



UNIVERSIDADE DE RIBEIRÃO PRETO
PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*
DOUTORADO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL

ROBERTO MIRANDA BORGES

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA COMPUTACIONAL PARA GESTÃO
E GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS
ELETROELETRÔNICOS (REEE) EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO
SUPERIOR

RIBEIRÃO PRETO
2025

ROBERTO MIRANDA BORGES

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA COMPUTACIONAL PARA GESTÃO
E GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS
ELETROELETRÔNICOS (REEE) EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO
SUPERIOR

Tese apresentada à Universidade de Ribeirão Preto -
UNAERP, como parte dos requisitos para obtenção do
título de Doutor em Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Lisandro Simão
Coorientadora: Prof. Dr. Isadora Alves L. Ismail

Ribeirão Preto
2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha catalográfica preparada pelo Centro de Processamento Técnico
da Biblioteca Central da UNAERP

- Universidade de Ribeirão Preto -

BORGES, Roberto Miranda, 197-.

B732d Desenvolvimento de sistema computacional para gestão e gerenciamento de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) em instituições de ensino superior / Roberto Miranda Borges. -- Ribeirão Preto, 2025.

179 f.: il. color.

Orientador (a): Prof.º Dr.º Lisandro Simão.

Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental) – Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP), Ribeirão Preto, 2025.

1. Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos – Sistemas computacionais. 2. Gerenciamento de resíduos sólidos. 3. Instituição de Ensino Superior. I. Título.

CDD 628

FOLHA DE APROVAÇÃO

ROBERTO MIRANDA BORGES

“DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA COMPUTACIONAL PARA GESTÃO E GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS (REEE) EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR”

Tese de Doutorado apresentada ao programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental do Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias da Universidade de Ribeirão Preto, para a obtenção do título de Doutor em Tecnologia Ambiental.

Área de concentração: Tecnologia Ambiental

Data de defesa: 02 de junho de 2025.

Resultado: **APROVADO**

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Lisandro Simão
Presidente/UNAERP



Prof. Dr. Murilo Daniel de Mello
Innocentini
UNAERP



Prof. Dr. Carlos Eduardo
Formigoni
UNAERP



Prof. Dr. Pablo Rodrigo
Sanches
USP



Prof. Dr. Evandro Eduardo
Seron Ruiz
USP

RIBEIRÃO PRETO
2025

Dedico este trabalho a quem sempre esteve ao meu lado, apoiando e incentivando para que eu alcançasse meus objetivos. Agradeço ao Senhor Jesus Cristo por esta dádiva de vida, agradeço imensamente à minha esposa, Aline e à minha filha, Caroline, que sempre me acompanham ao longo do percurso e dos desafios, tornando esta jornada ainda mais significativa, e sou grato à minha mãe, que, apesar de nunca ter estudado, é uma fonte constante de motivação para que eu continue buscando o conhecimento. Também dedico este trabalho aos meus irmãos, Reginaldo e Regiane, vocês foram pilares importantes em minha caminhada. Obrigado por acreditarem em mim e por estarem ao meu lado em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Lisandro Simão, e à minha coorientadora, Profa. Dra. Isadora Alves L. Ismail, cujas orientações criteriosas para o desenvolvimento de uma abordagem científica sólida e bem fundamentada, desempenhou um papel crucial em cada etapa deste trabalho;

Aos diretores, Gustavo Trevisan, Rafael Tomaz de Oliveira e Alicia Bonini Ribeiro, cujo apoio foi essencial para minha entrada no programa de doutorado desta Universidade, um passo crucial em minha trajetória acadêmica;

À minha coordenadora, Marcela Moraes, agradeço pelo apoio e incentivo que foram fundamentais para minha dedicação ao programa de doutorado;

À minha esposa, Aline F. C. Borges, e à minha filha, Caroline Caetano Borges, minha gratidão eterna por serem a base e a essência de tudo que é mais importante em minha vida;

À minha mãe, Maria de Lourdes Borges, e aos meus irmãos, Reginaldo Miranda Borges e Regiane Miranda Borges, minha gratidão infinita, pois sem o apoio e o amor de vocês eu não teria alcançado e chegado onde estou hoje;

Aos meus familiares, agradeço por fazerem parte da minha vida e por acompanharem de perto todo o meu crescimento pessoal e profissional;

Aos meus amigos e desenvolvedores, João Antônio Lemos Araújo e Gabriel Lamarca Galdino da Silva, minha sincera gratidão pelo trabalho colaborativo, paciência e dedicação no desenvolvimento do sistema, tornando este projeto possível;

À minha amiga, Mariene Coutinho Rodrigues, agradeço pela ajuda e carinho, especialmente pela contribuição valiosa na revisão bibliográfica deste estudo, que foi essencial para o seu desenvolvimento;

A todos os professores do Programa de Doutorado em Tecnologia Ambiental da Universidade de Ribeirão Preto por compartilharem conosco seus conhecimentos, contribuindo de maneira inestimável para o nosso crescimento acadêmico e profissional;

Às equipes que integro, do Centro de Informática – CIT, equipe de Service Desk e do Laboratório de Informática para Atividades de Pesquisa e Ensino – LIAPE, agradeço pela colaboração e apoio;

Enfim, a todos que de alguma forma participaram desta jornada;

Que Deus ilumine e abençoe todos.

“Perspectiva: As dificuldades da vida podem parecer pesadas no momento, mas, com o tempo, podem ser vistas de uma maneira mais leve e até com humor”.

“A perseverança é o caminho do êxito”.

Charles Chaplin

RESUMO

Os avanços tecnológicos têm potencializado grandes transformações e gerado impactos significativos na vida humana e no meio ambiente. A utilização de tecnologias tornou-se indispensável para a preservação do meio ambiente, sendo fundamental para a expansão e eficiência das fontes de energia renováveis, enfatizando assim, sua importância no combate às mudanças climáticas, as quais são impulsionadas principalmente pela liberação excessiva de gases de efeito estufa resultante de atividades humanas. Entre essas atividades, destaca-se o descarte inadequado de resíduos de equipamentos eletroeletrônico (REEE), que não apenas agrava os problemas ambientais, mas também promove a extração insustentável de recursos naturais. A rápida obsolescência dos equipamentos eletroeletrônicos (EEE), resulta em grandes quantidades de resíduos, que muitas vezes são descartados de forma inadequada em ambientes inapropriados. Portanto, a gestão responsável desses resíduos é essencial para mitigar os impactos ambientais adversos e combater as mudanças climáticas. As Instituições de Ensino Superior (IES), enquanto formadoras de cidadãos responsáveis, desempenham papel fundamental na educação e conscientização sobre os impactos ambientais e de saúde causados pelo descarte inadequado desses resíduos. Dessa forma, as IES atuam como catalisadoras de mudanças positivas, integrando educação, inovação tecnológica e práticas sustentáveis no manejo dos REEE. Este estudo visa apresentar os principais tipos de REEE gerados pelas atividades de tecnologia da informação nas IES, bem como abordar as regulamentações e legislações específicas vigentes sobre o descarte desses resíduos. Além de explorar elementos relevantes da logística reversa e os acordos setoriais em vigor no Brasil, bem como explicar a respeito de sistemas de informação gerencial e seu papel no suporte à tomada de decisões. A revisão da literatura evidencia o papel fundamental das IES na conscientização sobre o descarte adequado dos REEE, destacando seu compromisso ao redor do mundo com a inovação e a pesquisa voltada para o desenvolvimento de tecnologias que auxiliem o manejo sustentável desses resíduos. Diante disso, o presente estudo tem como propósito desenvolver um sistema que possibilite a gestão e gerenciamento de REEE, com foco na redução da geração, no reaproveitamento de seus componentes e no apoio à disposição correta. Para tanto, apresentou-se conceitos metodológicos que abrangem desde o planejamento até a concepção do sistema proposto. Durante esse processo, identificou-se a lacuna que o sistema busca preencher e analisou-se as possíveis causas do problema, além de identificar os principais autores envolvidos. Realizou-se também a análise de requisitos, que contribuiu para a compreensão das funcionalidades esperadas do sistema. Além disso, utilizou-se representações gráficas que proporcionaram uma visão detalhada da estrutura e do funcionamento pretendido para a solução desenvolvida. Concluiu-se, portanto, com o desenvolvimento de um sistema computacional voltado à otimização do uso e da reutilização de EEE, além de fornecer informações sobre as melhores práticas para o gerenciamento sustentável desses resíduos. O sistema desenvolvido passou pelo processo de validação que buscou garantir a proteção dos dados contra erros, manipulação indevidas e acessos não autorizados. Após assegurar a confiabilidade do sistema, o mesmo foi devidamente registrado em nome da Universidade de Ribeirão Preto, sob o Pedido de Registro de Programa de Computador nº RPC 29409192335957633, com data de publicação de 10 de maio de 2025.

Palavras-chave: Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos - Sistema computacionais; Gerenciamento de resíduos sólidos; Instituição de Ensino Superior.

