação do CRC. A segunda, inovadora para o caso brasileiro, reconhece e direciona melhorias de qualidade dos serviços providos por esses agentes no sistema e, por consequência, sua amplitude de atuação e sustentabilidade como empreendimento. Essas listas instrumentam o gestor na avaliação da conformidade de atuação dos parceiros do programa.

Reconhecendo que o ciclo de vida de equipamentos eletroeletrônicos (EEE) é parte cada vez mais relevante da vida cotidiana das pessoas em qualquer parte do mundo, o estudo contribui com subsídios para o fortalecimento de políticas e programas para o aumento de sua sustentabilidade, do uso de recursos naturais e tratamento de problemas enfrentados pelos grandes centros urbanos. Do conhecimento gerado pelo estudo, foram propostos cenários evolutivos que representam oportunidades para políticas públicas inovadoras. Essas propostas têm o potencial não apenas de fortalecer o Programa Computadores para Inclusão, mas também de impactar positivamente o cenário mais amplo da gestão de REEE no Brasil.

Em síntese, os resultados e aprendizados do projeto não só enriquecem o entendimento sobre a gestão de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos no contexto brasileiro, mas também fornecem uma base sólida para aprimoramentos contínuos, expansões estratégicas e contribuições para o desenvolvimento de políticas públicas mais eficientes e sustentáveis.

REFERÊNCIAS

- ADRIAN, S., DRISSE, M. B., CHENG, Y., DEVI, L., DEUBZER, O., GOLDIZEN, F., . . . SILVA, U. (2020). *The Global E-waste Monitor 2020 - Quantities, flows, and the circular economy potential*. Bonn/Geneva/Rotterdam: UNU.
- ALAM, T., GOLMOHAMMADZADEH, R., FARAJI, F., & SHAHABUDDIN, M. (2022). Paradigm Shift in E-waste Management. Em *E-Waste Recycling Technologies: An Overview, Challenges and Future Perspectives* (pp. 143-176). Boca Ratón: CRC Press.
- ALBLOOSHI, B. G., AHMAD, S. Z., HUSSAIN, M., & SINGH, S. K. (2022). Sustainable management of electronic waste: Empirical evidences from a stakeholders' perspective. *Business Strategy and the Environment*, 1856-1874.
- ANDERSEN, T., JÆGER, B., & MISHRA, A. (2020). Circularity in Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) Directive. Comparison of a Manufacturer's Danish and Norwegian Operations. *Sustainability*.
- ANKIT, SAHA, L., KUMAR, V., TIWARI, J., SWETA, RAWAT, S., . . . BAUDDH, K. (s.d.).
- ASTLEITHNER, F., HAMEDINGER, A., HOLMAN, N., & RYDIN, Y. (2004). Institutions and indicators – The discourse about indicators in the context of sustainability. *Journal of Housing and the Built Environment*, 7-24.
- BAHERS, J. B., & KIM, J. (2018). Regional approach of waste electrical and electronic equipment (WEEE) management in France. *Resources, Conservation and Recycling*, 45-55.
- BALDÉ, C. P., FORTI, V., GRAY, V., KUEHR, R., & STEGMANN, P. (2017). *The Global E-waste Monitor 2017: Quantities, Flows, and Resources*. New York: UNU/ITU/ISWA.
- BO, B., & YAMAMOTO, K. (2010). Characteristics of E-waste Recycling Systems in Japan and China . *International Journal of Environmental and Ecological Engineering*, 89-95.
- BOUZON, M., GOVINDAN, K., RODRIGUEZ, C. M., & CAMPOS, L. M. (2016). Identification and analysis of reverse logistics barriers using fuzzy Delphi method and AHP. *Resources, Conservation and Recycling*, 182-197.
- BRASIL. (14 de Dec de 2023). *Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências*. Fonte: Presidência da República Casa Civil: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm

