

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
UNIDADE DE PÓS-GRADUAÇÃO, EXTENSÃO E PESQUISA
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E TECNOLOGIA EM
SISTEMAS PRODUTIVOS

FELIPE YAMAZAKI

PROPOSTA DE PROCESSO DE SIMBIOSE INDUSTRIAL PARA DESCARTE DE
CAIXAS ELETRÔNICOS A PARTIR DA AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA

São Paulo

Novembro/2024

FELIPE YAMAZAKI

PROPOSTA DE PROCESSO DE SIMBIOSE INDUSTRIAL PARA DESCARTE DE
CAIXAS ELETRÔNICOS A PARTIR DA AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA

Dissertação apresentada como exigência parcial para a obtenção do título de Mestre(a) em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, no Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos, sob a orientação da Profa. Dra. Sílvia Pierre Irazusta.

Área de Concentração: Sistemas Produtivos

Linha de Pesquisa: Gestão da Inovação Tecnológica e Sustentabilidade

Projeto de Pesquisa: Gestão Ambiental e Sustentabilidade

São Paulo

Novembro/2024

FICHA ELABORADA PELA BIBLIOTECA NELSON ALVES VIANA
FATEC-SP / CPS CRB8-10894


Y19 Yamazaki, Felipe
Proposta de processo de simbiose industrial para descarte de caixas eletrônicos a partir da avaliação de ciclo de vida / Felipe Yamazaki. – São Paulo: CPS, 2024.
120 f. : il.

Orientadora: Profa. Dra. Sílvia Pierre Irazusta
Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos) – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, 2024.


1. Caixa eletrônico 2. Impactos ambientais. 3. Simbiose industrial. 4. Resíduos de equipamento eletroeletrônico. 5. Ciclo de vida I. Irazusta, Sílvia Pierre. II. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza. III. Título.

FELIPE YAMAZAKI


PROPOSTA DE PROCESSO DE SIMBIOSE INDUSTRIAL PARA DESCARTE DE
CAIXAS ELETRÔNICOS A PARTIR DA AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA

Documento assinado digitalmente
 **SILVIA PIERRE IRAZUSTA**
Data: 02/12/2024 14:57:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Sílvia Pierre Irazusta
Orientadora - CEETEPS

Documento assinado digitalmente
 **MARIA LUCIA PEREIRA ANTUNES SILVA**
Data: 09/12/2024 10:48:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Maria Lúcia Pereira Antunes
Examinador Externo - UNESP

Documento assinado digitalmente
 **FRANCISCO DEL MORAL HERNANDEZ**
Data: 09/12/2024 00:26:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Francisco del Moral Hernandez
Examinador Interno - CEETEPS

São Paulo, 28 de novembro de 2024

AGRADECIMENTOS

Ao Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza pela oportunidade de cursar um Mestrado de qualidade e excelência.

À Professora Doutora Sílvia Pierre Irazusta que disponibilizou tempo e compartilhou ensinamentos para a construção deste trabalho.

Aos professores do Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos do CEETEPS por compartilharem os conhecimentos que enriqueceram esta pesquisa.

Às Cooperativas de Coleta de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos do município de São Paulo que colaboraram com a pesquisa de campo deste trabalho.

Aos funcionários da Unidade de Pós-Graduação, Extensão e Pesquisa (Upep) pelo apoio ao longo da jornada acadêmica.

“A vida é igual a andar de bicicleta. Para manter o equilíbrio é preciso se manter em movimento”
(Albert Einstein)

RESUMO

YAMAZAKI, F. **Proposta de Processo de Simbiose Industrial para Descarte de Caixas Eletrônicas a Partir da Avaliação de Ciclo de Vida**. 120 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos). Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2024.

O presente trabalho realizou uma análise dos impactos ambientais decorrentes dos processos de utilização e descarte de caixas eletrônicas, também conhecidos como terminais de autoatendimento bancário (ATMs). O objetivo principal foi realizar a análise de ciclo de vida (ACV) dos equipamentos e propor um processo de simbiose industrial para o descarte dos equipamentos. Trata-se de uma pesquisa classificada como descritiva e exploratória seguida de um estudo de caso. Foi realizado um levantamento da emissão de gases de efeito estufa (GEE), em especial o CO₂ (dióxido de carbono), de um equipamento em operação. O método estudo de caso foi utilizado para a coleta de informações em campo de uma empresa de tecnologia responsável pela manutenção de caixas eletrônicas e um acompanhamento em uma cooperativa responsável pela descaracterização e reciclagem de componentes no processo de descarte. Os métodos envolveram pesagem dos materiais e análise dos danos ambientais por meio do método Eco-índice 99 (EI99). Para mensurar o nível de maturidade e utilização destes tipos de equipamentos foi realizada uma pesquisa de levantamento *survey* com os clientes do setor bancário. Os resultados obtidos permitiram analisar os impactos ambientais de cada etapa do processo de descarte, por meio do software Open LCA e propor um modelo sustentável que apresentou índices positivos de danos evitados na escala do EI99. A proposta de processo de simbiose industrial para o descarte de caixas eletrônicas nomeada de “Processo (*Framework*)” evitou danos ambientais de 0,00038 DALY (*Disability Life Years*), 279,01712 PAF (*Potentially Affected Fraction*) e 987,73385 na pontuação MJ surplus (Energia extra necessária para a exploração de matérias primas virgens). Com base no método GWP 100a (*Global Warming Potential*, ou Potencial de Aquecimento Global), o novo procedimento evitou a emissão de 15,05 kg de CO₂ equivalentes por unidade de equipamento descartado.

Palavras-chave: Caixa Eletrônico, Impactos Ambientais, Simbiose Industrial, Resíduos de Equipamento Eletroeletrônico, Ciclo de Vida, Setor Bancário.

ABSTRACT

YAMAZAKI, F. **Proposal for an Industrial Symbiosis Process for Disposal of Automated Teller Machine Based on Life Cycle Assessment.** 120 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos). Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2024.

The present work carried out an analysis of the environmental impacts resulting from the use and disposal processes of Bank Self-Service Terminals (ATMs), also known as ATMs. The main objective was to carry out a life cycle analysis (LCA) of ATMs and propose an industrial symbiosis process model for equipment disposal. This is research classified as descriptive and exploratory followed by a case study. A survey of greenhouse gas emissions, especially CO₂ (carbon dioxide), from equipment in operation was carried out. The case study method was used to collect information in the field from a technology company responsible for maintaining these ATMs and monitoring in a cooperative responsible for the decharacterization and recycling of components in the disposal process. The methods involved weighing the materials and analyzing environmental damage using the Eco-indicator 99 (EI99) method. To measure the level of maturity and use of these types of equipment, a survey was carried out with customers in the banking sector. The results obtained made it possible to analyze the environmental impacts of each stage of the disposal process, using the Open LCA software and propose a sustainable model that presented positive rates of avoided damage on the EI99 scale. The proposed industrial symbiosis process for the disposal of ATMs called “Process (Framework)” avoided environmental damage of 0.00038 DALY (Disability Life Years), 279.01712 PAF (Potentially Affected Fraction) and 987.73385 in the MJ surplus score (Extra energy needed to exploit virgin raw materials). Based on the GWP 100a (Global Warming Potential) method, the new procedure avoided the emission of 15.05 kg of CO₂ equivalent per unit of discarded equipment.

Keywords: ATM (Automated Teller Machine), Environmental Impacts, Industrial Symbiosis, Waste Electronic Equipment, Life Cycle, Banking Sector.

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|-----|
| Quadro 1: Categorização da Produção segundo recomendações da CAPES | 72 |
| Quadro 2: Análise dos Processos de Simbiose Industrial do Framework | 73 |
| Quadro 3: Questionário Aplicado com Clientes Bancários: Google Forms..... | 102 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Massa dos Equipamentos utilizados nas agências bancárias..... | 44 |
| Tabela 2: Evolução da Quantidade de Caixas Eletrônicos no Brasil | 47 |
| Tabela 3: Evolução da Quantidade de Caixas Eletrônicos no Mundo | 48 |
| Tabela 4: Frequência de utilização de caixas eletrônicos..... | 58 |
| Tabela 5: Levantamento das Massas dos Materiais dos Caixas Eletrônicos..... | 79 |
| Tabela 6: Percentual das Massas dos Materiais presentes nos caixas eletrônicos..... | 80 |
| Tabela 7: Processo e Destino dos Materiais presentes nos caixas eletrônicos | 81 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Número de publicações acadêmicas com o termo “Automated Teller Machine” nos últimos 10 anos nas Plataformas Scopus, Web of Science e Google Acadêmico..... | 22 |
| Figura 2: Número de publicações acadêmicas com os termos “Automated Teller Machine” e “environmental impacts” nos últimos 10 anos nas Plataformas Scopus, Web of Science e Google Acadêmico. | 23 |
| Figura 3: Fluxograma da Pesquisa | 31 |
| Figura 4: Relação de Categorias de Impactos versus análise dos Danos no Eco-Indicator 99.37 | |
| Figura 5: Fluxo de Dados: Software Open LCA | 39 |
| Figura 6: Caixa Eletrônico no Ambiente Bancário | 45 |
| Figura 7: Empresas relacionadas no ciclo de vida dos caixas eletrônicos..... | 46 |
| Figura 8: Quantidade de Caixas Eletrônicos por 100.000 adultos no Brasil. | 48 |
| Figura 9: Quantidade de Caixas Eletrônicos por 100.000 adultos no Mundo..... | 49 |
| Figura 10: Idade dos Respondentes | 51 |
| Figura 11: Escolaridade dos Respondentes | 51 |
| Figura 12: Frequência de clientes em agências bancárias | 52 |
| Figura 13: Utilização de caixas eletrônicos | 53 |
| Figura 14: Respostas referentes frequência de utilização de caixas eletrônicos | 53 |
| Figura 15: Respostas referentes ao tempo de utilização de caixas eletrônicos | 54 |
| Figura 16: Respostas referente à percepção dos usuários de caixas eletrônicos | 55 |
| Figura 17: Respostas referente à ferramenta bancária mais utilizada | 56 |
| Figura 18: Respostas referente à influência de meios digitais no setor bancário | 56 |
| Figura 19: Respostas referente à percepção sobre o desuso de Caixas Eletrônicos | 57 |
| Figura 20: Procedimentos adotados na destinação final de resíduos dos caixas eletrônicos ... | 58 |
| Figura 21: Tendência e Correlação entre idade e utilização de caixas eletrônicos | 59 |
| Figura 22: Tendência e Correlação entre idade e não utilização de caixas eletrônicos..... | 59 |
| Figura 23: Gráfico de Bolhas: Idade versus Frequência de utilização de caixas eletrônicos ... | 60 |
| Figura 24: Emissões de CO ₂ por consumo de energia elétrica nas regiões brasileiras | 61 |
| Figura 25: Emissões de CO ₂ por consumo de energia elétrica no Estado do Amazonas | 61 |
| Figura 26: Emissões de CO ₂ por consumo de energia elétrica no Estado de Roraima | 62 |
| Figura 27: Variáveis que antecipam o descarte de caixas eletrônicos..... | 63 |
| Figura 28: Descaracterização do Caixa Eletrônico..... | 65 |
| Figura 29: Descaracterização da parte interior do Caixa Eletrônico | 66 |

| | |
|---|----|
| Figura 30: Descaracterização dos módulos do Caixa Eletrônico | 66 |
| Figura 31: Descaracterização e desmontagem do Caixa Eletrônico..... | 67 |
| Figura 32: Descaracterização de peças do Caixa Eletrônico | 67 |
| Figura 33: Descaracterização da carenagem do Caixa Eletrônico | 68 |
| Figura 34: Descaracterização do cofre do Caixa Eletrônico | 69 |
| Figura 35: Carcaça metálica do cofre cortada antes de seguir para a Siderúrgica | 70 |
| Figura 36: Rejeito retirado do interior da estrutura do Cofre | 71 |
| Figura 37: Framework: Proposta de Processo de Simbiose Industrial para o Descarte de Caixas Eletrônicos | 73 |
| Figura 38: Gráfico Percentual dos Processos envolvidos no Descarte dos Caixas Eletrônicos | 81 |
| Figura 39: Tela do Software Open LCA – Dados da Pesquisa | 82 |
| Figura 40: Tela do Software Open LCA – Massas dos Resíduos dos Caixas Eletrônicos..... | 83 |
| Figura 41: Tela do Software Open LCA – Relatório Eco-indicator 99 (Pfister et al 2009)..... | 84 |
| Figura 42: Danos à Saúde Humana evitados na escala Eco 99 | 85 |
| Figura 43: Danos Evitados de QE e RN no Eco 99..... | 85 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|---------|---|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ABREE | Associação Brasileira de Reciclagem de Eletroeletrônicos e Eletrodomésticos |
| AC | Avaliação de Circularidade |
| ACV | Avaliação de Ciclo de Vida |
| AIA | Avaliação de Impacto Ambiental |
| ANCAT | Associação Nacional de Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis |
| ANEEL | Agência Nacional de Energia Elétrica |
| ASCV | Avaliação de Sustentabilidade dentro do Ciclo de Vida |
| ATM | <i>Automated Teller Machine</i> |
| BACEN | Banco Central do Brasil |
| BCB | Banco Central do Brasil |
| CA | <i>Circularity Assessment</i> |
| CADRI | Certificado de Movimentação de Resíduos de Interesse Ambiental |
| CAPES | Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior |
| CCV | Custo do Ciclo de Vida |
| CE | <i>Circular Economy</i> |
| CEETEPS | Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza |
| DALY | <i>Disability Life Years</i> |
| EC | Economia Circular |
| EI99 | Eco-indicador 99 |
| GEE | Gases de Efeito Estufa |
| GWP | <i>Global Warming Potential</i> |
| HD | <i>Hard Disc</i> |
| IBAMA | Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| ICV | Inventário do Ciclo de Vida |
| IPEA | Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada |
| ISO | <i>International Organization for Standardization</i> |
| LCA | <i>Life Cycle Assessment</i> |
| LCC | <i>Life Cycle Cost</i> |
| LCI | <i>Life Cycle Inventory</i> |

| | |
|-------|--|
| LCIA | <i>Life Cycle Inventory Analysis</i> |
| LCSA | <i>Life Cycle Sustainability Assessment</i> |
| MJ | <i>Extra energy needed to exploit virgin raw materials</i> |
| ODS | Objetivos de Desenvolvimento Sustentável |
| OIEE | Oferta Interna de Energia Elétrica |
| ONU | Organização das Nações Unidas |
| PAF | <i>Potentially Affected Fraction</i> |
| PAP | Pegada Ambiental do Produto |
| PDF | Fração potencialmente de espécies desaparecidas |
| PIX | Pagamento Instantâneo Brasileiro |
| PNRS | Plano Nacional de Resíduos Sólidos |
| REEE | Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos |
| QN | Número da Questão |
| S-ACV | Avaliação Social do Ciclo de Vida |
| TAA | Terminal de Autoatendimento Bancário |
| UPEP | Unidade de Pós-Graduação, Extensão e Pesquisa |
| VAC | Volts Alternating Current; ou tensão alternada |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|------------------|---|
| A | Ampere |
| °C | Celsius ou Centígrado |
| CO ₂ | Dióxido de Carbono |
| Σ | Somatório |
| E ₀ | Erro amostral |
| h | Hora |
| Hz | Hertz |
| kWh | Quilowatt-hora |
| Kg | Quilogramas |
| mm | Milímetro |
| Mp | Média Aritmética Ponderada |
| N | Tamanho da população |
| n | Número Total de Termos ou Tamanho da Amostra |
| n ₀ | Primeira aproximação do tamanho da amostra ou amostra aleatória |
| Ω | Ômega |
| P | Peso correspondente de cada valor do conjunto |
| S | Desvio Padrão Amostral |
| [+S] | Ações mais sustentáveis e com impacto ambiental reduzido |
| (-S) | Ações menos sustentáveis e com impacto ambiental aumentado |
| tCO ₂ | Toneladas de Dióxido de Carbono |
| V | Volt |
| VAC | Voltagem em Corrente Alternada |
| VCC | Voltagem em Corrente Contínua |
| W | Watt |
| \bar{X} | Média Aritmética Simples |
| x | Termo numérico |

SUMÁRIO

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1. | INTRODUÇÃO..... | 18 |
| 2. | OBJETIVOS | 20 |
| 2.1 | Objetivo Principal..... | 20 |
| 3. | JUSTIFICATIVA | 21 |
| 4. | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 24 |
| 4.1 | Economia Circular..... | 24 |
| 4.2 | Ecologia Industrial..... | 25 |
| 4.3 | Simbiose Industrial..... | 26 |
| 4.4 | Avaliação de Ciclo de Vida (ACV)..... | 26 |
| 4.5 | Resíduos de Equipamento Eletroeletrônico (REEE)..... | 29 |
| 5. | MÉTODO | 30 |
| 5.1 | Definição e delimitação do Tema..... | 32 |
| 5.2 | Levantamento dos Dados: Equipamentos em Fase Operacional..... | 33 |
| 5.3 | Levantamento dos Dados: Processo de Descarte | 35 |
| 5.4 | Pesquisa de Levantamento Survey | 40 |
| 5.5 | Respostas ao Questionamento de Pesquisa | 42 |
| 5.6 | Elaboração do Produto da Pesquisa..... | 42 |
| 6. | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 44 |
| 6.1 | Descrição do Caixa Eletrônico – Objeto de estudo | 44 |
| 6.2 | Cenário Nacional e Mundial dos Caixas Eletrônicos | 47 |
| 6.3 | Resultados do Questionário (<i>Survey</i>) com clientes do setor bancário..... | 50 |
| 6.4 | Estudo de Caso: Impactos Ambientais dos Caixas Eletrônicos em operação | 61 |
| 6.5 | O processo de obsolescência dos Caixas Eletrônicos..... | 62 |
| 6.6 | Estudo de Caso: O Processo de Descarte dos Caixas Eletrônicos..... | 63 |
| 6.7 | Proposta de Processo de Simbiose Industrial para o Descarte de Caixas Eletrônicos .. | 71 |
| 6.8 | Análise dos Dados coletados sobre os Caixas Eletrônicos..... | 79 |
| 6.9 | Análise de Ciclo de Vida utilizando o Software Open LCA..... | 82 |
| 7. | CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES..... | 86 |
| 7.1 | Conclusão | 86 |
| | REFERÊNCIAS | 89 |
| | APÊNDICE I: DOCUMENTOS ACADÊMICOS..... | 100 |
| | APÊNDICE II: DETALHAMENTO DO PRODUTO (CAPES)..... | 105 |

| | |
|--|-----|
| APÊNDICE III: PARECER SOBRE O QUESTIONÁRIO (SURVEY) REALIZADO NA PESQUISA | 108 |
| APÊNDICE IV: RELATÓRIO EXTRAÍDO DO SOFTWARE OPEN LCA SOBRE A COMPOSIÇÃO DOS MATERIAIS PRESENTES NOS CAIXAS ELETRÔNICOS | 109 |

1. INTRODUÇÃO

Os equipamentos do setor bancário, que possuem requisitos de segurança para os clientes e para as instituições financeiras, estão constantemente sendo atualizados e recebendo novas tecnologias que visam garantir as credibilidades nas operações. Como exemplo, destaque-se os Caixas Eletrônicos, também, conhecimentos como Terminais de Autoatendimento Bancário (ATMs), a inclusão de novas tecnologia como biometria, entintamento de cassetes, reciclagem de cédulas, leitores de cartões, identificação por chips e digitalização de cheques forçaram a antecipação da obsolescência desses equipamentos.

Segundo Broby (2021), a tecnologia financeira está digitalizando a prestação de serviços e a mudança de legislação, o surgimento de Bancos Digitais e novas formas de pagamento instantâneo (PIX) também corroboraram para o processo de desuso de terminais de autoatendimento. Essas mudanças trazem eficiência operacional e melhoram a segurança, porém a cada evolução mais equipamentos precisam ser descartados devido a obsolescência de tecnologia ou de componentes.

A sustentabilidade é a capacidade de um sistema se manter, se desenvolver e se conservar ao longo do tempo. Existem várias análises e dimensões de sustentabilidade que incluem questões econômicas, sociais, ambientais, de saúde e bem-estar animal. A sustentabilidade ambiental busca equilibrar a utilização dos recursos naturais pela sociedade com a preservação do meio ambiente (Parlasca; Qaim, 2022).

A ecologia industrial através da sustentabilidade gera ganho organizacional nas gestões financeiras, de mercado, social e ambiental e melhora o desempenho em toda a cadeia de fornecimento de fabricação e ciclo de vida do produto. O pensamento ecológico e sustentável deve existir nos níveis estratégico, tático, nível operacional e de toda a cadeia de suprimentos (Hariyani; Mishra, 2022).

A simbiose industrial é uma solução para a redução do consumo de recursos naturais e para redução de gases do efeito estufa uma vez que o seu conceito fortalece o crescimento econômico alinhado para com a concretização dos objetivos ambientais e sociais (Neves *et al.*, 2020).

Segundo Mathur; Singh; Sutherland (2020), a noção de Simbiose Industrial aplicada nos estudos de ciclo de vida é uma evolução do pensamento ambiental que trabalha para não negligenciar as fases de produção, uso, até o descarte de um produto, a fim de garantir que

recursos potencialmente valiosos não sejam depositados em aterros sanitários ou no próprio meio ambiente.

O fortalecimento dos aplicativos bancários em dispositivos móveis de comunicação colabora para a redução no número de filiais de Bancos e para o fechamento de agências. O mobile banking preserva o número de transações bancárias, mesmo em locais onde há redução de sucursais financeiras, e reduz a presença física de clientes em locais de atendimento (Wang e Wu, 2024). A expansão de empresas ligadas a inovação tecnológica no mercado financeiro, as *Fintechs*, tem correlação positiva com o aumento do número de agências fechadas. Os bancos têm reduzido a quantidade de agências físicas na última década e uma diminuição drástica de locais de atendimento foi sentida no cenário mundial pandêmico a partir do ano de 2019 (Yuan, Li e Zhang, 2022).

No cenário brasileiro, o sistema instantâneo de pagamentos (PIX), lançado em novembro de 2020, revolucionou a forma como os brasileiros realizam suas transações bancárias (Silva *et al.*, 2024). Nesse contexto, pode-se entender os motivos da redução do número de agências bancárias nos últimos anos, e em consequência, ratifica-se a necessidade de estudos sobre a destinação dos equipamentos instalados nesses locais de atendimento e o tratamento de seus componentes no processo de obsolescência.

Assim, para delimitar o tema deste trabalho e justificar a escolha do equipamento a ser estudado, optou-se pelo item com a maior massa dentre o aparato utilizado em uma agência bancária, ou seja, o caixa eletrônico com 1.070 quilogramas.

Tendo em vista as lacunas observadas no estado da arte da pesquisa neste tema, buscou-se responder a seguinte questão de pesquisa – Quais os aspectos e impactos ambientais decorrentes da utilização e da obsolescência dos caixas eletrônicos e como pode ser realizado o manejo desses materiais na mitigação desses impactos?

A resposta a esta questão poderá amparar as empresas do setor bancário e de reciclagem para futura tomada de decisão com a adoção de ações que visem melhores práticas, dentro de aspectos ambientais, sociais e econômicos, em um processo de simbiose industrial, aderente aos princípios da economia circular.

A presente pesquisa foi desenvolvida dentro do programa de Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos, oferecido pelo Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza (CEETEPS).

O trabalho foi realizado dentro da linha de pesquisa Gestão da Inovação Tecnológica e Sustentabilidade e do projeto de pesquisa Gestão Ambiental e Sustentabilidade do Programa de Mestrado, ambos tendo como objetivo o desenvolvimento de estudos relacionados à gestão com a aplicação de inovação tecnológica e da sustentabilidade, visando a criação de novas ideias, objetos, produtos, processos e práticas para a sociedade.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Principal

O objetivo principal dessa pesquisa foi realizar a avaliação de ciclo de vida (ACV) de caixas eletrônicos. Este estudo visa mapear o processo de descarte dos equipamentos e efetuar uma análise ambiental com o intuito de propor um modelo de simbiose industrial. O objetivo principal pode ser explicado em quatro objetivos específicos:

- Identificar por meio de pesquisas bibliográficas, documentais, de campo e um estudo de caso, quais são os aspectos e impactos ambientais dos caixas eletrônicos e realizar análises sobre os dados dos materiais utilizados, nos componentes e periféricos, desses equipamentos;

- Identificar, por meio de metodologias científicas, características que visem levantar o consumo de energia elétrica e dados de emissões de CO₂ (dióxido de carbono) dos equipamentos em fase de utilização;

- Realizar a análise do cenário de utilização dos caixas eletrônicos por meio do levantamento de dados secundários de órgãos oficiais e avaliar dados primários com a realização de pesquisa de levantamento *Survey*, com clientes bancários, para a mensuração do nível de utilização desses equipamentos;

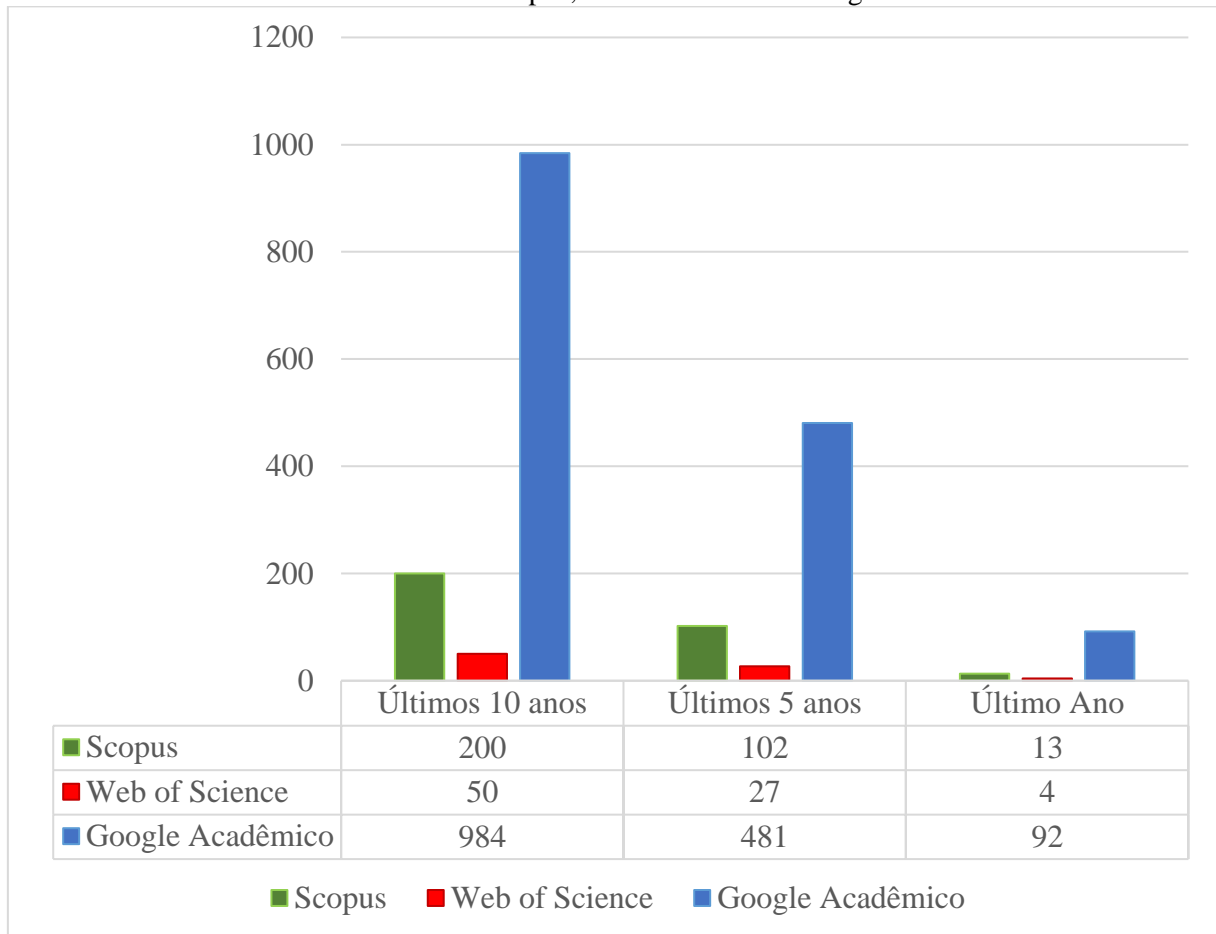
- Mapear informações sobre o processo de descarte e descaracterização dos caixas eletrônicos, após o processo de obsolescência, com a avaliação dos processos envolvidos, de acordo as exigências de segurança do setor bancário, as mudanças tecnológicas e as orientações de órgãos ambientais, além de propor um processo de simbiose industrial para descarte de caixas eletrônicos por meio de um *Framework*.

3. JUSTIFICATIVA

Este estudo está dentro de escopo do projeto à qual pertence tendo em vista a importância de realizar a contabilidade não financeira do processo de produção dos terminais de autoatendimento bancário. A avaliação do ciclo de vida (ACV) tem sido utilizada para orientar ações de melhoria de desempenho e inovação em sistemas de produção, visando a sustentabilidade ambiental (Coelho Filho *et al*, 2016). O estudo tem como foco colaborar para o estado da arte nos temas relacionados a Ecologia e Simbiose Industrial, bem como, avançar nas pesquisas de desenvolvimento de aplicações que envolvam formas de ampliar ganhos e benefícios ambientais por meio da colaboração entre as organizações.

A pesquisa bibliográfica recente revela um desconhecimento ou um reduzido interesse pelo tema, uma vez que se observa uma produção científica relativamente escassa. Quando se realiza uma busca pelo termo “*Automated Teller Machine*” (ATM), encontra-se apenas 200 publicações na plataforma *Scopus*, 50 trabalhos na plataforma de periódicos da *Web of Science*, e 984 trabalhos disponíveis no Google Acadêmico, classificados como artigos científicos publicados nos últimos 10 anos com relação ao tema, conforme evolução histórica representada na Figura 1.

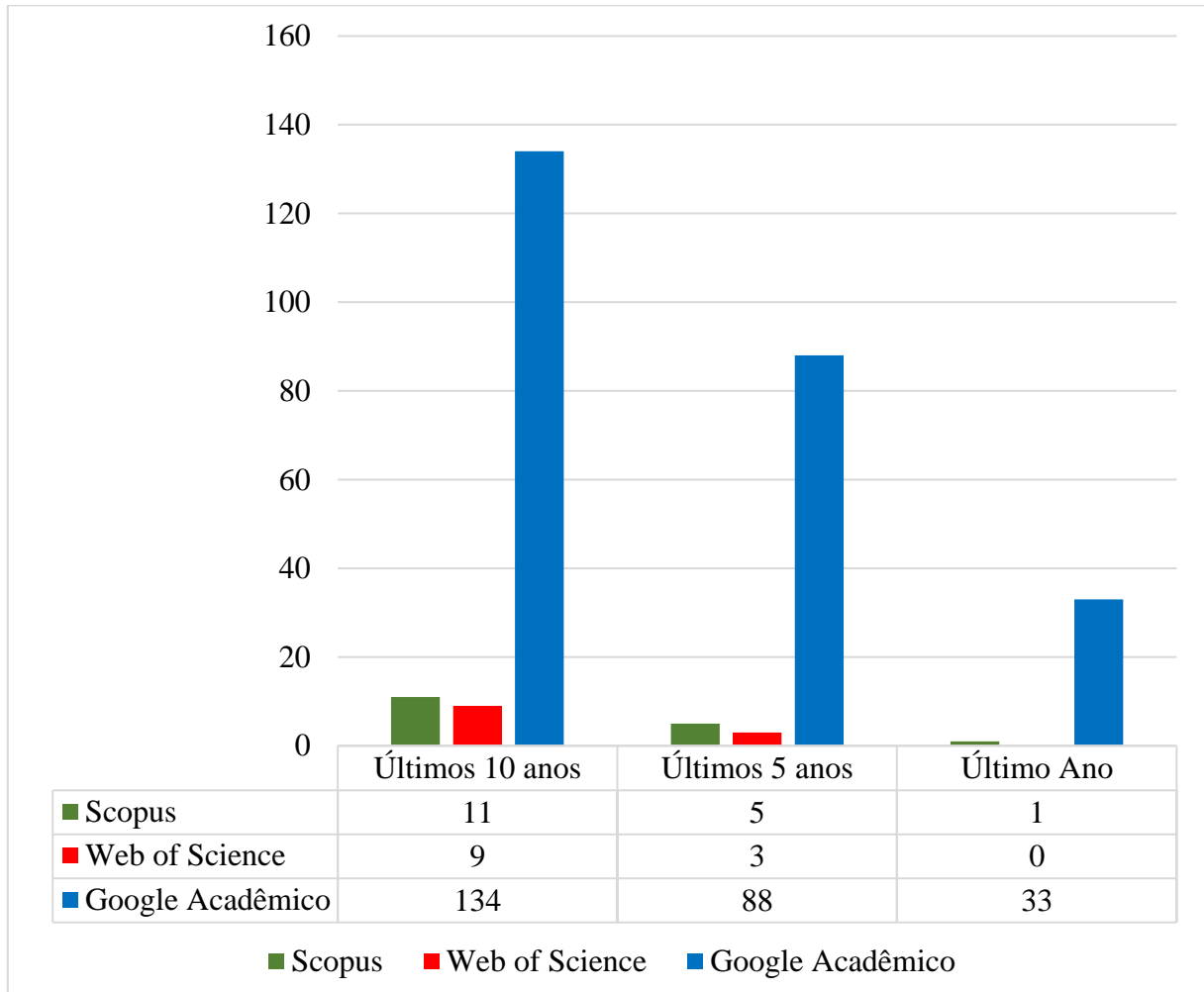
Figura 1: Número de publicações acadêmicas com o termo “Automated Teller Machine” nos últimos 10 anos nas Plataformas Scopus, Web of Science e Google Acadêmico.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Na primeira triagem foram detectados 142 artigos duplicados entre os 1234 trabalhos localizados entre as bases, o que resultou em 1092 artigos com o termo “*Automated Teller Machine*”. Ao realizar a busca avançada de trabalhos científicos utilizando os termos “*Automated Teller Machine*” e “*environmental impacts*”, observa-se uma redução da produção acadêmica (Figura 2) obtendo-se apenas 11 trabalhos no portal *Scopus*, 9 resultados na plataforma da *Web of Science* e 134 artigos no Google Acadêmico na última década.