ABSTRACT

Technological advances have led to major transformations and significant impacts on human life and the environment. The use of technology has become indispensable for preserving the environment, and is fundamental for the expansion and efficiency of renewable energy sources, thus emphasizing its importance in combating climate change, which is mainly driven by the excessive release of greenhouse gases resulting from human activities. Among these activities is the improper disposal of waste electrical and electronic equipment (WEEE), which not only exacerbates environmental problems, but also promotes the unsustainable extraction of natural resources. The rapid obsolescence of electrical and electronic equipment (EEE) results in large quantities of waste, which is often improperly disposed of in inappropriate environments. Responsible management of this waste is therefore essential to mitigate adverse environmental impacts and combat climate change. Higher Education Institutions (HEIs), as trainers of responsible citizens, play a fundamental role in educating and raising awareness of the environmental and health impacts caused by the improper disposal of this waste. In this way, HEIs act as catalysts for positive change, integrating education, technological innovation and sustainable practices in the management of WEEE. This study aims to present the main types of WEEE generated by information technology activities in HEIs, as well as to address the specific regulations and legislation in force regarding the disposal of this waste. It also explores relevant elements of reverse logistics and the sectoral agreements in force in Brazil, as well as explaining management information systems and their role in supporting decision-making. The literature review highlights the fundamental role of HEIs in raising awareness about the proper disposal of WEEE, highlighting their commitment around the world to innovation and research aimed at developing technologies that help the sustainable management of this waste. In view of this, the purpose of this study is to develop a system that enables the management of WEEE, with a focus on reducing its generation, reusing its components and supporting proper disposal. To this end, methodological concepts were presented, ranging from planning to the design of the proposed system. During this process, the gap that the system seeks to fill was identified and the possible causes of the problem were analyzed, in addition to identifying the main authors involved. A requirements analysis was also carried out, which helped to understand the system's expected functionalities. Graphical representations were also used to provide a detailed view of the structure and intended functioning of the solution developed. The conclusion is that a computer system has been developed to optimize the use and reuse of EEE, as well as providing information on best practices for the sustainable management of this waste. The system developed underwent a validation process to ensure that the data was protected against errors, improper manipulation and unauthorized access. After ensuring the system's reliability, it was duly registered in the name of the University of Ribeirão Preto, under Computer Program Registration Application No. RPC 29409192335957633, with a publication date of May 10, 2025.

Keywords: Waste electrical and electronic equipment - Computer systems; Solid waste management; Higher Education Institution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Seguimento de mercado dos sistemas identificados na pesquisa <i>online</i>	34
Figura 2 - Grupos de sistemas de gestão de resíduos	35
Figura 3 - Armazenamento incorreto de REEE.....	38
Figura 4 - Descarte inadequado de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos	40
Figura 5 – Diagrama de manejo dos EEE dentro de uma IES investigada	68
Figura 6 - Fluxo de uso de um aplicativo móvel para gerenciamento de REEE.....	71
Figura 7 - Caixa inteligente de coleta de resíduo eletroeletrônico	72
Figura 8 - Arquitetura do Sistema de coleta de REEE	73
Figura 9 – Fluxograma do ciclo para o desenvolvimento do sistema	81
Figura 10 - Diagrama de <i>Ishikawa</i>	84
Figura 11 - Diagrama de <i>Stakeholders</i>	85
Figura 12 - Diagrama de modelagem de sistema	87
Figura 13 - Diagrama <i>Use Case</i> de Visualizar Estrutura Funcional do Sistema.....	88
Figura 14 – Diagrama <i>Use Case</i> de Sistema Cadastrar Usuário	89
Figura 15 - Diagrama <i>Use Case</i> de Sistema Efetuar <i>Login</i>	91
Figura 16 – Diagrama <i>Use Case</i> de Sistema Solicitar Retirada de EEE.....	91
Figura 17 – Diagrama <i>Use Case</i> de Sistema Acessar Rotinas	92
Figura 18 - Diagrama <i>Use Case</i> de Sistema Receber Solicitação	93
Figura 19 – Diagrama <i>Use Case</i> de Sistema Cadastrar.....	93
Figura 20 – Diagrama <i>Use Case</i> de Sistema Consultar.....	94
Figura 21 – Diagrama <i>Use Case</i> de Sistema Consultar EEE	95
Figura 22 - Diagrama <i>Use Case</i> de Sistema Consultar Setor/Local de Armazenamento.....	96
Figura 23 - Diagrama <i>Use Case</i> de Sistema Alterar.....	97
Figura 24 - Diagrama <i>Use Case</i> de Sistema Excluir/Desativar.....	98
Figura 25 - Diagrama <i>Use Case</i> de Sistema Gerar Relatório	99
Figura 26 - Diagrama de Classe	105
Figura 27 - <i>Storyboard</i>	107
Figura 28 - Protótipo de baixa fidelidade - Tela inicial do sistema.....	108
Figura 29 - Protótipo de alta fidelidade - Tela de eletroeletrônicos	109
Figura 30 - Protótipo de alta fidelidade - Detalhes do tipo equipamento selecionado.....	110
Figura 31 - Protótipo de alta fidelidade - Cadastro de usuário.....	110

Figura 32 - Tela inicial do sistema SisGRE3	113
Figura 33 - Cadastrar IES e criar conta mestra.....	114
Figura 34 - Tela inicial da conta mestra	115
Figura 35 – Cadastro de usuário administrador.....	116
Figura 36 – Recebimento do <i>e-mail</i> com a senha de primeiro acesso.....	116
Figura 37 - Senha de primeiro acesso.....	117
Figura 38 - Cadastrar nova unidade da IES.....	117
Figura 39 - Alterar imagem da IES	118
Figura 40 - Cadastro de usuário operador	119
Figura 41 - Tela de primeiro acesso	120
Figura 42 - Tela de <i>login</i>	120
Figura 43 - Portal do operador.....	121
Figura 44 - Registrar chamados.....	122
Figura 45 - Chamado aberto e fechado.....	122
Figura 46 - Mural de informações	123
Figura 47 - Portal do administrador.....	124
Figura 48 - Filtrar por tipo de EEE.....	125
Figura 49 - Visualizar detalhes dos EEE	125
Figura 50 – Justificar alteração de componentes.....	126
Figura 51 - Equipamento incompleto	127
Figura 52 - Justificar baixa em equipamento.....	127
Figura 53 - Inserir EEE ou tipo de EEE	128
Figura 54 - Adicionar tipo de EEE	129
Figura 55 - Adicionar campos pré-definidos (lista).....	129
Figura 56 - Cadastro de EEE	130
Figura 57 - Tela de chamados do administrador	131
Figura 58 - Observações sobre o chamado fechado	131
Figura 59 - Fechar chamado	132
Figura 60 - Tela de usuários	133
Figura 61 - Alterar usuário existente	133
Figura 62 – Cadastrar conta de usuário	134
Figura 63 - IES cadastradas	135
Figura 64 - Instalações da unidade Ribeirão	136
Figura 65 - Instalações da unidade Guarujá	136

Figura 66 - Painel de informações	137
Figura 67 - Salvar arquivos de orientações	138
Figura 68 - Adicionar orientações	138
Figura 69 - Tela de relatórios	139
Figura 70 - Gerar relatórios	140
Figura 71 - Salvar relatórios	141
Figura 72 - Encerrar sessão do sistema	142
Figura 73 – Registro dos dados da empresa	143
Figura 74 - Tentativa de alteração dos dados da empresa	144
Figura 75 - Portal do administrador, <i>dashboard</i> chamados.....	145
Figura 76 - Adicionar formulário de EEE	146
Figura 77 - Editar formulário de EEE	146
Figura 78 - Cadastro de EEE monitor	147
Figura 79 - Monitores cadastrados no sistema	147
Figura 80 - Cadastro de EEE computador	148
Figura 81 - Computadores cadastrados no sistema	148
Figura 82 - Duplicidade de EEE com mesmo patrimônio.....	149
Figura 83 - Correção para não permitir a duplicidade de EEE.....	149
Figura 84 - Visualizar de forma detalhada os EEE do tipo computador	150
Figura 85 - Reutilizando peças de um EEE.....	150
Figura 86 - Equipamento que teve suas peças reutilizadas	151
Figura 87 - Baixa do EEE no sistema.....	151
Figura 88 - Tela dos EEE	152
Figura 89 - Relatório de movimentação de EEE (manejo).....	152
Figura 90 - Relatório movimentação de EEE (baixa de patrimônio)	153
Figura 91 - Tela de usuários do sistema	153
Figura 92 - Editar usuário	154
Figura 93 - Tela de usuário do campus Guarujá.....	154
Figura 94 - Relatório de usuários	155
Figura 95 - Tela 01 de instalações (setores e local de armazenamento).....	155
Figura 96 - Tela 02 de instalações (setores e local de armazenamento).....	156

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resultados de pesquisas <i>online</i> sobre tecnologias que apoiem na gestão e gerenciamento de REEE.....	31
Quadro 2 - Tipos de baterias e seus principais usos.....	42
Quadro 3 - Metas abrangidas e não abrangidas no Acordo Setorial.	48
Quadro 4 - Instrumentos da Política Nacional de Resíduos Sólido.....	52
Quadro 5 - Objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólido.....	53
Quadro 6 - Instrumentos do Decreto nº 10.936/2022.....	58
Quadro 7 - Exemplos SIG para apoio a tomada de decisão.	64
Quadro 8 - Definição do Problema.....	83
Quadro 9 - Diagrama <i>Use Case</i> de Sistema Visualizar Estrutura Funcional do Sistema.....	88
Quadro 10 - Diagrama <i>Use Case</i> de Sistema Cadastrar Usuário.	89
Quadro 11 - Diagrama <i>Use Case</i> de Sistema Alterar Usuário.	90
Quadro 12 - Diagrama <i>Use Case</i> de Sistema Desativar Usuário.	90
Quadro 13 - Diagrama <i>Use Case</i> de Sistema Consultar Usuário.	90
Quadro 14 - Diagrama <i>Use Case</i> de Sistema Efetuar <i>Login</i>	91
Quadro 15 - Diagrama <i>Use Case</i> de Sistema Solicitar Retirada de EEE.	92
Quadro 16 - Diagrama <i>Use Case</i> de Sistema Acessar Rotinas.....	92
Quadro 17 - Diagrama <i>Use Case</i> de Sistema Receber Solicitação.....	93
Quadro 18 - Diagrama <i>Use Case</i> de Sistema Cadastrar.	94
Quadro 19 - Diagrama <i>Use Case</i> de Sistema Consultar.....	94
Quadro 20 - Diagrama <i>Use Case</i> de Sistema Consultar EEE.	95
Quadro 21 - Diagrama <i>Use Case</i> de Sistema Consultar Setor.	96
Quadro 22 - Diagrama <i>Use Case</i> de Sistema Consultar Local de Armazenamento.....	96
Quadro 23 - Diagrama <i>Use Case</i> de Sistema Alterar.	97
Quadro 24 - Diagrama <i>Use Case</i> de Sistema Excluir.....	98
Quadro 25 - Diagrama <i>Use Case</i> de Sistema Gerar Relatório.	99
Quadro 26 - Requisitos funcionais da solução	100
Quadro 27 - Requisitos não funcionais da solução	101