- BUI, T.-D., TSENG, J.-W., TSENG, M.-L., & LIM, M. (2022). Opportunities and challenges for solid waste reuse and recycling in emerging economies: A hybrid analysis. *Resources, Conservation and Recycling*.
- CETEM/MCTI. (2023). *Diagnóstico da mineração urbana dos resíduos eletroeletrônicos no Brasil : Projeto MINARE: relatório final / Lúcia Helena Xavier (coord.)*. Rio de Janeiro: CETEM.
- CGEE. (2017). *Desenho e detalhamento do primeiro nível do metaprocesso Inteligência Estratégica em CTI*. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE.
- CGEE. (2020). *Mapa da cobertura nacional de rede de fibra óptica e acesso à internet - Relatório final do Mapa da conectividade no território nacional*. In: *Conectividade das Telecomunicações no Território Nacional*. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE.
- CGEE. (2022). *Políticas e soluções para cidades sustentáveis: saneamento/resíduos sólidos. Resumo Executivo*. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE.
- CGEE. (08 de 2022). REGULAMENTO DE SELEÇÃO E CONTRATAÇÃO DE OBRAS, SERVIÇOS, COMPRAS E ALIENAÇÕES. Brasília, DF, Brasil: CGEE.
- CGEE. (2023). *Caderno de Requisitos: Gestão e Acompanhamento do Programa Computadores para Inclusão*. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos.
- CHAVES, L. I., SANTOS, A. d., SANTOS, A. S., MAZZIEIRO, A. T., CAVALCANTE, A. L., PAZMINO, A. V., . . . LIMA, F. (2019). *1 Design para a Sustentabilidade: Dimensão Social*. Curitiba: Insight.
- CHUNG, S.-W., & MURAKAMI-SUZUKI, R. (2008). A comparative study of E-waste recycling systems in Japan, South Korea and Taiwan from the EPR perspective Implications for developing countries. *Economics, Environmental Science*, 125-145.
- CIFRIAN, E., CORTA, B. G., ANDRÉS, A., & VIGURI, J. R. (2012). Material flow indicators and carbon footprint for MSW management systems: Analysis and application at regional level, Cantabria, Spain. *Resources Conservation and Recycling*, 54-66.
- CLARKE, C., WILLIAMS, I. D., & TURNER, D. A. (2019). Evaluating the carbon footprint of WEEE management in the UK. *Resources, Conservation and Recycling*, 465-473.
- CONSTANTINESCU, A., PLATON, V., SURUGIU, M., FRONE, S., ANTONESCU, D., & MAZILESCU, R. (2022). The Influence of Eco-Investment on E-Waste Recycling-Evidence From EU Countries. *Frontiers in Environmental Science*.

- DALY, C. (2010). *An Introduction to Philosophical Methods*. Peterborough: Broadview Press.
- DAVE, R. W., SHAH, M. B., & TIPGRE, D. R. (2016). E-waste: metal pollution threat or metal resource? *Journal of Advanced Research in Biotechnology*, 1-14.
- DE WALL, I. M. (2023). The Legal Transition towards a More Circular Electrical and Electronic Equipment Chain—A Case Study of The Netherlands. *Sustainability*.
- DHIR, A., MALODIA, S., AWAN, U., SAKASHITA, M., & KAUR, P. (2021). Extended valence theory perspective on consumers' e-waste recycling intentions in Japan. *Journal of Cleaner Production*.
- DIAS, P. R., BENEVIT, M. G., & VEIT, H. M. (2016). Photovoltaic solar panels of crystalline: characterization and separation. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 235–245.
- DIAS, P., MACHADO, A., HUDA, N., & BERNARDES, A. M. (2018). Waste electric and electronic equipment (WEEE) management: A study on the Brazilian recycling routes. *Journal of Cleaner Production*, 7-16.
- DIAZ, L. A., LISTER, T. E., PARKMAN, J. A., & CLARK, G. G. (2016). Comprehensive process for the recovery of value and critical materials from electronic waste. *Journal of Cleaner Production*, 236-244.
- DOAN, L., & LEE, S. H. (2019). Strategies-for-E-Waste-Management-A-Literature-Review. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 157-162.
- DOMINGUES, G. S., GUARNIERI, P., & STREIT, J. A. (12 de Dec de 2016). Princípios e Instrumentos da Política Nacional de Resíduos Sólidos: Educação Ambiental para a Implementação da Logística Reversa: Princípios e Instrumentos da Política Nacional de Resíduos Sólidos: Educação Ambiental para a Implementação da Logística Reve. *Revista em Gestão, Inovação e Sustentabilidade*, pp. 191-2016.
- DOSHI, N. C., BHALANI, J. V., & BECHARA, S. M. (2016). Concurrent Engineering Principles – Preach and Practice: Case Study. *International Journal of Engineering Development and Research*, 2321-9939.
- DUARTE, G. G. (2022). *Design para a Economia Verde: Aprendizagem Reflexiva em Organizações. 2022. Tese (Doutorado em Design). Programa de Pós-graduação em Design*. Curitiba: Universidade Federal do Paraná.
- DUMAN, G. M., & KONGAR, E. (2023). ESG Modeling and Prediction Uncertainty of Electronic Waste. *Sustainability*.