Figura 2: Número de publicações acadêmicas com os termos “*Automated Teller Machine*” e “*environmental impacts*” nos últimos 10 anos nas Plataformas Scopus, Web of Science e Google Acadêmico.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

As plataformas *Scopus* e *Web of Science* são as bases mais importantes, onde se encontra a produção científica mais relevante e nelas, se observou que, nos últimos 5 anos, apenas 4 publicações dedicadas ao tema desta pesquisa. Os dados obtidos revelam a escassez de conhecimento científico acerca de estudos ambientais aplicados a caixas eletrônicos e/ou terminais de autoatendimento bancário. Dessa forma, justifica-se a importância desta pesquisa, que busca descrever o cenário relacionado aos impactos ambientais decorrentes do processo de obsolescência desse tipo de equipamento. Assim, a execução deste trabalho envolve o uso de métodos exploratórios que possibilitam testar processos envolvidos no descarte de caixas eletrônicos para a elaboração de uma proposta com ações que visam a mitigação de impactos ambientais e sociais.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção são apresentados os principais conceitos relativos ao tema abordado neste trabalho, baseados em pesquisas bibliográficas em artigos científicos sobre o tema. Através destes tópicos pretende-se apresentar a teoria que valida o estudo a ser realizado neste trabalho e a sua importância.

4.1 Economia Circular

O pensamento sustentável é um princípio que enfatiza a necessidade de pensar em ações que visem mitigar as mudanças no ambiente e no clima, com dimensão holística, diante de aspectos econômicos, sociais e ambientais para garantir o futuro da humanidade (Srivastava *et al.*, 2016).

O pensamento ecológico sustenta que os sistemas produtivos devem se desenvolver e, ao mesmo tempo, conservar a biodiversidade e os ecossistemas naturais. O princípio de ecossistema se resume a interação de seres vivos e não vivos com o ambiente onde vivem, de forma que as características e os organismos do local sejam preservados (Maclaren *et al.*, 2020).

A transformação dos processos considerando um pensamento sustentável está se tornando inevitável, pois as entidades empresariais não são mais uma parte isolada do ecossistema. Portanto, a conversão do modelo de negócio tradicional, ou seja, linear, em modelo circular é uma realidade. O modelo de negócio sustentável reside na economia circular (Bermúdez e Schneider, 2018). De acordo com Uddin (2020), o foco da economia circular está no uso consciente dos recursos seguindo as três variáveis da sustentabilidade, ou seja, reduzir o uso de matérias-primas virgens, reutilizar ao máximo os produtos ou os seus componentes e reciclar ou reutilizar as matérias-primas de alta qualidade ao longo do ciclo de vida e evitando o descarte dos recursos ao final da vida útil.

O desenvolvimento sustentável deverá ser baseado nas estratégias de economia circular, tais como recuperação, reciclagem, reaproveitamento, renovação, reparação, reutilização e redução de resíduos. Processos baseados na economia circular agregam benefícios econômicos diretos à sociedade através da criação de emprego, da geração de renda e da igualdade social, além de melhorar a qualidade de vida das pessoas, com ar respirável, água limpa e solo menos degradado (Sharma *et al.* 2021).

4.2 Ecologia Industrial

A Ecologia Industrial é reconhecida como uma abordagem inovadora, preventiva e regenerativa que reúne princípios da produção mais limpa, da simbiose industrial e da gestão do ciclo de vida com a adição do pensamento ligado a inovação do sistema industrial e da melhoria tecnológica para promover a sustentabilidade industrial e urbana. O desenvolvimento ecoindustrial traz o conceito de eficiência operacional atrelado a produções que não prejudicam o meio ambiente (Shah; Dong; Park, 2020).

O Ecodesign está presente na Indústria chamada de 4.0 para melhorar o design dos produtos, reduzir custos e impactos ambientais e aumentar a eficiência nas empresas com redução de desperdícios e diminuição de resíduos. Melhorias nos processos produtivos resultam em produtos mais funcionais com mitigação de impactos negativos para o planeta e para a sociedade (Dahmani *et al.*, 2021).

Segundo Villar *et al.* (2020) é preciso moldar estratégias de ecologia industrial nos processos produtivos para garantir o bem-estar da comunidade local, como funcionários, vizinhos, fornecedores e clientes. A ecologia Industrial deve amparar todo o ciclo de vida dos produtos e equipamentos utilizados, em especial, o processo de descarte que deve englobar os princípios de economia circular desses itens e de seus resíduos para não prejudicar o meio ambiente.

As inovações do mercado financeiro e as evoluções tecnológicas do setor bancário impactaram positivamente o desempenho dos bancos comerciais. Os caixas eletrônicos trouxeram agilidade para os atendimentos e reduziram o número de clientes dentro das agências na última década. A implementação de produtos e aplicações eletrônicas resultaram em um sistema de pagamentos mais rápido e seguro, com a redução de custos operacionais (Ashiru; Balogun; Paseda, 2023).

Al Mulla e Nobanee (2020) cita a introdução do conceito do sistema bancário verde onde medidas são adotadas para reduzir as emissões de carbono nas agências e garantir práticas ambientalmente corretas como a introdução de equipamentos alimentados por energia solar, realização de atividade bancárias sem papel, implantação de sistemas de vídeo conferência para a comunicação dos funcionários e investimentos em manutenção de eletrônicos para aumentar a vida útil de equipamentos e reduzir resíduos de itens obsoletos.

4.3 Simbiose Industrial

A simbiose industrial é fundamental para o gerenciamento de resíduos sólidos na perspectiva sustentável. Políticas públicas devem promover ligações de diferentes setores e empresas para que o aproveitamento de resíduos seja otimizado, o mínimo de materiais seja devolvido para a meio ambiente e a extração de matérias primas virgens seja evitada. Ações integradas de organizações podem ser feitas de forma inteligente para a redução do consumo de energia, de emissões de dióxido de carbono e da geração de resíduos (Boom Cárcamo; Peãbaena-Niebles, 2022). Melhorias de produtividade, otimização dos recursos e redução de impactos ambientais podem ser alcançados com a integração de atividades econômicas. A simbiose industrial integra boas práticas produtivas a questões ambientais não esquecendo do bem-estar da comunidade, através do intercâmbio de resíduos, matéria-prima, energia e água, com o objetivo de reduzir os impactos resultantes das atividades industriais (Chen et al., 2022).

Para e Yu *et al.* (2021) a Simbiose Industrial fortalece o desenvolvimento econômico com menores custos de produção e transporte, redução de desperdícios de recursos e resíduos, inovação tecnológica de reciclagem e criação de modelos de negócios circulares para ampliar o espaço de cooperação. Porém, uma simbiose industrial depende da formulação de políticas públicas eficientes para melhorar o relacionamento setorial e empresarial.

4.4 Avaliação de Ciclo de Vida (ACV)

A avaliação do ciclo de vida deve avaliar os impactos ambientais concentrando-se principalmente no consumo de água e energia elétrica, na geração de resíduos e nas emissões de gases de efeito estufa de qualquer produto (Bahramian; Yetilmezsoy, 2020). A avaliação do ciclo de vida constitui um processo padronizado pela International Organization for Standardization (ISO), que elaborou a ISO 14040 que estabelece os procedimentos para a Análise do Ciclo de Vida (ACV), publicada no Brasil pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 10520 (ABNT, 2023).

O ciclo de vida representa as etapas que um material ou produto percorre desde a sua produção até o seu descarte. Esse estudo avaliativo é aplicado no início do processo de projeto, que objetiva auxiliar a equipe de criação a levantar informações sobre a produção, consumo e

descarte de produtos iguais ou semelhantes ao produto em estudo. A análise de ciclo de vida permite aos envolvidos, no projeto e no desenvolvimento de novos materiais, identificar falhas em processos, mapear seus concorrentes e explorar problemas ao longo da cadeia produtiva, visando a criação de itens mais competitivos e sustentáveis (Pereira, 2016).

A ACV ainda é uma metodologia atual, desenvolvida principalmente a partir de meados da década de 1980 (Finnveden et al., 2009). Quanto à sua evolução e maturidade, Klöpffer (2006) afirma que a ACV se tornou uma metodologia amplamente utilizada devido à sua forma integrada de tratar temas como estrutura, avaliação de impacto e qualidade dos dados. Organismos de normalização, como a ISO, têm se absterido da padronização de escolhas metodológicas mais detalhadas, no entanto existem atualmente atividades internacionais que visam a elaboração de tais recomendações, as quais incluem modelos e fatores de caracterização para substâncias consideradas importantes (Finnveden et al., 2009).

A avaliação de impactos ambiental (AIA), também chamada de avaliação de dano ambiental preocupa-se com a identificação de ações humanas que possam degradar o meio ambiente. Como resultado de uma AIA, pode-se destacar a seleção de alternativas, com a mitigação de danos ambientais, para correção de um produto ou a impactos de mudanças em processos desenhados ainda na fase de projeto (Sánchez, 2013).

Entre os indicadores considerados na ACV estão os eco-indicadores. Um estudo de eco-indicador deve contemplar, principalmente, as três principais análises de danos como: danos à saúde humana, danos à qualidade do ecossistema e danos aos recursos naturais (Ferreira, 2004). Na análise de ciclo de vida é adotada uma visão holística da sustentabilidade ambiental de forma integrada com processos produtivos e questões sociais que devem auxiliar na identificação de pontos críticos. O objetivo é determinar a alocação de recurso e estudos em direção a uma economia circular e sustentável (Samani, 2023), avaliando o desempenho ambiental de um produto ou serviços com a identificação dos aspectos e impactos dos materiais utilizados de forma a alcançar objetivos de mitigação das alterações climáticas e colaborar para a descarbonização dos processos (Sacchi et al., 2022).

Uma ACV deve adotar uma metodologia abrangente de avaliação de impacto, com uma pegada ambiental do produto (PAP), ou pelo menos selecionar categorias de impacto que capturem os desafios ambientais prioritários e com critérios. A análise deve ser facilmente compreensível, transparente e reproduzível com a identificação de aspectos e impactos

ambientais, especialmente, em torno dos danos ao solo e a emissão de carbono (Bishop *et al.*, 2021).

Luthin *et al.* (2023) defendem que a análise de ciclo de vida (ACV) é otimizada com estudos de economia circular (do inglês: circular economy - CE), custo do ciclo de vida (CCV), avaliação de circularidade (AC) e indicadores e avaliação de sustentabilidade dentro do ciclo de vida (ASCV). Em seu estudo, uma estrutura robusta desenvolvida para uma avaliação holística em termos de circularidade e desempenho de sustentabilidade auxilia no contexto mais amplo de análise de impactos e colaboram para decisões que podem ser posteriormente adaptadas pelos agentes de políticas públicas.

O processo de obsolescência ou fim da vida são representados na ACV e podem levar a resultados falhos se os diferentes tipos de resíduos forem tratados como sistemas perfeitamente fechados, por exemplo, considerando que 100% dos resíduos enviados para reciclagem são tratados da mesma maneira. Isso raramente acontece, pois a reciclagem ocorre em circuito fechado, ou seja, a reciclagem mecânica transforma produtos de volta ao seu estado de matéria prima e uma significativa quantidade de material pode ser rejeitada ou uma porcentagem dos quais pode até acabar como detritos que vão parar nos oceanos (Bishop *et al.*, 2020).

A bioeconomia é a ciência que estuda a utilização de recursos naturais por meio de novas tecnologias com o propósito de desenvolver processos mais sustentáveis, essa estratégia busca a redução do consumo de recursos fósseis e minerais virgens. Dentro da bioeconomia a metodologia de análise de ciclo de vida surge como uma ferramenta para medir os potenciais efeitos sociais, porém esta ferramenta está em evolução, e novas pesquisas são necessárias para consolidá-la. As deficiências metodológicas refletem o percurso inicial desta ferramenta, tais como aqueles relacionados à definição de limites, critérios de corte, multifuncionalidade, disponibilidade de dados, métodos de avaliação de impacto, incerteza e interpretação de resultados (Rebolledo-Leiva *et al.*, 2023).

O desenvolvimento da metodologia da ACV deve integrar os conceitos já conhecidos, como análises ambientais e econômicas, com uma nova preocupação global, as questões sociais, estudos mostram a necessidade da inclusão de uma Avaliação Social do Ciclo de Vida (S-ACV) nos processos em estudo que vise a criação de riquezas e empregos (Larsen *et al.*, 2022). A dimensão social deve ser incluída como um pilar de uma avaliação holística da sustentabilidade e em estudo de economia circular, com o intuito de avaliar, simultaneamente,

a qualidade ambiental, a prosperidade econômica e a equidade social, em benefício das gerações atuais e futuras (Luthin; Traverso; Crawford, 2022). O S-ACV aborda categorias de impactos sociais, como direitos humanos, saúde, segurança, condições de trabalho, patrimônio cultural e governança. As análises sociais dentro do S-ACV são úteis para a formulação de políticas, relatórios corporativos, identificação de áreas de melhoria, alocação de recursos e comparação de desempenhos sociais de equipamentos, produtos e serviços (Norris *et al.*, 2012).

4.5 Resíduos de Equipamento Eletroeletrônico (REEE)

A evolução tecnológica traz consigo um volume crescente de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE), sendo que os estudos estatísticos apontam que os componentes são substituídos, em média, a cada 1,5 anos, o que resulta na rápida obsolescência dos hardwares antigos e, portanto, na geração de um enorme desperdício, correspondente a aproximadamente 11,5 quilotoneladas de REEE por ano no mundo (Mir, 2020). Portanto, certas políticas devem ser criadas e iniciativas devem ser tomadas para superar esse problema de desperdício. De fato, o crescimento do volume de REEE está ligado ao tempo de vida útil dos produtos e esse ciclo está ligado ao nível de desempenho e ao tempo de evolução tecnológica, que aceleram o processo de descarte produtos. Quando um equipamento eletrônico fica desatualizado ou perde funções em um curto período, ele se torna obsoleto em uma velocidade maior. A obsolescência de itens tecnológicos aumenta a geração de REEE antes do final da sua vida útil dos produtos (Ylä-Mella; Keiski; Pongrácz, 2022).

O desenvolvimento da tecnologia da informação teve impacto em vários campos, incluindo o setor de sistemas de pagamento, especialmente, por meio de sistemas eletrônicos como instrumentos de pagamento não monetários (*Smart Cards* ou cartões inteligentes) que têm um grande potencial de redução da utilização de numerário. O uso de meio de pagamentos digitais impacta a economia dos países e o crescimento econômico mundial com a redução de ambientais físicos bancários com impactos na redução de estruturas e de trabalhadores em circulação (Murti *et al.* 2022).

Segundo Pan; Wong; Li (2022), a reciclagem de REEE, a exploração dos minerais presentes nos resíduos de equipamentos e a logística reversa de itens tecnológicos são estratégias obrigatórias para um processo de Economia Circular eficiente. Os meios de produção devem repensar a sua geração de resíduos com estratégias ligadas a sustentabilidade

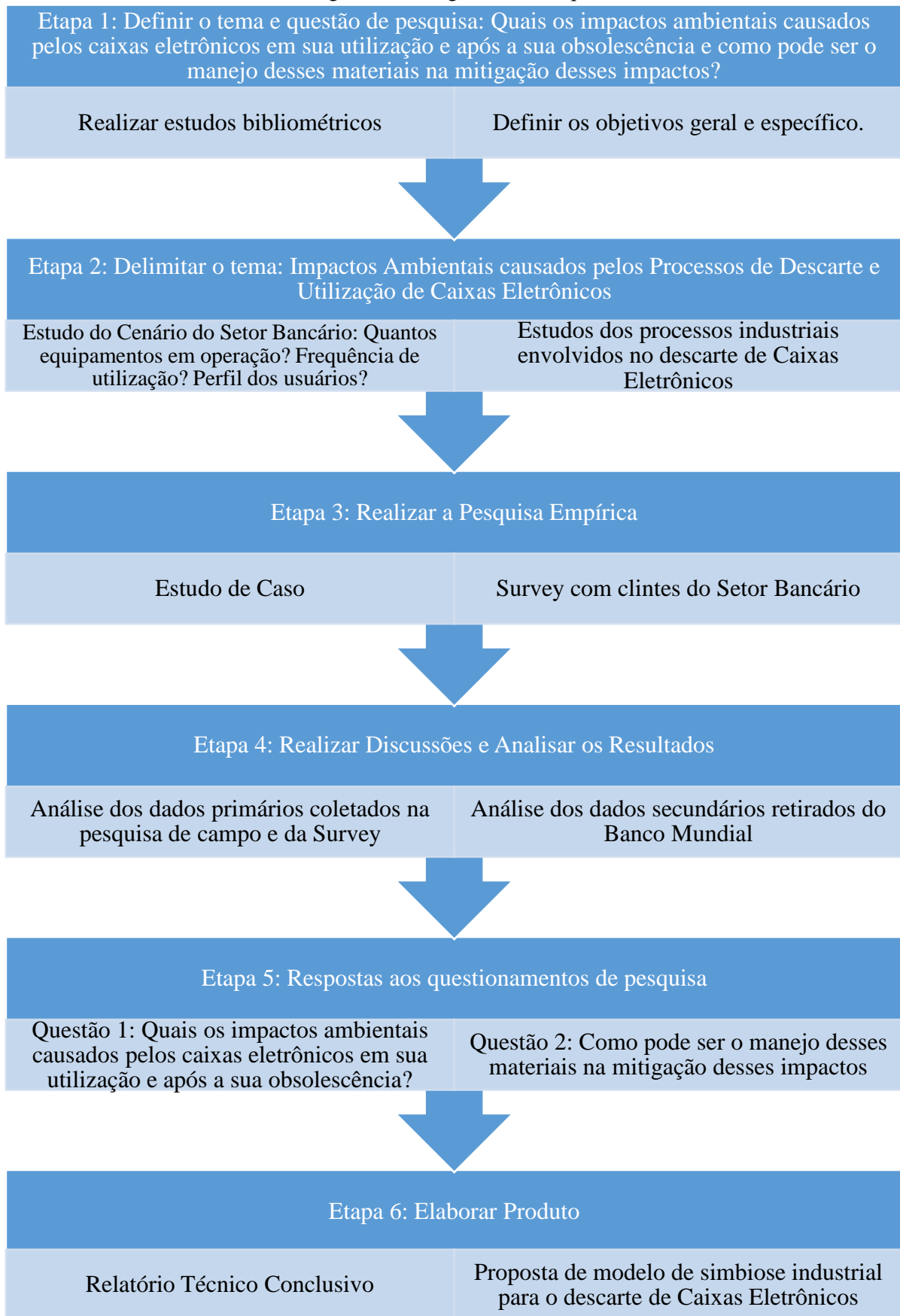
com mecanismos inteligentes que impliquem nas boas atitudes dos consumidores de seus produtos, visando estimular a redução da quantidade de REEE descartado incorretamente.

A logística reversa refere-se a práticas que visem a coleta e o reaproveitamento de produtos, em fase final de vida útil, bem como a destinação de itens obsoletos sem degradar o meio ambiente. O rastreamento de resíduos e a reutilização de materiais fazem parte de operações de logística reversa eficientes e com responsabilidade ambiental (Ding; Wang; Chan, 2023).

5. MÉTODO

A pesquisa realizada é classificada como um estudo descritivo e exploratório seguido de um estudo de caso. Com base na elaboração dos objetivos propostos, este trabalho quanto aos fins, trata-se de um estudo descritivo com abordagem quantitativa e qualitativa. Nessa seção, apresentam-se os procedimentos utilizados na coleta e análise de dados com objetivo de buscar responder à questão de pesquisa exposta neste trabalho, alicerçando-se em procedimentos científicos. A Figura 3 apresenta a dinâmica da pesquisa de forma objetiva e resumida como o intuito de expor a linha do tempo dos estudos.

Figura 3: Fluxograma da Pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

5.1 Definição e delimitação do Tema

A pesquisa foi construída a partir de pesquisa bibliométrica sobre o tema Caixa Eletrônico. Nessa etapa, foi constatada um número escasso de estudos publicados sobre o tema proposto do que se esperava e a necessidade de evolução e colaboração para o Estado da Arte. A base do estudo consistiu em analisar os impactos ambientais dos Caixas Eletrônicos em duas fases: primeiro, em fase operacional e segundo, em fase de Descarte.

Após definir os objetivos da pesquisa e sua questão problema “Quais os impactos ambientais causados pelos caixas eletrônicos em sua utilização e após a sua obsolescência e como pode ser o manejo desses materiais na mitigação desses impactos?”, buscou-se definir os temas que seriam necessários para o embasamento teórico da dissertação: Simbiose Industrial, Ciclo de Vida, Ecologia Industrial e Economia Circular.

Durante o período de delimitação do tema da pesquisa, questionamentos foram levantados se o estudo abrangeeria uma análise ou uma avaliação de ciclo de vida, desta forma, o termo avaliação foi escolhido e classificado de acordo com o estudo de Willers *et al.* (2012). Uma avaliação permite a identificação de aspectos e impactos ambientais, em mais de uma fase, do ciclo de vida, como a extração de matérias-primas, a infraestrutura necessária, as emissões de CO₂ no transporte e os processos de disposição final de um produto ou equipamento, por exemplo, sendo que alguns impactos não considerados em uma análise (Gianetti *et al.*, 2008).

Para atingir o objetivo proposto, o estudo foi iniciado com uma análise bibliométrica sobre o tema abordado. Foi utilizado o software Publish or Perish para a busca de artigos relacionados com a pesquisa nas bases do *Google Acadêmico*, *Scopus* e *Web of Science*. Os 1234 artigos encontrados foram submetidos aos critérios de exclusão: documentos duplicados, estudos não acadêmicos e artigos sem ligação com o tema proposto. A utilização dos critérios de exclusão resultou em 154 artigos na última década e 96 estudos nos últimos 5 anos. Após o saneamento e a seleção dos artigos mais relevantes foi elaborado o Referencial Teórico deste trabalho. A Revisão de Literatura foi apresentada no capítulo 4 dessa dissertação. A Bibliometria realizada com artigos de 2023 e dos últimos 5 e 10 anos amparou a confecção da justificativa e a fundamentação teórica.

Para delimitar o tema deste trabalho e justificar a escolha do item a ser estudado, realizou-se a mensuração das massas de 7 (sete) equipamentos utilizados no ambiente bancário. Os itens foram selecionados durante o processo de desativação de uma agência bancária localizada na região central de São Paulo. As medições foram realizadas com os equipamentos

desmontados e desinstalados com o auxílio de uma balança digital de plataforma Standard. Após a análise, optou-se pelo item com a maior massa dentre o aparato utilizado nos serviços bancários, ou seja, o caixa eletrônico com 1.070 quilogramas.

O equipamento estudado nesta dissertação possui diversas nomenclaturas como terminal de autoatendimento (TAA), caixa automático ou eletrônico, terminal bancário, ATM (do inglês: *Automated Teller Machine*), *cash machine* (máquina de dinheiro), desta forma, para redigir o texto do trabalho foi escolhido o termo “caixa eletrônico”; que é o nome mais utilizado no Brasil, país de origem dessa pesquisa. A sigla ATM foi utilizada em quadros, tabelas e figuras para otimizar o layout e a estrutura da dissertação.

5.2 Levantamento dos Dados: Equipamentos em Fase Operacional

O método Estudo de Caso foi utilizado para levantamento dos dados de campo sobre os Caixas Eletrônicos. Segundo Miguel (2007), o estudo de caso é uma abordagem metodológica relevante na área de engenharia de produção e é amplamente utilizado para se aprofundar de um certo evento no ambiente que ele acontece.

Para a coleta de dados dos equipamentos operacionais foi escolhida uma empresa de tecnologia e assistência técnica responsável pela manutenção de caixas eletrônicos. Nessa fase do estudo foram levantadas as especificações técnicas dos caixas eletrônicos dentro do ambiente bancário como: consumo de energia elétrica, infraestrutura necessária para o funcionamento e características técnicas de manutenção. As medições de tensão, potência, intensidade e resistência foram realizadas por técnico, especialista em manutenção corretiva e preventiva de caixas eletrônicos, com utilização dos equipamentos Multímetro e Voltímetro digital da Marca Fluke. Houve o acompanhamento dos serviços de assistência técnica, pelo período de 4 (quatro) horas, com testes no equipamento em stand by, em operações de consulta, impressão de comprovantes e durante saque de cédulas.

Durante o período de 240 (duzentos e quarenta) minutos de acompanhamento, o módulo pagador e depositário foi acionado por 12 (doze) vezes, pelo tempo aproximado de 2 (dois) minutos em cada acionamento, totalizando 24 (vinte e quatro) minutos, ou seja, o módulo é acionado por, aproximadamente, 10% do tempo de funcionamento de um caixa eletrônico em operação. Este módulo é acionado somente nas funções de saque, depósito e reciclagem de cédulas e os serviços de consulta e impressão de recibos não acionam esse periférico. Com base

nas informações, pode-se calcular a potência média estimada em W (Watts): o equipamento trabalha 90% do tempo em potência de 200 W e 10% do tempo em potência 635 W, desta forma, a potência média ponderada é de, aproximadamente, 243,5 W, conforme Equação 1.

$$Mp = \frac{[(N1 \cdot P1) + (N2 \cdot P2)]}{(P1 + P2)} \quad (1)$$

Onde: Mp: Média Aritmética Ponderada durante um determinado período; N: Valor de referência do conjunto; P: Peso correspondente de cada valor do conjunto.

A partir dos dados levantados foi realizada análise de emissão de CO₂ (dióxido de carbono). Os cálculos foram executados a partir do software de modelagem matemática disponível no portal *Idesam*: <https://idesam.org/calculadora/> que converte energia e combustíveis em CO₂. Os dados foram apresentados em tCO₂ que representam toneladas de CO₂ equivalentes e incluem não apenas o dióxido de carbono como também outros gases de efeito estufa convertidos em CO₂. O consumo de energia elétrica foi convertido em emissões de dióxido de carbono (CO₂). Conforme Tavares (2006), no território brasileiro, os cálculos de consumo de energia elétrica devem-se utilizar dos parâmetros determinados da Aneel (Agência Nacional de Energia Elétrica), empregando-se para isso a Equação 2.

$$\text{Consumo (kWh)} = \text{potência (W)} \times \text{horas de uso por dia (h)} \times \frac{\text{dias de uso no mês}}{1000} \quad (2)$$

Onde: kWh: Quilowatt-hora é uma medida da energia elétrica consumida por um aparelho durante um determinado período de funcionamento; W: Watt é a unidade de potência do Sistema Internacional de Unidades; h: Hora é a unidade de tempo igual a 60 (sessenta) minutos.

Para a modelagem matemática do consumo de energia elétrica dos caixas eletrônicos foram utilizadas as premissas: (a) os equipamentos ficam disponíveis para utilização em 24 horas por dia nas praças de utilização, (b) as praças de utilização ficam abertas na sua maioria em dias úteis e não úteis, desta forma, para o cálculo foi considerado 30 dias de uso no mês, e (c) a potência dos equipamentos foi medida na pesquisa de campo. O cenário de utilização dos terminais foi aprofundado por meio da *Survey* relatada nessa pesquisa.

5.3 Levantamento dos Dados: Processo de Descarte

Para a elaboração da pesquisa referente ao processo de descarte dos caixas eletrônicos, foi escolhida uma cooperativa de coleta de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos especializada em reciclagem de equipamentos bancários. No período de 01 de agosto a 11 de setembro de 2023 foram acompanhados o processo de descarte de 9 (nove) caixas eletrônicas no ambiente da Cooperativa de Coleta de Resíduos de Equipamento Eletroeletrônico denominada “A” localizada na região da zona norte de São Paulo. A cooperativa possui 27 membros cooperados, incluindo catadores de materiais recicláveis, e trabalha sem fins lucrativos. Na empresa de reciclagem foram levantadas as massas de cada material presente nos Caixas Eletrônicos em processo de descarte. Para a mensuração das massas foi utilizada uma balança digital de plataforma Standard. Como os equipamentos descartados possuem modelos, com anos de fabricação diferentes, e fornecedores diversos, foi utilizado a média aritmética simples das amostras das massas dos equipamentos descartes durante a coleta de informações em campo para a modelagem matemática, conforme Equação 3.

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} \quad (3)$$

Onde: \bar{X} : Média Aritmética Simples; $x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n$: Soma de termos numéricos; e n: Número Total de Termos.

Para avaliar a dispersão do conjunto de valores, em análise, foi aplicado o cálculo de desvio padrão amostral, de acordo com Equação 4. O desvio padrão amostral fornece informação sobre a dispersão (variância ou heterogeneidade) dos valores e deve ser utilizado quando o conjunto de dados é apenas uma amostra, ou seja, um subconjunto, propenso à margem de erro, dos dados totais (Barbetta, 2012).

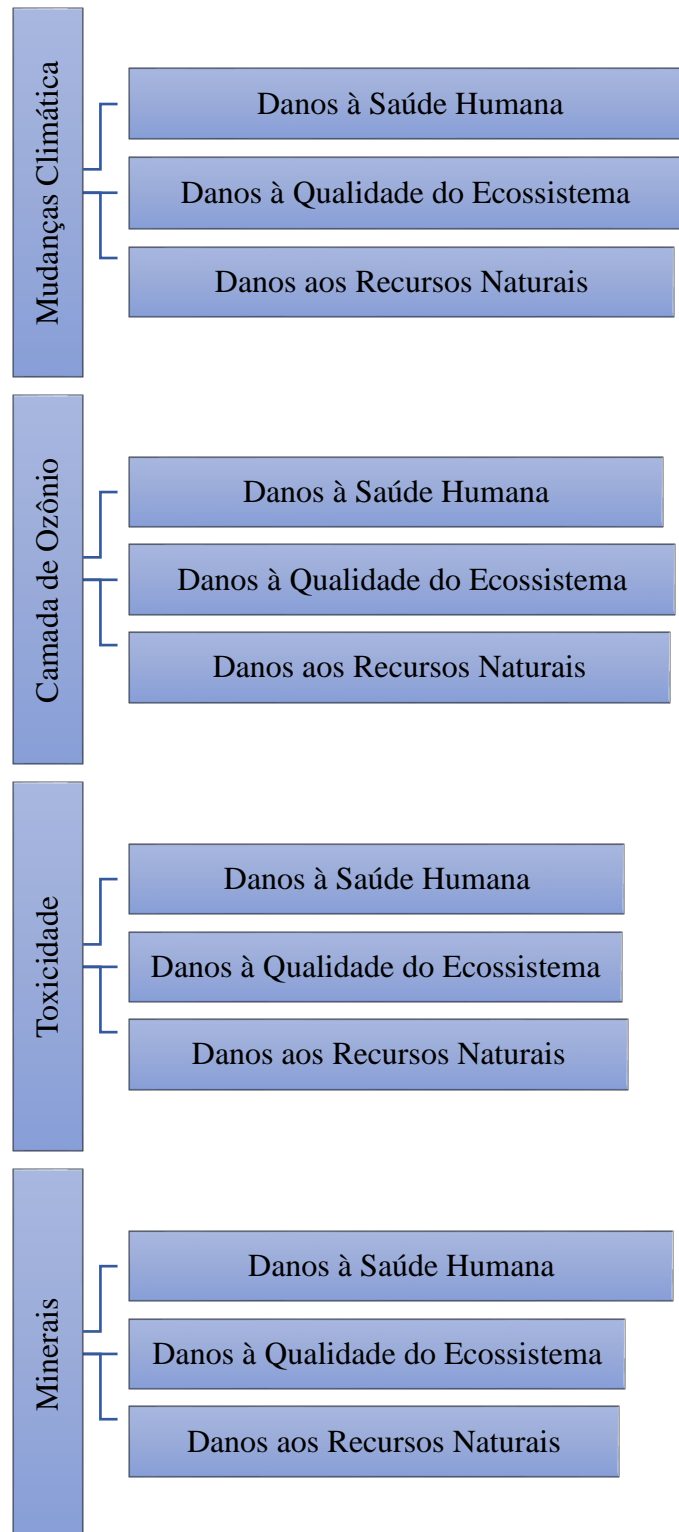
$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (4)$$

Onde: S : Desvio Padrão Amostral; $\sum (X_i - \bar{X})^2$: Somatório da diferença dos termos numéricos em relação à média amostral; e n: Número Total de Termos.