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABINEE	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
APIs	<i>Application Programming Interface</i>
Art.	Artigo
BD	Banco de Dados
BR	Brasil
CD	<i>Compact Disc</i>
CEI	Centros de Educação Infantil
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CNM	Confederação Nacional de Municípios
CRM	<i>Customer Relationship Management</i>
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DVD	<i>Digital Video Disc</i>
DVI	<i>Digital Visual Interface</i>
EEE	Equipamentos Eletroeletrônicos
EIS	<i>Executive Information System</i>
EMEF	Escolas Municipais de Ensino Fundamental
EMEI	Escolas Municipais de Educação Infantil
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
FDSR	Ficha com Dados de Segurança de Resíduos
GPT	<i>Generative Pre-trained Transformer</i>
HDMI	<i>High-Definition Multimedia Interface</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IES	Instituição de Ensino Superior
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial
IoT	Internet das Coisas
Kg	Quilograma
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
LDAP	<i>Lightweight Directory Access Protocol</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
MEC	Ministério da Educação
MER	Modelo Entidade-Relacionamento

MMA	Ministério do Meio Ambiente
MP3	<i>MPEG Layer 3</i>
MPEG	<i>Moving Picture Experts Group</i>
MS	<i>Microsoft</i>
MTR	Manifesto de Transporte de Resíduos
NiCd	Níquel Cádmio
NiMH	Hidreto Metálico de Níquel
OLED	<i>Light-Emitting Diodes</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
OPAS	Organização Pan-Americana da Saúde
OS	<i>Operating System</i>
PDF	Portable Document Format
PCI	Placas de Circuito Impresso
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>
PEA	Programa de Educação Ambiental
PIEA	Programa Integrado de Educação Ambiental
PMGIRS	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PEV	Ponto de Entrega Voluntária
QLED	<i>Quantum Dot Light-Emitting Diodes</i>
REEE	Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos
RF	Requisitos Funcionais
RNF	Requisitos não Funcionais
RPC	Registro de Programa de Computador
RTC	<i>Real-time Clock</i>
SCM	<i>Supply Chain Management</i>
SGBD	Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados
SI	Sistema de Informação
SINIMA	Sistema Nacional de Informações sobre Meio Ambiente
SINIR	Sistema Nacional de Informações sobre a gestão de Resíduos Sólidos
SINISA	Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico
SIG	Sistema de Informação Gerencial
SISGRE3	Sistema de Gestão e Gerenciamento de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos

SMMA	Secretaria do Meio Ambiente
SP	São Paulo
TELECO	Companhia de Inteligência em Telecomunicações
TI	Tecnologia da Informação
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
IA	Inteligência Artificial
TV	Televisão
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UML	<i>Unified Modeling Language</i>
UNAERP	Universidade de Ribeirão Preto
USP	Universidade de São Paulo
VGA	<i>Video Graphics Array</i>
WR1	<i>Waste and Recycling One</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	27
1.1 HIPÓTESE	29
1.2 JUSTIFICATIVA	29
2 OBJETIVOS	36
2.1 OBJETIVO GERAL	36
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	36
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	37
3.1 RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS	37
3.1.1 <i>Resíduos Eletroeletrônicos Comuns nas IES.....</i>	<i>39</i>
3.1.1.1 <i>Placa de circuito impresso</i>	<i>39</i>
3.1.1.2 <i>Monitores e aparelhos de televisão</i>	<i>40</i>
3.1.1.3 <i>Computadores (desktop e notebooks).....</i>	<i>41</i>
3.1.1.4 <i>Pilhas e baterias</i>	<i>42</i>
3.2 GERAÇÃO DE REEE PRUDUZIDOS NO BRASIL, LOGÍSTICA REVERSA E ACORDOS SETORIAIS.....	43
3.2.1 <i>Geração de REEE no Brasil.....</i>	<i>43</i>
3.2.2 <i>Logística Reversa, Acordos Setoriais no Brasil e Economia Circular</i>	<i>45</i>
3.2.2.1 <i>Logística reversa</i>	<i>45</i>
3.2.2.2 <i>Acordos setoriais</i>	<i>47</i>
3.2.2.3 <i>Economia circular</i>	<i>49</i>
3.3 LEGISLAÇÕES ESPECÍFICAS	50
3.3.1 <i>Política Nacional de Resíduos Sólidos – Lei nº 12.305/2010</i>	<i>50</i>
3.3.2 <i>Decreto nº 10.240/2020.....</i>	<i>55</i>
3.3.3 <i>Decreto nº 10.936/2022.....</i>	<i>56</i>
3.3.4 <i>Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) – RP/SP..</i>	<i>59</i>
3.4 SISTEMA DE INFORMAÇÃO E TECNOLOGIAS UTILIZADAS PARA	
GESTÃO DE REEE.....	61
3.4.1 <i>Sistema de Informação</i>	<i>61</i>
3.4.2 <i>Sistema de Informação para Apoio a Tomada de Decisão</i>	<i>62</i>
3.4.3 <i>O Uso da Tecnologia para Gestão e Gerenciamento dos Resíduos Sólidos.....</i>	<i>64</i>
3.4.4 <i>Sistemas de Gerenciamento de REEE</i>	<i>67</i>
3.5 CONCEITOS DE ARQUITETURA DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO.....	74

3.5.1 Definição do Problema.....	74
3.5.2 Diagrama de Ishikawa ou Diagrama de Causa e Efeito.....	74
3.5.3 Stakeholders	75
3.5.4 Usuários do Sistema.....	75
3.5.5 Análise de Requisitos do Sistema	75
3.5.6 Limite Sistêmico.....	76
3.5.7 Lista de Restrições.....	76
3.5.8 Modelagem Conceitual.....	76
3.5.9 Modelagem de Sistema	77
3.5.10 Linguagem UML - Use Case	77
3.5.11 Definição de Linguagem de Programação.....	78
3.5.12 Definição de Banco de Dados	78
3.5.13 Modelagem de Banco de Dados	79
4 MATERIAL E MÉTODOS	80
4.1 NATUREZA DO ESTUDO.....	80
4.2 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE INFORMAÇÃO PARA GERENCIAMENTO DE REEE	80
4.2.1 Planejamento.....	82
4.2.1.1 Definição do problema	82
4.2.1.2 Diagrama de Ishikawa ou Diagrama de Causa e Efeito.....	83
4.2.1.3 Stakeholders	84
4.2.2 Análise de Requisitos.....	86
4.2.2.1 Modelagem de sistema.....	86
4.2.2.2 Diagramas de Use Cases.....	87
4.2.3 Definição de Linguagens e Estrutura.....	101
4.2.3.1 Linguagem de programação.....	101
4.2.3.2 Banco de dados.....	102
4.2.4 Projetar Arquitetura de Armazenamento de Dados	103
4.2.5 Interfaces de Sistema/Design.....	106
4.2.5.1 Storyboard.....	106
4.2.5.2 Prototipação	107
4.2.6 Desenvolvimento do Sistema	111
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	112
5.1 SISTEMA SISGRE3.....	112

5.1.1 Tela Inicial.....	112
5.1.2 Cadastrar IES.....	113
5.1.3 Portal da Conta Mestra.....	114
5.1.3.1 Cadastro contas de administrador pela conta mestra.....	115
5.1.3.2 Cadastrar novas unidades da IES.....	117
5.1.4 Portal do Operador.....	118
5.1.4.1 Registrar chamados.....	121
5.1.4.2 Menu informações.....	123
5.1.5 Portal do Administrador.....	123
5.1.5.1 Eletroeletrônicos.....	124
5.1.5.2 Chamados.....	130
5.1.5.3 Usuários.....	132
5.1.5.4 Instituições.....	134
5.1.5.5 Instalações.....	135
5.1.5.6 Informações.....	137
5.1.5.7 Relatórios.....	139
5.1.6 Encerrar uso do Sistema SisGRE3.....	141
5.2 VALIDAR SISTEMA SISGRE3.....	142
5.2.1 A importância de validar um sistema.....	142
5.2.2 Validar a segurança e a proteção do sistema.....	142
5.2.3 Validar funcionalidades do sistema e integridade dos dados.....	145
5.3 INSTRUÇÕES DE ONDE BAIXAR E COMO UTILIZAR O SISTEMA.....	156
5.3.1 Registro do Sistema.....	156
6 CONCLUSÃO.....	158
REFERÊNCIAS.....	160
APÊNDICE I.....	170
APÊNDICE II.....	172

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a sociedade está imersa em um período de notáveis transformações, adaptações e conexões, impulsionadas em grande parte pelo avanço tecnológico. Neste contexto em que as informações circulam velozmente, empresas e pessoas estão cada vez mais conectadas, realidade onde o papel da tecnologia em nossas vidas tem impacto significativo e abrangente. Desta forma, é inegável que a tecnologia é um instrumento crucial no combate às mudanças climáticas, as quais representam transformações significativas nos padrões do clima do planeta ao longo do tempo, sendo impulsionadas principalmente pela liberação excessiva de gases de efeito estufa resultantes de atividades humanas.