- ECHEGARAY, F., & HANSSTEIN, F. V. (2017). Assessing the intention-behavior gap in electronic waste recycling: the case of Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 180-190.
- EIFERT, B. (2009). Do Regulatory Reforms Stimulate Investment and Growth? Evidence from the Doing Business Data, 2003-07. *SSRN*.
- FORTI, V., BALDÉ, C. P., KUEHR, R., & BEL, G. (2020). *The Global E-Waste Monitor 2020: Quantities, Flows and the Circular Economy Potential*. Bonn/Geneva/Rotterdam: United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) – co-hosted SCYCLE Programme, International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA).
- FUAD-LUKE, A. (2002). *Manual de diseño ecológico*. Palma de Mallorca: Cartago.
- GÓMEZ-NAVARRO, T., GARCÍA-MELÓN, M., GUIJARRO, F., & PREUSS, M. (2017). Methodology to assess the market value of companies according to their financial and social responsibility aspects: an AHP approach. *Journal of the Operational Research Society*.
- GARLAPATI, V. K. (2016). E-waste in India and developed countries: Management, recycling, business and biotechnological initiatives. *Renewable Sustainable Energy Reviews Journal*, 54, 874-881.
- GAVRILESCU, D., ENACHE, A., IBĂNESCU, D., TEODOSIU, C., & FIORE, S. (2021). Sustainability assessment of waste electric and electronic equipment management systems: Development and validation of the SUSTWEEE methodology. *Journal of Cleaner Production*.
- GHISOLFI, V., CHAVES, G. D., SIMAN, R. R., & XAVIER, L. H. (2017). System dynamics applied to closed loop supply chains of desktops and laptops in Brazil: A perspective for social inclusion of waste pickers. *Waste Management*, 14-31.
- GIBBS, H. K., HUESCH, A. S., ACHARD, F., CLAYTON, M. K., HOLMGREN, P., RAMANKUTTY, N., & FOLEY, J. A. (2010). Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s. *PNAS*, 16732-16737.
- GOSSART, C. (2011). *StEP Green Paper on E-waste Indicators*. Paris: StEP.
- GOV.UK. (15 de Dec de 2023). *Regulations: Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)*. Fonte: GOV.UK: <https://www.gov.uk/guidance/regulations-waste-electrical-and-electronic-equipment>
- GREENELETRON. (2023). *RELATÓRIO ANUAL DE ATIVIDADES 2022*. São Paulo: GREENELETRON.