O impacto ambiental do descarte dos materiais utilizados nos caixas eletrônicos foi calculado pelo método de Análise de Ciclo de Vida (ACV), de acordo com a norma ISO 14044.

LCA é uma abordagem usada para analisar o impacto ambiental de um produto ou equipamentos. Em geral, a avaliação do ciclo de vida é uma ferramenta na avaliação de impacto ambiental com uma abordagem que contribui na mensuração do impacto ambiental causado por produtos ou atividades relacionadas, começando pela aquisição de matérias-primas, passando pela produção, uso continuado e, finalmente, a gestão dos resíduos (Sánchez, 2013). O método ACV avalia quantitativamente os impactos ambientais de forma clara e mais ampla. O processo consiste em meta e definição de escopo, análise de dados do inventário de ciclo de vida do produto (ICV), avaliação de potencial impactos ambientais (AIA) e interpretação do impacto resultante (Camañes; Tobajas; Fernandez, 2024). O estudo realizou uma análise de relação de Categorias de Impactos e os Danos baseados no estudo Eco-indicador 99 (PRé, 2000), de acordo com a Figura 4:

Figura 4: Relação de Categorias de Impactos versus análise dos Danos no Eco-Indicator 99.



Fonte: Adaptado de PRé (Goedkoop; Spriensma, 2000, p. 8)

O método de análise de impacto ambiental Eco-indicador 99 (EI99) é uma modelagem de pontos caracterizado por avaliar um processo ou produto por meio de três categorias de

danos: saúde humana, qualidade dos ecossistemas e utilização de recursos (Goedkoop; Spriensma, 2000). Potencial para alterações climáticas, destruição da camada de ozônio, efeitos cancerígenos, envolvimento respiratório e radiação ionizante são mensurados em pontos na categoria de danos à saúde humana mensurados por meio de pontos DALY, ou seja, anos perdidos de vida por número de doenças de forma binária ou potencial de deficiência (Katarzyna et al., 2020).

Os danos a qualidade do ecossistema são representados pelo número de potencial perda de espécies animais e vegetais na escala PAF (do inglês: Potentially Affected Fraction; ou fração potencialmente afetada) ou PDF (do inglês: Potentially Disappeared Fraction; ou fração potencialmente desaparecida), além disso, o EI99 mede os recursos minerais e combustíveis fósseis extras convertidos em energia excedente por meio da escala MJ surplus ou quantidade de energia necessária para a produção natural, ou seja, quanto maior o excedente de energia, menor será a qualidade do recurso (Fahmi; Hardinawati; Putri, 2024).

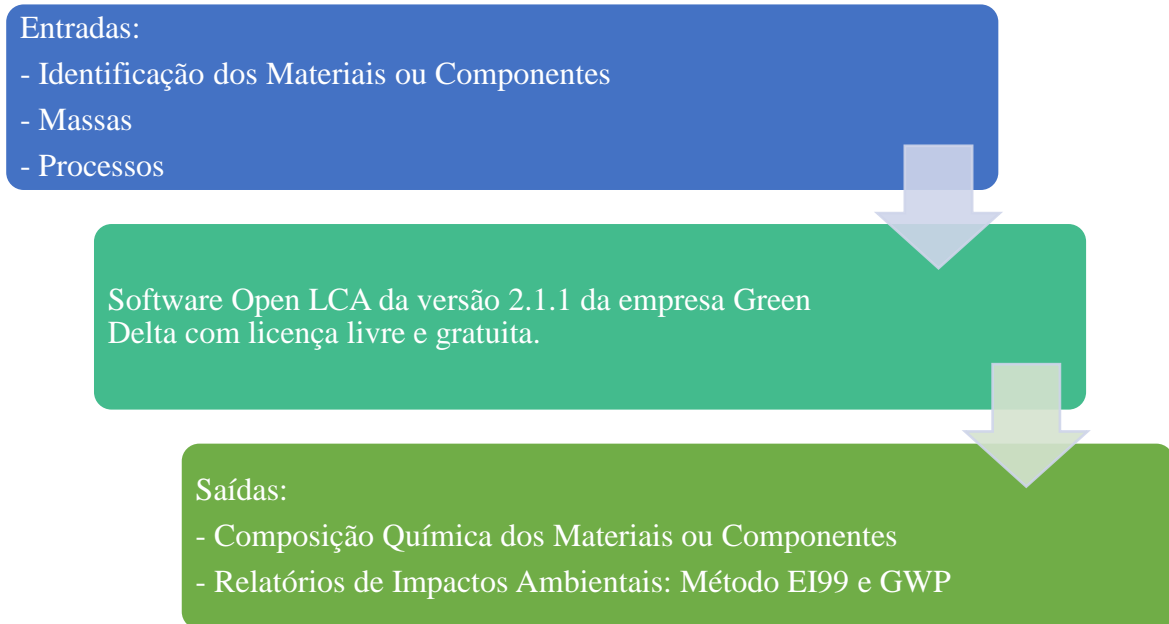
Mudanças climáticas, destruição da camada de ozônio, efeitos cancerígenos, orgânicos respiratórios, inorgânicos respiratórios, radiações ionizantes, toxicidade ecológica, uso da terra, uso de combustíveis fósseis, esgotamento mineral e acidificação do solo são os 11 pontos de impactos ambientais consideradas nos cálculos da escala EI99 (Katarzyna et al., 2020).

O EI99 recomenda a normalização de dados com uma unidade uniforme para todas as categorias de impacto. O cálculo exige investimentos que podem ser facilitados por meio da engenharia de software. Com base nos dados é possível aplicar medidas nos variados ramos de atividade como mensurar o impacto nas mudanças climáticas, classificar o nível de produção de frutas mais frescas com a diminuição do uso de fertilizantes e alterar processos para a redução do nível de emissões das fábricas (Andarani et al., 2018).

Para a análise do ciclo de vida dos caixas eletrônicos com o aprofundamento de dados atrelados aos parâmetros de Categorias de Impactos e os Danos baseados no método *Eco-indicador 99* (Pfister et al 2009), foi utilizado o software Open LCA da versão 2.1.1 da empresa Green Delta com licença livre e gratuita, de acordo com fluxo representado na Figura 5. Segundo Mordaschew e Tachenberg (2024), com o programa do software Open LCA é possível analisar o ciclo de vida dos mais variados produtos por meio de dados primários ou secundários. O software Open LCA calcula os impactos ambientais desde o processo produtivo até o fim de vida de um objeto em conformidade com regras estabelecidas por renomadas instituições

mundiais. Com transparência o programa é capaz de comparar produtos, processos e projetos de acordo com os indicadores necessários.

Figura 5: Fluxo de Dados: Software Open LCA



Fonte: Autor (2024)

A partir do produto, desta dissertação, classificado como um “*Framework*”, foram estabelecidos fluxos ao longo do ciclo de vida dos caixas eletrônicos. Os processos e fluxos mapeados no artefato auxiliaram no processo na avaliação de impactos ambientais de diferentes caminhos percorridos pelo equipamento ao longo de suas fases de produção, utilização, manutenção e descarte. Amparado pelo método do EI99, foram calculados os danos ambientais evitados em dois fluxos de simbiose industrial; o primeiro denominado “Processo (*Framework*)”, é aquele em que os resíduos percorrem o melhor caminho de acordo com o *Framework* proposto nesta dissertação, e; o segundo é chamado de “Processo (Siderúrgica)”, onde foi considerado o processo de descarte mais utilizados pelos bancos, no município de São Paulo. Na avaliação de impactos ambientais do “Processo (Siderúrgica)”, onde os caixas eletrônicos obsoletos são direcionados diretamente para a indústria metalmeccânica, foi utilizado o método *GWP* (*Global Warming Potential*), para medir a emissões de CO₂ equivalentes, da incineração de materiais não metálicos. O potencial de aquecimento global (*GWP*) é utilizado para avaliar os impactos ambientais, por meio da ACV, considerando a emissão de gases de efeito estufa equivalentes em um certo processo ou objeto (Gobio-Thomas; Darwish; Stojceska, 2023).

5.4 Pesquisa de Levantamento Survey

Foi realizado um questionário com o intuito de analisar o cenário de utilização dos caixas eletrônicos, foi formulado um questionário estruturado, por meio da ferramenta Google Forms, com perguntas fechadas, a ser aplicado em clientes do sistema bancário que frequentam agências comerciais. A análise teve uma abordagem estatística de natureza quantitativa. A Survey foi aplicada com clientes do sistema bancários que frequentam agências comerciais.

A aplicação do questionário enriquece a pesquisa acadêmica e fortalece seus resultados e discussões. O método *survey* tem como objetivo investigar questões relacionadas ao propósito de um estudo, além de esclarecer dúvidas, testar hipóteses prováveis para uma questão de pesquisa e analisar um cenário com a participação da população envolvida (Taherdoost, 2022).

Em um questionário pode-se utilizar ferramentas que facilitem a estruturação dos tipos de perguntas e a manifestação dos pontos de vista latentes e ocultos dos respondentes, a escala Likert auxilia no processo de medir as opiniões e colabora para a análise dos dados após a realização das coletas de forma otimizada e organizada (Tanujaya; Prahmana; Mumu, 2022).

O tamanho mínimo da amostra foi obtido com por meio do método de amostragem aleatória simples de Barbetta (2012). Foi realizado o cálculo da representatividade da amostra considerando uma população de 127.832.634 adultos no Brasil. Entende-se por adultos as pessoas com idade superior a 18 (dezoito) anos. A margem de erro considerada foi de 10% e o grau de confiança estabelecido foi de 90% resultando em um 99,9999, ou seja, um tamanho mínimo de 100 respondentes. As fórmulas para o tamanho mínimo da amostra são apresentadas nas Equações 5 e 6.

$$n_0 = \frac{1}{(E_0)^2} \quad (5)$$

Onde:

E_0 : Erro amostral para um grau de confiança de 90% equivale a erro amostral de 0,1; n_0 : primeira aproximação do tamanho da amostra ou amostra aleatória.

$$n = \frac{N * n_0}{N + n_0} \quad (6)$$

Onde:

N: Tamanho da população; n: Tamanho da amostra; n_0 : primeira aproximação do tamanho da amostra.

As respostas do questionário foram mapeadas e analisadas por meio de estatística descritiva. Busca-se levantar dados sobre o nível de utilização dos caixas eletrônicos e analisar os impactos ambientais no processo de utilização desses equipamentos pelos clientes do setor bancário. O questionário com 11 itens foi dividido em quatro blocos e enviado por meio eletrônico. A pesquisa foi disponibilizada em plataformas digitais com usuários residentes em todo o território nacional. O questionário foi divulgado por meio de grupo de *whatsapp* com 25 membros, pelo aplicativo *Niantic Campfire* com 4.264 membros e pela *interface* do *Amino Comunidades e Chats* com 198 membros e atingiu um universo de 4.487 participantes com retorno de 112 (cento e doze) respondentes. O questionário ficou disponível por 30 (trinta) dias corridos, no período correspondente de 23 de maio de 2024 a 22 de junho de 2024.

O Bloco 1 foi caracterizado por duas questões socioeconômicas: (Q1) quantos anos você tem? e (Q2) qual é o seu grau de escolaridade?

O Bloco 2 mensurou o nível de utilização dos caixas eletrônicos em quatro perguntas: (Q3) você frequenta agências físicas de bancos comerciais?, (Q4) você utiliza Caixas Eletrônicos nas suas transações bancárias?, (Q5) assinale a frequência em que você utiliza Caixas Eletrônicos e (Q6) assinale o tempo que você utiliza nas operações em um caixa eletrônico (exceto o tempo de fila de espera).

O Bloco 3 analisou a percepção do cenário bancário com três questões estruturadas e com a utilização de escala Likert: (Q7) devido a evolução tecnológica ou devido a inserção de novas ferramentas para a realização de transações bancárias, você já deixou de utilizar o Caixa Eletrônico?, (Q8) Assinale o meio bancário que você mais utiliza para a realização de suas transações bancárias e (Q9) O uso de outros meios bancários (Pix, Cartões, Aplicativos) influência na não utilização de Caixas Eletrônicos.

O Bloco 4 identificou a percepção ambiental dos respondentes com uma afirmação e uma pergunta: (Q10) os Caixas Eletrônicos entrarão em desuso devido a evolução tecnológica e o surgimento de novos meios de pagamentos digitais e (Q11) De acordo com os seus conhecimentos, qual é o procedimento adotado para a destinação dos resíduos dos caixas eletrônicos obsoletos (sem condições de manutenção ou utilização)? Após a coleta de respostas os dados foram analisados utilizando estatística descritiva e os resultados foram transformados em representações gráficas e analisados.

5.5 Respostas ao Questionamento de Pesquisa

Nesta etapa do estudo foram analisados os dados coletados durante o processo de pesquisa utilizando as ferramentas e métodos da análise de ciclo de vida (ACV). As discussões e a formulação dos resultados colaboraram para a criação de um procedimento de descarte de caixas eletrônicos com a mitigação de impactos ambientais. O procedimento foi representado por meio de um esquema *Framework* e para as análises ambientais o processo foi nomeado como “Processo (*Framework*)”.

Um *Framework* consolida conceitos fundamentais por meio de uma estruturação gráfica que permite fácil rastreabilidade, entendimento simplificado de fases complexas, otimiza um referencial teórico e sintetiza as principais tipologias para uma implementação eficaz de um processo ou um modelo (Islam; Cullen, 2021). Bishop; Styles; Lens; (2021), em seu estudo, criaram um *Framework* para a modelagem de um sistema de atividades durante o ciclo de vida dos bioplásticos. Como resultado do trabalho, os impactos ambientais são demonstrados para a cadeia de *stakeholders* por meio da representação gráfica que permite uma análise simplificada de todo processo com resultados ambientais positivos e negativos ligados a implantação de cenários realistas e plausíveis.

Os impactos ambientais decorrem uma atividade ou de um conjunto de ações humanas realizadas em um certo local. Um estudo de impacto ambiental pressupõe que tais ações sejam planejadas, sendo descritas por meio de documentos ou representações gráficas. Após a definição do artefato deve-se aplicar uma avaliação de impacto ambiental para análise das ações a serem executadas (Sánchez, 2013).

5.6 Elaboração do Produto da Pesquisa

Este estudo permitiu a elaboração de um Relatório Técnico Conclusivo dedicado as empresas envolvidas no processo de descarte de caixas eletrônicos, em especial, às cooperativas de coleta de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos do município de São Paulo. O produto foi elaborado com os resultados da pesquisa realizada durante os dois anos do curso de mestrado profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos. O produto é materializado por meio de um *Framework* com a proposta de um processo de simbiose industrial para o descarte

de Caixas Eletrônicas, criado a partir da análise de ciclo de vida para mitigação de impactos ambientais ao longo do fluxo de vida dos equipamentos.

O *Framework* foi desenvolvido por meio do software livre e gratuito disponível no Portal *Draw.io* (<https://app.diagrams.net/>) com o auxílio da geração de desenhos e ícones pelos portais de acesso livre *Icons8* (<https://icons8.com.br/>) e *Flaticon* (<https://www.flaticon.com/br/>).

O relatório é destinado a associações e cooperativas de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis aptas a realizarem coleta, separação de materiais eletrônicos. As instituições são responsáveis pelo processamento dos resíduos sólidos industriais seja pelo processo de reciclagem, reutilização ou descarte.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Capítulo 6 deste trabalho apresenta as informações obtidas na pesquisa empírica realizada e as análises dos resultados obtidos em relação ao problema de pesquisa proposto. Optou-se por dividir o capítulo em 8 seções com o objetivo de ordenar os resultados em função dos objetivos específicos apresentados na dissertação.

6.1 Descrição do Caixa Eletrônico – Objeto de estudo

Para delimitar o tema deste trabalho e justificar a escolha do equipamento a ser estudado, optou-se pelo item com a maior massa dentre o aparato utilizado em uma agência bancária, ou seja, o caixa eletrônico com 1.070 quilogramas, conforme Tabela 1.

Tabela 1: Massa dos Equipamentos utilizados nas agências bancárias

| Equipamento | Descrição | Massa aproximada |
|-------------|--|-------------------|
| ATM | Caixa Eletrônico | 1.070 quilogramas |
| PGDM | Porta Giratória com Detector de Metais | 350 quilogramas |
| Nobreak | Nobreak para baterias externas | 50 quilogramas |
| Impressora | Impressora Multifuncional | 17 quilogramas |
| TMF | Computador ou Terminal Multifunções | 9 quilogramas |
| Scanner | Digitalizador de Mesa | 2,6 quilogramas |
| Câmera | Câmera de Vigilância | 250 gramas |

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Para o estudo foi escolhido um modelo de caixa eletrônico que é instalado em postos de serviços e agências bancárias. O equipamento (Figura 6) possui as seguintes funções: Saques em cédulas, Depósitos em cédulas sem envelope, Pagamento de contas com código de barras com recebimento via cartão, Emissão de Extratos, Consulta de saldos, Transferência de fundos, Aplicações financeiras, Informação aos usuários e Marketing dos Bancos.

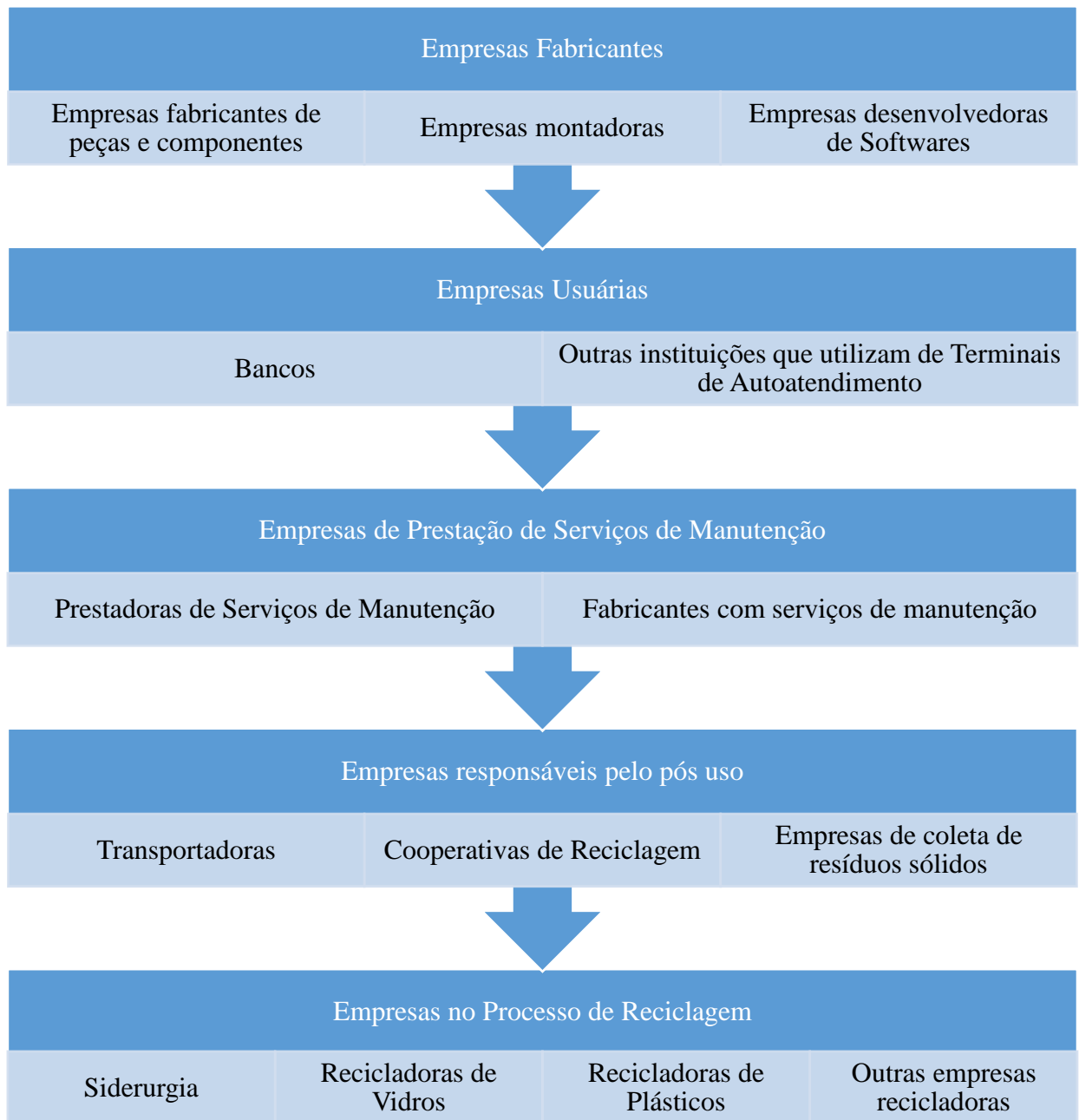
Figura 6: Caixa Eletrônico no Ambiente Bancário



Fonte: Registrada pelo autor (2023).

O caixa eletrônico e seus componentes são manuseados ao longo do seu ciclo de vida por diversas empresas conforme fluxograma demonstrado no fluxograma da Figura 7.

Figura 7: Empresas relacionadas no ciclo de vida dos caixas eletrônicos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O equipamento trabalha nas especificações elétricas sendo: Tensão de alimentação de 100 a 240 VAC (do inglês: Volts Alternating Current; ou tensão alternada), potência nominal de 200 W (Watts), corrente máxima de 110 VAC de 8,0 A (Amperes), corrente Máxima 220 VAC de 4,0 A e Frequência de 50 / 60Hz +/- 0,5Hz (Hertz). O módulo pagador dos caixas eletrônicos possui tensão de 127 VAC, intensidade de 5A, resistência de 25,4 Ω (Ômega) e potência de 635 W e é acionado apenas nas funções saque e depósito.

O caixa eletrônico trabalha nas especificações ambientais de temperatura de operação de 5 a 35°C e umidade de 10% a 80% (sem condensação). Suas dimensões são de 600 mm de largura total, 965 mm de profundidade total e 1525 mm de altura considerando cofre e gabinete. Sua massa total é de 1.070 kg (mil e setenta quilogramas).

6.2 Cenário Nacional e Mundial dos Caixas Eletrônicos

De acordo com os dados extraídos do portal do Banco Mundial e, considerando as informações do Censo realizado pelo IBGE, pode-se estimar que existam 120.763 (cento e vinte mil, setecentos e sessenta e três) caixas eletrônicos em operação no Brasil. A quantidade de equipamentos, para cada 100.000 adultos, oscilou no período de 2006 a 2021, conforme dados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Evolução da Quantidade de Caixas Eletrônicas no Brasil

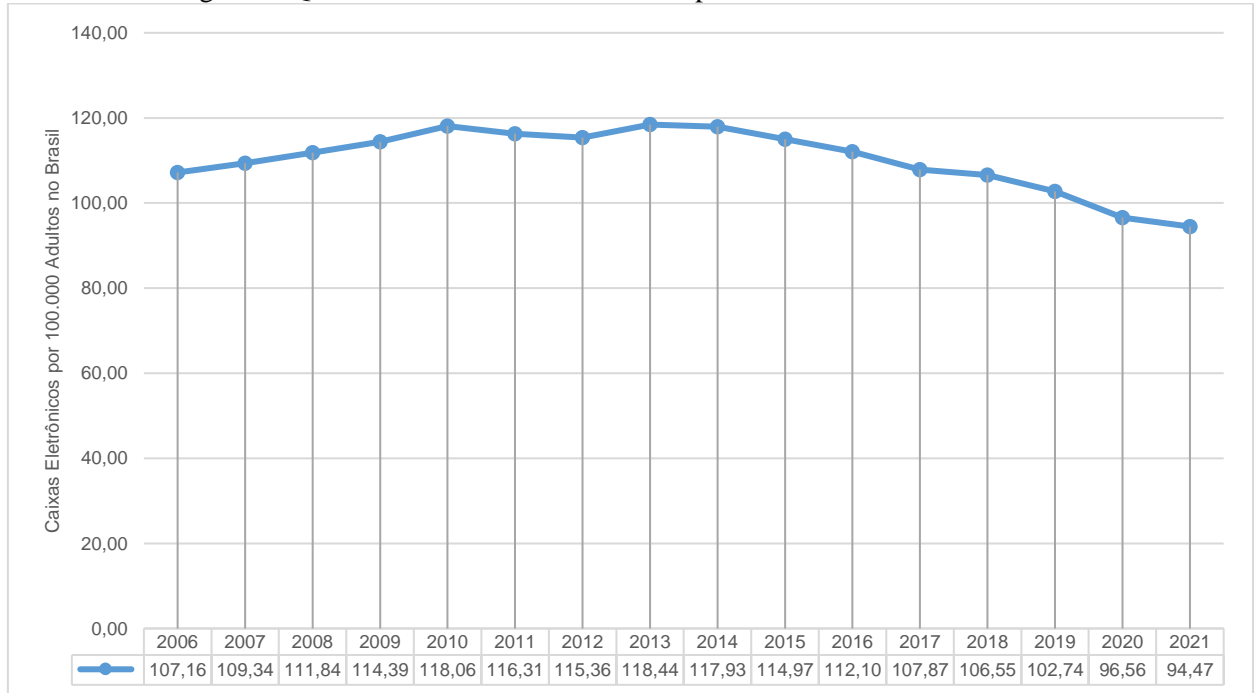
| Ano | Quantidade por 100.000 adultos | Estimativa da População Adulta (acima dos 19 anos) | Quantidade Estimada de Caixas Eletrônicas |
|------|--------------------------------|--|---|
| 2006 | 107,16 | 101.593.233 | 108.867 |
| 2007 | 109,34 | 101.593.233 | 111.082 |
| 2008 | 111,84 | 101.593.233 | 113.622 |
| 2009 | 114,39 | 101.593.233 | 116.212 |
| 2010 | 118,06 | 127.832.634 | 150.919 |
| 2011 | 116,31 | 127.832.634 | 148.682 |
| 2012 | 115,36 | 127.832.634 | 147.468 |
| 2013 | 118,44 | 127.832.634 | 151.405 |
| 2014 | 117,93 | 127.832.634 | 150.753 |
| 2015 | 114,97 | 127.832.634 | 146.969 |
| 2016 | 112,10 | 127.832.634 | 143.300 |
| 2017 | 107,87 | 127.832.634 | 137.893 |
| 2018 | 106,55 | 127.832.634 | 136.206 |
| 2019 | 102,74 | 127.832.634 | 131.335 |
| 2020 | 96,56 | 127.832.634 | 123.435 |
| 2021 | 94,47 | 127.832.634 | 120.763 |

Fonte: Indicadores do Banco Mundial (World Bank, 2023): <https://data.worldbank.org/indicador/> e do IBGE: <https://www.ibge.gov.br/censo/>.

Pode-se verificar um aumento no número de equipamentos no período de 2006 a 2010, com uma queda no biênio seguinte. No ano de 2013, novamente, uma evolução positiva foi detectada, porém a partir de 2014 os números apresentaram queda constante. Todavia, pode-se

afirmar que a quantidade de equipamentos apresenta uma tendência de queda no Brasil, na proporção por 100.000 adultos, com redução mais acentuada a partir de 2019, de acordo com a Figura 8.

Figura 8: Quantidade de Caixas Eletrônicos por 100.000 adultos no Brasil.



Fonte: Indicadores do Banco Mundial (World Bank, 2023): <https://data.worldbank.org/indicator/>.

No cenário nacional, existe uma tendência de queda do número de caixas eletrônicos em operação e os dados mostraram que o mesmo comportamento é constatado no panorama mundial. Os números absolutos de caixas eletrônicos no Mundo são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Evolução da Quantidade de Caixas Eletrônicos no Mundo

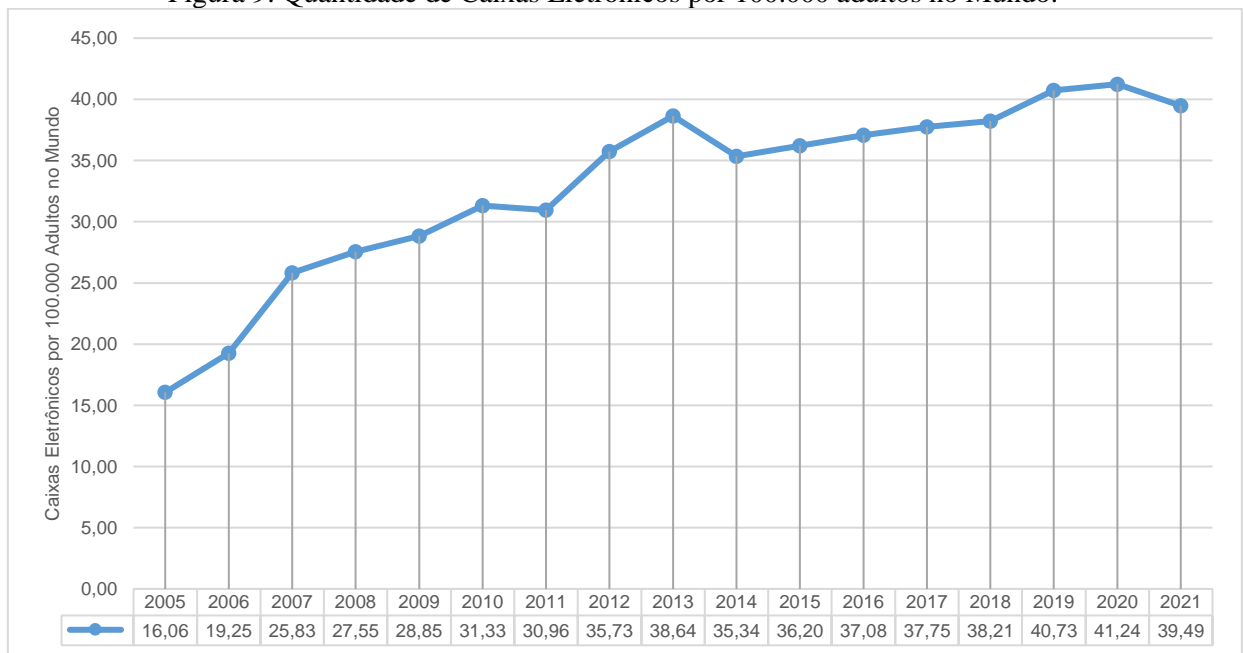
| Ano | Quantidade por 100.000 adultos | Estimativa da População | Quantidade Estimada de Caixas Eletrônicos |
|------|--------------------------------|-------------------------|---|
| 2006 | 19,25 | 6,635 | 1.277.238 |
| 2007 | 25,83 | 6,718 | 1.735.259 |
| 2008 | 27,55 | 6,801 | 1.873.335 |
| 2009 | 28,85 | 6,886 | 1.986.267 |
| 2010 | 31,33 | 6,970 | 2.183.353 |
| 2011 | 30,96 | 7,054 | 2.183.566 |
| 2012 | 35,73 | 7,141 | 2.551.479 |
| 2013 | 38,64 | 7,229 | 2.793.286 |
| 2014 | 35,34 | 7,317 | 2.585.462 |
| 2015 | 36,20 | 7,404 | 2.680.248 |
| 2016 | 37,08 | 7,490 | 2.777.292 |

| | | | |
|------|-------|-------|-----------|
| 2017 | 37,75 | 7,576 | 2.859.561 |
| 2018 | 38,21 | 7,660 | 2.926.886 |
| 2019 | 40,73 | 7,742 | 3.153.317 |
| 2020 | 41,24 | 7,820 | 3.224.968 |
| 2021 | 39,49 | 7,888 | 3.114.971 |

Fonte: Indicadores do Banco Mundial (World Bank, 2023): <https://data.worldbank.org/indicador>

Pode-se verificar um aumento no número de equipamentos no período de 2006 a 2010, com uma queda no ano seguinte. No biênio 2012 e 2013, uma pequena oscilação positiva foi sentida. Na Figura 9, observa-se uma queda em 2014, porém a partir de 2015 até 2020 o aumento do número de caixas eletrônicos em operação foi constante, com uma ruptura em 2021, onde pela primeira vez nos últimos sete anos, foi constatado uma redução no número de equipamentos em operação para cada 100.000 adultos no Mundo.