Entre essas atividades, destaca-se o descarte inadequado de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE), que não apenas agrava a problemática ambiental, mas também impulsiona a extração insustentável de recursos naturais. Portanto, o manejo correto e responsável dos resíduos eletroeletrônicos emerge como um componente essencial não apenas na mitigação dos impactos ambientais adversos, mas também como uma estratégia eficaz no combate às mudanças climáticas, onde a temperatura da Terra atingiu cerca de 1,1 °C mais alta do que no final do século XIX, e a concentração de gases de efeito estufa atingindo níveis não vistos em 2 milhões de anos (FERNÁNDEZ, 2019).

As Instituições de Ensino Superior (IES) ocupam uma posição crucial no manejo adequado dos REEE, onde desempenha-se um papel multifacetado que transcende a mera educação e conscientização acerca dos impactos ambientais e de saúde associados ao descarte inadequado. Além de fomentar um entendimento aprofundado sobre essas questões, as IES estão na vanguarda da pesquisa, que visam encontrar soluções inovadoras para a reciclagem e reutilização dos REEE. Esta abordagem inclui o desenvolvimento de novas tecnologias destinadas tanto ao tratamento eficaz desses resíduos quanto à redução de sua geração, inscrevendo-se assim numa estratégia mais ampla de sustentabilidade. Desta forma, as IES atuam como catalisadoras de mudanças positivas, alinhando educação, inovação tecnológica e práticas sustentáveis.

Em um contexto de rápida evolução tecnológica, as IES enfrentam o desafio de gerenciar seu crescente parque tecnológico, especialmente quando os equipamentos se tornam obsoletos e não mais satisfazem às necessidades para os quais foram adquiridos. Esta constante renovação tecnológica, alimentada por uma cultura de rápida substituição de equipamentos, amplia a necessidade de uma gestão eficaz dos REEE. Nesse cenário, as IES emergem como formadoras

de opinião e cidadãos, com a responsabilidade de apoiar políticas de sustentabilidade e de disseminar informações relevantes à sociedade. A revisão da literatura realizada neste estudo, destaca o papel fundamental dessas instituições na sensibilização da sociedade para a importância do descarte apropriado e na separação dos resíduos eletroeletrônicos do lixo comum.

Observa-se que algumas IES ao redor do mundo, por meio de parcerias, têm implementado pontos de entrega voluntária de REEE em seus campi, incentivando a população a descartar corretamente os REEE domésticos. O desenvolvimento de softwares que indicam os locais de coleta mais próximos e introduz formas de recompensas para incentivar práticas ambientalmente responsáveis tem se tornado cada vez mais comum em cidades como Banda Aceh, localizada na Indonésia ou Monash na Malásia. Além disso, as IES têm fomentado a inovação, nos quais, pesquisadores desenvolveram tecnologias como caixas inteligentes para a coleta de resíduos eletroeletrônico doméstico, equipadas com sensores. Essas caixas são capazes de medir o volume de resíduos coletados e registrar os dados de descarte, proporcionando uma gestão eficiente e baseada em dados.

Para Audy (2017), as universidades brasileiras atuam em um cenário dinâmico, sendo impactadas por mudanças sociais, políticas e tecnológicas, sendo exigido uma articulação singular entre os três nos pilares: ensino, pesquisa e extensão. Assim, as universidades desempenham um papel fundamental na formação de pessoas capacitadas e no fortalecimento de empresas inovadoras, impulsionando o desenvolvimento tecnológico sustentável com a responsabilidade social.

A busca na literatura reforçou a necessidade da implementação de sistemas de apoio à decisão que podem ser cruciais para maximizar o tempo de vida útil dos equipamentos de tecnologia da informação. Assim, o objetivo deste estudo é o desenvolvimento de um sistema computacional intuitivo que apoie a gestão e gerenciamento dos REEE em IES, promovendo o reaproveitamento de peças e garantindo o descarte adequado de equipamentos obsoletos. Além de fornecer um ambiente com instruções de uso de maneira efetiva e informações sobre melhores prática gerenciamento adequado destes resíduos.

1.1 HIPÓTESE

A implementação de um sistema computacional especializado para o gerenciamento de REEE em IES contribuirá para a otimização da utilização e reutilização desses resíduos, bem como dará apoio na disposição ambientalmente adequada, em conformidade com a legislação vigente.

1.2 JUSTIFICATIVA

O uso de tecnologia tornou-se indispensável para o processo de ensino-aprendizagem. A crescente demanda por tecnologias inovadoras que promovam maior interação entre alunos e professores e, possibilite garantir uma formação adequada aos discentes, faz com que as IES invistam significativamente na aquisição de equipamentos eletroeletrônicos (EEE). No entanto, essa busca pela modernização também levanta preocupações consideráveis relacionados à gestão adequada dos equipamentos eletroeletrônicos obsoletos, que muitas vezes são acumulados de maneira inadequada em ambientes não apropriados. A disposição inadequada dos REEE não apenas agrava questões ambientais, mas também representa uma oportunidade perdida de reciclagem e reutilização. A reutilização de REEE oferece múltiplos benefícios, incluindo o prolongamento da vida útil do equipamento contribuindo com a economia financeira da IES e dos recursos naturais, a redução da emissão de gases de efeito estufa decorrente da produção de novos equipamentos, e a diminuição da pressão sobre aterros sanitários.

Por conseguinte, acredita-se que o desenvolvimento de um sistema computacional pode ser uma ferramenta valiosa para auxiliar as IES na gestão e no gerenciamento dos REEE gerados por elas. Esse sistema tem como propósito facilitar os procedimentos de reaproveitamento e descarte responsável dos REEE, integrando funcionalidades que permitem uma gestão eficiente e sustentável. Ao facilitar a catalogação de equipamentos e de identificar oportunidades de reaproveitamento, reduzindo o acúmulo de equipamentos que não serão mais necessários. Em essência, a implementação de um *software* de gestão e gerenciamento de REEE constitui um passo significativo em direção ao fortalecimento da sustentabilidade na educação, alinhando-se com os objetivos globais de redução de impacto ambiental e maximização da eficiência de recursos. Além de incentivar uma consciência ecológica mais ampla entre estudantes, professores e a comunidade.

Ao realizar pesquisas *online* sobre tecnologias que auxiliam na gestão e no gerenciamento de REEE, encontram-se referências tecnológicas de diversas naturezas. Dentre elas, destacam-se: empresas especializadas em consultoria, que auxiliam organizações na adequação às regulamentações referentes ao descarte de resíduos; *softwares* específicos para o setor de reciclagem, os quais oferecem funcionalidades integradas que otimizam as operações de transporte e processamento de resíduos; e tecnologias voltadas para empresas responsáveis pela coleta e transporte desses materiais. O Quadro 1 apresenta alguns *softwares* de gerenciamento de resíduos disponíveis. Essas soluções tecnológicas visam aprimorar a administração de resíduos, garantir a conformidade com a legislação vigente e promover práticas mais sustentáveis em diversos setores. Ademais, não foram identificadas referências de *softwares* específicos que ofereçam suporte à gestão e gerenciamento de REEE de modo a viabilizar o reaproveitamento de peças e componentes, prolongando a vida útil desses equipamentos como o sistema proposto neste estudo. Essa lacuna é relevante, pois a ausência de ferramentas especializadas limita a aplicação efetiva dos princípios da economia circular, que visa reduzir a geração de resíduos por meio da recuperação e reutilização e inserção de materiais no ciclo produtivo. A pesquisa online evidencia que cerca de 65% dos *softwares* identificados são nacionais (*Resiclean; DigiMoney; LR Gerenciamento de resíduos; Easy - SGR - SAGI; Sucatadigital; Vertown e Vision Controller*), demonstrando o protagonismo do país na criação de ferramentas para gestão de resíduos. Esse avanço reflete um compromisso crescente com práticas sustentáveis, contribuindo para o progresso da economia circular no Brasil. Além de *softwares*, a pesquisa *online* traz abordagens sobre a necessidade de gerenciamento dos REEE para a construção de um futuro sustentável.

Se faz necessário compreender e distinguir os conceitos de gestão e gerenciamento. A gestão refere-se à definição de diretrizes estratégicas, estando relacionada ao planejamento de longo prazo e à tomada de decisões. Trata-se de um conceito amplo, que engloba o gerenciamento como uma de suas funções. Por sua vez, o gerenciamento diz respeito à execução e operacionalização, concentrando-se na administração cotidiana, na alocação de recursos e no controle, visando assegurar a implementação eficiente das estratégias estabelecidas. Em síntese, enquanto a gestão é um conceito abrangente e estratégico, o gerenciamento está voltado para a dimensão operacional, envolvendo a execução e o controle (HELEN, 2022).

Quadro 1 - Resultados de pesquisas *online* sobre tecnologias que apoiem na gestão e gerenciamento de REEE.