- GRUNOW, M., & GOBBI, C. (2009). Designing the reverse network for WEEE in Denmark. *CIRP Annals*, 391-394.
- GSMA. (22 de Dec de 2023). *Mobile for Development*. Fonte: E-Waste Legislative Framework Map: <https://www.gsma.com/mobilefordevelopment/e-waste-legislative-framework-map/>
- HAMMOND, A. L. (1995). *Environmental Indicators: A Systematic Approach to Measuring and Reporting on Environmental Policy Performance in the Context of Sustainable Development*. Washington: World Resources Institute.
- HISCHIER, R., & BÖNI, H. W. (2021). Combining environmental and economic factors to evaluate the reuse of electrical and electronic equipment – a Swiss case study. *Resources, Conservation and Recycling*.
- HOAG, C., BERTONI, F., & BUBANDT, N. (2023). Wasteland Ecologies: Undomestication and Multispecies Gains on an Anthropocene Dumping Ground. *The Journal of Ethnobiology (JoE)*, 88–104.
- HUMANA, B. (17 de Dec de 2023). *DEMATERIALIZATION*. Fonte: Public Sphere Project: <http://publicsphereproject.org/node/217>
- IBANESCU, D., GABRILESCU, D. C., TEODOSIU, C., & FIORE, S. (2018). Assessment of the waste electrical and electronic equipment management systems profile and sustainability in developed and developing European Union countries. *Waste Management*, 39-53.
- INFOMONEY. (15 de Dec de 2023). *enda de computadores cresce 6% no Brasil no 1º trimestre, aponta levantamento*. Fonte: INFOMONEY: <https://www.infomoney.com.br/consumo/venda-de-computadores-cresce-6-no-brasil-no-1o-trimestre-aponta-levantamento/>
- ISMAIL, H., & HANAFIAH, M. M. (2021). Evaluation of e-waste management systems in Malaysia using life cycle assessment and material flow analysis. *Journal of Cleaner Production*.
- JAIN, A., & GURTOO, A. (2019). E-Waste and Sustainability: Impact Assessment Indicators . *International Conference on Transformational Strategies for Business Sustainability*. Bangalore: Chrit University.
- JANNUZZI, P. d. (2002). Considerações sobre o uso, mau uso e abuso dos indicadores sociais na formulação e avaliação de políticas públicas municipais. *Revista de Administração Pública*, 36(1), 51-72.
- JWNET. (2018). *Electronic Manifest System for Industrial Waste in Japan*. Tokio: Japan Industrial Waste Information Center.
- KAHHAT, R., KIM, J., XU, M., LLENBY, B., WILLIAMS, E., & ZHANG, P. (2008). Exploring e-waste management systems in the United States. *Resources, Conservation and Recycling*, 955-964.

- KANG, H., LIU, Y., CAO, K., ZHAO, Y., JIAO, L., WANG, Y., & YUAN, H. (2015). Update on anode materials for Na-ion batteries. *Journal of Materials Chemistry*, 17899–17913.
- KISSLING, R., FITZPATRICK, C., BOENI, H., LEUPSCHEN, C., ANDREW, S., & DICKENSON, J. (2012). Definition of generic re-use operating models for electrical and electronic equipment. *Resources, Conservation and Recycling*, 85-99.
- KOLLIKATHARA, N., FENG, H., & STERN, E. (2009). A purview of waste management evolution: Special emphasis on USA. *Waste Management*, 974-985.
- KUMAR, A., HOLUSZKO, M., & ESPINOSA, D. C. (2017). E-waste: An overview on generation, collection, legislation and recycling practices. *Resources, Conservation and Recycling*, 32-42.
- LIMA, H. M., & FORMOSO, C. T. (2005). *Concepção e implementação de sistema de indicadores de desempenho em empresas construtoras de empreendimentos habitacionais de baixa renda*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS.
- LIU, K., TAN, Q., YU, J., & WANG, M. (2023). A global perspective on e-waste recycling. *Circular Economy*, 16732–16737.
- MAGRINI, C., NICOLAS, J., BERG, H., BELLINI, A., PAOLINI, E., VINCENTI, N., . . . BONOLI, A. (2021). Using Internet of Things and Distributed Ledger Technology for Digital Circular Economy Enablement: The Case of Electronic Equipment. *Sustainability*.
- MANZINI, E., & VEZZOLI, C. (2002). *O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais*. São Paulo: EDUSP.
- MARINELLO, S., & GAMBERINI, R. (2021). Multi-Criteria Decision Making Approaches Applied to Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE): A Comprehensive Literature Review . *Toxics*.
- MARTI, L., & PUERTAS, R. (2021). Influence of environmental policies on waste treatment. *Waste Management*, 191-200.
- MCOM. (27 de Dec de 2023). *Ministério das Comunicações*. Fonte: Computadores para Inclusão: <https://www.gov.br/mcom/pt-br/acao-a-informacao/acoes-e-programas/programas-projetos-acoes-obras-e-atividades/computadores-para-inclusao-1>
- NAMIAS, J. (2013). *The Future of Electronic Waste Recycling in the United States: Obstacles and Domestic Solutions*. New York: Department of Earth and Environmental Engineering - Columbia University.