Figura 9: Quantidade de Caixas Eletrônicas por 100.000 adultos no Mundo.



Fonte: Indicadores do Banco Mundial (World Bank, 2023): <https://data.worldbank.org/indicador/>.

Pode-se afirmar que a queda no número de equipamentos em operação no ano de 2020 ocorreu devido ao reflexo da pandemia de Covid 19, que incentivou a população mundial a evitar aglomerações e a trocar as rotinas presenciais por tarefas remotas com a utilização de meios digitais. A inativação de agências físicas no período pandêmico e o surgimento de bancos na modalidade digital, sem a necessidade de ambientes com funcionários e estruturas para o atendimento de clientes, fortaleceram o desenvolvimento de aplicativos *mobiles* e modelos

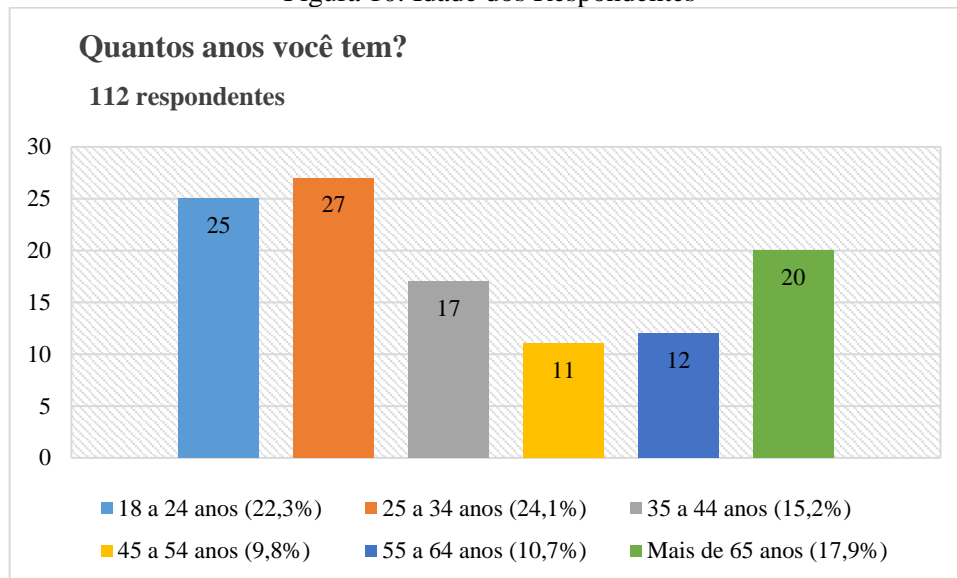
serviços bancários no formato digital, essas mudanças motivaram clientes a trocarem os ambientes físicos das agências bancárias por interfaces de celulares e computadores (Wang e Wu, 2024).

Dados do Banco Mundial (2021), mostram que a quantidade estimada de caixas eletrônicos no Mundo é de aproximadamente 3,114 milhões, mas esse número teve uma queda de 109.997 equipamentos de 2020 para 2021. Os dados são comprovados pelos indicadores apresentados na Figura 9. A queda ocorreu durante a pandemia de Covid 19 motivo pelo qual as pessoas tiveram que manter o isolamento social e optaram pelo uso de aplicativos para realizar as suas transações bancárias. Com a redução no número de clientes em agências bancárias, muitos bancos optaram por reduzir os números de sucursais resultando na diminuição de postos de atendimento e ambientes com caixas eletrônicos. Outro fator que corrobora para a redução leva em consideração a queda da produção de chips, semicondutores e peças de equipamentos eletrônicos, o que resultou na antecipação da obsolescência de muitos modelos de caixas eletrônicos sem sobressalentes de reposição. A pandemia de Covid 19 gerou interrupções sistêmicas da produção de suprimentos em todo o mundo, que impactaram setores inteiros. A escassez de peças eletrônicas, chips e semicondutores começou durante o período pandêmico iniciado em 2020 e seus reflexos poderão ser sentidos por anos consecutivos (Ramani; Ghosh; Sodhi, 2022). A queda apresentada no ano de 2021 pode ser justificada pelas novas operações de transação bancário implantadas no Mundo. No Brasil, temos a implantação do Pagamento Instantâneo (PIX) em 12 de agosto de 2020 (Resolução nº1 do BCB, 2020).

6.3 Resultados do Questionário (*Survey*) com clientes do setor bancário

Conforme descrito no método da presente pesquisa, o questionário foi enviado por meio eletrônico, para um universo de 4.487 participantes, com retorno de 112 (cento e doze) respondentes. O Bloco 1 é caracterizado por questões de perfil socioeconômico, os dados estão apresentados nas Figura 10 e 11. Do total de entrevistados, verificou-se que a maioria tem idade entre 25 a 35 anos (24,1% dos participantes), 22,3% dos respondentes tem de 18 a 25 anos, 17,9% tem mais de 65 anos, 15,2% tem de 35 a 44 anos, 10,7% tem de 55 a 64 anos e 9,8% tem de 45 a 54 anos. Em relação ao grau de escolaridade, observa-se que 34,8% dos respondentes têm Pós-Graduação completa, 25% têm ensino médio completo, 22,3% têm ensino superior completo, 14,3% têm ensino superior incompleto, 1,8% têm ensino médio incompleto e 1,8% têm Pós-Graduação incompleta.

Figura 10: Idade dos Respondentes

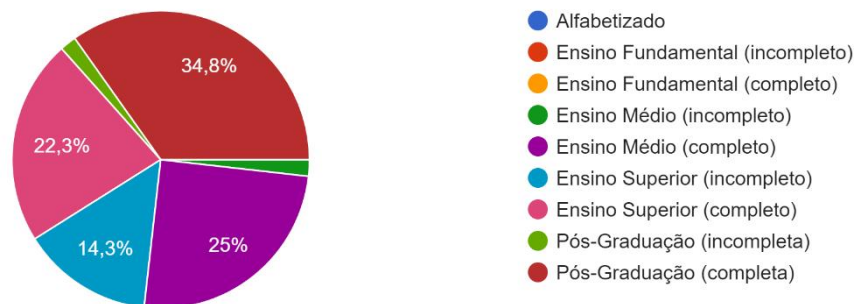


Fonte: Elaborado pelo autor com o resultado da pesquisa (2024)

Figura 11: Escolaridade dos Respondentes

Qual é o seu grau de escolaridade?

112 respostas



Fonte: Elaborado pelo autor com o resultado da pesquisa (2024)

O Bloco 2, composto por quatro questões, teve o objetivo de mensurar o nível de utilização de terminais de autoatendimento bancário e a presença dos respondentes em ambientes físicos de agências bancárias. A primeira pergunta representada na Figura 12 questiona se o participante frequenta agências físicas de Bancos Comerciais. Entre as respostas, 55,4% dos participantes responderam que sim e 44,6% não. Esse resultado demonstra uma polarização e que quase metade dos entrevistados já não frequente ambientes físicos bancários.

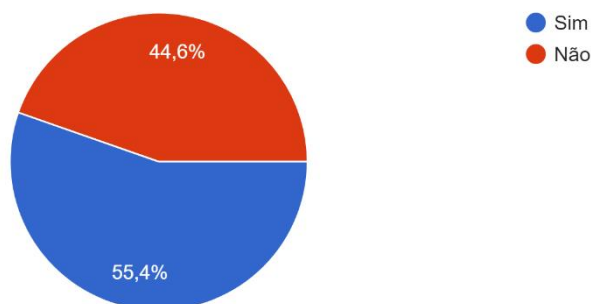
A segunda pergunta representada na Figura 13 questiona se o participante utiliza caixas

eletrônicos em suas transações em ambiente bancário. Entre as respostas, 56,3% dos participantes responderam que sim e 43,8% não. Esse resultado demonstra que quase metade da população já não utiliza esse tipo de equipamento para realizar transações e procedimentos bancários. A terceira pergunta representada na Figura 14 utilizou de afirmação do tipo escala Likert com 5 opções sobre a frequências de utilização de caixas eletrônicos. Entre as respostas, 35,7% dos participantes responderam utilizam mensalmente um caixa eletrônico, 31,3% não utilizam caixas eletrônicos, 17,9% utilizam semanalmente e 15,2% anualmente. Esse resultado demonstra que a grande maioria da população utiliza os serviços dos caixas eletrônicos apenas uma vez por mês.

A quarta pergunta, representada na Figura 15, utilizou-se de afirmação com 5 opções sobre o tempo de utilização de caixas eletrônicos. Entre as respostas, 33% dos participantes demoram entre 1 a 2 minutos em um caixa eletrônico, 29,5% não utilizam, 26,8% gastam de 3 a 4 minutos por utilização, 6,3% ficam mais de 5 minutos e 4,5% ficam menos de um minuto em um equipamento. Esse resultado demonstra que a grande maioria da população utiliza os serviços dos caixas eletrônicos apenas uma vez por mês. Esse Bloco de questões colaborou para o entendimento do cenário bancário nacional e para dimensionar o nível de necessidade dos equipamentos de automação bancária.

Figura 12: Frequência de clientes em agências bancárias

Você frequenta agências físicas de Bancos Comerciais?
112 respostas

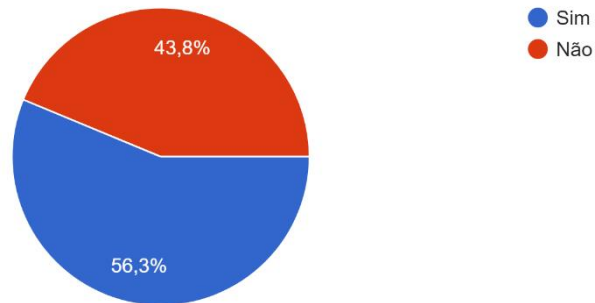


Fonte: Elaborado pelo autor com o resultado da pesquisa (2024)

Figura 13: Utilização de caixas eletrônicos

Você utiliza Caixas Eletrônicos nas suas transações Bancárias?

112 respostas

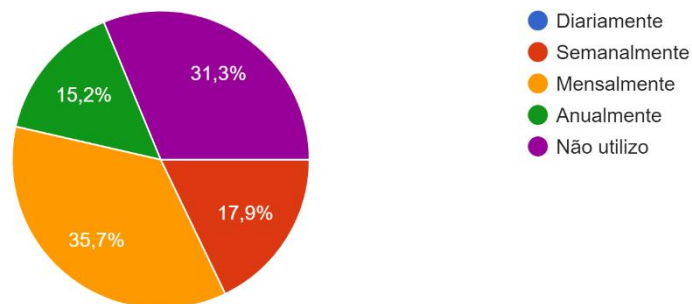


Fonte: Elaborado pelo autor com o resultado da pesquisa (2024)

Figura 14: Respostas referentes frequência de utilização de caixas eletrônicos

Assinale a frequência em que você utiliza Caixas Eletrônicos

112 respostas

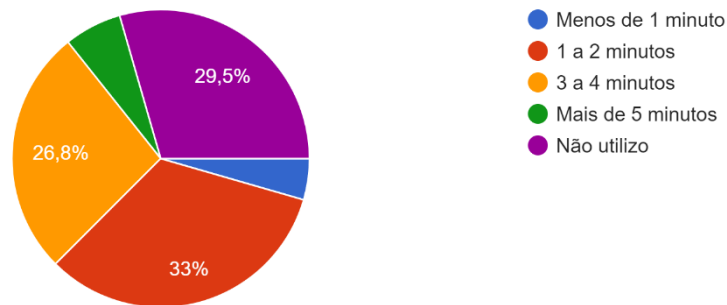


Fonte: Elaborado pelo autor com o resultado da pesquisa (2024)

Figura 15: Respostas referentes ao tempo de utilização de caixas eletrônicos

Assinale o tempo que você utiliza nas operações em um caixa eletrônico (exceto o tempo de fila de espera).

112 respostas



Fonte: Elaborado pelo autor com o resultado da pesquisa (2024)

O Bloco 3 é composto por três questões e teve o objetivo analisar percepção dos clientes bancários no atual cenário brasileiro. A primeira questão representada na Figura 16 é uma pergunta binária se o respondente, devido a evolução tecnológica ou devido a inserção de novas ferramentas digitais para a realização de transações bancárias, já deixou de utilizar caixas eletrônicos. Entre as respostas, 88,4% dos participantes responderam que sim e 11,6% não. Esse resultado demonstra que a maior parcela da população já deixou de realizar algum tipo de transação pelo caixa eletrônico devido a criação de novas ferramentas digitais. A segunda pergunta, representada na Figura 17, questiona sobre qual a ferramenta mais utilizada pelos clientes para a realização de suas transações bancárias. Entre as respostas, 42% dos participantes responderam utilização aplicativos de celular ou computador para realizarem suas transações, 31,3 responderam Pix, 10,7% caixas eletrônicos, 8% cartões e 8% caixa físico das agências. Esse resultado demonstra que, somando a utilização de Pix e aplicativos *mobiles*, mais da metade da população prefere utilizar meios digitais para realizar suas operações e que, apesar do pouco de tempo de lançamento, os pagamentos instantâneos (Pix) já ocupam a segunda opção entre as preferências do brasileiro.

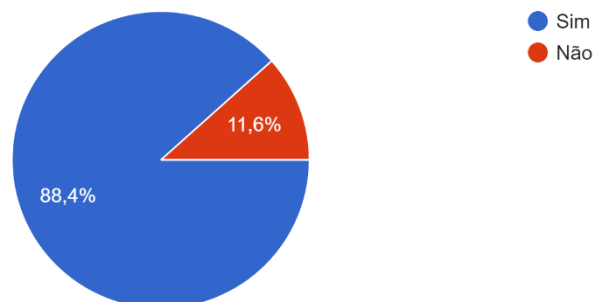
A terceira pergunta, representada na Figura 18, utilizou-se de afirmação do tipo escala Likert com 5 opções sobre a influências dos meios digitais sobre a não utilização de caixas eletrônicos. Entre as respostas, 58% dos participantes responderam que concordam plenamente que o uso de outros meios bancários (Pix, cartões e aplicativos) influenciam a não utilização de caixas eletrônicos, 26,8% concordam parcialmente, 11,6% discordam parcialmente e 3,6% nem discordam e nem concordam. Os resultados apresentados nesse Bloco demonstram que os

meios de pagamentos digitais têm grande influência no aumento do desuso de equipamentos de automação bancária e corroboram para os dados presentes na literatura sobre a ligação entre a evolução da digitalização bancária e o fechamento de agências físicas. A redução do número de agências bancárias, nos últimos anos, foi motivada pela necessidade de adequação operacional, dos grandes conglomerados bancários, devido a concentração de várias agências em uma certa localidade, em resposta às ações mercadológicas do setor, que prezaram por aquisições de instituições menores e fusões de grandes grupos de investimentos. Melhores indicadores na avaliação de aplicativos digitais e a evolução das conexões de internet, que beneficiaram a conectividade de cidades rurais, motivaram clientes a migrarem de agências físicas para bancos digitais (Andres, 2022, p. 58).

Figura 16: Respostas referente à percepção dos usuários de caixas eletrônicos

Devido a evolução tecnológica ou devido a inserção de novas ferramentas para a realização de transações bancárias, você já deixou de utilizar o Caixa Eletrônico?

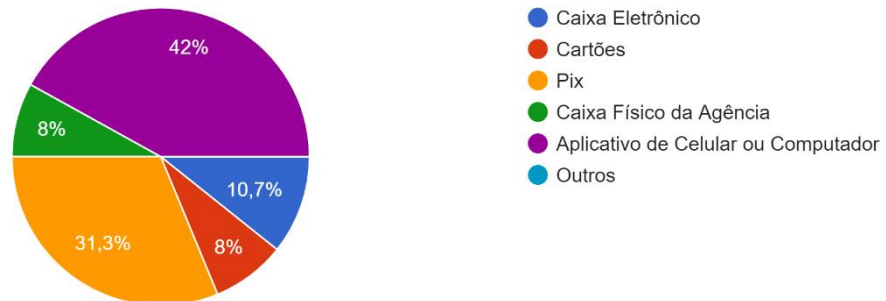
112 respostas



Fonte: Elaborado pelo autor com o resultado da pesquisa (2024)

Figura 17: Respostas referente à ferramenta bancária mais utilizada

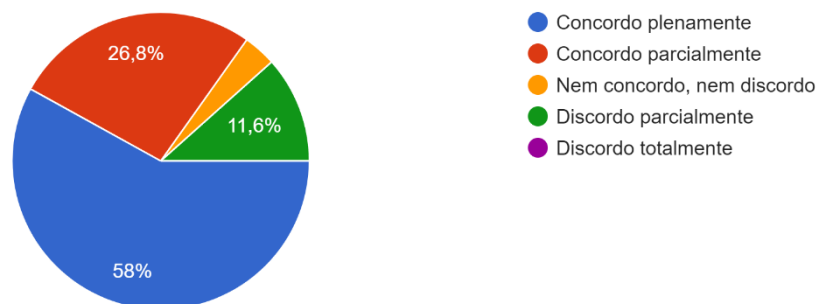
Assinale o meio bancário que você mais utiliza para a realização de suas transações bancárias.
112 respostas



Fonte: Elaborado pelo autor com o resultado da pesquisa (2024)

Figura 18: Respostas referente à influência de meios digitais no setor bancário

O uso de outros meios bancários (Pix, Cartões, Aplicativos) influencia na não utilização de Caixas Eletrônicas.
112 respostas



Fonte: Elaborado pelo autor com o resultado da pesquisa (2024)

O Bloco 4, composto por duas questões, avaliou a percepção ambiental dos respondentes. A primeira pergunta (Figura 19), utilizou de afirmação do tipo escala Likert com 5 opções sobre a obsolescência e o processo de desuso de caixas eletrônicos, motivados pelo surgimento de novas tecnologias e meios de pagamentos digitais. Entre as respostas, 43,8% dos participantes responderam que concordam parcialmente quanto a influência das novas tecnologias sobre o desuso de equipamentos de automação bancária; 35,7% dos respondentes concordam plenamente que os caixas eletrônicos entrarão em desuso devido a evolução tecnológica; 14,3 discordam parcialmente; 5,4% nem discordam e nem concordam; e 0,9%

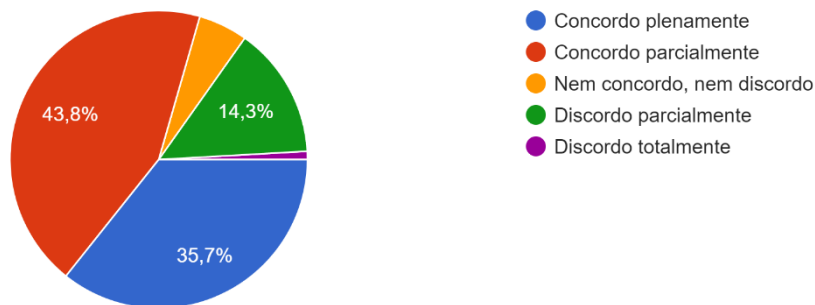
discordam totalmente. Esse resultado demonstra que a maior parcela da população tem a percepção que o desuso de caixas eletrônicos é inevitável diante da digitalização de processos.

A segunda pergunta, representada na Figura 20, questionou os respondentes sobre o conhecimento dos processos de descarte de equipamentos de automação bancária e a destinação de resíduos decorrentes da obsolescência. Entre as respostas, 56,3% dos participantes acreditam que os resíduos são reciclados; 25% acreditam que os resíduos são descartados no meio ambiente com algum tipo de tratamento; 14,3% disseram não ter conhecimento para responder; 2,7% acreditam que os componentes são reutilizados; e 1,8% apontam que os resíduos são descartados sem nenhum tratamento no meio ambiente. Com base nas respostas é possível identificar que uma parcela dos respondentes não tem conhecimento dos impactos ambientais decorrentes do descarte de resíduos de caixas eletrônicos e que existe a necessidade de mais transparências das ações de descarte por parte das instituições envolvidas ao longo do ciclo de vida dos equipamentos de automação bancária.

Figura 19: Respostas referente à percepção sobre o desuso de Caixas Eletrônicas

Os Caixas Eletrônicos entrarão em desuso devido a evolução tecnológico e o surgimento de novos meios de pagamentos digitais.

112 respostas

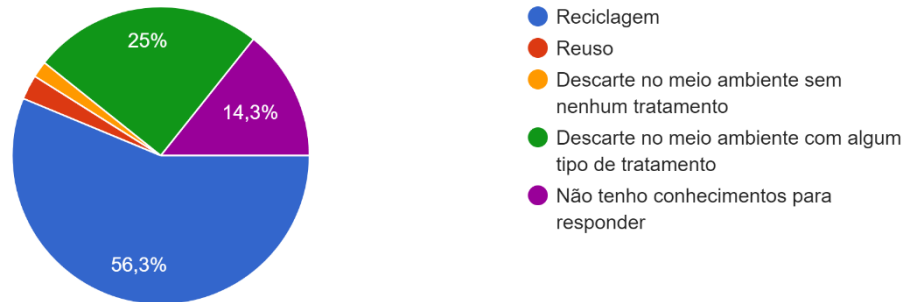


Fonte: Elaborado pelo autor com o resultado da pesquisa (2024)

Figura 20: Procedimentos adotados na destinação final de resíduos dos caixas eletrônicos

De acordo com os seus conhecimentos, qual é o procedimento adotado para a destinação dos resíduos dos caixas eletrônicos obsoletos (sem condições de manutenção ou utilização)?

112 respostas



Fonte: Elaborado pelo autor com o resultado da pesquisa (2024)

Diante das respostas é possível fazer uma análise do cenário considerando o perfil dos respondentes. Conforme Tabela 4, é possível identificar uma concentração de 20 respondentes na faixa etária de 18 a 24 anos que não utilizam caixas eletrônicos e que a maioria das respostas que utilizam os caixas eletrônicos com mais frequência, ou seja, semanalmente, estão na faixa etária de 65 anos ou mais idade.

Tabela 4: Frequência de utilização de caixas eletrônicos

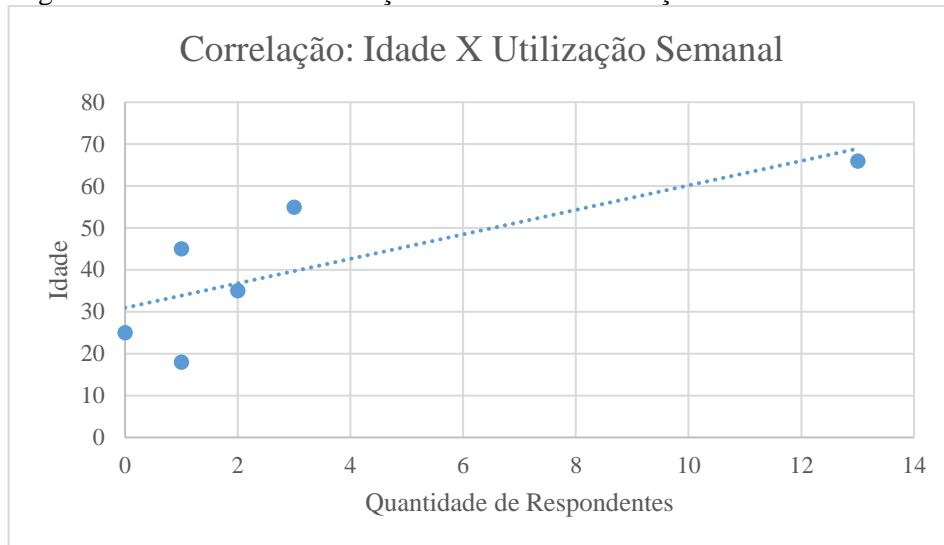
| Faixa Etária | Não utilizo | Anualmente | Mensalmente | Semanalmente | Total Geral |
|--------------------|-------------|------------|-------------|--------------|-------------|
| 18 a 24 anos | 20 | 3 | 1 | 1 | 25 |
| 25 a 34 anos | 9 | 7 | 11 | 0 | 27 |
| 35 a 44 anos | 3 | 4 | 8 | 2 | 17 |
| 45 a 54 anos | 2 | 2 | 6 | 1 | 11 |
| 55 a 64 anos | 1 | 1 | 7 | 3 | 12 |
| 65 anos ou mais | 0 | 0 | 7 | 13 | 20 |
| Total Geral | 35 | 17 | 40 | 20 | 112 |

Fonte: Elaborado pelo autor com o resultado da pesquisa (2024)

A partir da análise dos dados da Tabela 4, pode-se identificar uma tendência entre as faixas etárias, caso seja apartado apenas os respondentes que sinalizaram uma utilização semanal de caixas eletrônicos, com o saneamento dos demais respondentes, pode-se elaborar um gráfico de correlação entre a idade dos participantes e a frequência de utilização. A Figura 21, mostra uma linha de tendência de uma correlação positiva entre a idade e o número de respondentes que afirmaram que utilizam uma vez por semana um caixa eletrônico, ou seja, quanto maior a idade, maior é o número de respondentes que utilizam os caixas eletrônicos com

mais frequência.

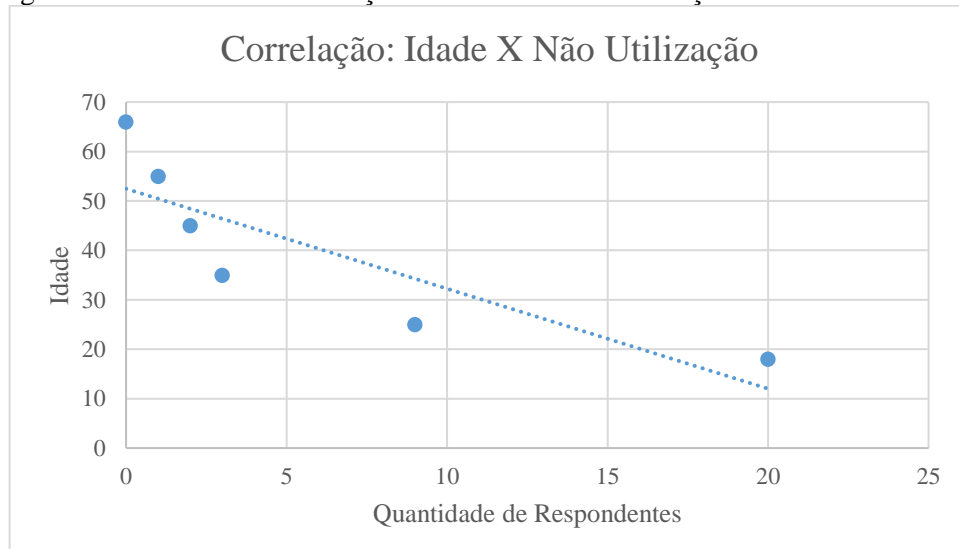
Figura 21: Tendência e Correlação entre idade e utilização de caixas eletrônicos



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Por outro viés, também podemos ter uma percepção sobre as faixas etárias. Caso os dados sejam estratificados para os respondentes que sinalizaram que não utilizam os caixas eletrônicos, pode-se elaborar um gráfico de correlação entre a idade dos participantes e a não utilização de equipamentos de automação bancária. A Figura 22, mostra uma linha de tendência de uma correlação negativa entre a idade e o número de respondentes que afirmaram que não utilizam caixas eletrônicos, ou seja, quanto menor a idade, maior é o número de respondentes que não utilizam caixas eletrônicos para seus operação bancárias.

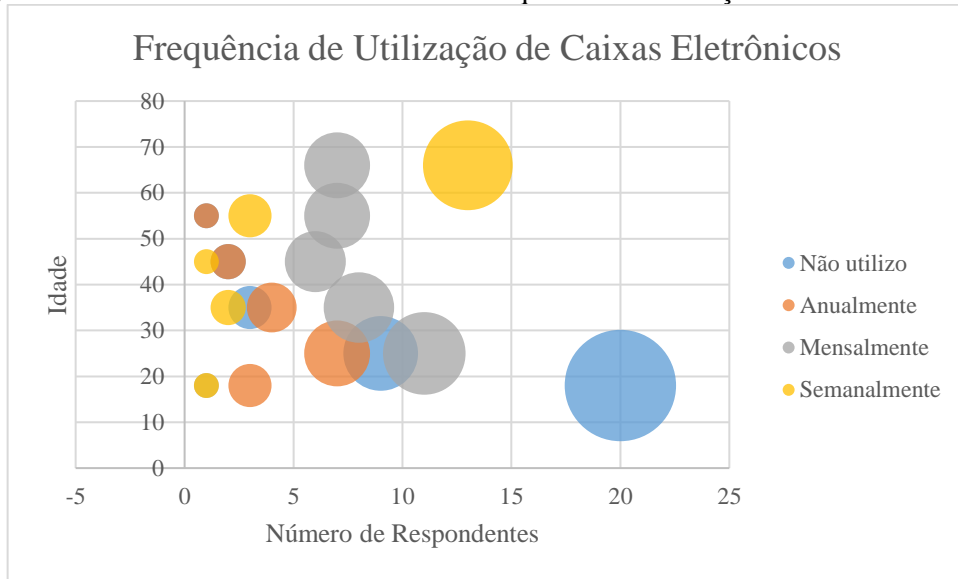
Figura 22: Tendência e Correlação entre idade e não utilização de caixas eletrônicos



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Nesse sentido, a análise sobre a faixa etária dos respondentes fica mais clara no gráfico de bolhas apresentado na Figura 23, onde pode-se identificar uma aglomeração de duas respostas, ou seja, “não utilizo” e “semanalmente” nas menores e maiores faixas etárias respectivamente. Na visão do gráfico, pode-se identificar uma aglomeração da resposta “não utilizo” na faixa etária abaixo dos 30 anos de idades e resposta “semanalmente” nas maiores faixas etárias, em especial a partir dos 58 anos de idade.

Figura 23: Gráfico de Bolhas: Idade versus Frequência de utilização de caixas eletrônicos



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

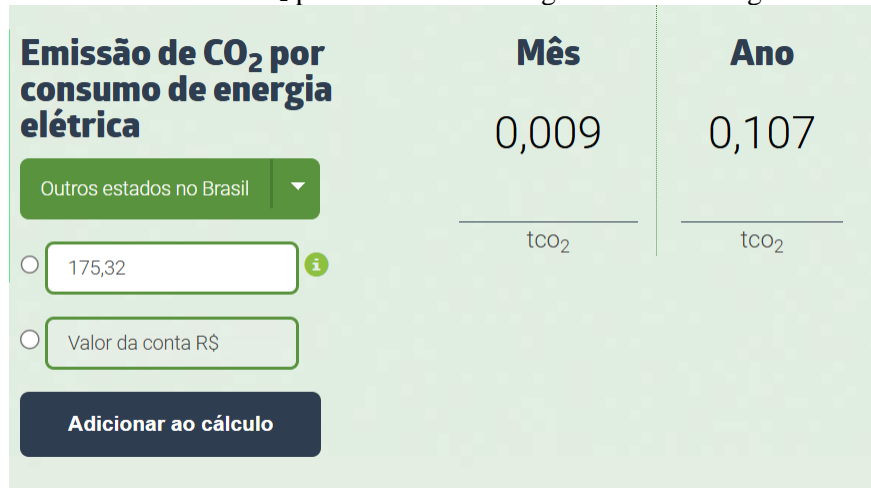
Diante da análise dos dados da pesquisa, a idade dos participantes influencia diretamente na utilização ou não de caixas eletrônicos e a sua frequência, pode-se inferir que os mais jovens são mais adeptos à processos digitalizados e têm mais facilidade em executar transações em aplicativos de celular e computadores e, por isso, não utilizam os equipamentos físicos de automação bancária para a realização de suas operações. Por outro lado, a faixa etária a partir de 65 anos supostamente não tem tanta afinidade com os meios digitais e prefere realizar as suas transações fisicamente nas agências bancárias e desta forma, utilizam com maior frequência os caixas eletrônicos.

A digitalização pode beneficiar os jovens com uma capacidade maior de domínio da tecnologia, porém pessoas idosas com pouca experiência com novas tecnologias tendem a evitar o uso devido à preocupação e apreensão com uma possível experiência negativa em um cenário de dificuldade na operacionalização de celulares ou computadores e muitos idosos optam por viver sem essas tecnologias (Piphonen *et al.*, 2020).