(continua)

Finalidade	Empresa	Solução	Descrição
Softwares que apoiam na gestão e gerenciamento de resíduos	<i>Resiclean ambiental</i>	<i>Resiclean</i>	Empresa voltada ao gerenciamento de resíduos sólidos industriais, atendendo às necessidades de coleta especializada e descarte apropriado dos resíduos. O <i>Resiclean</i> é um <i>software</i> especializado na gestão de resíduos no cumprimento de prazos e no controle de licenças e documentos, emitindo lembretes e alertas sobre os prazos de entrega.
	<i>Sphera</i>	<i>SpheraCloud</i>	Oferece soluções de sustentabilidade e conformidade ambiental, com consultoria especializada para auxiliar organizações a cumprirem as regulamentações de descarte de resíduos. Como parte de sua abordagem integrada, a <i>Sphera</i> disponibiliza o <i>SpheraCloud</i> , uma plataforma de <i>software</i> projetada para monitorar e gerenciar resíduos de forma eficiente e transparente, visando o monitoramento e gerenciamento desde a geração ao descarte final, proporcionando visibilidade e controle sobre os processos. Combinando dados e consultoria estratégica, a <i>Sphera</i> capacita as empresas a atenderem os requisitos regulatórios.
	<i>Diginews</i>	<i>DigiMoney</i>	A <i>Diginews</i> oferece um <i>software</i> para o setor de coleta de resíduos e locação de equipamentos, projetado para dinamizar o fluxo de trabalho e melhorar a comunicação interna. A solução integra módulos que cobrem desde operações básicas até questões estratégicas, incluindo processos fiscais e operacionais, proporcionando uma gestão completa e eficiente.
	<i>Discovery</i>	<i>Discovery</i>	Ferramenta de gestão de custos e faturas baseado na nuvem, criado para o setor de gestão de resíduos e reciclagem. A plataforma oferece vários recursos, como: auditoria e contas a receber/contas a análise preditiva, automação de processos, ferramentas de colaboração entre outras.
	ISB Global	WR1	O <i>Waste and Recycling One (WR1)</i> é uma solução de gerenciamento de resíduos desenvolvido para empresas do setor de resíduos e reciclagem. O <i>software</i> padroniza, integra, simplifica e automatiza processos relacionados à gestão de resíduos e reciclagem, promovendo a economia circular. A solução abrange todas as etapas, desde a coleta até a reciclagem e venda de materiais, oferecendo funcionalidades como análise e relatórios, gestão financeira, transporte, gerenciamento de rotas, contratos e aplicativos para motoristas.
	Líder Resíduos	LR Gerenciamento de resíduos	<i>Software</i> para empresas de coleta, gestão e transporte de resíduos. Entre as funcionalidades disponíveis, destacam-se: Alertas de vencimento de licenças: para garantir conformidade com prazos legais; Emissão automática de documentação: como o Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR), Ficha com Dados de Segurança de Resíduos (FDSR), Ficha de Emergência, entre outros documentos essenciais. A solução visa otimizar processos, garantir conformidade legal e facilitar a gestão integrada de resíduos.
	Nubelus	<i>Waster</i>	Uma solução de planejamento de recursos empresariais para gestão de resíduos industriais. É um aplicativo de desktop que abrange as operações de gestão de resíduos e apresenta relatórios de gestão. O sistema gera documentação automaticamente para remoção e transporte. Também abrange notificações de remessa e declarações de controle de destino para autoridades ambientais.
	<i>Sygecom</i>	<i>Easy</i> <i>SGR</i> <i>SAGI</i>	Especializada em gestão de resíduos e reciclagem no Brasil, com foco no monitoramento de frotas. Oferece três sistemas principais, adaptados a diferentes portes de empresas: <i>Easy</i> - indicado para empresas iniciantes em reciclagem, com custo acessível, oferece controle básico de fornecedores, clientes, pesagens, agendamentos, produtos, finanças e acesso; <i>SGR</i> - voltado para pequenas e médias empresas, é um sistema compacto que gerencia todos os processos essenciais para empresas de reciclagem; <i>SAGI</i> - recomendado para médias e grandes empresas, especialmente aquelas que trabalham com aparas de papel, plástico, sucata de ferro e não ferroso. Inclui módulos como: contratos, comprador, mala direta, agenda de contatos, regras de preços e comissões, alertas de inatividade comercial e CRM.

(conclusão)

	Sucata digital	Sucata digital	Empresa especializada na coleta, gestão e comércio de resíduos, sejam: eletroeletrônicos, sobras industriais e sucatas diversas. Com foco na emissão do Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR), documento que permite o rastreamento de resíduos durante todo o processo de transporte e destinação final, é uma forma de garantir que os resíduos gerados por uma empresa sejam destinados corretamente, em conformidade com as normas e legislações ambientais.
	Vertown	Vertown Gestão de resíduos	Comercializa um <i>software online</i> de gestão de resíduos, projetado para otimizar processos e gerenciar coprodutos gerados durante a produção. A solução abrange todo o ciclo de vida dos resíduos, da geração à destinação final, promovendo eficiência operacional e suporte às conformidades com normas e regulamentações ambientais.
	Visionresíduos	<i>Vision Controller</i>	Fornecer um <i>software</i> de gestão empresarial focado no setor de resíduos e recicláveis. A solução atende empresas de coleta, tratamento e reciclagem, buscando otimizar processos, reduzir custos e melhorar o fluxo de informações em toda a cadeia operacional. O sistema cobre desde a coleta dos resíduos até o faturamento, passando pela emissão do Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR), o transbordo em estações, o tratamento e a destinação final. A plataforma foi projetada para atender às necessidades específicas do setor de resíduos e recicláveis de forma integrada e eficiente.
	Wolters Kluwer	<i>Enablon Waste Management</i>	Desenvolvido para auxiliar empresas no gerenciamento e monitoramento de resíduos industriais em diversos fluxos operacionais, como transporte, tratamento, armazenamento e descarte, o software garante conformidade regulatória e mantém trilhas de auditoria. Além de oferecer funcionalidades como: gestão de estoques, colaboração, criação de painéis, reconhecimento de código de barras, gestão de distribuição e rastreamento de equipamentos. O aplicativo também mede indicadores de risco, estima custos futuros de descarte e rastreia regulamentos específicos vinculados a licenças, tipos de resíduos e datas de vencimento.
Abordagens sobre a necessidade de gerenciamento dos REEE para a construção de um futuro sustentável			
Site	Assunto	Conteúdo	
MaliBrasil	Gerenciamento Eficiente de Resíduos Eletrônicos	<p>As inovações tecnológicas desempenham um papel crucial na melhoria dos processos de reciclagem de resíduos eletrônicos, permitindo uma abordagem mais eficiente e sustentável para lidar com esses materiais complexos. Tecnologias avançadas, como separação por gravidade, triagem automatizada e processos químicos, estão revolucionando o tratamento de REEE, desmontando e reciclando dispositivos eletrônicos com maior eficácia. Além disso, a automação e a robótica têm sido cada vez mais utilizadas em instalações de reciclagem, aumentando a velocidade e a precisão dos processos, promovendo um gerenciamento mais eficiente desses resíduos.</p> <p>As inovações tecnológicas também são fundamentais no desenvolvimento de técnicas de reciclagem que visam à recuperação de materiais específicos, como metais preciosos, plásticos e vidro. Esses materiais podem ser separados e recuperados de forma mais eficaz, reduzindo o desperdício e aumentando o valor econômico da reciclagem de resíduos eletrônicos.</p>	
TransLix	Como melhorar a gestão de resíduos eletrônicos através da tecnologia e inovação nas empresas?	<p>As soluções tecnológicas são fundamentais para a gestão de REEE nas empresas, onde visam auxiliar desde as etapas de coleta, armazenamento temporário, remoção de etiquetas de identificação, destinação final, rastreabilidade ambiental, elaboração de planos de gerenciamento, monitoramento de obrigações, geração de relatórios de desempenho, documentação de registros, até a gestão estratégica por meio de gráficos e relatórios automáticos. Além disso, promovem a conscientização sobre a redução de resíduos.</p> <p>A integração de tecnologias permite otimizar todo o processo, desde a disposição inicial até o tratamento final, possibilitando reutilização e reciclagem. A digitalização melhora a eficiência, reduz custos e desperdícios, facilita o controle total do processo e automatiza a geração de documentos exigidos por lei, além de auxiliar na busca por melhores preços e na gestão de fornecedores.</p>	

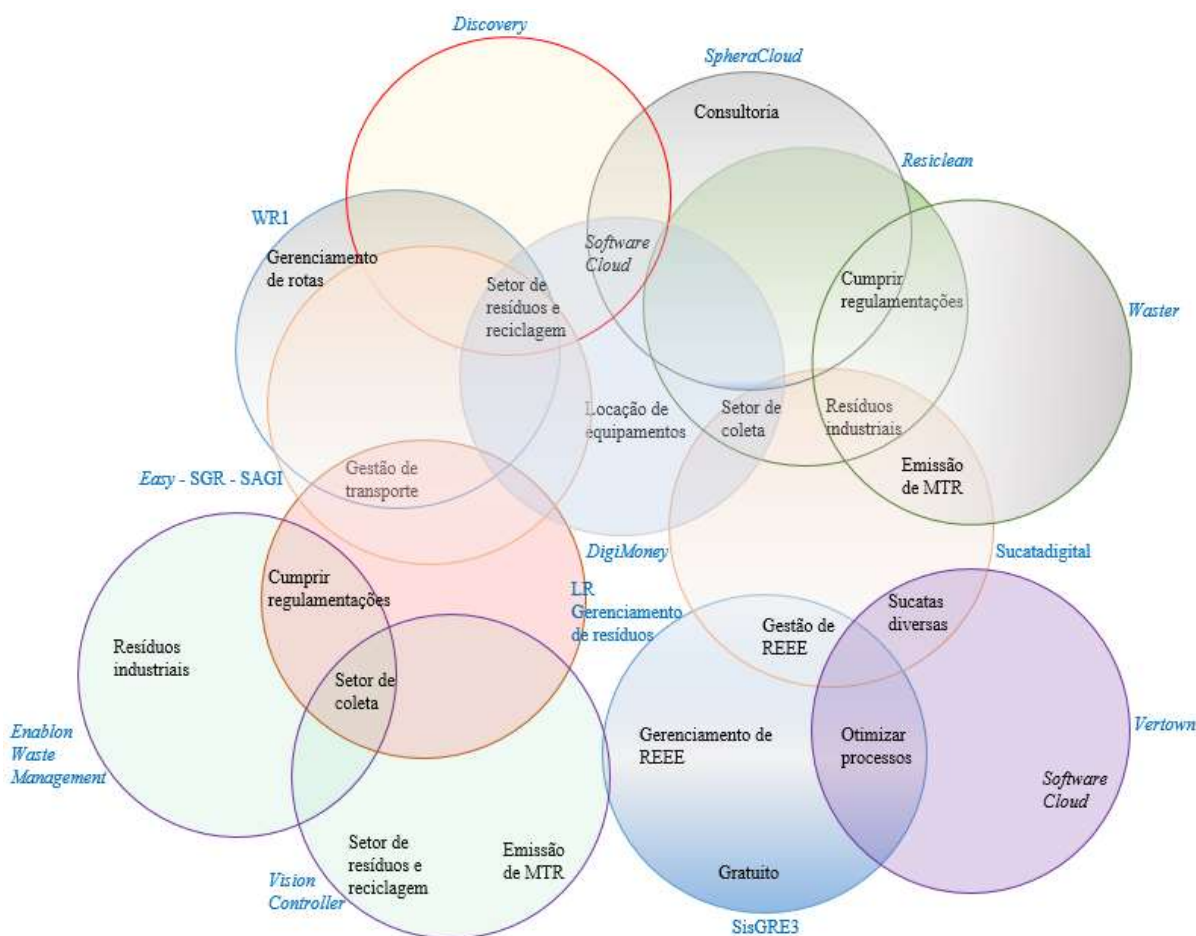
Fonte: Autoria própria (2025).¹

¹ As informações apresentadas no Quadro 1, foram coletadas dos seguintes sites: <https://www.resiclean.com.br/software-gestao-residuos>; <https://sphaera.com/solutions/environment-health-safety-sustainability>; <https://www.diginews.com.br/digimoney-win-erp>;