- NELEN, D., MANSHOVEN, S., PEETERS, J. R., VANEGAS, P., D'HAESE, N., & VRANCKEN, K. (2014). A multidimensional indicator set to assess the benefits of WEEE material recycling. *Journal of Cleaner Production*, 305-316.
- OLIVEIRA, U. R. (2016). *Contributions to Improve the Management of Waste Electrical and Electronic Equipment in Brazil, in the Context of Environmental Sustainability*. São Paulo: UNESP.
- OSIBANJO, O., & NNOROM, I. (2017). The challenge of electronic waste (e-waste) management in developing countries. *Waste Management & Research the Journal for a Sustainable Circular Economy*, 489-501.
- PALANISAMY, K., & SUBBURAJ, R. G. (2023). Integration of electronic waste management: a review of current global generation, health impact, and technologies for value recovery and its pertinent management technique. *Environmental Science and Pollution Research*. Springer Science and Business Media LLC, 1-21.
- PATIL, R. A., & RAMAKRISHNA, S. (2020). A comprehensive analysis of e-waste legislation worldwide. *Environmental Science and Pollution Research*, 14412–14431.
- PEREIRA, R. S. (2018). *Logística reversa de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos: proposta de indicadores de monitoramento para órgãos ambientais - Dissertação (Mestrado em Ciências)*. São Paulo: Universidade de São Paulo.
- PEREIRA, R. S., RIBEIRO, F. M., & GÜNTHER, W. M. (2017). Indicadores para gestão de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos: uma comparação inicial. *6th Advanced Workshop in Cleaner Production*. São Paulo: Advances in Cleaner Production Network.
- PETRIDIS, N. E., PETRIDIS, K., & STIAKASIS, E. (2020). Global e-waste trade network analysis. *Resources, Conservation and Recycling*.
- PLUTH, B. P. (2010). *Webinars with Wow Factor: Tips, Tricks & Interactivities for Virtual Training*. Excelsior, Minnesota: Pluth Consulting.
- PWC. (2017). *Signstolook for: Criteriafor developingand selectingfitfor purpose indicators*. Wellington, NZ: Price Waterhouse Coopers.
- REBITZER, G. (2002). Integrating Life Cycle Costing and Life Cycle Assessment for Managing Costs and Environmental Impacts in Supply Chains. Em S. SEURING, & M. GOLDBACH, *Cost Management in Supply Chains*. Oldenburg, Germany: Institute of Business Administration, Faculty for Business, Economics and Law Uhlhornsweg.
- REBITZER, G., EKVAL, T., FRISCHKNECHT, R., HUNKELER, D., NORRIS, G., RYDBERG, T., . . . PENNINGTON, D. W. (2004). Life cycle assessment:

Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment International*, 701-720.

RIBER, C., FREDRIKSEN, G. S., & CHRISTENSEN, T. H. (2005). Heavy metal content of combustible municipal solid waste in Denmark . *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy (WM&R)*, 126–132.

ROHSGUIDE. (15 de Dec de 2023). *RoHS Guide*. Fonte: RoHS Guide: <https://www.rohsguide.com/>

RUIZ, A. (15 de Dec de 2023). *The Roundup*. Fonte: TheRoundup: <https://theroundup.org/global-e-waste-statistics/>

SACHS, J. D. (2012). From Millennium Development Goals to Sustainable Development Goals. *The Lancet Journal*, 2206-2211.

SAMPAIO, C. P., SANTOS, A., LOPES, C. S., TREIN, F. A., CHAVES, L. I., LIBRELOTTO, L. I., . . . NUNES, V. G. (2018). *Design para a Sustentabilidade: Dimensão Ambiental*. Curitiba: Editora Insight.