6.4 Estudo de Caso: Impactos Ambientais dos Caixas Eletrônicos em operação

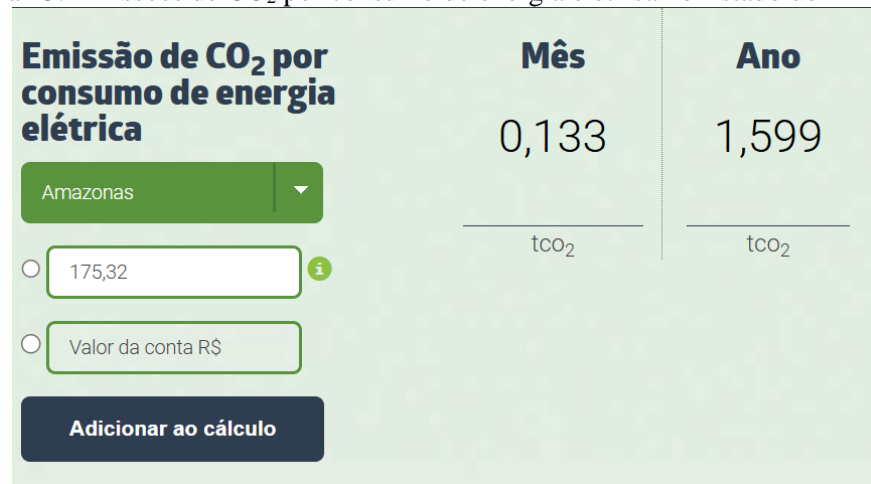
O caixa eletrônico possui potência nominal de 200 Watts (W) no *status* de consulta e impressão de recibos e de 635 W em operações de saque, depósito e reciclagem de cédulas. Diante da potência média ponderada do equipamento de 243,5 W e, de acordo com a metodologia de cálculo de consumo, pode-se mensurar que um equipamento em operação gasta 175,32 quilowatts-hora (kWh) por mês, ou seja, em um período de 30 dias com 24 horas de funcionamento. Com a modelagem matemática aplicada no software disponível no portal Idesam, um caixa eletrônico pode gerar 0,009 tCO₂/mês e 0,107 tCO₂/ano nas regiões brasileiras (exceto Amazonas e Roraima) e nos Estados do Amazonas e Roraima, 0,133 tCO₂/mês e 1,599 tCO₂/ano, conforme Figuras 24, 25 e 26.

Figura 24: Emissões de CO₂ por consumo de energia elétrica nas regiões brasileiras



Fonte: Extraído do <https://idesam.org/calculadora/> (acesso em Maio/2024).

Figura 25: Emissões de CO₂ por consumo de energia elétrica no Estado do Amazonas



Fonte: Extraído do <https://idesam.org/calculadora/> (acesso em Maio/2024).

Figura 26: Emissões de CO₂ por consumo de energia elétrica no Estado de Roraima



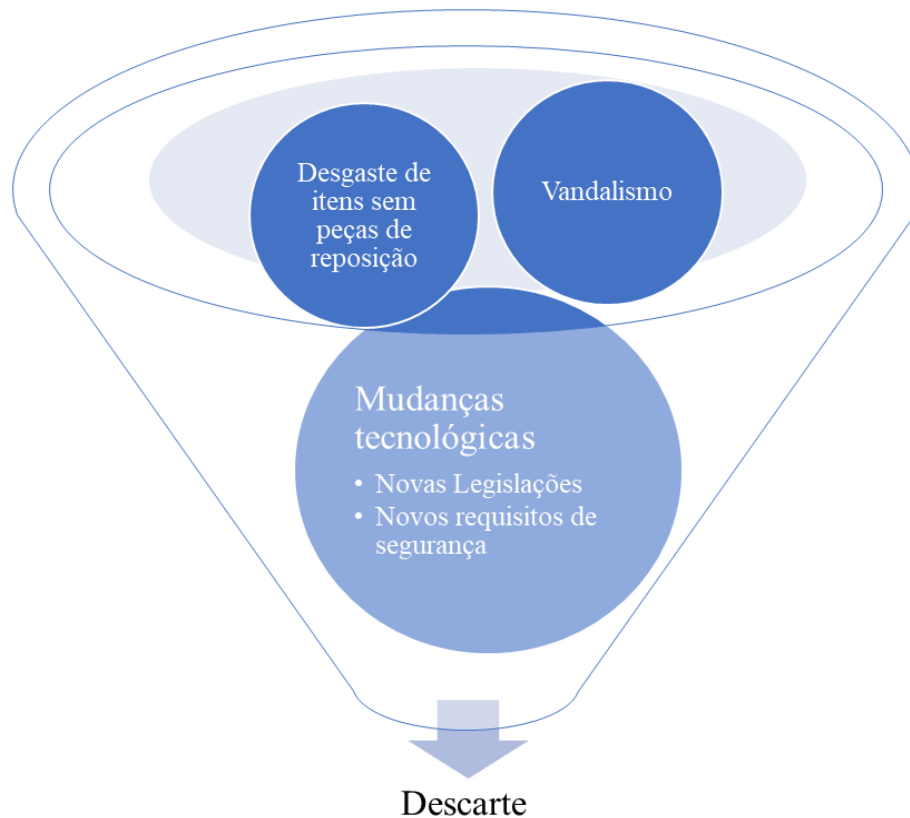
Fonte: Extraído do <https://idesam.org/calculadora/> (acesso em Maio/2024).

Pode-se identificar nas conversões realizadas que a emissão de CO₂ é maior nos Estados do Amazonas e de Roraima devido as fontes energéticas nessas localidades serem mais poluentes. O Estado do Amazonas possui oferta interna de energia elétrica (OIEE), baseada na utilização de derivados de petróleo, representando cerca de 76% de sua geração (Cumplido *et al.*, 2024). Roraima é o único Estado do Brasil que não está ligado ao Sistema Interligado Nacional (SIN) e tem a geração de energia elétrica baseada em termoelétricas, predominantemente, abastecidas a óleo diesel (Zambonin; Cavalcante, 2023). O fato dos demais Estados apresentarem emissões de CO₂ inferior está ligado a dois fatores principais; primeiro, a interligação proporcionada pelo SIN e; segundo, a diversidade na geração de eletricidade no país com as fontes menos poluidoras, sendo destaques, a geração de energia eólica e solar nas regiões nordeste e sul e a geração de energia hidrelétrica abrangente em todo o território brasileiro (Tapia Carpio; Cardoso Guimarães, 2024).

6.5 O processo de obsolescência dos Caixas Eletrônicos

Na análise de inventário de ciclo de vida dos caixas eletrônicos foi possível identificar fatores que podem reduzir o tempo de operação dos equipamentos. A Figura 27 sintetiza os três principais cenários que reduzem o tempo operacional dos equipamentos: o desgaste de itens sem peças de reposição, o vandalismo causado pela explosão ou arrombamentos nos ambientes bancários e as mudanças ou evoluções tecnológicas decorrentes de novas legislações ou implantação de novos requisitos de segurança.

Figura 27: Variáveis que antecipam o descarte de caixas eletrônicos



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

O funil (Figura 27) apresenta os fatores que levam um caixa eletrônico ao processo de obsolescência e descarte. Portanto, o tamanho das bolhas não representa a frequência das ocorrências, uma vez que esses fatores destacados dependem de condições: primeiro, o desgaste de itens e peças de reposição depende das condições de manutenção e do nível de qualidade dos serviços prestados; segundo, os casos de vandalismos, bem como, a frequência de ocorrências, variam de acordo com as condições de segurança e de políticas públicas de cada cidade ou região; terceiro mudanças tecnológicas acontecem de acordo com a necessidade de inovação e a capacidade de criação de projetistas dos novos equipamentos e; quarto, as alterações de legislação dependem de fatores políticos e de governo.

6.6 Estudo de Caso: O Processo de Descarte dos Caixas Eletrônicos

O processo de descarte dos caixas eletrônicos inicia-se com o desabastecimento de numerário e zeramento sistêmico das informações bancárias com a perfuração do *Hard Disk* (HD) do equipamento para inutilização. A fixação dos equipamentos é quebrada para a sua

movimentação. O equipamento é alocado em *pallets* e a movimentação é realizada com o auxílio de um carro hidráulico. O processo realizado dentro do ambiente bancário não pode ser fotografado devido aos procedimentos de segurança operacional. No ambiente externo o equipamento é içado por caminhão com guindaste. A partir da amarração do equipamento é possível realizar o transporte até o destino.

As cooperativas recicladoras devem manter os documentos atualizados de licença de operação emitida pelo órgão ambiental estadual para realização das atividades de reprocessamento de resíduos de equipamento eletroeletrônico, o cadastro técnico federal do Ibama e o CADRI (certificado de aprovação de destinação de resíduos industriais) de transporte, manuseio e destinação de todos os materiais envolvidos. No ano de 2022, foram identificadas 2018 associações e cooperativas de coleta de materiais recicláveis no Brasil, sendo que 82% dessas instituições estavam legalmente registradas. Em São Paulo, foram mapeadas 301 cooperativas em atividade com 12.530 membros cooperados no Estado (Atlas Brasileiro da Reciclagem - ANCAT, 2022). A Associação Brasileira de Reciclagem de Eletroeletrônicos e Eletrodomésticos disponibiliza informações e orientações para que instituições tenham capacidade operacional, documental e técnica para a realização de descarte de REEE em cumprimento ao Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabelecido pela Lei 12.305/2010 (ABREE, 2024).

No ambiente da Cooperativa de Coleta de Resíduos de Equipamento Eletroeletrônico, os equipamentos são descaracterizados. O processo inicia-se com a desmontagem dos componentes. Na primeira etapa é retirada a carenagem, conforme Figura 28.

Figura 28: Descaracterização do Caixa Eletrônico



Fonte: Registrada pelo autor (2023).

O microcomputador, o monitor e a impressora dos caixas eletrônicos são retirados e separados da carenagem de acordo com Figura 29. Nessa etapa os periféricos já se encontram formatados e sem informações. Os itens são encaminhados para verificação e possível reutilização.

Figura 29: Descaracterização da parte interior do Caixa Eletrônico



Fonte: Registrada pelo autor (2023).

O módulo pagador, os cassetes de notas e os módulos depositários são retirados do compartimento interno do cofre conforme Figura 30. Os itens constituídos de aço inox são separados e encaminhados para reciclagem.

Figura 30: Descaracterização dos módulos do Caixa Eletrônico



Fonte: Registrada pelo autor (2023).

A carenagem é desmontada e o cofre é separado para facilitar o manuseio de acordo com a Figura 31.

Figura 31: Descaracterização e desmontagem do Caixa Eletrônico



Fonte: Registrada pelo autor (2023).

Os cassetes de notas são verificados e analisados para uma possível reutilização e, em caso negativo, são encaminhados para a reciclagem conforme Figura 32.

Figura 32: Descaracterização de peças do Caixa Eletrônico



Fonte: Registrada pelo autor (2023).

Com a carenagem totalmente desmontada é possível realizar a pesagem para a mensuração das massas de cada item do caixa eletrônico conforme Figura 33.

Figura 33: Descaracterização da carenagem do Caixa Eletrônico



Fonte: Registrada pelo autor (2023).

A carenagem é a parte mais pesada do caixa eletrônico e sua movimentação é realizada com o auxílio de carro hidráulico de acordo com a Figura 34.

Figura 34: Descaracterização do cofre do Caixa Eletrônico



Fonte: Registrada pelo autor (2023).

A carcaça do cofre é segmentada com o auxílio de um maçarico de corte para facilitar a retirada do material que preenche o interior do cofre. A carcaça sem os rejeitos facilita o processo de transporte até a Siderúrgica responsável pelo processo de reciclagem conforme Figura 35.

Figura 35: Carcaça metálica do cofre cortada antes de seguir para a Siderúrgica



Fonte: Registrada pelo autor (2023).

O material que compõe a parte interna do cofre é conhecido como rejeito e é composto em sua maioria por concreto, piche (derivados de petróleo) e fibra. O rejeito contabilizado durante o estudo de caso foi descartado em caçamba de resíduos de materiais de construção e entulhos de obras sem tratamento. A Figura 36 mostra o rejeito retirado do interior do cofre que é apresentado nas formas de pó e pedrisco.

Figura 36: Rejeito retirado do interior da estrutura do Cofre



Fonte: Registrada pelo autor (2023).

Considerando-se o descarte desse rejeito em caçambas de materiais de construção e entulhos de obras sem tratamento, esse estudo avaliou a possibilidade de utilização dos materiais em um processo de fabricação de elementos vazados, a serem empregados na construção civil. Esse estudo completo é apresentado dentro o processo de simbiose industrial resultado da pesquisa e materializado por meio de um *Framework*. O *Framework* foi construído com os dados coletados ao longo da pesquisa acadêmica e a representação gráfica de uma proposta de processo de simbiose industrial para o descarte de caixas eletrônicos a partir da análise de ciclo de vida considerando aspectos ambientais, econômicos e sociais.

6.7 Proposta de Processo de Simbiose Industrial para o Descarte de Caixas Eletrônicos

Após a análise dos dados coletados durante a pesquisa, as observações realizadas durante o Estudo de Caso e as comparações entre os processos de descarte foi possível desenvolver um *Framework* que materializa a proposta de Processo de Simbiose Industrial para o Descarte de Caixas Eletrônicos. A proposta final desta dissertação é o encaminhamento de um Relatório Técnico Conclusivo (Apêndice II) e um artefato classificado como Processo/Tecnologia não patenteável, conforme categorização da produção técnica da CAPES (Quadro 1).

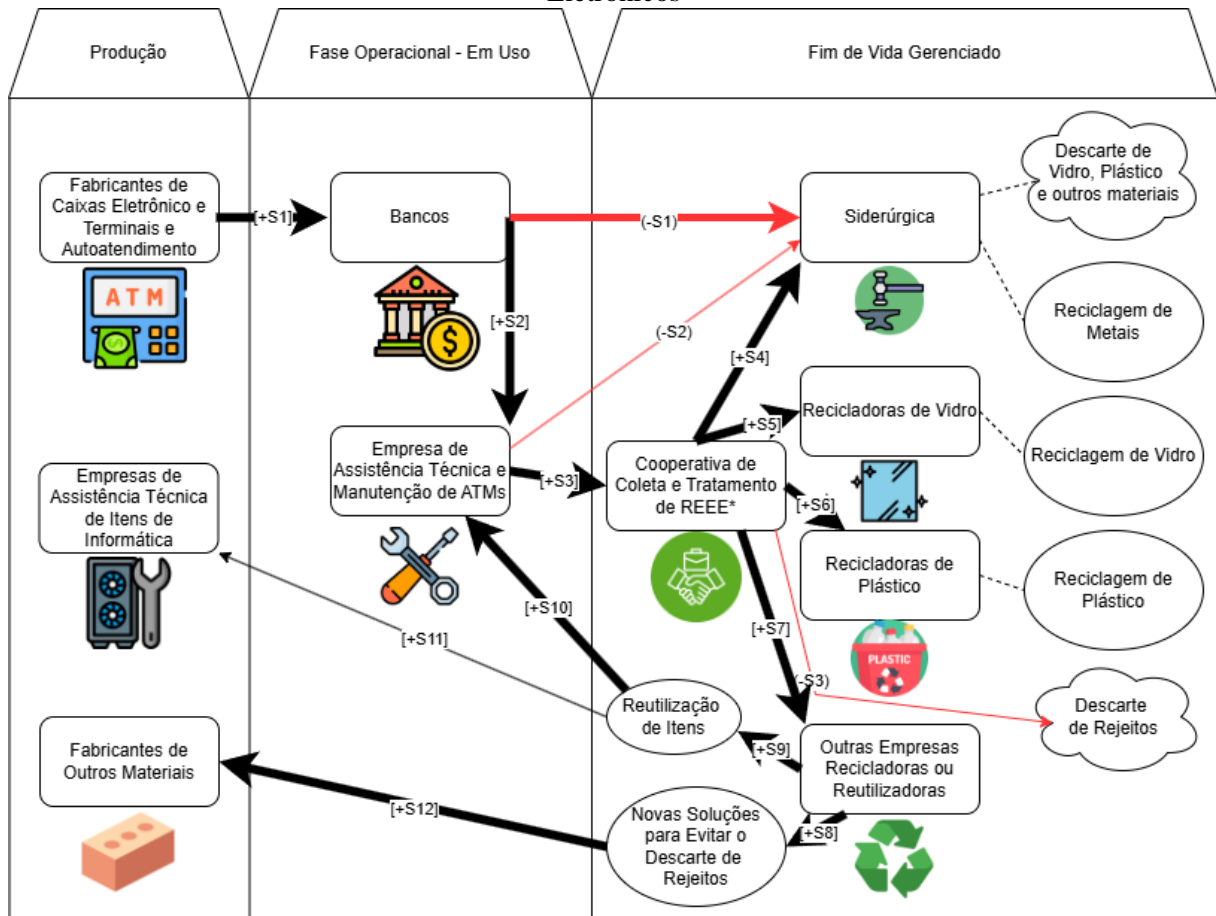
Quadro 1: Categorização da Produção segundo recomendações da CAPES

| Nº | Categoria de Produto |
|-----------|--|
| 1 | Patente |
| 2 | Software/Aplicativo (Programa de Computador) |
| 3 | Material didático |
| 4 | Manual/Protocolo |
| 5 | Relatório Técnico Conclusivo |
| 6 | Norma ou Marco Regulatório |
| 7 | Processo/Tecnologia não patenteável |
| 8 | Produtos/Processos em sigilo |
| 9 | Base de Dados Técnico-científica |
| 10 | Empresa ou Organização social inovadora |
| 11 | Outros ativos de propriedade intelectual |

Fonte: CAPES (2019).

O artefato do presente trabalho classificado como Processo/Tecnologia não patenteável é apresentado na Figura 37.

Figura 37: Framework: Proposta de Processo de Simbiose Industrial para o Descarte de Caixas Eletrônicas



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O *Framework* simplifica por meio de uma representação gráfica os melhores processos ao longo do gerenciamento do fim de vida dos Caixas Eletrônicos. As setas representam a direção do fluxo entre instituições que possuem interferências durante o ciclo de vida dos equipamentos. As setas com a identificação positiva de “[+S]” representam as ações mais sustentáveis e com impacto ambiental reduzido e as setas com a identificação negativa de “(-S)” representam as ações menos sustentáveis e com impacto ambiental aumentado. As setas com maiores espessuras, de cor preta, foram destacadas para representar o fluxo com ações mais sustentáveis e com impacto ambiental reduzido denominado “Processo (*Framework*)” e a seta com maior espessura, de cor vermelha, foi destacada para representar o fluxo com menos ações sustentáveis e com impacto ambiental aumentado chamado de “Processo (Siderúrgica)”. Os processos numerados na representação gráfica são discutidos no Quadro 2 a seguir:

Quadro 2: Análise dos Processos de Simbiose Industrial do Framework

| Processo | Descrição | Análise Ambiental | Observações |
|----------|-----------|-------------------|-------------|
|----------|-----------|-------------------|-------------|

| | | | |
|-------|--|---|---|
| [+S1] | Aquisição de novos Caixas Eletrônicos pelos Bancos | <p>Processo sustentável com mitigação de impactos ambientais se considerado os trâmites administrativos sem intermediários comerciais. Nessa etapa do processo recomenda-se a aquisição de caixas eletrônicos para áreas com maior número de pessoas com idade a partir de 65 anos cuja frequência de utilização de equipamentos de automação bancária é maior, sendo que na análise dos dados da <i>survey</i> com essa política pode-se otimizar o uso dos equipamentos. Para os estados brasileiros do Amazonas e Roraima, as áreas de planejamento de compras devem buscar equipamentos com menor consumo de energia elétrica ou buscar instalações com fontes de alimentação alternativa como a solar (sistema fotovoltaico) como no sistema proposto no estudo de Ekerette Dan; Onwunali; Etaruwak (2023), uma vez que, nessas regiões, a matriz energética é mais poluente caso seja considerado a conversão em nível de emissões de CO₂.</p> | <p>Os consumos de energia elétrica dos equipamentos tecnológicos envolvidos nos processos comerciais podem gerar emissão de CO₂ e a redução de intermediários nesse processo colabora para a redução dessas emissões. A utilização de sistemas fotovoltaico deverá ser amparada por estudo complementares de avaliação de ciclo de vida dos componentes e materiais utilizados nas placas solares e seus periféricos. A utilização de Hidrogênio Verde combinada com a energia fotovoltaica pode ser uma boa alternativa na estratégia para a redução de emissões na Amazônia, conforme estudo elaborado por Cumplido <i>et al.</i> (2024). O processo de aquisição de novos equipamentos deverá avaliar as condições dos fornecedores de realizarem política de logística reversa eficiente conforme apontado no estudo de Ding <i>et al.</i> (2023).</p> |
|-------|--|---|---|

- [+S2] Serviços de Empresas de Manutenção de equipamentos por empresa com *expertise* atestada pelos fabricantes. Essas empresas reutilizam ou reciclam componentes diminuindo a geração de resíduos ao meio ambiente. Serviços de manutenção com redução da geração de resíduos estão atrelados a princípio de “Reduzir” da Sustentabilidade e devem alinhar com as ações que visam a reutilização de itens ao longo da vida de útil.
- [+S3] Processo de Descarte de equipamentos obsoletos com a integração da empresa de manutenção e uma cooperativa de coleta de resíduos de equipamento eletroeletrônico. A Cooperativa de coleta de lixo eletrônico tem o papel de receber o equipamento obsoleto, desmontar os módulos e separar os materiais de acordo com as suas especificidades. Após a separação, a Cooperativa tem o papel de identificar os materiais possíveis de reutilização e reciclagem e fazer esse intercâmbio entre as empresas de tratamento de resíduos e de manutenção que poderá reutilizar e reciclar componentes em outros equipamentos. O incentivo ao setor cooperativista tem uma função social benéfica uma vez que desenvolve o trabalho dos catadores de materiais recicláveis de uma certa região. No processo é possível evitar o descarte de possíveis resíduos que, encaminhados para um setor específico, seriam descartados ou incinerados, evitando assim impactos ambientais adicionais, como por exemplo, a geração de gases de efeito estufa oriundo do processo de incineração de materiais. As cooperativas de coleta de Resíduos Eletroeletrônicos deverão cumprir as orientações e regras do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelecido pela Lei 12.305/2010 para se tornarem aptas à realização do processo de descarte de caixas eletrônicas, além de ter capacidade técnica para o transporte, armazenamento e manuseio dos equipamentos. Não existe impedimentos para as cooperativas de catadores de materiais recicláveis realizarem a função de descarte de caixas eletrônicas, desde que, as instituições estejam legalmente regularizadas de acordo com as orientações da ABREE.

- [+S4] Encaminhamento de metais (ferro e aço) já separados para a siderúrgica. Evitar encaminhamento de componentes metálicos contaminados com plástico e outros resíduos que seriam descartados e/ou incinerados pela siderúrgica. o Evitar o descarte de resíduos que poderiam ser descartados sem tratamento no meio ambiente. Direcionar materiais já selecionados para empresas especializadas na reciclagem dos respectivos materiais. Empresas que valorizem boas práticas sustentáveis, com processos e políticas que visem a economia de água e energia elétrica, devem ser valorizadas, no momento da escolha dos parceiros, dentro da cadeia de simbiose industrial.
- [+S5] Encaminhamento de vidro já saneados para as recicladoras de vidro. Evitar encaminhamento de pedaços de vidro com resíduos de plástico e outros materiais que seriam descartados pela indústria de vidro. o Evitar o descarte de resíduos que poderiam ser descartados sem tratamento no meio ambiente. Direcionar materiais já selecionados para empresas especializadas na reciclagem dos respectivos materiais. Instituições que valorizem boas práticas sustentáveis, com processos e políticas que visem a economia de água e energia elétrica, devem ser valorizadas, no momento da escolha dos parceiros, dentro da cadeia de simbiose industrial.
- [+S6] Encaminhamento de plásticos e outros polímeros já saneados para as recicladoras de plástico. Evitar encaminhamento de resíduos plásticos com outros materiais que seriam descartados pela indústria de plásticos e polímeros. o Evitar o descarte de resíduos que poderiam ser descartados sem tratamento no meio ambiente. Direcionar materiais já selecionados para empresas especializadas na reciclagem dos respectivos materiais. Empresas que valorizem boas práticas sustentáveis, com processos e políticas que visem a economia de água e energia elétrica, devem ser valorizadas, no momento da escolha dos parceiros, dentro da cadeia de simbiose industrial.

- [+S7] Direcionar possíveis materiais ou rejeitos não reciclados pelas indústrias de vidro, plástico e siderúrgica para empresas com potencial de conforme estudos na literatura. Buscar novas soluções para o tratamento e/ou reutilização de rejeitos como materiais de construção e derivados de petróleo nas reciclados por serviços disponível no mercado amplo. Evitar o descarte de rejeitos (concreto, materiais de construção e piche derivado de petróleo) sem tratamento em aterros sanitários ou encaminhados para empresas sem especialização de mitigação de impactos ambientais, conforme relatado no processo (-S3).
- [+S8] Encaminhamento de outros materiais ou rejeitos não reciclados pelas indústrias de vidro, plástico e siderúrgica para empresas ligadas a inovação tecnológica. Buscar novas soluções para o tratamento e/ou reutilização de rejeitos como materiais de construção e derivados de petróleo nas recicladoras por serviços disponíveis no mercado amplo. Evitar o descarte de rejeitos (concreto, materiais de construção e piche derivado de petróleo) sem tratamento em aterros sanitários ou encaminhados para empresas sem especialização de mitigação de impactos ambientais, conforme caracterização relatada nos processos (-S1), (-S2) e (-S3).
- [+S9] Reutilização de itens retirados dos caixas eletrônicos como baterias, impressoras e monitores. Realizar a identificação de componentes por meio de empresas especializados em retificar componentes para que esses itens possam ser reutilizados em equipamentos operacionais. A reutilização de componentes evitar processos de reciclagem e descarte de resíduos no meio ambiente além de aumentar a vida útil de equipamentos com escassez de peças de reposição. Buscar itens possíveis de logística reversa dos fabricantes.
- [+S10] Retorno de itens e componentes retificados ou reparados para as empresas de assistência técnica. Reutilizar itens e reduzir os impactos ambientais da extração de novos materiais e matérias primas virgens. Buscar a reutilização de itens e aumentar a vida útil de componentes e materiais.
- [+S11] Encaminhar itens e componentes para outras empresas de tecnologia com potencial de reutilização. Reutilizar itens e reduzir os impactos ambientais da extração de novos materiais e matérias primas virgens. Reutilizar baterias, fios e impressoras nos serviços domésticos de informática.

- [+S12] Desenvolver novas empresas que buscam a reutilização de materiais não reciclados de forma convencional, conforme apontado pela literatura. Reutilizar itens e reduzir os impactos ambientais da extração de novos materiais e matérias primas virgens. Desenvolver novas tecnologias de tratamento de materiais. Mitigar os impactos ambientais e sociais ligados ao descarte de materiais sem tratamento.
- (-S1) Processo de descarte sem intermediários onde os bancos direcionam equipamentos diretamente para a indústria siderúrgica. Os caixas eletrônicos obsoletos são direcionados para as empresas de reciclagem de metais onde os demais resíduos (plástico, vidro, papel, concreto) são separados após a trituração e existe volume relevante de resíduos descartados ou incinerados pela indústria metal mecânica. Processo recicla metais, porém os outros materiais não são tratados de maneira sustentável. Conforme método de impactos ambientais GWP 100a (Potencial de Aquecimento Global), o procedimento de incineração da massa dos componentes não metálicos de um caixa eletrônico correspondente a 21,742 kg gerará aproximadamente 15,05 kg de CO₂ equivalentes, aumentando assim os níveis de gases que contribuem para o aquecimento do planeta e a extinção de espécies vegetais e animais.
- (-S2) Processo de descarte com intermediários onde as empresas de assistência técnica direcionam componentes metálicos dos caixas eletrônicos obsoletos a indústria siderúrgica. Os componentes metálicos dos caixas eletrônicos obsoletos são direcionados para as empresas de reciclagem de metais sem a expertise das cooperativas especializadas onde os demais resíduos (plástico, vidro, papel, concreto) não são separados da forma adequada para a reciclagem. Processo recicla metais, porém os outros materiais não são tratados de maneira sustentável.

| | | | |
|-------|--|---|--|
| (-S3) | Processo de Descarte de Rejeitos reciclados por processos convencionais. | de Rejeitos como concreto, materiais de construção, fibra de vidro, piches e derivados de petróleo são descartados como materiais de construção diversos em caçambas utilizadas para o setor de construção civil. | Apesar do pequeno volume existe o impacto ambiental em escala nesse processo de descarte sem tratamento. |
|-------|--|---|--|

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Pode-se identificar na literatura estudos que mostram a viabilidade da reutilização e reciclagem de materiais não convencionais. A substituição de matérias primas virgens por rejeitos de construção ou rejeitos de minério de ferro como agregado miúdo, não afeta os valores de resistência à compressão de elementos vazados construídos de microconcretos, com valores similares de produção e menores valores de perda de massa em relação ao traço de referência com durabilidade compatível com os exemplares convencionais (Bessa *et al.*, 2022). Existe a possibilidade de reciclagem de resíduos vítreos no desenvolvimento de elementos vazados para projetos arquitetônicos desde que sejam consideradas mudanças no design dos objetos para reforçar a sua estrutura e aplicados tratamentos térmicos para a obtenção de superfícies e acabamentos homogêneos (Brito, 2019).

6.8 Análise dos Dados coletados sobre os Caixas Eletrônicos

No período de 01 de agosto a 11 de setembro de 2023 foram acompanhados o processo de descarte de 9 (nove) caixas eletrônicas no ambiente da Cooperativa de Coleta de Resíduos de Equipamento Eletroeletrônico denominada “A” localizada na região da Zona Norte de São Paulo. Os equipamentos foram nomeados com as letras de “A” a “I” e os materiais foram pesados separadamente sendo os resultados apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Levantamento das Massas dos Materiais dos Caixas Eletrônicos

| TAA | Quantidade de Materiais em quilogramas (KG) | | | | | | | | | | | Total |
|-----|---|---------|-------|-------|------------|--------|---------|-------|----------|---------|-------|---------|
| | Bateria | Carcaça | CPU | Fios | Impressora | Módulo | Monitor | Papel | Plástico | Rejeito | Vidro | |
| A | 0,475 | 727,250 | 1,575 | 0,000 | 0,000 | 22,500 | 5,495 | 1,950 | 1,750 | 1,785 | 1,750 | 764,530 |
| B | 0,000 | 612,833 | 0,317 | 2,117 | 4,367 | 15,000 | 5,083 | 1,620 | 1,433 | 2,083 | 1,007 | 645,860 |
| C | 2,750 | 939,500 | 0,000 | 2,600 | 0,000 | 43,000 | 2,650 | 1,490 | 1,620 | 1,780 | 2,050 | 997,440 |

| | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-------|-----------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| D | 1,950 | 968,000 | 1,080 | 2,050 | 0,000 | 44,000 | 5,480 | 1,450 | 1,280 | 1,800 | 2,050 | 1.029,140 |
| E | 1,600 | 774,500 | 0,000 | 1,180 | 13,050 | 45,000 | 4,490 | 1,200 | 1,220 | 2,050 | 1,750 | 846,040 |
| F | 1,950 | 1.009,000 | 0,000 | 1,180 | 13,100 | 45,000 | 5,500 | 0,000 | 1,200 | 2,100 | 1,150 | 1.080,180 |
| G | 1,050 | 770,000 | 0,250 | 1,630 | 13,050 | 45,000 | 4,480 | 1,120 | 1,220 | 2,050 | 1,440 | 841,290 |
| H | 0,525 | 797,500 | 0,000 | 1,200 | 13,100 | 45,000 | 5,500 | 1,285 | 1,125 | 1,720 | 0,000 | 866,955 |
| I | 2,000 | 954,500 | 0,000 | 1,275 | 13,025 | 44,000 | 5,000 | 1,235 | 1,190 | 2,090 | 1,505 | 1.025,820 |
| Média (KG) | 1,367 | 839,231 | 0,358 | 1,470 | 7,744 | 38,722 | 4,853 | 1,261 | 1,338 | 1,940 | 1,411 | 899,695 |
| Desvio Padrão Amostral | 0,903 | 133,821 | 0,576 | 0,750 | 6,451 | 11,498 | 0,925 | 0,537 | 0,217 | 0,162 | 0,640 | 143,551 |
| Percentual (%) | 0,15% | 93,28% | 0,04% | 0,16% | 0,86% | 4,30% | 0,54% | 0,14% | 0,15% | 0,22% | 0,16% | 100,00% |

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Durante o processo de medição, foram identificados os materiais de cada componente dos caixas eletrônicos e os itens com maior massa. A carcaça composta por ferro apresentou a maior representatividade com 93,28% da massa total de um equipamento, sendo que a média aritmética desse item foi mensurada em 839,231 kg com desvio padrão amostral de 133,821; seguida do módulo composto de aço inox com 4,30%, sendo a média de 38,722 kg com desvio padrão de 11,498; e a impressora com 0,86%, sendo a média de 7,744 kg com desvio padrão de 6,451. Os materiais, suas composições e o seu percentual são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Percentual das Massas dos Materiais presentes nos caixas eletrônicos

| Materiais | Composição Predominante | Percentual |
|------------------|---|-------------------|
| Bateria | Chumbo | 0,15% |
| Carcaça | Ferro | 93,28% |
| CPU | Resíduos de Eletrônico (plástico e silício) | 0,04% |
| Fios | Cobre | 0,16% |
| Impressora | Placa de Circuito de Impressora | 0,86% |
| Módulo | Resíduos de Aço Inox | 4,30% |
| Monitor | Resíduos de Eletrônico (plástico, silício, cristal líquido) | 0,54% |
| Papel | Papel | 0,14% |
| Plástico | Plástico | 0,15% |
| Rejeito | Resíduos de Construção (fibra de vidro, concreto e derivados de Petróleo) | 0,22% |
| Vidro | Resíduos de Vidro | 0,16% |

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Os materiais, resíduos e periféricos foram pesados, tratados e separados de acordo a sua destinação final, na sequência, encaminhados para as empresas com *expertise* na reciclagem de cada tipo de material e o mapeamento do processo é apresentado na Tabela 7.