Por meio da Figura 1, evidencia-se de forma clara, o seguimento de mercado que cada sistema identificado na pesquisa *online* busca atender. Constata-se que, com exceção do sistema proposto neste estudo (SisGRE3), todas as demais soluções tecnológicas concentram-se no apoio à gestão e gerenciamento de resíduos em geral. Essas plataformas abrangem desde as etapas iniciais de coleta, armazenamento temporário e remoção de etiquetas de identificação até processos mais complexos, como destinação final, rastreabilidade ambiental, elaboração de planos de gerenciamento, monitoramento de obrigações legais, geração de relatórios de desempenho e documentação de registros. Além disso, alguns desses sistemas oferecem funcionalidades de gestão de estoques, colaboração, criação de painéis, reconhecimento de códigos de barras, gerenciamento de distribuição e rastreamento de equipamentos, entre outras funcionalidades. Entretanto, apenas o SisGRE3 destaca-se por possibilitar a gestão e o gerenciamento de REEE, com foco na redução da geração e no reaproveitamento de seus componentes, alinhando-se aos princípios da economia circular.

<https://www.getapp.com.br/software/2059703/discovery>; <https://www.isb-global.com/waste-recycling-one>;
<https://www.liderresiduos.com.br/software-gerenciamento-residuos>; <https://www.nubelus.es>;
<https://www.sygecom.com.br>; <https://sucatadigital.com.br>; <https://www.vertown.com>;
<https://visionresiduos.com.br>; <https://www.getapp.com.br/directory/1321/waste-management/software>;
<https://malibrasilreversa.com.br/blog/gerenciamento-eficiente-de-residuos-eletronicos>;
<https://tipotemporario.com.br/translix/blog/como-melhorar-gestao-de-residuos-eletronicos-atraves-da-tecnologia-e-inovacao-nas-empresas>.

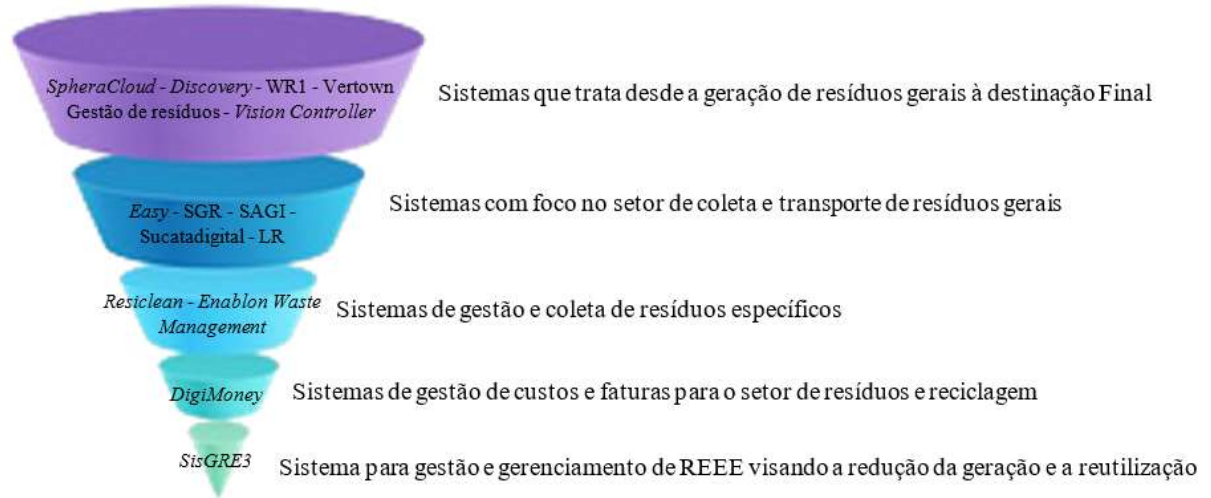
Figura 1 - Seguimento de mercado dos sistemas identificados na pesquisa *online*



Fonte: Autoria própria (2025).

Na Figura 2, os *softwares* foram classificados em cinco grupos distintos conforme seguimento de mercado de atuação: o primeiro grupo refere-se aos sistemas ERP, sistemas que abrangem desde a geração do resíduo até sua destinação final. Fazem parte deste grupo os sistemas: *SpheraCloud*, *Discovery*, *WR1*, *Vertown* Gestão de Resíduos e *Vision Controller*; o segundo grupo são dos sistemas voltados para a coleta e transporte de resíduos gerais, este grupo incluem os *softwares*: *Easy*, *SGR*, *SAGI*, *Sucatadigital* e *LR* Gerenciamento de Resíduos; na sequência vem o grupo de sistemas de gestão e coleta de resíduos específicos, neste grupo encontram-se: *Resiclean* e *Enablton Waste Management*; o quarto grupo é dos sistemas de gestão de custos e fatura para o setor de resíduos e reciclagem, que conta com o *software* *DigiMoney* e por fim, o grupo de sistema que busca preencher a lacuna entre a gestão e o gerenciamento de REEE, com foco na redução da geração e na reutilização desses resíduos, com o sistema *SisGRE3*. Assim, reforça a singularidade do *SisGRE3* no cenário atual de soluções tecnológicas, destacando sua contribuição para uma abordagem mais sustentável no manejo de REEE.

Figura 2 - Grupos de sistemas de gestão de resíduos



Fonte: Autoria própria (2025).

2 OBJETIVOS

Neste capítulo são apresentados os objetivos geral e específicos deste estudo.

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver e validar um sistema computacional para a gestão sustentável de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE) em Instituições de Ensino Superior (IES), capaz de otimizar o gerenciamento desses resíduos, abrangendo desde a redução na sua geração até a disposição final.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos são:

- Apresentar os principais tipos de REEE gerados pelas atividades de Tecnologia da Informação (TI) em IES;
- Abordar os principais aspectos da logística reversa e dos acordos setoriais vigentes no Brasil, com foco em sua implementação, desafios e contribuições para a gestão sustentável de resíduos de equipamento eletroeletrônicos;
- Abordar as normas e legislações vigentes que regulamentam o descarte adequado de REEE no contexto nacional, destacando seus objetivos, diretrizes e aplicabilidade;
- Explicar a respeito de sistemas de informação gerencial, destacar seu papel no suporte à tomada de decisões estratégicas e apresentar as definições de sistemas de gestão de REEE existentes;
- Apresentar conceitos de modelagens de negócio, sistemas e banco de dados, visando o desenvolvimento de um sistema computacional voltado à gestão e ao gerenciamento dos REEE.
- Desenvolver o sistema com arquitetura escalável e de fácil manutenção, garantindo flexibilidade para incorporar novas funcionalidades.
- Validar o sistema desenvolvido, assegurando que suas funções sejam executadas de forma consistente e confiável, com foco na proteção dos dados contra erros, manipulações indevidas e acessos não autorizados.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Nesse capítulo dispõe-se uma revisão da literatura que contempla a geração de REEE no Brasil, os impactos socioambientais causados pelo gerenciamento inadequado de resíduos sólidos; as legislações específicas que tratam a respeito dos EEE e seus resíduos, como: Política Nacional de Resíduos Sólidos, Logística Reversa e Acordo Setoriais no Brasil, os e o Decreto nº 10.240/2020 e Decreto nº 10.936/2022.

3.1 RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS

Os impactos das grandes mudanças resultantes dos avanços tecnológicos recentes são evidentes atualmente. As instituições de ensino superior (IES) desempenham um papel fundamental na influência da transformação digital, moldando o comportamento das pessoas que estão cada vez mais conscientes da importância das inovações em suas vidas. Para acompanhar essa evolução, as IES estão fazendo investimentos substanciais em tecnologia, não apenas para reduzir a evasão escolar, mas também para enriquecer a experiência dos alunos e alinhar-se com consonância com suas preocupações crescentes com a sustentabilidade. No entanto, surge a questão de como descartar de forma apropriada os equipamentos eletroeletrônicos obsoletos, a fim de minimizar seu impacto ambiental.

A Diretiva 2002/96/CE do Parlamento Europeu e do Conselho (EUROPEIA, 2003) define Equipamentos Eletroeletrônicos (EEE) como "equipamentos cujo funcionamento adequado depende de correntes elétricas ou campos eletromagnéticos, bem como os equipamentos usados na geração, transferência e medição dessas correntes e campos". Além disso, quando esses EEE deixam de atender às necessidades para as quais foram adquiridos, são considerados Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE) conforme definido pela mesma Diretiva, abrangendo todas as suas partes, componentes, subconjuntos e materiais contidos nos produtos quando ocorre o descarte.