SANTOS, C. A. (2012). *A gestão dos resíduos eletroeletrônicos e suas consequências para a sustentabilidade: um estudo de múltiplos casos na Região Metropolitana de Porto Alegre - Dissertação de Mestrado*. Porto Alegre: UFRGS.

SHUMACHER, K. A., & AGBEMABIESE, L. (2019). Towards comprehensive e-waste legislation in the United States: Design considerations based on quantitative and qualitative assessments. *Resources, Conservation & Recycling*, 605–621.

SICHE, R., AGOSTINHO, F., ORTEGA, E., & ROMEIRO, A. (2007). Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. *Ambiente & Sociedade*, 137-148.

SILVA, R. M., NÓBREGA, C. C., DE SÁ, A. N., SILVA, D. L., & FIRMINO, L. d. (2023). Indicadores de sustentabilidade para análise do gerenciamento dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos. *Engenharia Sanitária e Ambiental*.

SRIVASTAV, A. L., MARKANDEYA, N. P., PANDEY, M., DUBEY, A. K., KUMAR, A., BHARDWAJ, A. K., & CHAUDHARY, V. K. (28 de Feb de 2023). Concepts of circular economy for sustainable management of electronic wastes: challenges and management options. *Environmental Science and Pollution Research*, pp. 48654–48675.

StEP. (2011). *StEP Green Paper on E-waste Indicators*. New York: United Nations University/StEP Initiative.

- StEP. (2013). *Solving the e-waste problem: An interdisciplinary compilation of international e-waste research*. Tokio, New York, Paris: United Nations University Press.
- TATARINOV, M., & SELEDCHIK, D. (13 de Feb de 2023). SSRN. Fonte: SSRN: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4467197
- THI, T. T., LEE, Y., THI, P. L., & PARK, K. D. (2019). Engineered horseradish peroxidase-catalyzed hydrogels with high tissue adhesiveness for biomedical applications. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 34-52.
- TROSCHINETZ, A. M., & MIHELICIC, J. R. (2009). Sustainable recycling of municipal solid waste in developing countries. *Waste Management*, 915-923.
- TSAI, W.-T. (2020). Recycling Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) and the Management of Its Toxic Substances in Taiwan—A Case Study. *Toxics*.
- UE. (14 de Dec de 2023). *Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products*. Fonte: EUR-Lex: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32009L0125&qid=1702586995327>
- UE. (14 de Dec de 2023). *Directive 2011/65/EU of the European Parliament and of the Council of 8 June 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment*. Fonte: EUR-Lex: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32011L0065>
- UN. (28 de Dec de 2023). *Global indicator framework for the Sustainable Development Goals and targets of the 2030 Agenda for Sustainable Development*. Fonte: SDG Indicators: <https://unstats.un.org/sdgs/indicators/indicators-list/>
- UNEB. (2007). E-waste volume I and II: inventory assessment manual. . *E-waste volume I and II: inventory assessment manual*. . United Nations Environment Protection.
- UNEP. (28 de Dec de 2023). *Strategic goals and objectives and indicators for measuring achievement and performance of the strategic framework (decision BC-10/2)*. Fonte: Strategic Framework: <https://www.basel.int/Implementation/StrategicFramework/Strategicgoalsandobjectives/tabid/3811/Default.aspx>
- UNIDO. (2009). *Reuse & Recycle: Growing Green Businesses*. New York: United Nations Industrial Development Organization - UNIDO.
- UNU, & ITU. (14 de Dec de 2023). *The Global Waste Statistic Partnership*. Fonte: Global Waste: <https://globalewaste.org/about-us/>