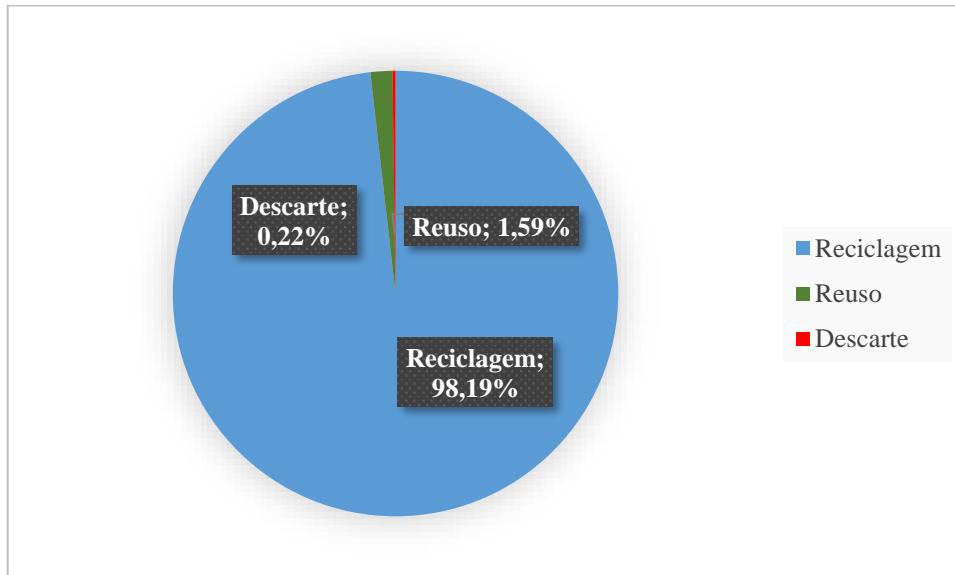
Tabela 7: Processo e Destino dos Materiais presentes nos caixas eletrônicos

| Materiais | Percentual | Processo/Destino |
|---------------------------|------------|------------------|
| Bateria | 0,15% | Reuso |
| Ferro | 93,28% | Reciclagem |
| Placa+Fonte+HD+Acessórios | 0,04% | Reuso |
| Cobre | 0,16% | Reciclagem |
| Impressora | 0,86% | Reuso |
| Aço Inox | 4,30% | Reciclagem |
| Monitor | 0,54% | Reuso |
| Papel | 0,14% | Reciclagem |
| Plástico | 0,15% | Reciclagem |
| Fibra de vidro e concreto | 0,22% | Descarte |
| Vidro | 0,16% | Reciclagem |

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O processo, objeto do estudo de caso, constatou que 98,19% da massa total dos caixas eletrônicos foram recicladas, 1,59% dos componentes em massa foram reutilizados e 0,22% dos materiais foram descartados (Figura 38).

Figura 38: Gráfico Percentual dos Processos envolvidos no Descarte dos Caixas Eletrônicos



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Diante do Gráfico, pode-se identificar o tratamento adequado dos materiais dentro das cooperativas de reciclagem, porém identifica-se, também, que materiais como os rejeitos do interior do cofre são descartados como rejeito de construção cível, em caçambas, sem o tratamento adequado.

6.9 Análise de Ciclo de Vida utilizando o Software Open LCA

Os dados coletados durante a pesquisa de campo foram inseridos no Software Open LCA versão 2.1 de 2024 da empresa Green Delta de licença livre e gratuita. As interfaces do programa são apresentadas nas Figuras 39 e 40.

Figura 39: Tela do Software Open LCA – Dados da Pesquisa

The screenshot displays the Open LCA software interface. On the left is a navigation tree with categories like 'Projects', 'Product systems', 'Processes', 'Flows', 'EPDs', 'Results', 'Indicators and parameters', and 'Background data'. The main area shows the 'General information' for the project 'Descarte de Caixa Eletrônico'. The 'Name' field contains 'Descarte de Caixa Eletrônico', the 'Category' is 'Descarte', and the 'Description' is 'Análise dos materiais identificados no processo de descarte de Caixas Eletrônicas'. Below this, there are fields for 'Version' (00.00.000), 'Last change' (2024-04-28 17:10:04), and 'UUID' (76ba07e2-8e72-4b7e-b782-7d880c0ac301). There is an 'Add a tag' button and an 'Infrastructure process' checkbox. At the bottom of the main area, there are buttons for 'Create product system', 'Direct calculation', and 'Export to Excel'. The 'Time' section includes 'Start date' (01/08/2023) and 'End date' (11/09/2023). The 'Geography' section shows the 'Location' as 'Brazil, São Paulo - BR-SP'.

Fonte: Extraído do Open LCA (acesso em Maio/2024).

Figura 40: Tela do Software Open LCA – Massas dos Resíduos dos Caixas Eletrônicos

The screenshot displays the Open LCA software interface. On the left is a navigation tree with categories like Projects, Product systems, Descarte, Processes, Flows, EPDs, Results, and Indicators and parameters. The main window shows the 'Inputs/Outputs' tab for 'Descarte de Caixas Eletrônicas - BR'. It contains two tables: 'Inputs' and 'Outputs'.

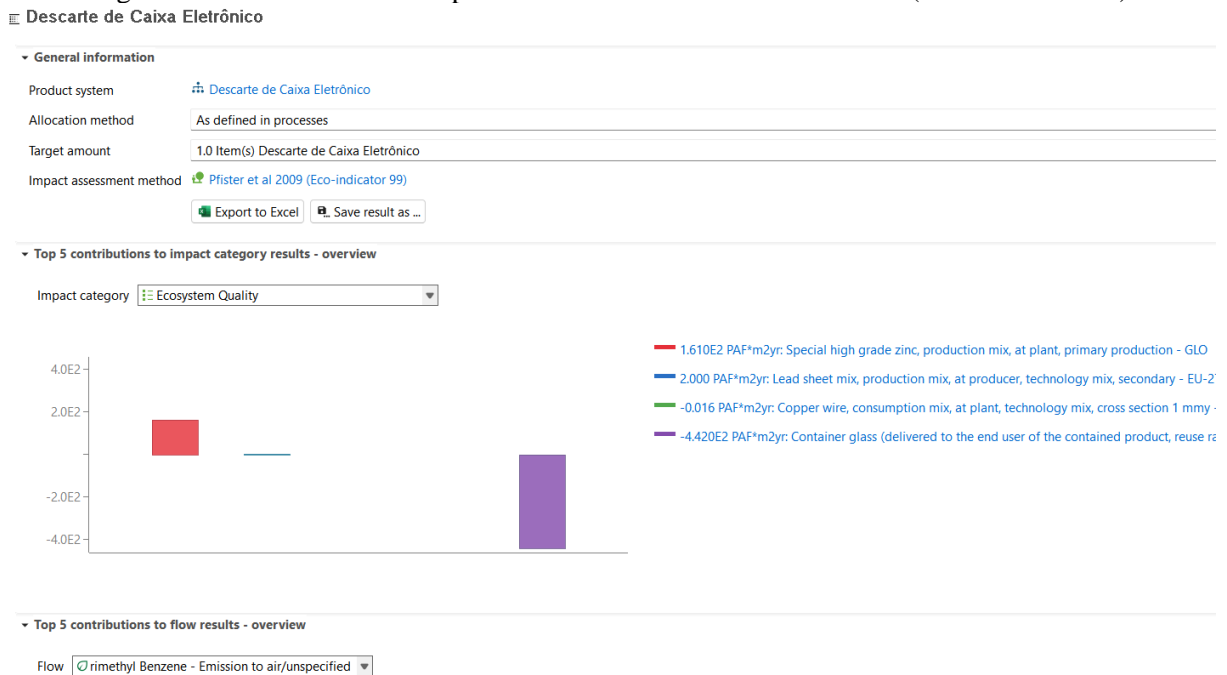
| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Reven... | Uncertainty | Avoided wa... | Provider |
|------------------------------|---------------------------------|-----------|------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| Lead scrap | Production residues in life ... | 1.36700 | kg | | none | | Dummy_... |
| Iron scrap | Production residues in life ... | 839.23100 | kg | | none | | Special hi... |
| Electronic waste | Waste/unspecified | 0.35800 | kg | | none | | |
| copper wire | Materials production/Meta... | 1.47000 | kg | | none | | Copper w... |
| Printed circuitboards was... | Waste/ecopoints 97, CH | 7.74400 | kg | | none | | |
| Steel scrap | Production residues in life ... | 38.72200 | kg | | none | | Dummy_... |
| Electronic waste | Waste/ecopoints 97, CH | 4.85300 | kg | | none | | |
| Waste paper | Production residues in life ... | 1.26100 | kg | | none | | Dummy_... |
| Plastic (unspecified) | Production residues in life ... | 1.33800 | kg | | none | | Dummy_... |
| Construction waste | Waste/unspecified | 1.94000 | kg | | none | | |
| Glass for recovery (shards) | Production residues in life ... | 1.41100 | kg | | none | | Lead she... |

| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Reven... | Uncertainty | Avoided pro... | Provider |
|----------------------------|----------|---------|---------|----------------|-------------|----------------|----------|
| Descarte de Caixa Eletr... | Descarte | 1.00000 | Item(s) | | none | | |

Fonte: Extraído do Open LCA (acesso em Maio/2024).

Utilizando o Software, obteve-se o resultado da análise ambiental com o método Eco-indicador 99 (EI99). O relatório foi gerado a partir dos dados coletados durante a pesquisa de campo com a aplicação do Software Open LCA versão 2.1 de 2024 da empresa Green Delta de licença livre e gratuita. A interface do relatório obtido pelo programa é apresentada na Figura 41.

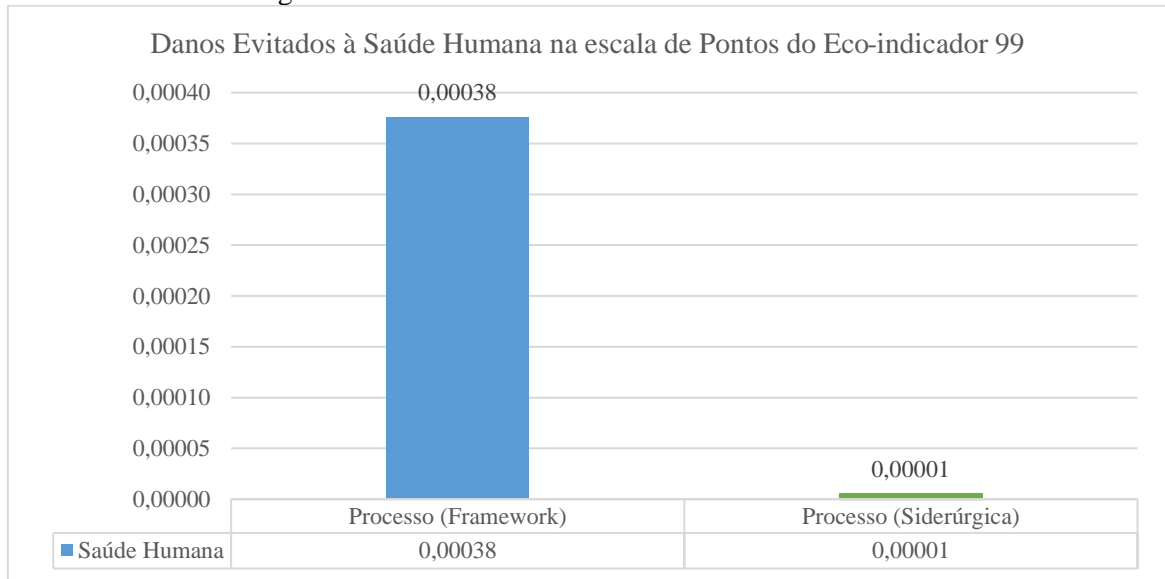
Figura 41: Tela do Software Open LCA – Relatório Eco-indicador 99 (Pfister et al 2009)



Fonte: Extraído do Open LCA (acesso em Maio/2024).

Com os dados extraídos do Software Open LCA, pode-se analisar processos por meio da metodologia do Eco-indicador 99. Como parâmetro podemos verificar os danos ambientais evitados em dois fluxos de simbiose industrial; o primeiro denominado “Processo (*Framework*)”, é aquele em que os resíduos percorrem o melhor caminho de acordo com o *Framework* proposto nesta dissertação, e; o segundo é chamado de “Processo (Siderúrgica)”, onde são considerados os processos de descarte mais utilizados pelos bancos, no município de São Paulo, onde os caixas eletrônicos, após o processo de obsolescência, são direcionados para a indústria siderúrgica com a ausência de tratamento dos materiais não metálicos presentes nos equipamentos. No comparativo estabelecido nas Figuras 42 e 43, pode-se identificar, em uma escala de pontos de dados ambientais evitados, os indicadores ambientais mais sustentáveis em cada processo, considerando os tratamentos dos componentes e materiais presentes no caixa eletrônico durante o descarte.

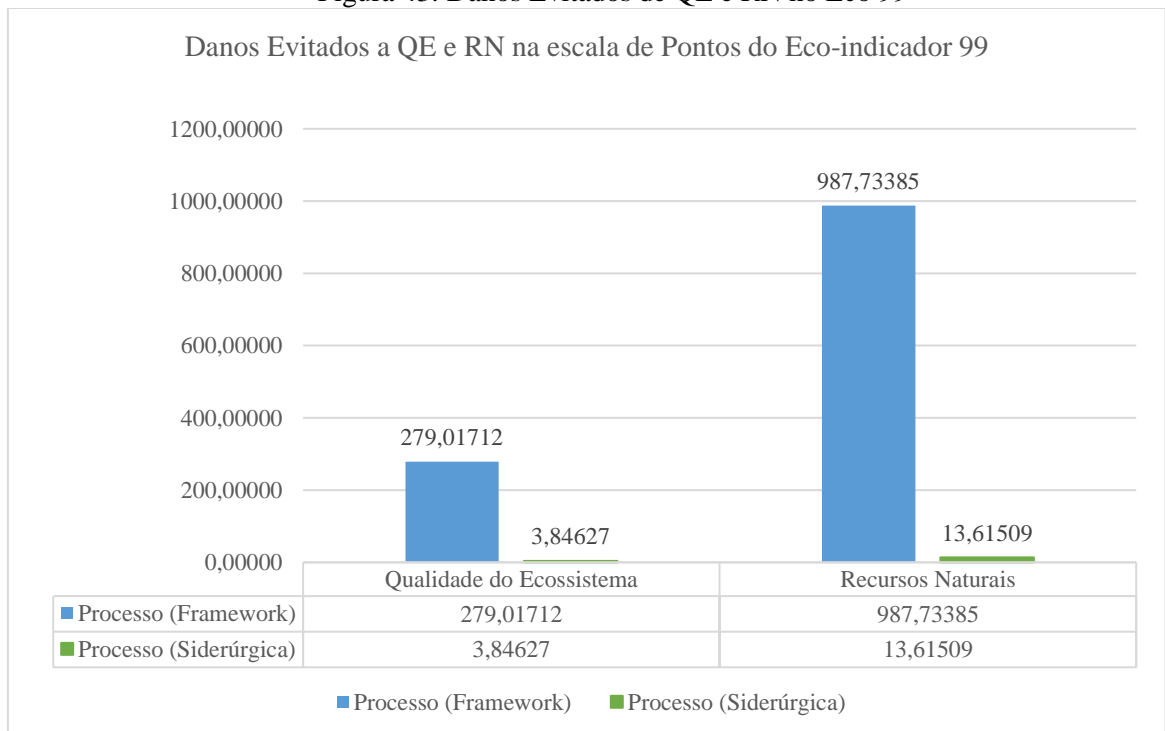
Figura 42: Danos à Saúde Humana evitados na escala Eco 99



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A proposta de processo de simbiose industrial para o descarte de caixas eletrônicas nomeada de “Processo (*Framework*)” apresenta 0,00038 *DALY* (*Disability Life Years*), ou seja, uma mensuração do dano à saúde humana evitado em duração de doenças e os anos de vida perdidos. Na mesma linha o processo alternativo identificado como “Processo (*Siderúrgica*)” apresenta 0,00001 *DALY*.

Figura 43: Danos Evitados de QE e RN no Eco 99



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Em relação aos danos a qualidade do ecossistema, o “Processo (*Framework*)” apresenta 279,01712 *PAF* (*Potentially Affected Fraction*), ou seja, o dano evitado na qualidade do ecossistema medido pelo número de espécies que desapareceriam ou seriam afetadas como consequência do procedimento ou seu impacto ambiental já o “Processo (Siderúrgica)” apresenta 3,84627 *PAF*. A diferença na escala pode ser explicada devido ao “Processo (Siderúrgica)” tratar materiais não metálicos como fonte de combustível no processo de incineração e aquecimento causando geração de gases de efeito estufa. Com base nos dados extraídos no software Software Open LCA considerando o método de impactos ambientais GWP 100a (*Global Warming Potential*, ou Potencial de Aquecimento Global), o procedimento de incineração da massa dos componentes não metálicos de um caixa eletrônico correspondente a 21,742 kg gerando aproximadamente 15,05 kg de CO₂ equivalentes, aumentando assim os níveis de gases que contribuem para o aquecimento do planeta e a extinção de espécies vegetais e animais. No caso dos danos aos recursos naturais, o “Processo (*Framework*)” apresenta 987,73385 na pontuação *MJ surplus* (Energia extra para a exploração de matérias primas virgens), ou seja, o dano evitado aos recursos é caracterizado pela energia extra que será necessária para a extração de nova matéria prima já o “Processo (Siderúrgica)” apresenta 13,61509 *MJ surplus*. A diferença na escala pode ser explicada devido ao “Processo (Siderúrgica)” não tratar ou reciclar materiais não metálicos interrompendo a aplicação do conceito de economia circular aonde retornam para a cadeia produtiva apenas materiais ligados a siderurgia do pó com a fragmentação de massas metálicas.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Este capítulo apresenta as conclusões e limitações desse trabalho.

7.1 Conclusão

Os softwares utilizados no decorrer da pesquisa foram homologados e a metodologia foi descrita com detalhes para uma fácil replicabilidade do estudo em outros tipos de equipamentos por outros pesquisadores que visem comprovar os impactos ambientais em setores diversos. O estudo foi dividido em 4 (quatro) etapas. Primeiro foram levantados os materiais utilizados nos componentes dos caixas eletrônicos, após, foram mensurados as massas e o percentual de cada material em relação à massa total do equipamento, na terceira etapa, foram levantados os

impactos ambientais de um equipamento em operação e, por último, foi analisado o processo de descarte dos equipamentos após a sua obsolescência.

Com os dados da pesquisa foi possível identificar os impactos ambientais dos Caixas Eletrônicos em termos de emissões de CO₂, levantar os danos ambientais evitados na escala do Eco-indicador 99, desenvolver um sistema de avaliação das consequências ambientais inerentes ao descarte dos equipamentos e propor um processo de simbiose industrial sustentável para ser utilizado nos futuros descartes e processos de destinação final. O estudo oferece uma análise dos processos corporativos do setor bancário amparada em fatores ambientais e sociais como o consumo de energia elétrica, os danos ambientais e os incentivos ao desenvolvimento social com o intuito de criar uma visão que possa conscientizar gestores corporativos sobre ações mais sustentáveis no descarte dos equipamentos utilizados na operação bancária.

Com base nos resultados obtidos, apresenta-se como produto desta dissertação um *Framework* com a representação gráfica do mapeamento das etapas de descarte dos caixas eletrônicos, seguido de um quadro explicativo com recomendações para o setor bancários, com a identificação das fases com maior e menor danos ambientais, além de incentivar o desenvolvimento social baseado em parcerias com cooperativas de coleta de materiais recicláveis. A proposta de processo de simbiose industrial para o descarte de caixas eletrônicos nomeada de “Processo (*Framework*)” apresenta danos evitados à saúde humana de 0,00038 *DALY* (*Disability Life Years*), 279,01712 *PAF* (*Potentially Affected Fraction*) de danos evitados na qualidade do ecossistema medido pelo número de espécies que desapareceriam ou seriam afetadas como consequência do procedimento, além de danos evitados aos recursos naturais de 987,73385 na pontuação *MJ surplus* (Energia extra para a exploração de matérias primas virgens).

Por meio do questionário aplicado com clientes do setor bancários pode-se afirmar que a idade dos respondentes e a frequência de utilização de caixas eletrônicos tem uma correlação positiva, ou seja, quanto maior a idade, maior é a frequência de utilização em ambiente bancário. Na mesma linha, é possível identificar que os mais jovens não utilizam esses tipos de equipamentos ou utilizam com uma frequência menor. O cenário estudo comprova que a redução dos números de caixas eletrônicos nos últimos anos está ligada a redução dos números de agência e evolução das tecnologias de pagamentos instantâneo e dos aplicativos bancários para celulares e computadores. Desta forma, pode-se concluir que existe uma tendência de queda na frequência de utilização de caixas eletrônicos e que, com o envelhecimento dos jovens, mais habituados às operações virtuais, e a troca de gerações, os equipamentos deixarão de existir no futuro.

Por fim, o resultado deste estudo pode ter implicações para a tomada de decisão em diversas empresas inseridas no mesmo contexto analisado e gerar estratégias empresariais mais sustentáveis aplicadas ao setor bancário e de reciclagens de componentes ou resíduos de equipamento eletroeletrônico e alinhadas aos 17 (dezessete) Objetivos de Desenvolvimento Sustentável presentes na agenda 2030 da ONU, em especial, à ações que visem a inovação dos processos industriais, colaborem para cidades e comunidades mais sustentáveis e mitiguem os danos ao meio ambiente (ODS 9, 11, 13, 14, 15 e 17).

Sobre as lacunas da pesquisa, pode-se destacar a omissão de alguns detalhes operacionais e de descrição de rotinas bancárias diante do fato dos caixas eletrônicos serem instalados em ambientes com grande circulação de valores, sendo esse local bancário classificado como crítico dentro do plano de segurança das agências bancárias. Desta forma, não foi possível documentar, com riqueza de detalhes, as rotinas de abastecimento de cédulas, manuseio e manutenção, dos equipamentos estudados, na presente pesquisa, com registros fotográficos e descrição de procedimentos com numerários dentro do ambiente interno das agências bancárias. Pode-se citar, também, o fato dos dados secundários do Banco Mundial se limitarem a atualizações até o ano de 2021.

Optou-se por não divulgar com detalhes as especificações técnicas e os materiais utilizados nas peças e componentes dos caixas eletrônicos para preservar o sigilo industrial dos três principais fornecedores dos equipamentos no país, bem como a confidencialidade presente nos documentos e manuais dos fabricantes.

Os estudos complementares devem expandir para a análises de impactos ambientais decorrentes da infraestrutura necessária para a instalação dos caixas eletrônicos, como iluminação, redes de cabeamento, climatização dos ambientes, além de identificar aspectos e impactos ambientais dentro do ciclo de vida de outros equipamentos presentes nos locais de instalação. Estudos complementares ao *Framework* devem ser realizados, em especial, sobre a proposta de instalação de painéis solares como alternativa para a redução de emissões de CO₂ no Estado do Amazonas, e sobre a aplicabilidade da reutilização de rejeitos, presentes no interior do cofre dos caixas eletrônicos, para fabricação de elementos vazados.

As pesquisas futuras devem expandir a aplicação do modelo para outros tipos de equipamentos onde a análise do ciclo de vida colabore com estratégias de desenvolvimento sustentável de outros setores, instituições e empresas.

REFERÊNCIAS

ANDARANI, Pertiwi et al. Life-Cycle Assessment of Crude Palm Oil Produced at Mill J, PT XYZ, Sumatera Island using Eco-indicator 99. MATEC Web of Conferences, v. 159, p. 01028, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201815901028>. Acesso em: 11 set. 2024.

ANDRES, Gustavo. Evolução bancária no Brasil: evolução da rede física bancária entre séculos (1990-2020) / Fundação Getúlio Vargas, Escola de Economia de São Paulo, 2022. 69 f.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10520: informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 6023: Informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECICLAGEM DE ELETROELETRÔNICOS E ELETRODOMÉSTICOS – ABREE. Sobre Nós - ABREE. 2024. Disponível em: <https://abree.org.br/conheca-a-abree>. Acesso em: 10 nov. 2024.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE CATADORES E CATADORAS DE MATERIAIS RECICLÁVEIS ANCAT. Atlas Brasileiro da Reciclagem. 2022. Disponível em: <https://atlasbrasileirodareciclagem.ancat.org.br/reciclagem-em-numeros>. Acesso em: 10 nov. 2024.

AL MULLA, Shamma; NOBANEE, Haitham. Green Banking: A Mini-Review. SSRN Electronic Journal, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3539125>. Acesso em: 1 abr. 2024.

ASHIRU, Olawale; BALOGUN, Gift; PASEDA, Oluseun. Financial Innovation and Bank Financial Performance: Evidence from Nigerian Deposit Money Banks. Research in Globalization, p. 100120, fev. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resglo.2023.100120>. Acesso em: 1 abr. 2024.

BANCO CENTRAL DO BRASIL (BCB). Resolução BCB nº 1, de 12 de agosto de 2020. Institui o arranjo de pagamentos Pix e aprova o seu Regulamento. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/exibenormativo?tipo=Resolu%C3%A7%C3%A3o%20BCB&numero=1>. Acesso em: 5 nov. 2024.

BARBETTA, Pedro Alberto. Estatística aplicada às Ciências Sociais. 8ª ed rev. Florianópolis: Editora da UFSC, 2012.

BAHRAMIAN, Majid; YETILMEZSOY, Kaan. Life cycle assessment of the building industry: An overview of two decades of research (1995–2018). *Energy and Buildings*, v. 219, p. 109917, jul. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109917>. Acesso em: 25 mar. 2024.

BESSA, Sofia Araújo Lima et al. Produção e avaliação de microconcretos com rejeito de minério de ferro para a fabricação de componentes construtivos. *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 27, n. 2, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1517-707620220002.1375>. Acesso em: 9 set. 2024.

BERMÚDEZ, Viviana; ALEXANDER SCHNEIDER, Martin. Challenges of transforming a Business Model to a Sustainable Business Model – A case study based on IKEA and Tetra Pak. School of economics & management. Lund University, 2018.

BISHOP, George; STYLES, David; LENS, Piet N. L. Recycling of European plastic is a pathway for plastic debris in the ocean. *Environment International*, v. 142, p. 105893, set. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105893>. Acesso em: 10 jun. 2024.

BISHOP, George; STYLES, David; LENS, Piet N. L. Environmental performance comparison of bioplastics and petrochemical plastics: A review of life cycle assessment (LCA) methodological decisions. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 168, p. 105451, maio 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105451>. Acesso em: 10 jun. 2024.

BOOM CÁRCAMO, Efrain A.; PEÑABAENA-NIEBLES, Rita. Opportunities and challenges for the waste management in emerging and frontier countries through industrial symbiosis.

Journal of Cleaner Production, p. 132607, jun. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132607>. Acesso em: 24 mar. 2024.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 03 ago. 2010.

BRITO, Louise Brasileiro Quirino. Reciclagem de resíduos vítreos no desenvolvimento de elementos vazados aplicados a projetos arquitetônicos: tecnologia e concepção de moldes / Louise Brasileiro Quirino Brito. – Campina Grande, 2019. 140 f.: il. color.

BROBY, Daniel. Financial technology and the future of banking. Financial Innovation, v. 7, n. 1, 18 jun. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40854-021-00264-y>. Acesso em: 22 nov. 2023.

CALCULADORA de tamanho de amostra e dicas | SurveyMonkey. Disponível em: <https://pt.surveymonkey.com/mp/sample-size-calculator/>. Acesso em: 12 set. 2024.

CAMAÑES, Víctor; TOBAJAS, Rafael; FERNANDEZ, Angel. Methodology of Eco-Design and Software Development for Sustainable Product Design. Sustainability, v. 16, n. 7, p. 2626, 22 mar. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su16072626>. Acesso em: 29 out. 2024.

COELHO FILHO, Osmar; LUIZ SACCARO JUNIOR, Nilo; LUEDEMANN, Gustavo. A Avaliação de Ciclo de Vida como Ferramenta para a Formulação de Políticas Públicas no Brasil. IPEA, Texto de Discussão, n. 2205, 2016.

COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR – CAPES. Produção Técnica. Brasília, DF, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/capes/pt-br/centrais-de-conteudo/10062019-producao-tecnica-pdf>. Acesso em: 07 ago. 2024.

CHEN, Xinyi et al. Comprehensive evaluation of environmental and economic benefits of industrial symbiosis in industrial parks. Journal of Cleaner Production, v. 354, p. 131635, jun. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131635>. Acesso em: 24 mar. 2024.

CUMPLIDO, Meiriele Alvarenga et al. Energia Solar Fotovoltaica combinada com Hidrogênio Verde: Uma Estratégia para a Redução das Emissões e da Vulnerabilidade na Amazônia. X Congresso Brasileiro de Energia Solar – Natal, 27 a 31 de maio de 2024. Acesso em: 08 nov. 2024.

DAHMANI, Noureddine et al. Smart circular product design strategies towards eco-effective production systems: A lean eco-design industry 4.0 framework. *Journal of Cleaner Production*, v. 320, p. 128847, out. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128847>. Acesso em: 24 mar. 2024.

DING, Lu; WANG, Tong; CHAN, Paul W. Forward and reverse logistics for circular economy in construction: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, v. 388, p. 135981, fev. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.135981>. Acesso em: 9 nov. 2024.

EKERETTE DAN, Eduediuyai; CHIJOKE ONWUNALI, Oto-Obong; ETARUWAK, Samuel Mbom. Rooftop Grid-connected automated teller machine PV solar power system analysis. *International Multilingual Journal of Science and Technology (IMJST)*, Vol. 8 Issue 2, February - 2023, 2023.

FAHMI, Afiqoh Akmalia; HARDINAWATI, Eni; PUTRI, Arinda Soraya. Analysis of Eco-Efficiency Level in Tofu Processing Using the Life Cycle Assessment (LCA) Method. *E3S Web of Conferences*, v. 517, p. 14004, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202451714004>. Acesso em: 11 set. 2024.

FERREIRA, J. V. R. *Análise de Ciclo de Vida dos Produtos*. Instituto Politécnico de Viseu, Viseu, 2004.

FINNVEDEN, G., Hauschild, M. Z., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg, S., Koehler, A., Pennington, D., & Suh, S. (2009). Recent developments in Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental Management*, 91, 1-21. PMID:19716647. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.06.018>

FLOWCHART Maker & Online Diagram Software. Disponível em: <https://app.diagrams.net/>. Acesso em: 5 ago. 2024.

GIANELLI, Bruno Fernando. Avaliação do Ciclo de Vida Comparativa dos Processos de Anotização e Oxidação Eletrolítica com Plasma de Liga de Alumínio, 2014. 120f. il.

GIANNETTI, Biagio F. et al. Inventário de ciclo de vida da manufatura de seringas odontológicas. *Production*, v. 18, n. 1, p. 155-169, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0103-65132008000100012>. Acesso em: 8 nov. 2024.

GOBIO-THOMAS, Lisa Baidu; DARWISH, Muhamed; STOJCESKA, Valentina. Environmental impacts of solar thermal power plants used in industrial supply chains. *Thermal Science and Engineering Progress*, v. 38, p. 101670, fev. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2023.101670>. Acesso em: 11 set. 2024.

GOEDKOOP, Mark; SPRIENSMA, Renilde. *The Eco-indicator 99 A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment*. 2. ed. Amersfoot, Netherlands: PRé Consultants, 2000. 142 p.