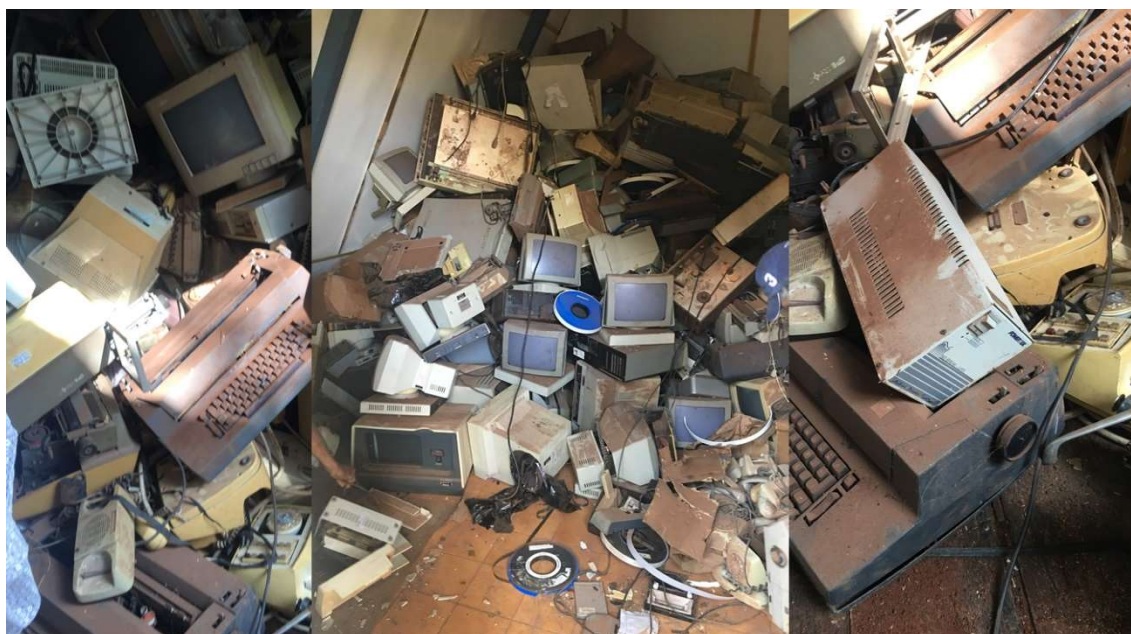
Os EEE consistem em uma variedade de materiais, incluindo plástico, cobre, ferro, alumínio, vidro e ouro, bem como metais perigosos (chumbo, mercúrio, cádmio, arsênio e berílio). O descarte inadequado desses materiais pode resultar em sérios impactos na saúde humana e no meio ambiente, como indicado por Franco *et al.* (2021).

Green Eletron (2023, p. 6), expõe os efeitos causados pelo descarte inapropriado dos REEE:

A negligência quanto ao destino correto desses materiais também contribui intrinsecamente para o aquecimento global, porque faz com que a indústria recorra às fontes naturais de extração dessas matérias-primas no lugar do que chamamos de mineração urbana, ou seja, em vez de retirar dos itens descartados esses insumos para a produção de novos produtos, em um fluxo de logística reversa dentro da lógica da economia circular. Isso ocorre porque a mineração tradicional e o refinamento dessas matérias-primas emitem volume considerável de gases de efeito estufa.

A Figura 3 ilustra como os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos frequentemente são armazenados incorretamente em áreas abertas, onde as condições climáticas contribuem para o rápido deterioro dos componentes eletroeletrônicos. Esses fundamentos ressaltam a importância de uma gestão adequada dos REEE para minimizar os danos ao meio ambiente e à saúde pública.

Figura 3 - Armazenamento incorreto de REEE



Fonte: Compilação do autor².

De acordo com Forti (2019), uma tonelada de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos contém aproximadamente: 35% a 40% de ferro, 17% de cobre, entre 2% e 3% de chumbo, 7% de alumínio, 4% a 5% de zinco, de 200 a 300 gramas de ouro, de 300 a 1000 gramas de prata,

² Montagem a partir de imagens feitas pelo autor.

entre 30 e 70 gramas de platina, 15% de fibras plásticas, 5% de papel/embalagens e de 3% a 6% de resíduos não recicláveis. Forti (2019) também enfatiza que o desperdício de recursos financeiros é significativo, uma vez que cerca de 94% dos materiais presentes nos equipamentos eletroeletrônicos podem ser reciclados, destacando a importância de uma gestão adequada desses resíduos para evitar perdas financeiras desnecessárias.

3.1.1 Resíduos Eletroeletrônicos Comuns nas IES

Os REEE abrangem uma ampla variedade de componentes que podem ter impactos negativos no ecossistema. A identificação precisa desses resíduos é de extrema importância para garantir o armazenamento e descarte adequados dentro das IES. Neste contexto, é essencial explorar os principais tipos de resíduos gerados pelos Equipamentos Eletroeletrônicos (EEE) e suas características distintas, a fim de promover uma gestão responsável desses materiais e proteger o meio ambiente.

3.1.1.1 Placa de circuito impresso

As placas de circuito impresso (PCI ou PCB) são utilizadas em todos os equipamentos eletroeletrônicos. Elas consistem principalmente em um substrato isolante, geralmente de fibra de vidro ou composto de fibra de vidro e resina epóxi, com condutores metálicos, geralmente de cobre, e uma cobertura de circuitos frequentemente feita de solda ou materiais de revestimento para proteção e isolamento. Pode incluir camadas adicionais de materiais como resinas especiais e materiais dielétricos para atender a necessidades específicas. Além dos materiais mencionados, as PCIs também contêm componentes eletroeletrônicos, como resistores, capacitores, transistores, montados na superfície ou incorporados nas camadas da placa, dependendo do método de montagem (EURO CIRCUITS, 2017).

Para Ghosh *et al.* (2015), apesar das PCIs representarem uma fração relativamente pequena, variando de 3% a 6%, no total de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEEs) produzidos globalmente, as enormes quantidades totais de REEEs contribuem significativamente para a geração desse componente, que se descartado ou armazenadas de maneira inadequada, como ilustrado na Figura 4, podem resultar na contaminação do solo, dos corpos d'água e do lençol freático.

Figura 4 - Descarte inadequado de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos



Fonte: RESÍDUO ALL ³(2017).

3.1.1.2 Monitores e aparelhos de televisão

A estrutura básica de monitores e aparelhos de televisão (TV) geralmente consiste em uma tela de *Liquid Crystal Display* (LCD) ou *Light Emitting Diode* (LED), peças plásticas e PCI. As PCI contêm cerca de 70% de materiais não metálicos, como plástico, e aproximadamente 30% de metais, como cobre, chumbo, ferro, níquel, ouro e prata (RAZI, 2016, p. 35). Como outros dispositivos eletroeletrônicos, os monitores e TVs estão em constante evolução, sendo frequentemente substituídos por modelos mais avançados que oferecem melhor resolução e suportam conexões modernas, como *High-Definition Multimedia Interface* (HDMI), *Digital Visual Interface* (DVI), *Display Port*, *Video Graphics Array* (VGA). Atualmente, essas tecnologias de tela continuam sendo aprimoradas, com inovações como *organic light-emitting diodes* (OLED) e *Quantum Dot Light-Emitting Diodes* (QLED), além de integrações com inteligência artificial e capacidades de conexão à Internet. Contudo, a substituição deste tipo de equipamento depende de fatores como os avanços tecnológicos, mudanças nas preferências do consumidor, desenvolvimentos na indústria de entretenimento e

³ Disponível em: <https://residuoall.com.br/2017/05/30/residuos-eletronicos-e-sua-coleta/>. Acesso em: 11 mar. 2024.

comunicação e devido à obsolescência programada (RODRIGUES, 2022). Entretanto o descarte de maneira inadequada destes equipamentos, podem causar impactos ambientais negativos. Isso ocorre devido à presença de materiais nocivos em suas placas de circuito impresso e na tela, como metais pesados e substâncias químicas, que podem contaminar o meio ambiente se não forem tratados e descartados de maneira responsável (GHOSG *et al.*, 2015, p. 15).

3.1.1.3 Computadores (desktop e notebooks)

Para Razi (2016), os computadores de mesa (*desktops*) e os portáteis (*notebooks*) são constituídos por uma diversidade de componentes e materiais, cada qual com sua composição distinta, que englobam uma gama de materiais valiosos e, potencialmente nocivos, caso não sejam descartados de maneira adequada. O gabinete do *desktop* usualmente é formado por plástico, metais ferrosos e não ferrosos. Internamente, encontram-se a placa-mãe (uma PCI); o processador - majoritariamente de silício, mas também contendo metais nobres como ouro e paládio; a memória *random access memory* (RAM), formada por semicondutores de silício com vestígios de metais nobres para as conexões; o disco rígido, constituído de alumínio ou vidro, com revestimento magnético de óxido de ferro cromo e metais nobres para as conexões; e a fonte de alimentação, composta por cobre, ferro e alumínio, podendo incluir elementos tóxicos como chumbo e mercúrio (RAZI, 2016, p. 32). Ainda segundo Razi, os *notebooks*, além de possuírem carcaças de plástico e metais e placas PCI semelhantes aos *desktops*, incluem baterias de Lítio-íon ou níquel-hidreto metálico, contendo cobalto, níquel, zinco e, ocasionalmente, cádmio. Enquanto os teclados e mouses são predominantemente de plástico, seus circuitos internos são compostos por metais como cobre e, potencialmente, traços de metais preciosos.