- VEZZOLI, C., SANTOS, A., SRINIVASA, A., & KOHTALA, C. (2018). *Sistema Produto+Serviço Sustentável: Fundamentos*. Curitiba: Insight.
- VUK, A., SZÜCS, I., G, A. B., ", ", ", & ". (s.d.).
- WAGNER, T. P. (2009). Shared responsibility for managing electronic waste: A case study of Maine - USA. *Waste Management*, 3014-3021.
- WANG, Y., & HAZEN, B. T. (2016). Consumer product knowledge and intention to purchase remanufactured products. *International Journal of Production Economics*, 460-469.
- WEN, L., LIN, C.-h., & LEE, S.-c. (2009). Review of recycling performance indicators: A study on collection rate in Taiwan. *Waste Management*, 2248-2256.
- WÄGER, P. A., & HISCHIER, R. (2015). Life cycle assessment of post-consumer plastics production from waste electrical and electronic equipment (WEEE) treatment residues in a Central European plastics recycling plant. *Science of The Total Environment*, 158-167.
- WORLD ECONOMIC FORUM. (2019). *A New Circular Vision for Electronics: Time for a Global Reboot*. Cologne: WORLD ECONOMIC FORUM.
- YANG, X.-S., ZHENG, X.-X., ZHANG, T.-Y., & DU, Y. (2021). Waste Electrical and Electronic Fund Policy: Current Status and Evaluation of Implementation in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*.
- YLÄ-MELLA, J., KEISKI, R., & PONGRÁCZ, E. (2015). Electronic waste recovery in Finland: Consumers' perceptions towards recycling and re-use of mobile phones. *Waste Management*, 374-384.
- YOSHIDA, F., & YOSHIDA, H. (2014). E-Waste Management in Japan: A Focus on Appliance Recycling. *Advanced Materials Research*, 420-423.
- Youtube. (28 de 04 de 2022). *Youtube*. Acesso em 12 de 2022, disponível em Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=hTd9eAq3VfU&t=596s>
- YUMASHEV, D., & BALDÉ, C. P. (2023). *Electrical and Electronic Equipment: E-Waste Collected Tool Manual*. Boon: UNITAR.
- ZACHO, K. O., BUNDGAARD, A. M., & MOSGAARD, M. A. (2018). Constraints and opportunities for integrating preparation for reuse in the Danish WEEE management system. *Resources, Conservation and Recycling*, 13-23.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura geral de trabalho. _____	8
Figura 2 - Ciclo de inteligência em CTI. _____	11
Figura 3 - Estrutura analítica do projeto. _____	13
Figura 4 - Categorias de EEE de acordo com a Diretiva 2012/10/UE. _____	14
Figura 5 - Evolução das legislações associadas a REEE - contexto nacional e internacional. ____	29
Figura 6 - Perspectiva multidimensional de uma política compreensiva para REEE. _____	31
Figura 7 - Os 10 principais países produtores de REEE e percentual de reciclagem. _____	32
Figura 8 - Sistema norte americano de gestão de REEE. _____	34
Figura 9 - Sistema britânico de gestão de REEE. _____	41
Figura 10 - Sistema japonês de gestão de REEE. _____	47
Figura 11 - Sistema dinamarquês de gestão de REEE. _____	53
Figura 12 - Sistema brasileiro de gestão de REEE. _____	64
Figura 13 - Ciclo de Vida do REEE. _____	77
Figura 14 - Perspectiva Histórica das Principais Iniciativas Globais Associadas a Indicadores de REEE. _____	90
Figura 15 - Distribuição dos indicadores de acordo com sua origem no estudo. _____	104
Figura 16 - Arranjo de parcela dos indicadores sob uma perspectiva de curto prazo. _____	106
Figura 17 - Indicadores curto prazo para a categoria Reciclagem. _____	106
Figura 18 - Indicadores curto prazo para a categoria Desfazimento. _____	107
Figura 19 - Indicadores curto prazo para a categoria Reuso. _____	107
Figura 20 - Indicadores curto prazo para a categoria Social. _____	107
Figura 21 - Indicadores curto prazo para a categoria Econômico. _____	108
Figura 22 - Arranjo de parcela dos indicadores sob uma perspectiva de médio prazo. _____	109
Figura 23 - Indicadores médio prazo para a categoria Reuso. _____	110
Figura 24 - Indicadores médio prazo para a categoria Social. _____	110
Figura 25 - Indicadores médio prazo para a categoria Economia. _____	111
Figura 26 - Arquitetura de visões para a proposta de painéis de informação. _____	112
Figura 27 - Visualização do Dashboard para o Curto Prazo. _____	113
Figura 28 - Visualização da Aba de “Visão Geral” do Dashboard. _____	113
Figura 29 - Visualização da Aba “Desfazimento” do Dashboard. _____	114
Figura 30 - Visualização da Aba “Economia” do Dashboard. _____	114
Figura 31 - Visualização da Aba “Reciclagem” do Dashboard. _____	115
Figura 32 - Visualização da Aba “Reuso” do Dashboard. _____	115
Figura 33 - Visualização da Aba “Social” do Dashboard. _____	116
Figura 34 – Página Inicial da plataforma de gestão de operações dos CRC. _____	121