HARIYANI, Dharmendra; MISHRA, Sanjeev. Organizational enablers for sustainable manufacturing and industrial ecology. *Cleaner Engineering and Technology*, v. 6, p. 100375, fev. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100375>. Acesso em: 23 mar. 2024.

IBGE Censo 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/censo2010/apps/sinopse/index.php?dados=12&uf=00>. Acesso em: 16 abr. 2024

IBGE Censo 2000. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/censo2000/apps/sinopse/index.php?dados=12&uf=00>. Acesso em: 16 abr. 2024.

ÍCONES e Figurinhas Grátis - Milhões de recursos para baixar. Disponível em: <https://www.flaticon.com/br/>. Acesso em: 5 ago. 2024.

ÍCONES, ilustrações de clipart, fotos e músicas gratuitos. Disponível em: <https://icons8.com.br/>. Acesso em: 5 ago. 2024.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. Texto para Discussão: A Avaliação de Ciclo de Vida como Ferramenta para a Formulação de Políticas Públicas no Brasil. ISSN 1415-4765. Brasília. 2016. Disponível em: https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/TDs/td_2205.pdf. Acesso em: 22 nov. 2023.

ISLAM, Samantha; CULLEN, Jonathan M. Food Traceability: A Generic Theoretical Framework. *Food Control*, p. 107848, jan. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107848>. Acesso em: 8 set. 2024.

KATARZYNA, Piotrowska et al. LCA as a Tool for the Environmental Management of Car Tire Manufacturing. *Applied Sciences*, v. 10, n. 20, p. 7015, 9 out. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app10207015>. Acesso em: 11 set. 2024.

KLOPFER, W. (2006). The role of SETAC in the development of LCA. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 11, 116-122. <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-008-0038-4>

LARSEN, Vibeke Grupe et al. What are the challenges in assessing circular economy for the built environment? A literature review on integrating LCA, LCC and S-LCA in life cycle sustainability assessment, LCSA. *Journal of Building Engineering*, v. 50, p. 104203, jun. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.104203>. Acesso em: 5 nov. 2024.

LUTHIN, Anna; TRAVERSO, Marzia; CRAWFORD, Robert H. Assessing the social life cycle impacts of circular economy. *Journal of Cleaner Production*, p. 135725, dez. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135725>. Acesso em: 5 nov. 2024.

LUTHIN, Anna; TRAVERSO, Marzia; CRAWFORD, Robert H. Circular life cycle sustainability assessment: An integrated framework. *Journal of Industrial Ecology*, 13 nov. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jiec.13446>. Acesso em: 11 jun. 2024.

MACLAREN, Chloe et al. An ecological future for weed science to sustain crop production and the environment. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 40, n. 4, 8 jul. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00631-6>. Acesso em: 9 nov. 2024.

MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. *Production*, v. 17, n. 1, p. 216-229, abr. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0103-65132007000100015>. Acesso em: 1 maio 2024.

MORDASCHEW, Viktoria; TACKENBERG, Sven. The Product Environmental Footprint – A Critical Review. *Procedia Computer Science*, v. 232, p. 493-503, 2024b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.01.049>. Acesso em: 1 maio 2024.

MURTI, Z. et al. Lifecycle Assessment of the Contact Smart Card Product in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, v. 1108, n. 1, p. 012020, 1 nov. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1108/1/012020>. Acesso em: 18 out. 2023.

NEVES, Angela et al. A comprehensive review of industrial symbiosis. *Journal of Cleaner Production*, v. 247, p. 119113, fev. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119113>. Acesso em: 23 mar. 2024.

NORRIS, Catherine Benoît; AULISIO, Deana; NORRIS, Gregory A. Working with the Social Hotspots Database - Methodology and Findings from 7 Social Scoping Assessments. 19th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, Berkeley, 2012.

O AVANÇO no número de caixas eletrônicos no mundo - e as ameaças à sua existência - BBC News Brasil. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-42327794>. Acesso em: 16 abr. 2024.

PAN, Xu; WONG, Christina W. Y.; LI, Chunsheng. Circular economy practices in the waste electrical and electronic equipment (WEEE) industry: A systematic review and future research agendas. *Journal of Cleaner Production*, p. 132671, jun. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132671>. Acesso em: 25 mar. 2024.

PARLASCA, Martin C.; QAIM, Martin. Meat Consumption and Sustainability. *Annual Review of Resource Economics*, v. 14, n. 1, 25 abr. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-111820-032340>. Acesso em: 9 nov. 2024.

PEREIRA, Jean Carlos. Metodologia de projeto aplicada à concepção de sistemas mecatrônicos a partir da elaboração de um modelo prescritivo de desenvolvimento [manuscrito] / Jean Carlos Pereira. – 2016. 94 f., enc.: il.

PIRHONEN, Jari et al. “These devices have not been made for older people's needs” – Older adults' perceptions of digital technologies in Finland and Ireland. *Technology in Society*, v. 62, p. 101287, ago. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101287>. Acesso em: 17 ago. 2024.

PFISTER, Stephan; KOEHLER, Annette; HELLWEG, Stefanie. Assessing the Environmental Impacts of Freshwater Consumption in LCA. *Environmental Science & Technology*, v. 43, n. 11, p. 4098-4104, jun. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/es802423e>. Acesso em: 1 maio 2024.

PRE - PRODUCT ECOLOGY CONSULTANTS. The Eco-Indicators 99 – A damage Oriented Method for Life Cycle Impact Assessment. Amersfoort, 2001.

RAMANI, Vinay; GHOSH, Debabrata; SODHI, ManMohan S. Understanding Systemic Disruption from the Covid-19-induced Semiconductor Shortage for the Auto Industry. *Omega*, p. 102720, jun. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2022.102720>. Acesso em: 4 nov. 2024.

REGO, José Roberto Do, and Marco Aurélio De Mesquita. "Controle De Estoque De Peças De Reposição Em Local único: Uma Revisão Da Literatura." *Produção : Uma Publicação Da Associação Brasileira De Engenharia De Produção* 21.4 (2011): 645-66. Web.

DOI: 10.1590/S0103-65132011005000002

REBOLLEDO-LEIVA, Ricardo; MOREIRA, María Teresa; GONZÁLEZ-GARCÍA, Sara. Progress of social assessment in the framework of bioeconomy under a life cycle perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 175, p. 113162, abr. 2023. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113162>. Acesso em: 11 jun. 2024.

SACCHI, R. et al. PRospective EnvironMental Impact asSEment (premise): A streamlined approach to producing databases for prospective life cycle assessment using integrated assessment models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 160, p. 112311, maio 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112311>. Acesso em: 10 jun. 2024.

SAMANI, Pouya. Synergies and gaps between circularity assessment and Life Cycle Assessment (LCA). *Science of The Total Environment*, v. 903, p. 166611, dez. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166611>. Acesso em: 10 jun. 2024.

SÁNCHEZ, Luis Enrique. *Avaliação de Impacto Ambiental: Conceitos e Métodos / Luis Enrique Sánchez*. 2ª Edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

SCALABRINI, Ricardo Barbosa. *Avaliação de Ciclo de Vida de Computadores Desktop Considerando Diferentes Monitores e Cenários de Fim de Vida*. Dissertação de Mestrado em Ciências Mecânicas, Publicação ENM – DM 291/2018. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília - DF, 113 p. 2018.

SHAH, Izhar Hussain; DONG, Liang; PARK, Hung-Suck. Tracking urban sustainability transition: An eco-efficiency analysis on eco-industrial development in Ulsan, Korea. *Journal of Cleaner Production*, v. 262, p. 121286, jul. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121286>. Acesso em: 24 mar. 2024.

SHARMA, Hari Bhakta et al. Circular economy approach in solid waste management system to achieve UN-SDGs: Solutions for post-COVID recovery. *Science of The Total Environment*, v. 800, p. 149605, dez. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149605>. Acesso em: 24 mar. 2024.

SILVA, Udson dos Santos et al. Digitalização financeira no Brasil: o impacto do pix nos meios de pagamento. *OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA*, v. 22, n. 6, p. e5130, 7 jun. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.55905/oelv22n6-070>. Acesso em: 15 ago. 2024.

SOUZA, Lidiane La Picirelli, Electo Eduardo Silva Lora, José Carlos Escobar Palacio, Mateus Henrique Rocha, and Maria Luiza Grillo Renó. "Análise Do Ciclo De Vida De Veículos Convencional, Elétrico E Híbrido Plug-in Para Condições Brasileiras." *Revista Ibero-Americana De Ciências Ambientais* 7.3 (2016): 144-59. Web.

DOI: 10.6008/SPC2179-6858.2016.003.0012

SRIVASTAVA, Pratap et al. An urgent need for sustainable thinking in agriculture – An Indian scenario. *Ecological Indicators*, v. 67, p. 611-622, ago. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.03.015>. Acesso em: 9 nov. 2024.

TANUJAYA, Benidiktus; CHARITAS INDRA PRAHMANA, Rully; MUMU, Jeinne. Likert Scale in Social Sciences Research: Problems and Difficulties. *FWU Journal of Social Sciences*, p. 89-101, 15 dez. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.51709/19951272/winter2022/7>. Acesso em: 8 set. 2024.

TAHERDOOST, Hamed. Designing a Questionnaire for a Research Paper: A Comprehensive Guide to Design and Develop an Effective Questionnaire. *Asian Journal of Managerial Science*, v. 11, n. 1, p. 8-16, 25 abr. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.51983/ajms-2022.11.1.3087>. Acesso em: 6 set. 2024.

TAPIA CARPIO, Lucio Guido; CARDOSO GUIMARÃES, Frederico A. Regional diversification of hydro, wind, and solar generation potential: A mean-variance model to stabilize power fluctuations in the Brazilian integrated electrical energy transmission and distribution system. *Renewable Energy*, p. 121266, ago. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.121266>. Acesso em: 12 set. 2024.

UDDIN, M. J. (2020). How the agent-based banking model might facilitate financial inclusion and sustainability via economic circularity? – A Bangladesh perspective. *European Journal of Social Impact and Circular Economy*, 1(2), 76-94. <https://doi.org/10.13135/2704-9906/4945>

WANG, Ye; WU, Shuang. Impact of mobile banking on small business lending after bank branch closures. *Journal of Corporate Finance*, p. 102593, maio 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2024.102593>. Acesso em: 15 ago. 2024.

WILLERS, Camila Daniele; RODRIGUES, Luciano Brito; SILVA, Cristiano Alves da. Avaliação do ciclo de vida no Brasil: uma investigação nas principais bases científicas nacionais. *Production*, v. 23, n. 2, p. 436-447, 5 jun. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0103-65132012005000037>. Acesso em: 8 nov. 2024.

WILLERS, C. D. et al. Avaliação do ciclo. *Bases científicas nacionais. Produção*, v. 23, n. 2, p. 436-447, abr./jun. 2013.

WORLD BANK Open Data. Imagem. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicador/FB.ATM.TOTL.P5>. Acesso em: 2 abr. 2024.

YLÄ-MELLA, Jenni; KEISKI, Riitta L.; PONGRÁCZ, Eva. End-of-Use vs. End-of-Life: When Do Consumer Electronics Become Waste? *Resources*, v. 11, n. 2, p. 18, 8 fev. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/resources11020018>. Acesso em: 25 mar. 2024.

YU, Yifei et al. Towards Circular Economy through Industrial Symbiosis in the Dutch construction industry: A case of recycled concrete aggregates. *Journal of Cleaner Production*, v. 293, p. 126083, abr. 2021c. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126083>. Acesso em: 24 mar. 2024.

YUAN, Kaibin; LI, Wanli; ZHANG, Weijun. Your next bank is not necessarily a bank: FinTech expansion and bank branch closures. *Economics Letters*, p. 110948, dez. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2022.110948>. Acesso em: 15 ago. 2024.

ZAMBONIN, Roseli Vieira; CAVALCANTE, Maria Madalena de Aguiar. Panorama do Cenário Energético da Última Fronteira Elétrica: Roraima. *Unesp Rio Claro – Geografia*. V48, n1. 2023. ISS: 1983-8700. Acesso em: 08 nov. 2024.

APÊNDICE I: DOCUMENTOS ACADÊMICOS

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado a participar da pesquisa: AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE CAIXAS ELETRÔNICOS: ANÁLISE DOS ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS NOS PROCESSOS UTILIZAÇÃO E DESCARTE e sua seleção foi pelo fato de ser cliente do sistema bancário, além de utilizar caixas eletrônicos em bancos comerciais.

Sua contribuição muito engrandecerá nosso trabalho pois participando desta pesquisa você nos trará uma visão específica pautada na sua experiência sobre o assunto.

Esclarecemos, contudo, que sua participação não é obrigatória. Sua recusa não trará nenhum prejuízo em sua relação com o pesquisador ou com a instituição proponente.

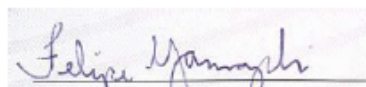
O objetivo deste estudo é realizar análise de ciclo de vida (ACV) de terminais de autoatendimento bancário (caixas eletrônicos).

As informações obtidas, por meio desta pesquisa, serão confidenciais e asseguramos o sigilo sobre sua participação. Os dados serão divulgados de forma a não possibilitar sua identificação, protegendo e assegurando sua privacidade. Esclarecemos, ainda, que os Termos assinados pelos participantes serão mantidos em confiabilidade estrita, juntos em um único arquivo, físico ou digital, sob a guarda e responsabilidade deste pesquisador, por um período mínimo de 05 anos.

A qualquer momento você poderá tirar suas dúvidas sobre o projeto e sua participação, ou mesmo desistir da pesquisa. A Dissertação, com os resultados da pesquisa, ficará disponibilizada no site do Programa de Mestrado.



Orientadora: Profa. Dra. Silvia Pierre Irazusta
e-mail: silvia.irazusta@fatec.sp.gov.br



Pesquisador: Felipe Yamazaki
e-mail: felipe.yamazaki@cpspos.sp.gov.br

Declaro que entendi os objetivos de minha participação na pesquisa e concordo em participar. Registro também que concordo com o tratamento de meus dados pessoais para finalidade específica desta pesquisa, em conformidade com a Lei nº 13.709 – Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD).

São Paulo, 21 de Maio de 2024.

À Comissão de Ética da Unidade de Pós-Graduação e Pesquisa do Centro
Paula Souza

Solicitamos à Comissão de Ética desta instituição que avalie meu projeto de pesquisa bem como o instrumento a ser utilizado e seu respectivo TCLE.

Seguem, portanto, anexos:

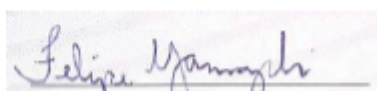
- TCLE
- Instrumento de Pesquisa
- Projeto de Pesquisa

No aguardo de sua deliberação, agradecemos.

Atenciosamente,



Prof.(a). Dr.(a). Silvia Pierre Irazusta
Orientadora



Felipe Yamazaki
Pesquisador

Quadro 3: Questionário Aplicado com Clientes Bancários: Google Forms

| AUTOR | PERGUNTAS | RESPOSTAS FECHADAS |
|--------------------------|---|-------------------------------------|
| Elaborada pelo autor | Quantos anos você tem? | Menos de 18 anos |
| | | 18 a 24 anos |
| | | 25 a 34 anos |
| | | 35 a 44 anos |
| | | 45 a 54 anos |
| | | 55 a 64 anos |
| | | Mais de 65 anos |
| Elaborada pelo autor | Qual é o seu grau de escolaridade? | Alfabetizado |
| | | Ensino Fundamental (incompleto) |
| | | Ensino Fundamental (completo) |
| | | Ensino Médio (incompleto) |
| | | Ensino Médio (completo) |
| | | Ensino Superior (incompleto) |
| | | Ensino Superior (completo) |
| | | Pós-Graduação (incompleta) |
| Pós-Graduação (completa) | | |
| Elaborada pelo autor | Você frequenta agências físicas de Bancos Comerciais | Sim |
| | | Não |
| Elaborada pelo autor | Você utiliza Caixas Eletrônicos nas suas transações Bancárias? | Sim |
| | | Não |
| Elaborada pelo autor | Assinale a frequência em que você utiliza Caixas Eletrônicos | Diariamente |
| | | Semanalmente |
| | | Mensalmente |
| | | Anualmente |
| | | Não utilizo |
| Elaborada pelo autor | Assinale o tempo que você utiliza nas operações em um caixa eletrônico (exceto o tempo de fila de espera). | Menos de 1 minuto |
| | | 1 a 2 minutos |
| | | 3 a 4 minutos |
| | | Mais de 5 minutos |
| | | Não utilizo |
| Elaborada pelo autor | Devido a evolução tecnológica ou devido a inserção de novas ferramentas para a realização de transações bancárias, você já deixou de utilizar o Caixa Eletrônico? | Sim |
| | | Não |
| Elaborada pelo autor | Assinale o meio bancário que você mais utiliza para a realização de suas transações bancárias. | Caixa Eletrônico |
| | | Cartões |
| | | Pix |
| | | Caixa Físico da Agência |
| | | Aplicativo de Celular ou Computador |
| | | Outros |
| Elaborada pelo autor | O uso de outros meios bancários (Pix, Cartões, Aplicativos) influencia na não utilização de Caixas Eletrônicos. | Concordo plenamente |
| | | Concordo parcialmente |
| | | Nem concordo, nem discordo |

| | | |
|----------------------|---|--|
| | | Discordo parcialmente |
| | | Discordo totalmente |
| Elaborada pelo autor | Os Caixas Eletrônicos entrarão em desuso devido a evolução tecnológico e o surgimento de novos meios de pagamentos digitais. | Concordo plenamente |
| | | Concordo parcialmente |
| | | Nem concordo, nem discordo |
| | | Discordo parcialmente |
| | | Discordo totalmente |
| Elaborada pelo autor | De acordo com os seus conhecimentos, qual é o procedimento adotado para a destinação dos resíduos dos caixas eletrônicos obsoletos (sem condições de manutenção ou utilização)? | Reciclagem |
| | | Reuso |
| | | Descarte no meio ambiente sem nenhum tratamento |
| | | Descarte no meio ambiente com algum tipo de tratamento |
| | | Não tenho conhecimentos para responder |

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Link:

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfj9R3TAIO_Io9IUdn1-PQ6nY_C32uBJWbIyXC3bxCbKS91wA/viewform?usp=sf_link

Bloco 1 – Socioeconômico

1. Quantos anos você tem?
2. Qual é o seu grau de escolaridade?

Bloco 2 – Utilização dos ATMs

1. Você frequenta agências físicas de Bancos Comerciais?
2. Você utiliza Caixas Eletrônicos nas suas transações Bancárias?
3. Assinale a frequência em que você utiliza Caixas Eletrônicos
4. Assinale o tempo que você utiliza nas operações em um caixa eletrônico (exceto o tempo de fila de espera).

Bloco 3 – Percepção do Cenário Bancário

1. Devido a evolução tecnológica ou devido a inserção de novas ferramentas para a realização de transações bancárias, você já deixou de utilizar o Caixa Eletrônico?
2. Assinale o meio bancário que você mais utiliza para a realização de suas transações bancárias.
3. O uso de outros meios bancários (Pix, Cartões, Aplicativos) influencia na não utilização de Caixas Eletrônicos.

Bloco 4 – Percepção Ambiental

1. Os Caixas Eletrônicos entrarão em desuso devido a evolução tecnológico e o surgimento de novos meios de pagamentos digitais.
2. De acordo com os seus conhecimentos, qual é o procedimento adotado para a destinação dos resíduos dos caixas eletrônicos obsoletos (sem condições de manutenção ou utilização)?

APÊNDICE II: DETALHAMENTO DO PRODUTO (CAPES)

RELATÓRIO TÉCNICO CONCLUSIVO¹

Organização: Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza (CEETEPS)

PPG: Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos

Autores: Aluno: Felipe Yamazaki / Professora Orientadora: Sílvia Pierre Irazusta

Dissertação vinculada: Proposta de Processo de Simbiose Industrial para o Descarte de Caixas Eletrônicas a partir da Avaliação de Ciclo de Vida

Data da defesa: 28/11/2024

Setor beneficiado com o projeto de pesquisa realizado no âmbito do PPG:

Empresas de Reciclagem e Cooperativas de Coletas de Resíduos de Equipamento Eletroeletrônico

A produção técnica é constituída pelo próprio produto?

Sim

Não. Qual o grau de contribuição diretamente aplicado pelo produto:

Excepcional; Incremental; Residual

Descrição do produto e finalidade:

O produto desenvolvido é um modelo de descarte sustentável desenvolvido para diminuir os impactos ambientais dos materiais presentes nos Caixas Eletrônicas. O Modelo é dedicado a Cooperativas de Coleta de Resíduos de Equipamento Eletroeletrônico do município de São Paulo. O relatório é destinado a associações ou cooperativas de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis aptas a realizarem coleta, separação de materiais eletrônicos. As instituições são responsáveis pelo processamento dos resíduos sólidos industriais seja pelo processo de reciclagem, reutilização ou descarte. Este estudo está dentro de escopo do projeto ao qual pertence, tendo em vista a importância de realizar a contabilidade não financeira dos impactos dos terminais de autoatendimento bancário no meio ambiente. A análise do ciclo de vida (ACV) tem sido utilizada para orientar ações de melhoria de desempenho e inovação em sistemas de produção, visando a sustentabilidade ambiental (Ipea, 2016). O estudo tem como

¹ Definição: Texto elaborado de maneira concisa, contendo informações sobre o projeto/atividade, realizado. Indica em seu conteúdo a relevância dos resultados e conclusões em termo de impacto social e/ou econômico e a aplicação do conhecimento produzido. Não se aplica a relatório de projeto de pesquisa financiado por agência de fomento.

foco colaborar para o estado da arte nos temas relacionados a Ecologia e Simbiose Industrial, bem como, avançar nas pesquisas de desenvolvimento de aplicações que envolvam formas de ampliar ganhos e benefícios ambientais por meio da colaboração entre as organizações.

Avanços tecnológicos / grau de novidade:

- (X) Produção com alto teor inovativo: Desenvolvimento com base em conhecimento inédito;
- () Produção com médio teor inovativo: Combinação de conhecimentos pré-estabelecidos;
- () Produção com baixo teor inovativo: Adaptação de conhecimento existente;
- () Produção sem inovação aparente: Produção técnica

Conexão com a Pesquisa:

PPG: Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos. Projeto vinculado a linha de pesquisa de Gestão da Inovação e Sustentabilidade.

Conexão com a produção científica:

- a) Título: Proposta de Redesenho de Estrutura Administrativa Baseada na Análise Comparativa dos Impactos Ambientais entre as modalidades de Trabalho Presencial e Teletrabalho. Simpep 2023. Publicado nos anais do XXX SIMPEP.
- b) Título: A Metodologia de Projeto aplicada ao Ciclo de Vida das Pás Eólicas. SIMPROFI 2023. Publicado nos anais do SIMPROFI 2023.
- c) Título: Proposta de Redesenho de Estrutura Administrativa Baseada na Análise Financeira entre as modalidades de Trabalho Presencial e Teletrabalho. REVISTA GTI FATEC GUARULHOS 2024.
- d) Título: Pesquisa Operacional Aplicada a Maximização de Caixas Eletrônicos com a Ferramenta Solver do Excel: Controle dos Gastos com Manutenção de Equipamentos. SIMPROFI 2024.
- e) Título: The Project Methodology as a decisive element in the evaluation of the Life Cycle Assessment of Wind Rotor-Blades. IAMOT 2024

Aplicabilidade da Produção Tecnológica:

A produção desenvolvida neste projeto tem como objetivo propor um processo de simbiose industrial para o descarte de Caixas Eletrônicos com a mitigação de impactos ambientais. O processo é materializado por meio de um *Framework* desenvolvido ao longo dos dois anos do Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos. Projeto vinculado a linha de pesquisa de Gestão da Inovação e Sustentabilidade. Pode-se identificar na literatura estudos que mostram a viabilidade da reutilização e reciclagem de materiais não convencionais. A substituição de matérias primas virgens por rejeitos de construção ou rejeitos de minério de ferro como agregado miúdo, não afeta os valores de resistência à compressão de elementos vazados construídos de microconcretos, com valores similares de produção e menores valores

de perda de massa em relação ao traço de referência com durabilidade compatível com os exemplares convencionais (Bessa et al., 2022). Existe a possibilidade de reciclagem de resíduos vítreos no desenvolvimento de elementos vazados para projetos arquitetônicos desde que sejam consideradas mudanças no design dos objetos para reforçar a sua estrutura e aplicados tratamentos térmicos para a obtenção de superfícies e acabamentos homogêneos (Brito, 2019). As cooperativas devem manter os documentos atualizados de licença de operação emitida pelo órgão ambiental estadual para realização das atividades de reprocessamento de resíduo de equipamento eletroeletrônico, o cadastro técnico federal do Ibama e o CADRI (certificado de aprovação de destinação de resíduos industriais) de transporte, manuseio e destinação de todos os materiais envolvidos (Portal SEBRAE e Nota Explicativa de um banco comercial público <https://www.bb.com.br/docs/porta1/disec/Desc%20EquipTI.pdf>, 2024). No ano de 2022, foram identificadas 2018 associações e cooperativas de coleta de materiais recicláveis no Brasil, sendo que 82% dessas instituições estavam legalmente registradas. Em São Paulo, foram mapeadas 301 cooperativas em atividade com 12.530 membros cooperados no Estado (Atlas Brasileiro da Reciclagem - ANCAT, 2022). A Associação Brasileira de Reciclagem de Eletroeletrônicos e Eletrodomésticos disponibiliza informações e orientações para que instituições tenham capacidade operacional, documental e técnica para a realização de descarte de REEE em cumprimento ao Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabelecido pela Lei 12.305/2010 (ABREE, 2024).

Descrição da Abrangência realizada:

A abrangência realizada neste projeto tem como objetivo mapear os aspectos ambientais dos caixas eletrônicos e mitigar os impactos decorrente do fim de vida útil dos equipamentos. Os estudos foram formulados dentro do programa de Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos. Projeto vinculado a linha de pesquisa de Gestão da Inovação e Sustentabilidade. A abrangência potencial do estudo é justificada para amparar os processos operacionais de empresas envolvidas no processo de descarte de caixas eletrônicos.

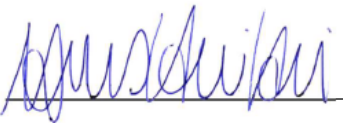
Descrição da Replicabilidade:

A replicabilidade do estudo desenvolvida neste projeto é viável por meio da descrição da metodologia e do produto Framework desenvolvido durante o curso de Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos. Projeto vinculado a linha de pesquisa de Gestão da Inovação e Sustentabilidade.

APÊNDICE III: PARECER SOBRE O QUESTIONÁRIO (SURVEY) REALIZADO NA PESQUISA

PARECER DA COMISSÃO DE ÉTICA EM PESQUISA DO Mestrado DO CENTRO PAULA SOUZA

PARECER_S.P. Nº 007/2024

| | | |
|---|---------------------------|----------------------------------|
| 1. PROTOCOLO Nº 015/2024 | 22/05/2024 Recebido em | 2. PARECER EMITIDO EM 23/05/2024 |
| 3. TÍTULO DO PROJETO: | | |
| Avaliação do ciclo de vida de caixas eletrônicos: análise dos aspectos e impactos ambientais nos processos utilização e descarte | | |
| 4. PESQUISADOR(ES) PROPONENTE(S): | | |
| Felipe Yamazaki | | |
| Silvia Pierre Irazusta | | |
| 5. PARECER: | | |
| <p style="text-align: center;">A Comissão de Ética esclarece que não analisa os aspectos metodológicos da ABNT, haja vista que estes são de exclusiva responsabilidade dos orientadores. Após apreciação do projeto de pesquisa proposto, a Comissão de Ética em Pesquisa resolve:</p> <p>Aprovar o projeto de pesquisa proposto.</p> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  </div> <p>Comissão de Ética em Pesquisa Prof. Dr. Napoleão Verardi Galegale</p> | | |

**APÊNDICE IV: RELATÓRIO EXTRAÍDO DO SOFTWARE OPEN LCA SOBRE A
COMPOSIÇÃO DOS MATERIAIS PRESENTES NOS CAIXAS ELETRÔNICOS**

| Descrição | Category | Unit | Result |
|----------------------|-------------------|-------------|-----------------------|
| Acenaphthene | Emission to water | kg | 0,00016058632141 |
| Acenaphthene | Emission to water | kg | 0,00000590423295 |
| Acenaphthylene | Emission to water | kg | 0,00006105083548 |
| Acenaphthylene | Emission to water | kg | 0,00000215326852 |
| Acenaphthylene | Emission to air | kg | 0,00000021051466 |
| Acetaldehyde | Emission to air | kg | 0,02358863850221 |
| Acetic acid | Emission to water | kg | 0,00048062029379 |
| Acetic acid | Emission to air | kg | 0,13879847930810 |
| Acetic acid | Emission to water | kg | 0,00833513856969 |
| Acetochlor | Emission to water | kg | 0,00000000000236 |
| Acetochlor | Emission to air | kg | 0,00000000003776 |
| Acetone | Emission to water | kg | 0,00000000000062 |
| Acetone | Emission to air | kg | 0,02265418979113 |
| Acetophenone | Emission to air | kg | 0,00000000000002 |
| Acidity, unspecified | Emission to air | kg | 1,98202179224548 |
| Acidity, unspecified | Emission to soil | kg | 0,00002603461545 |
| Acidity, unspecified | Emission to water | kg | 0,26847024098888 |
| Acrolein | Emission to air | kg | 0,00003045055803 |
| Acrylonitrile | Emission to water | kg | 0,00000667847421 |
| Acrylonitrile | Emission to air | kg | 0,00000001640877 |
| Air, used | Emission to air | kg | 935695,35410663200000 |
| Alachlor | Emission to water | kg | 0,00000001016300 |
| Aluminium | Emission to water | kg | 0,00002108393018 |
| Aluminium | Emission to soil | kg | 0,01364954958610 |
| Aluminium | Emission to water | kg | 1,34401783329693 |
| Aluminium | Emission to air | kg | 0,00000153034304 |
| Americium-241 | Emission to water | kBq | 2,27168958173218 |
| Ammonia | Emission to water | kg | 23,39115032125150 |
| Ammonia | Emission to soil | kg | 3,36427460382897 |
| Ammonia | Emission to air | kg | 38,41346805550770 |
| Ammonia | Emission to water | kg | 0,21381410137010 |
| Ammonium, ion | Emission to water | kg | 0,07995548425384 |
| Ammonium, ion | Emission to water | kg | 0,05877223912099 |
| Ammonium, ion | Emission to air | kg | 0,26855959174832 |
| Anthracene | Emission to air | kg | 0,00000431788951 |
| Anthracene | Emission to water | kg | 0,00001108217500 |
| Anthracene | Emission to water | kg | 0,00004910640027 |
| Antimony | Emission to water | kg | 0,04952508292014 |
| Antimony | Emission to soil | kg | 0,00000028360972 |
| Antimony | Emission to air | kg | 0,04815006799655 |
| Antimony-124 | Emission to water | kBq | 0,08603141995573 |
| Antimony-124 | Emission to air | kBq | 0,00304901092331 |

| | | | |
|---------------------------------------|-------------------|-----|---------------------|
| Antimony-125 | Emission to water | kBq | 0,08663404540952 |
| AOX, Adsorbable Organic Halogen as Cl | Emission to water | kg | 0,12146196773394 |
| AOX, Adsorbable Organic Halogen as Cl | Emission to water | kg | 0,00000004202681 |
| Argon | Emission to air | kg | 0,00033843181256 |
| Argon-41 | Emission to air | kBq | 5111,88661659839000 |
| Arsenic | Emission to air | kg | 0,32537538515058 |
| Arsenic | Emission to water | kg | 1,37975828694265 |
| Arsenic | Emission to soil | kg | 0,00046518389035 |
| Arsenic | Emission to water | kg | 0,00530142890099 |
| Arsenic trioxide | Emission to air | kg | 0,00000315897612 |
| Arsenic, ion | Emission to air | kg | 0,00072491842028 |
| Arsenic, ion | Emission to soil | kg | 0,00000000677128 |
| Arsenic, ion | Emission to water | kg | 0,00037995454339 |
| Arsenic, ion | Emission to water | kg | 0,00006580892438 |
| Arsine | Emission to air | kg | 0,00026219501828 |
| Atrazine | Emission to air | kg | 0,00000000006614 |
| Atrazine | Emission to water | kg | 0,00000000000413 |
| Barium | Emission to air | kg | 0,22502539118270 |
| Barium | Emission to water | kg | 0,02928546798904 |
| Barium | Emission to water | kg | 0,16466205109516 |
| Benomyl | Emission to water | kg | 0,00000000001612 |
| Benomyl | Emission to air | kg | 0,00000000025794 |
| Benzene | Emission to water | kg | 0,03933281173117 |
| Benzene | Emission to water | kg | 0,01059679132616 |
| Benzene | Emission to air | kg | 0,23291170606536 |
| Benzene, 1,3,5-trimethyl- | Emission to air | kg | 0,00000013618985 |
| Benzene, chloro- | Emission to air | kg | 0,00000000000003 |
| Benzene, ethyl- | Emission to water | kg | 0,00552460255554 |
| Benzene, ethyl- | Emission to water | kg | 0,00066879318515 |
| Benzene, ethyl- | Emission to air | kg | 0,60910724711415 |
| Benzo(a)anthracene | Emission to air | kg | 0,00000217254484 |
| Benzo(a)anthracene | Emission to water | kg | 0,00003539583538 |
| Benzo(a)anthracene | Emission to water | kg | 0,00000052573162 |
| Benzo(a)pyrene | Emission to air | kg | 0,00021716037619 |
| Benzo(ghi)perylene | Emission to air | kg | 0,00000193818160 |
| Benzo(k)fluoranthene | Emission to air | kg | 0,00000387631758 |
| Benzo(k)fluoranthene | Emission to water | kg | 0,00003901138229 |
| Benzo(k)fluoranthene | Emission to water | kg | 0,00000014505344 |
| Benzyl chloride | Emission to air | kg | 0,00000000000108 |
| Beryllium | Emission to soil | kg | 0,00000000107274 |
| Beryllium | Emission to water | kg | 0,00021471716410 |
| Beryllium | Emission to water | kg | 0,00004962813920 |
| Beryllium | Emission to air | kg | 0,00218202340067 |
| Biphenyl | Emission to air | kg | 0,00000000000002 |
| Biphenyl | Emission to water | kg | 0,00000000000006 |
| bis(n-octyl) phthalate | Emission to air | kg | 0,00000000000011 |

| | | | |
|--------------------------------|-------------------|-----|-----------------------|
| BOD5, Biological Oxygen Demand | Emission to water | kg | 1,72174991548749 |
| BOD5, Biological Oxygen Demand | Emission to water | kg | 0,06830388345977 |
| Boron | Emission to water | kg | 0,00002469708092 |
| Boron | Emission to air | kg | 0,44865872589553 |
| Boron | Emission to water | kg | 10,90845418259980 |
| Bromate | Emission to water | kg | 0,00000028539785 |
| Bromide | Emission to soil | kg | 0,00096508208425 |
| Bromine | Emission to air | kg | 0,16570981029216 |
| Bromine | Emission to water | kg | 0,00001188120271 |
| Bromoform | Emission to air | kg | 0,00000000000006 |
| Butadiene | Emission to air | kg | 0,00000193419700 |
| Butane | Emission to air | kg | 5,58177375666241 |
| Butene | Emission to air | kg | 0,05507156622654 |
| Butyl acetate | Emission to air | kg | 0,00000000004916 |
| Cadmium | Emission to water | kg | 0,07349406102799 |
| Cadmium | Emission to air | kg | 0,41931021382231 |
| Cadmium | Emission to soil | kg | 0,00095340884063 |
| Cadmium | Emission to water | kg | 0,01191210425956 |
| Cadmium | Emission to soil | kg | 0,00001321856271 |
| Calcium | Emission to soil | kg | 107,24248551477500 |
| Calcium | Emission to water | kg | 6582,66409998725000 |
| Calcium | Emission to water | kg | 0,08616063356507 |
| Caprolactam | Emission to air | kg | 0,00000000275308 |
| Carbon dioxide | Emission to air | kg | 377196,38330144900000 |
| Carbon dioxide, biogenic | Emission to air | kg | 134,29035872935600 |
| Carbon disulfide | Emission to air | kg | 0,00001623253712 |
| Carbon monoxide | Emission to air | kg | 366,13501552411300 |
| Carbon-14 | Emission to air | kBq | 2414,73040518335000 |
| Carbon-14 | Emission to water | kBq | 2,17561533530178 |
| Carbon-14 | Emission to water | kBq | 114,98826627343900 |
| Carbonate | Emission to water | kg | 10,33535147938540 |
| Carbonate | Emission to water | kg | 1,54224734883698 |
| Cesium-134 | Emission to water | kBq | 115,45152665342700 |
| Cesium-134 | Emission to air | kBq | 0,63143870803679 |
| Cesium-134 | Emission to water | kBq | 0,02613351754116 |
| Cesium-137 | Emission to water | kBq | 1067,81269034630000 |
| Cesium-137 | Emission to water | kBq | 0,34953579711305 |
| Cesium-137 | Emission to air | kBq | 1,28956405415123 |
| Chlorate | Emission to water | kg | 0,02999840274762 |
| Chloride | Emission to air | kg | 9,05933438350715 |
| Chloride | Emission to water | kg | 816,74101672552200 |
| Chloride | Emission to soil | kg | 2,39340978180961 |
| Chloride | Emission to water | kg | 15355,96674465910000 |
| Chlorine | Emission to water | kg | 2,02652771235852 |
| Chlorine | Emission to air | kg | 0,01900598337545 |
| Chlorine | Emission to soil | kg | 0,00076391221134 |

| | | | |
|-----------------------------|-------------------|-----|--------------------|
| Chloroform | Emission to water | kg | 0,00000000290039 |
| Chloroform | Emission to air | kg | 0,000000000000009 |
| Chloro-phenylethanone | Emission to air | kg | 0,000000000000001 |
| Chromium | Emission to soil | kg | 0,00000003303632 |
| Chromium | Emission to water | kg | 6,20558277727429 |
| Chromium | Emission to soil | kg | 0,02051650615892 |
| Chromium | Emission to air | kg | 0,14212696455865 |
| Chromium | Emission to water | kg | 0,02267060324859 |
| Chromium VI | Emission to air | kg | 0,00077705168943 |
| Chromium VI | Emission to soil | kg | 0,00000327393041 |
| Chromium VI | Emission to water | kg | 0,00001961410996 |
| Chromium, ion | Emission to water | kg | 2,19390019097319 |
| Chromium, ion | Emission to soil | kg | 0,00018185257273 |
| Chromium, ion | Emission to soil | kg | 0,00026922369543 |
| Chromium, ion | Emission to air | kg | 0,00048795586417 |
| Chrysene | Emission to water | kg | 0,00000199001330 |
| Chrysene | Emission to air | kg | 0,00000533673907 |
| Chrysene | Emission to water | kg | 0,00019926027167 |
| Clean gas | Emission to air | kg | 13,66529273921650 |
| Cobalt | Emission to water | kg | 0,00002434659659 |
| Cobalt | Emission to soil | kg | 0,00044057363080 |
| Cobalt | Emission to air | kg | 0,09303845006638 |
| Cobalt | Emission to water | kg | 0,00377251695096 |
| Cobalt-58 | Emission to air | kBq | 0,00522286474368 |
| Cobalt-58 | Emission to water | kBq | 1,24880014590877 |
| Cobalt-60 | Emission to air | kBq | 0,10326795753254 |
| Cobalt-60 | Emission to water | kBq | 0,04181362806586 |
| Cobalt-60 | Emission to water | kBq | 495,30723335507800 |
| COD, Chemical Oxygen Demand | Emission to water | kg | 120,94026009389400 |
| COD, Chemical Oxygen Demand | Emission to water | kg | 1,93352699158789 |
| Copper | Emission to soil | kg | 0,00025274763114 |
| Copper | Emission to water | kg | 0,01196284797111 |
| Copper | Emission to air | kg | 6,05425878601134 |
| Copper | Emission to soil | kg | 0,22131391512451 |
| Copper | Emission to water | kg | 0,50791530792207 |
| Cresol | Emission to water | kg | 0,00000034229290 |
| Cresol | Emission to water | kg | 0,00000049011125 |
| Cresol, o- | Emission to air | kg | 0,000000000000178 |
| Cresol, p- | Emission to air | kg | 0,00000000022859 |
| Cumene | Emission to air | kg | 0,00000065478609 |
| Curium alpha | Emission to water | kBq | 3,01067295163495 |
| Cyanide | Emission to water | kg | 0,00294211335102 |
| Cyanide | Emission to air | kg | 0,00061773182318 |
| Cyanide | Emission to water | kg | 0,00404704062406 |
| Cyclohexane | Emission to air | kg | 0,00037218444856 |
| Decane | Emission to soil | kg | 0,22489874363446 |

| | | | |
|--|-------------------|----|--------------------|
| Decane | Emission to water | kg | 0,31564393356579 |
| Decane | Emission to water | kg | 0,07119832616681 |
| Deltamethrin | Emission to air | kg | 0,00000004304623 |
| Deltamethrin | Emission to water | kg | 0,00000000269039 |
| demolition waste (unspecified) | Wastes | kg | 563,71921669010400 |
| Dibenz(a,h)anthracene | Emission to air | kg | 0,00000120797086 |
| Dicamba | Emission to air | kg | 0,000000000000253 |
| Dicamba | Emission to water | kg | 0,000000000000016 |
| Diethylamine | Emission to air | kg | 0,00000000100215 |
| Dimethenamid | Emission to air | kg | 0,000000000000749 |
| Dimethenamid | Emission to water | kg | 0,000000000000047 |
| Dimethylamine | Emission to air | kg | 0,000000000003536 |
| Dinitrogen monoxide | Emission to air | kg | 7,54843826197254 |
| Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin | Emission to water | kg | 0,000000000000258 |
| Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin | Emission to air | kg | 0,00000001453995 |
| Dodecane | Emission to water | kg | 0,000000000000341 |
| Ethane | Emission to air | kg | 19,29458506978270 |
| Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a | Emission to air | kg | 0,00000004901466 |
| Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140 | Emission to air | kg | 0,00000000001675 |
| Ethane, 1,1,2-trifluoro-, HFC-143 | Emission to air | kg | 0,00000006984510 |
| Ethane, 1,2-dibromo- | Emission to air | kg | 0,000000000000000 |
| Ethane, 1,2-dibromo- | Emission to water | kg | 0,00000001537525 |
| Ethane, 1,2-dichloro- | Emission to soil | kg | 0,000000000000006 |
| Ethane, 1,2-dichloro- | Emission to air | kg | 0,00000000322681 |
| Ethane, 1,2-dichloro- | Emission to water | kg | 0,000000000006215 |
| Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114 | Emission to air | kg | 0,01440806891096 |
| Ethane, 2-chloro-1,1,1,2-tetrafluoro-, HCFC-124 | Emission to air | kg | 0,000000000000023 |
| Ethane, hexafluoro-, HFC-116 | Emission to air | kg | 0,00325328521695 |
| Ethane, pentafluoro-, HFC-125 | Emission to air | kg | 0,00000007818191 |
| Ethanol | Emission to air | kg | 0,04701062103008 |
| Ethene | Emission to air | kg | 0,00345450315733 |
| Ethene, chloro- | Emission to water | kg | 0,0000001139960 |
| Ethene, chloro- | Emission to air | kg | 0,00107681968616 |
| Ethene, tetrachloro- | Emission to water | kg | 0,000000000000119 |
| Ethene, tetrachloro- | Emission to air | kg | 0,000000000000197 |
| Ethene, tetrachloro- | Emission to water | kg | 0,00000000290039 |
| Ethene, trichloro- | Emission to air | kg | 0,00000005512115 |
| Fipronil | Emission to air | kg | 0,000000000000026 |
| Fipronil | Emission to water | kg | 0,000000000000002 |
| Fluoranthene | Emission to air | kg | 0,00001406298856 |
| Fluoranthene | Emission to water | kg | 0,00000199890889 |
| Fluoranthene | Emission to water | kg | 0,00004251832859 |
| Fluorene | Emission to air | kg | 0,00004462322953 |
| Fluoride | Emission to air | kg | 1,97272703294654 |
| Fluoride | Emission to soil | kg | 0,16278118830767 |
| Fluoride | Emission to water | kg | 0,59487896408125 |

| | | | |
|--|-------------------|-----|------------------------|
| Fluoride | Emission to water | kg | 79,68343129603040 |
| Fluorine | Emission to water | kg | 0,03356946648258 |
| Fluorine | Emission to air | kg | 0,17301674665399 |
| Formaldehyde | Emission to air | kg | 0,66345742326697 |
| Formaldehyde | Emission to water | kg | 0,00000000000099 |
| Furan | Emission to air | kg | 0,00000000000000 |
| Glyphosate | Emission to air | kg | 0,00000020087006 |
| Glyphosate | Emission to water | kg | 0,00000001255438 |
| Hazardous waste (deposited) | Deposited goods | kg | 1,75836724891830 |
| Heat, waste | Emission to water | MJ | 1,17409478410920 |
| Heat, waste | Emission to water | MJ | 235755,99518020300000 |
| Heat, waste | Emission to air | MJ | 2004817,92864159000000 |
| Helium | Emission to air | kg | 0,00463411067005 |
| Heptane | Emission to air | kg | 0,04320025165128 |
| Hexadecane | Emission to water | kg | 0,000000000000373 |
| Hexamethylene diamine | Emission to air | kg | 0,00000011377629 |
| Hexane | Emission to water | kg | 0,00000006354943 |
| Hexane | Emission to water | kg | 0,00000003737059 |
| Hexane | Emission to air | kg | 0,06999364679860 |
| Hexanone | Emission to water | kg | 0,00000000000040 |
| HFC-245fa | Emission to air | kg | 0,00000138948894 |
| Hydrazine | Emission to air | kg | 0,00000000000026 |
| Hydrocarbons, unspecified | Emission to water | kg | 0,01294093412015 |
| Hydrocarbons, unspecified | Emission to water | kg | 0,00000000024923 |
| Hydrocyanic acid | Emission to air | kg | 0,00000274599810 |
| Hydrocyanic acid | Emission to water | kg | 0,00000000000038 |
| Hydrogen | Emission to air | kg | 34,71706296150080 |
| Hydrogen bromide | Emission to air | kg | 0,00036526324597 |
| Hydrogen chloride | Emission to water | kg | 0,01044893573922 |
| Hydrogen chloride | Emission to air | kg | 14,95182344609430 |
| Hydrogen fluoride | Emission to water | kg | 0,00415402834758 |
| Hydrogen fluoride | Emission to air | kg | 2,42840787074590 |
| Hydrogen iodide | Emission to air | kg | 0,00000039876728 |
| Hydrogen peroxide | Emission to water | kg | 0,00030976679797 |
| Hydrogen sulfide | Emission to air | kg | 3,78391827729285 |
| Hydrogen-3, Tritium | Emission to water | kBq | 2858,35348106466000 |
| Hydrogen-3, Tritium | Emission to water | kBq | 3362487,55751127000000 |
| Hydrogen-3, Tritium | Emission to air | kBq | 10113,87642268470000 |
| Hydroxide | Emission to water | kg | 0,58071855028218 |
| Indeno(1,2,3-cd)pyrene | Emission to air | kg | 0,00000144237301 |
| industrial waste (unspecified) | Wastes | kg | 7879,12318641244000 |
| Inorganic salts and acids, unspecified | Emission to water | kg | 0,00000000000000 |
| Iodide | Emission to water | kg | 0,000000000006421 |
| Iodine-129 | Emission to air | kBq | 4,92655728812937 |
| Iodine-129 | Emission to water | kBq | 328,53451106045600 |
| Iodine-131 | Emission to air | kBq | 2,85768273702470 |

| | | | |
|--------------------------------------|-------------------|-----|-------------------------|
| Iodine-131 | Emission to water | kBq | 0,02811957754158 |
| Iodine-131 | Emission to water | kBq | 0,38220269403950 |
| Iron | Emission to soil | kg | 0,01082500259951 |
| Iron | Emission to air | kg | 0,00032842377748 |
| Iron | Emission to water | kg | 68,40630947992600 |
| Iron | Emission to water | kg | 0,07653393568776 |
| Isophorone | Emission to air | kg | 0,00000000000089 |
| Isoprene | Emission to air | kg | 0,00000002322710 |
| Jarosite | Wastes | kg | 5490,38689503540000 |
| Krypton-85 | Emission to air | kBq | 84874509,60791210000000 |
| Lanthanum-140 | Emission to air | kBq | 0,00000014420877 |
| Lead | Emission to soil | kg | 0,00039147285587 |
| Lead | Emission to water | kg | 0,04093399416478 |
| Lead | Emission to soil | kg | 0,00216992962546 |
| Lead | Emission to water | kg | 37,97817014180840 |
| Lead | Emission to air | kg | 6,36375087626055 |
| Lead dioxide | Emission to air | kg | 0,00000016067701 |
| Lead-210 | Emission to air | kBq | 0,01056653633306 |
| Lithium | Emission to water | kg | 0,00000005555296 |
| Magnesium | Emission to water | kg | 0,03550596859969 |
| Magnesium | Emission to water | kg | 5,05351035027159 |
| Magnesium | Emission to air | kg | 0,00000000011750 |
| Magnesium | Emission to soil | kg | 17,67964991599890 |
| Mancozeb | Emission to air | kg | 0,00000000147973 |
| Mancozeb | Emission to water | kg | 0,00000000009248 |
| Manganese | Emission to air | kg | 0,26151918105717 |
| Manganese | Emission to water | kg | 0,94516839592275 |
| Manganese | Emission to soil | kg | 0,13133012433576 |
| Manganese | Emission to water | kg | 0,00483296992303 |
| Manganese-54 | Emission to water | kBq | 76,77204391723570 |
| M-CRESOL | Emission to air | kg | 0,00000000022923 |
| Mercaptans, unspecified | Emission to air | kg | 0,00000399414673 |
| Mercury | Emission to air | kg | 0,01091320847806 |
| Mercury | Emission to soil | kg | 0,00003531754385 |
| Mercury | Emission to soil | kg | 0,00000269077170 |
| Mercury | Emission to water | kg | 0,00026104185299 |
| Mercury | Emission to water | kg | 0,00900574095481 |
| methacrylic acid | Emission to air | kg | 0,00000000000003 |
| Methane | Emission to air | kg | 662,48696291257800 |
| Methane, bromo-, Halon 1001 | Emission to air | kg | 0,00000000009459 |
| Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301 | Emission to air | kg | 0,00000144044656 |
| Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22 | Emission to air | kg | 0,00330618974675 |
| Methane, chlorotrifluoro-, CFC-13 | Emission to air | kg | 0,00189928719189 |
| Methane, dichloro-, HCC-30 | Emission to air | kg | 0,00000005933067 |
| Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12 | Emission to air | kg | 0,00302479317768 |
| Methane, difluoro-, HFC-32 | Emission to air | kg | 0,00000001172729 |

| | | | |
|--|-------------------|----|---------------------|
| Methane, monochloro-, R-40 | Emission to air | kg | 0,00000000000093 |
| Methane, monochloro-, R-40 | Emission to water | kg | 0,00019508854819 |
| Methane, tetrachloro-, R-10 | Emission to air | kg | 0,00000000001411 |
| Methane, tetrafluoro-, R-14 | Emission to air | kg | 0,02942770013585 |
| Methane, trichlorofluoro-, CFC-11 | Emission to air | kg | 0,01406879001607 |
| Methane, trifluoro-, HFC-23 | Emission to air | kg | 0,00000053629245 |
| Methanol | Emission to water | kg | 2,43977816748494 |
| Methanol | Emission to air | kg | 1,02624399786517 |
| Methomyl | Emission to water | kg | 0,00000000000002 |
| Methomyl | Emission to air | kg | 0,00000000000029 |
| Methyl acrylate | Emission to air | kg | 0,00000000004274 |
| Methyl ethyl ketone | Emission to air | kg | 0,00000000000060 |
| Methyl methacrylate | Emission to air | kg | 0,00000000688721 |
| Methyl-pentanone | Emission to water | kg | 0,00000000000000 |
| mineral treatment residue (unspecified) | Wastes | kg | 6297,40202404842000 |
| Molybdenum | Emission to air | kg | 0,00015944359535 |
| Molybdenum | Emission to water | kg | 0,03855898465683 |
| Molybdenum | Emission to water | kg | 0,00000013106784 |
| Monochloroethane | Emission to air | kg | 0,00000000000006 |
| m-Xylene | Emission to water | kg | 0,00000000000187 |
| Naphthalene | Emission to air | kg | 0,00045344256441 |
| Naphthalene | Emission to water | kg | 0,00026683495031 |
| Naphthalene | Emission to water | kg | 0,00527897635656 |
| Neutral salts | Emission to water | kg | 0,00000001252673 |
| Nickel | Emission to air | kg | 0,13235119583313 |
| Nickel | Emission to soil | kg | 0,00013356101344 |
| Nickel | Emission to water | kg | 0,01386781713254 |
| Nickel | Emission to soil | kg | 0,00696704495232 |
| Nickel | Emission to water | kg | 0,00463194374582 |
| Nitrate | Emission to water | kg | 12,25604046912640 |
| Nitrate | Emission to soil | kg | 0,00160112933207 |
| Nitrate | Emission to water | kg | 0,05037156109328 |
| Nitrate | Emission to air | kg | 0,00000000000027 |
| Nitrite | Emission to water | kg | 0,00001185351643 |
| Nitrite | Emission to water | kg | 0,00000524155742 |
| Nitrogen | Emission to water | kg | 1,72381051609579 |
| Nitrogen | Emission to soil | kg | 0,16549037034284 |
| Nitrogen | Emission to water | kg | 1,76913711041954 |
| Nitrogen dioxide | Emission to air | kg | 1110,24485524767000 |
| Nitrogen dioxide | Emission to water | kg | 0,00204024296799 |
| Nitrogen fluoride | Emission to air | kg | 0,00000000659930 |
| Nitrogen monoxide | Emission to air | kg | 359,32645756767800 |
| Nitrogen, atmospheric | Emission to air | kg | 158,53966698636400 |
| NM VOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin | Emission to air | kg | 22,29903033985720 |
| Octane | Emission to air | kg | 0,02376552081343 |
| Oxygen, in air | Emission to air | kg | 294,00148481079400 |

| | | | |
|---|-------------------|-----|------------------------|
| PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons | Emission to air | kg | 0,01878217637235 |
| PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons | Emission to water | kg | 0,04475824127842 |
| PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons | Emission to soil | kg | 0,00000439007050 |
| Palladium | Emission to air | kg | 0,00000000002602 |
| Paraquat | Emission to water | kg | 0,00000000167387 |
| Paraquat | Emission to air | kg | 0,00000002678185 |
| Particulates, < 10 um | Emission to water | kg | 0,00642257643468 |
| Particulates, < 10 um | Emission to air | kg | 24,46822122704950 |
| Particulates, < 2.5 um | Emission to air | kg | 34,20886479457890 |
| Particulates, > 10 um | Emission to air | kg | 785,13963022107000 |
| Particulates, > 10 um | Emission to water | kg | 1999,49521299993000 |
| Particulates, > 10 um | Emission to water | kg | 44,14735854999340 |
| Particulates, > 2.5 um, and < 10um | Emission to air | kg | 178,88641106585100 |
| Pentane | Emission to air | kg | 3,24600717703582 |
| Phenanthrene | Emission to air | kg | 0,00014243245264 |
| Phenanthrene | Emission to water | kg | 0,00000000000001 |
| Phenol | Emission to air | kg | 0,00000367761112 |
| Phenol | Emission to water | kg | 0,01259457141305 |
| Phenol | Emission to water | kg | 0,07302197577811 |
| Phenol, 2,4-dimethyl- | Emission to water | kg | 0,00000000000173 |
| Phenol, pentachloro- | Emission to water | kg | 0,00000021797919 |
| Phosphate | Emission to water | kg | 1,57902061610926 |
| Phosphate | Emission to soil | kg | 16,20268349776850 |
| Phosphate | Emission to water | kg | 0,00000065171861 |
| Phosphine | Emission to air | kg | 0,00000266125390 |
| Plutonium-alpha | Emission to air | kBq | 0,00013136487872 |
| Plutonium-alpha | Emission to water | kBq | 9,04095803262480 |
| Polonium-210 | Emission to air | kBq | 0,01584980449956 |
| Polychlorinated biphenyls | Emission to air | kg | 0,00000295213670 |
| Potassium | Emission to soil | kg | 13,88506633328620 |
| Potassium | Emission to water | kg | 1,95422922813530 |
| Potassium | Emission to water | kg | 0,02391295801382 |
| Propane | Emission to air | kg | 16,77479418571360 |
| Propane, 1,2-dichloro- | Emission to water | kg | 0,00000000009132 |
| Propanol | Emission to air | kg | 0,00000196327579 |
| Propene | Emission to air | kg | 0,05536635683613 |
| Propionic acid | Emission to air | kg | 0,00003591430747 |
| propylene glycol monomethyl ether acetate | Emission to air | kg | 0,00000042566776 |
| Protactinium-234 | Emission to water | kBq | 0,02459029961534 |
| Protactinium-234 | Emission to air | kBq | 0,00000526232412 |
| Radium-224 | Emission to water | kBq | 0,00000000003201 |
| Radium-226 | Emission to water | kBq | 37528,90109847800000 |
| Radium-226 | Emission to air | kBq | 0,06297912597137 |
| Radium-228 | Emission to water | kBq | 0,00000000006403 |
| Radon-222 | Emission to air | kBq | 1241601,74008570000000 |
| Rhodium | Emission to air | kg | 0,00000000002512 |

| | | | |
|------------------------|-------------------|-----|-----------------------|
| Ruthenium-106 | Emission to water | kBq | 2,30428149112806 |
| Ruthenium-106 | Emission to water | kBq | 1,17600828935231 |
| Scandium | Emission to air | kg | 0,00000013639618 |
| Selenium | Emission to water | kg | 0,01039311753812 |
| Selenium | Emission to air | kg | 0,33083886676933 |
| Selenium | Emission to soil | kg | 0,00000332370419 |
| Silicon tetrafluoride | Emission to air | kg | 0,00000000119790 |
| Silver | Emission to air | kg | 0,00000153038371 |
| Silver | Emission to water | kg | 0,00000038887068 |
| Silver | Emission to water | kg | 0,00004250850774 |
| Silver-110 | Emission to water | kBq | 0,08047239251545 |
| slag (unspecified) | Wastes | kg | 659,31327168102700 |
| Sodium | Emission to water | kg | 0,92582975690365 |
| Sodium | Emission to soil | kg | 148,03111450286400 |
| Sodium | Emission to water | kg | 2319,28591782553000 |
| Strontium | Emission to soil | kg | 2,09399539228391 |
| Strontium | Emission to air | kg | 0,00000547248105 |
| Strontium | Emission to water | kg | 0,00241259386072 |
| Strontium | Emission to water | kg | 0,26188054628515 |
| Strontium-90 | Emission to water | kBq | 109,67932523600200 |
| Strontium-90 | Emission to water | kBq | 0,05912708343688 |
| Styrene | Emission to air | kg | 0,00000042396183 |
| Sulfate | Emission to air | kg | 0,04539503346941 |
| Sulfate | Emission to soil | kg | 0,14095962117828 |
| Sulfate | Emission to water | kg | 4,86714033525180 |
| Sulfate | Emission to water | kg | 374,86013164550800 |
| Sulfide | Emission to soil | kg | 0,68019289663115 |
| Sulfide | Emission to water | kg | 0,27446845668737 |
| Sulfide | Emission to water | kg | 1,86428571815202 |
| Sulfite | Emission to water | kg | 0,05261509038657 |
| Sulfur | Emission to soil | kg | 955,51314115714400 |
| Sulfur | Emission to water | kg | 0,00005813288726 |
| Sulfur | Emission to air | kg | 0,00000174015284 |
| Sulfur | Emission to water | kg | 0,00001593444105 |
| Sulfur dioxide | Emission to air | kg | 1265,20260615891000 |
| Sulfur hexafluoride | Emission to air | kg | 0,00001355546571 |
| Sulphur trioxide | Emission to air | kg | 21,84166814102970 |
| Sulphur trioxide | Emission to water | kg | 0,00000144598672 |
| tailings (unspecified) | Wastes | kg | 223829,88506123900000 |
| Tar | Emission to water | kg | 0,00000000000000 |
| t-Butyl methyl ether | Emission to air | kg | 0,000000000000005 |
| Tellurium | Emission to air | kg | 0,00000129552223 |
| Terbufos | Emission to water | kg | 0,000000000000018 |
| Terbufos | Emission to air | kg | 0,000000000000284 |
| Thallium | Emission to air | kg | 0,00002957854347 |
| Thallium | Emission to water | kg | 0,00233448083270 |

| | | | |
|---|-------------------|-----|-----------------------|
| Thorium-228 | Emission to water | kBq | 0,0000000012806 |
| Thorium-230 | Emission to water | kBq | 2,06162430677907 |
| Thorium-230 | Emission to air | kBq | 0,01585088647274 |
| Thorium-234 | Emission to air | kBq | 0,00000535606830 |
| Thorium-234 | Emission to water | kBq | 0,02459030037122 |
| Tin | Emission to water | kg | 0,00000200825429 |
| Tin | Emission to air | kg | 0,04766303062467 |
| Tin | Emission to water | kg | 0,0000046577828 |
| Tin oxide | Emission to air | kg | 0,00000001398106 |
| Titanium | Emission to water | kg | 0,00434941138638 |
| Titanium | Emission to water | kg | 0,00000004744439 |
| Titanium | Emission to air | kg | 0,00002339690626 |
| TOC, Total Organic Carbon | Emission to air | kg | 0,00000007618899 |
| TOC, Total Organic Carbon | Emission to water | kg | 0,05852084954594 |
| TOC, Total Organic Carbon | Emission to water | kg | 1,55527774708510 |
| Toluene | Emission to water | kg | 0,00642876228586 |
| Toluene | Emission to air | kg | 0,28764926393233 |
| Toluene | Emission to water | kg | 0,02335423479475 |
| Toluene, 2,4-dinitro- | Emission to air | kg | 0,00000000000000 |
| Triethylene glycol | Emission to water | kg | 0,00000000003515 |
| Trifluralin | Emission to air | kg | 0,00000000309503 |
| Trifluralin | Emission to water | kg | 0,00000000019344 |
| Trimethyl Benzene | Emission to air | kg | 0,000000000000003 |
| Tungsten | Emission to water | kg | 0,00000012510093 |
| Uranium-234 | Emission to water | kBq | 0,81046959977839 |
| Uranium-234 | Emission to water | kBq | 0,00347902452267 |
| Uranium-234 | Emission to air | kBq | 5,43536969592448 |
| Uranium-235 | Emission to air | kBq | 20,72749651671480 |
| Uranium-235 | Emission to water | kBq | 0,00397506906383 |
| Uranium-238 | Emission to air | kBq | 30,50192307158920 |
| Uranium-238 | Emission to water | kBq | 0,00347902452267 |
| Uranium-238 | Emission to water | kBq | 665,64842925008200 |
| used oil | Wastes | kg | 9804,02674583137000 |
| Vanadium | Emission to air | kg | 0,20129679851462 |
| Vanadium | Emission to water | kg | 0,01257152873586 |
| Vanadium | Emission to water | kg | 0,00257675220242 |
| Vinyl acetate | Emission to air | kg | 0,000000000000001 |
| VOC, volatile organic compounds | Emission to air | kg | 36,89802480902090 |
| VOC, volatile organic compounds, unspecified origin | Emission to water | kg | 0,00046360059487 |
| VOC, volatile organic compounds, unspecified origin | Emission to water | kg | 0,01126540350492 |
| Waste (deposited) | Deposited goods | kg | 86,53304558389310 |
| Water (evapotranspiration) | Emission to air | kg | 2491,58530819757000 |
| Water vapour | Emission to air | kg | 492521,19922179400000 |
| Xenon-131m | Emission to air | kBq | 124,04635690431600 |
| Xenon-133 | Emission to air | kBq | 12366,16577592630000 |
| Xenon-135 | Emission to air | kBq | 5210,76809356928000 |

| | | | |
|--|-------------------|-----|--------------------|
| Xenon-137 | Emission to air | kBq | 230,00185974429200 |
| Xenon-138 | Emission to air | kBq | 378,14756065712800 |
| Xylene | Emission to air | kg | 2,56419343052748 |
| Xylene | Emission to water | kg | 0,00937390981789 |
| Xylene | Emission to water | kg | 0,02147940072334 |
| Zinc | Emission to water | kg | 6,40152682765302 |
| Zinc | Emission to air | kg | 7,84252670173716 |
| Zinc | Emission to soil | kg | 0,37957522617414 |
| Zinc | Emission to soil | kg | 0,00106943436714 |
| Zinc | Emission to water | kg | 0,46615123015803 |
| Zinc oxide | Emission to air | kg | 0,00000002796211 |
| zinc slag (unspecified) | Wastes | kg | 38,76316053826880 |
| TOTAL DE RESÍDUOS APROXIMADOS (EM EMISSÕES NO AR, ÁGUA E SOLO) | | kg | 93.895.970 |