Figura 35 – Página Inicial do Módulo de Acompanhamento MCOM. _____	122
Figura 36 - Diagrama de Polaridade. _____	132
Figura 37 - Conceito A “Responsabilidade Estendida” - Storyboard. _____	133
Figura 38 - Conceito A “Responsabilidade Estendida” - Blueprint. _____	134
Figura 39 - Conceito A “Responsabilidade Estendida” – Mapa do Sistema. _____	135
Figura 40 - Conceito A “Responsabilidade Estendida” – Canvas. _____	136
Figura 41 - Conceito B “Marketplace” - Storyboard. _____	137
Figura 42 - Conceito B “Marketplace” - Blueprint. _____	138
Figura 43 - Conceito B “Marketplace” – Mapa do Sistema. _____	139
Figura 44 - Conceito B “Marketplace” – Canvas. _____	140
Figura 45 - Conceito C “Reciclagem Distribuída” – Storyboard. _____	141
Figura 46 - Conceito C “Reciclagem Distribuída” – Blueprint. _____	142
Figura 47 - Conceito C “Reciclagem Distribuída” – Storyboard. _____	143
Figura 48 - Conceito C “Reciclagem Distribuída” – Canvas. _____	144
Figura 49 - Conceito D “Desfazimento Ampliado” – Storyboard. _____	146
Figura 50 - Conceito D “Desfazimento Ampliado” – Blueprint. _____	147
Figura 51 - Conceito D “Desfazimento Ampliado” – Mapa do Sistema. _____	148
Figura 52 - Conceito D “Desfazimento Ampliado” – Canvas. _____	149
Figura 53 - Conceito E “CRC como um Hub de Serviços” – Storyboard. _____	151
Figura 54 - Conceito E “CRC como um Hub de Serviços” – Blueprint. _____	152
Figura 55 - Conceito E “CRC como um Hub de Serviços” – Mapa do Sistema. _____	153
Figura 56 - Conceito E “CRC como um Hub de Serviços” – Canvas. _____	154

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Exemplificação de potenciais aplicações de materiais oriundos de REEE _____	21
Quadro 2: Papel do governo e de organizações terceirizadas na gestão de REEE _____	63
Quadro 3: Normativos nacionais e políticas para REEE no Brasil. _____	72
Quadro 4: A prática de produção do relatório de fluxos de REEE na Holanda. _____	87
Quadro 5: Resíduo Eletrônico Global – Alemanha. _____	88
Quadro 6: Caso Global E-Waste Monitor. _____	92
Quadro 7: Indicadores ODS - Nações Unidas. _____	93
Quadro 8: Indicadores para REEE levantados a partir da literatura _____	97
Quadro 9: Indicadores para REEE propostos a partir dos workshops internos da equipe de pesquisa. _____	100
Quadro 10: Indicadores para REEE levantados a partir das entrevistas _____	102
Quadro 11: Indicadores para REEE levantados a partir da interação com inteligência artificial _	103
Quadro 12: Registro Nacional de REEE – Holanda. _____	123
Quadro 13: E-waste Statistic - Nações Unidas. _____	124
Quadro 14: Licenças e certificados pertinentes à implantação de Unidades de Coleta, Triagem e Desmantelamento e Reciclagem de REEE. _____	129
Quadro 15: Licenças e Certificados Adicionais Observados em Outros Países. _____	131