Esses aparelhos, portanto, não apenas constituem uma fonte significativa de materiais recicláveis, mas também representam um risco de poluição se não manejados corretamente devido aos seus componentes tóxicos. Segundo Fawole *et al.* (2023), a reciclagem responsável e o descarte consciente de *desktops* e *notebooks* são, assim, cruciais para a sustentabilidade ambiental. Essas práticas não apenas minimizam a poluição e o acúmulo de resíduos, mas também contribuem para a redução do aquecimento global ao limitar a extração e o consumo de recursos naturais. Ao reciclar e reutilizar os componentes destes dispositivos, promovemos a economia circular, reduzindo a necessidade de extrair combustíveis fósseis e outros recursos naturais, mitigando assim o impacto humano sobre o clima. Portanto, o manejo adequado de computadores obsoletos, longe de ser apenas uma medida de gestão de resíduos, é uma ação

direta para a preservação do nosso ambiente, contribuindo para a redução do aquecimento global.

3.1.1.4 Pilhas e baterias

Uma vasta variedade de dispositivos e equipamentos eletroeletrônicos, incluindo controles remotos, dispositivos portáteis e brinquedos, dependem essencialmente de pilhas e baterias para funcionar. Embora a maioria dos aparelhos eletroeletrônicos requeira um tipo específico de pilha ou bateria para operar eficientemente, certos dispositivos têm a flexibilidade de serem compatíveis com diferentes modelos de pilhas e baterias, desde que estejam homologados para tal. Assim, observa-se uma demanda crescente por pilhas e baterias.

Para Kemerich *et al.* (2012), o aumento expressivo no uso de dispositivos eletroeletrônicos, fortalece a necessidade de cuidados especiais para um armazenamento adequado e uma disposição final ambientalmente responsável.

O Quadro 2 apresenta uma variedade de tipos de pilhas e baterias e seus principais usos.

Quadro 2 - Tipos de baterias e seus principais usos.

Tipos de Baterias	Principais usos
Pilhas comuns	Esse tipo de pilha geralmente fornece um valor baixo de corrente, sendo indicado para uso em aparelhos como relógios de parede, controle remoto e brinquedos.
Pilhas e baterias Alcalinas	As pilhas alcalinas tem em média entre 50 e 100% à mais de energia do que as pilhas comuns, sendo indicadas para equipamentos como players de CD/DVD, MP3, rádios, lanternas e câmeras digitais.
Bateria de Níquel Cádmio	Essas baterias eram muito utilizadas em telefones celulares e telefones sem fio, e foram gradualmente sendo substituídas por baterias de hidreto metálico de níquel (NiMH), ou de Ion-Lítio.
Baterias de Lítio	Bateria tipo moeda, utilizada em equipamentos eletrônicos em geral como relógios de pulso, balanças, brinquedos e controles remoto. Alguns módulos, como os que utilizam RTC, também fazem uso desse tipo de bateria.
Baterias de Ion-Lítio	Utilizada em equipamentos portáteis, como telefones celulares e câmeras digitais, armazenando o dobro de energia de uma bateria de hidreto metálico de níquel (ou NiMH), e três vezes mais que uma bateria de Níquel Cádmio (NiCd).
Baterias de Íon-Polímero	Utilizada em drones, aeromodelos e alguns celulares.
Baterias de chumbo-ácido	Geralmente usadas em automóveis
Bateria Selada	Utilizadas em situações onde seja exigida uma corrente maior, como o uso em automóveis, sistemas de iluminação, equipamentos hospitalares, sistemas de alarmes, lanternas, no-breaks, etc.

Fonte: Adaptado de Fawole (2000).

Apesar de suas diferenças de modelo, as pilhas e baterias podem ter impactos negativos no meio ambiente devido aos materiais presentes em sua composição. Embora capazes de causar diversos problemas ambientais, foi somente em 1999 que o Brasil estabeleceu normas regulamentando a produção e o descarte desses itens, por meio do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Avançando no tempo, em 2008, a resolução CONAMA nº 401 estipulou, especificamente em seu artigo 15, a obrigatoriedade de pontos de coleta nos locais de venda de pilhas e baterias, reforçando assim a gestão ambientalmente adequada desses produtos (CONAMA, 2008, p. 2).

De acordo com o artigo 33 da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) as pilhas e baterias são categorizadas como produtos que obrigatoriamente devem ser incluídos no sistema de logística reversa. Isso implica que esses resíduos perigosos devem ser devolvidos aos fabricantes, que têm a responsabilidade de processar e eliminar as pilhas e baterias de maneira ecologicamente responsável.

3.2 GERAÇÃO DE REEE PRUDUZIDOS NO BRASIL, LOGÍSTICA REVERSA E ACORDOS SETORIAIS

Este subitem oferece uma visão sobre a geração de REEE no Brasil. Contextualiza-se a logística reversa e acordos setoriais estabelecidos no Brasil, explorando suas implicações e relevância.

3.2.1 Geração de REEE no Brasil

A evolução contínua da tecnologia, marcada pela aceleração dos computadores e processadores, juntamente com os avanços significativos em inteligência artificial, tem sido crucial para oferecer mais conforto e eficiência, potencializando o bem-estar do consumidor. Essa rápida transformação digital tem instigado o desejo por atualizações constantes, levando à substituição de equipamentos eletroeletrônicos por versões mais avançadas e com maior capacidade tecnológica. No entanto, enquanto as inovações tecnológicas oferecem inúmeras vantagens, elas também impõem desafios significativos, visto que a crescente demanda por tecnologias inovadoras tem levado a um rápido ciclo de substituição dos equipamentos eletroeletrônicos, posicionando-os como uma das categorias de resíduos sólidos que mais expande globalmente, conforme apontado por Rovira; Peres e Saporito (2022, p. 12).

Especificamente no Brasil, essa tendência tem desencadeado preocupações significativas, devido ao aumento expressivo na geração de REEE. Tal fenômeno impõe desafios notáveis nos âmbitos ambiental, econômico e de saúde pública, ressaltando a necessidade de estratégias eficazes para a gestão adequada desses resíduos (GREEN ELETRON, 2023, p. 4).

A ONU News (2020), traz em seu relatório que, foram gerados 53,6 milhões de toneladas de resíduo eletroeletrônico no mundo em 2019, uma média de 7,3 kg por pessoa. Este número representa um aumento de 9,2 milhões de toneladas desde 2014, com projeções apontando para 74,7 milhões de toneladas em 2030, quase dobrando o volume em 16 anos. Esse crescimento é impulsionado principalmente pelo alto consumo de equipamentos eletroeletrônicos, vida útil reduzida dos produtos e a escassez de opções de reparo, exacerbando a problemática dos REEE. A ONU alerta sobre o crescimento acelerado da demanda por eletrodomésticos nos países em desenvolvimento, destacando que os padrões atuais de produção, consumo e descarte de eletroeletrônicos são insustentáveis. Já o *The Global E-Waste Monitor (2020)*, expôs que o Brasil descartou aproximadamente 2,1 milhões de toneladas de resíduos eletroeletrônicos em 2019, sendo que menos de 3% foram reciclados. A média de reciclagem de eletroeletrônicos no mundo gira em torno de 17%, que é a meta brasileira para 2025, definida no Acordo Setorial — Decreto 10.240/2020. Na Europa, onde a logística reversa já é uma realidade há mais de 30 anos, os índices de reciclagem dos eletroeletrônicos são mais elevados, em torno de 42% (ONU News, 2020, p. 5). Em seu último relatório, o *The Global E-Waste Monitor (2024)* com dados de 2022, revelou que o Brasil é o maior gerador de REEE da América do Sul, com 2,4 milhões de toneladas anuais, sendo o segundo maior gerador das Américas, ficando atrás apenas dos Estados Unidos. Para o *Global E-Waste Monitor*, a geração de REEE no mundo está em crescimento constante e deve atingir 82 milhões de toneladas até 2030, representando um aumento adicional de 33% em relação ao volume de 2022.

Nos anos de 2020 e 2021, observou-se um crescimento no uso de dispositivos eletroeletrônicos, conforme destacado pela Companhia de Inteligência em Telecomunicações – TELECO (2021), onde dados da Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) mostram que o Brasil contava em 2021 com 238,5 milhões de celulares ativos, equivalendo a uma média de 112,02 dispositivos por 100 pessoas. O estudo ainda apresentou, que neste mesmo ano o Brasil dispunha de 9 computadores para cada 10 habitantes. Contudo, a ABNEE (2022) reportou que, apesar de em 2022 apresentar um aumento de 4% no faturamento do setor equipamentos eletroeletrônicos, totalizando R\$ 220,4 bilhões, houve uma queda de 4% na produção física em comparação ao ano anterior. Essa diminuição foi influenciada por desafios como a escassez de semicondutores, causada por *lockdowns* na China e conflitos na Ucrânia. Já em 2023, a ABNEE

relatou uma redução nominal de 6% no faturamento do setor, alcançando R\$ 204,2 bilhões. A produção física do setor diminuiu 8% em 2023 em comparação ao ano anterior (ABNNE, 2023, p. 1).

3.2.2 Logística Reversa, Acordos Setoriais no Brasil e Economia Circular

Neste subitem são apresentados conceitos de logística reversa, acordos setoriais e economia circular, com ênfase na logística reversa e nos acordos setoriais estabelecidos no Brasil, bem como na aplicação da economia circular aos REEE.

3.2.2.1 Logística reversa

Diferentemente da logística tradicional, que lida com o fluxo de produtos do produtor para o consumidor, a logística reversa se concentra em implementar e controlar o fluxo eficiente e eficaz para cada produto fabricado ou importado no país. Nesse processo inverso, os resíduos são transportados do ponto de consumo de volta à sua origem. O Decreto Estadual nº 54.645, de 2009, regulamenta a Política Estadual de Resíduos Sólidos (PNRS), impondo responsabilidades aos fabricantes, distribuidores e importadores de diversos produtos, como pilhas, pneus e lâmpadas, agrotóxicos (resíduos e embalagens) que frequentemente são destinados a aterros sanitários e lixões. Essa política visa gerenciar os resíduos produzidos por esses produtos após o consumo, para mitigar o impacto ambiental negativo associado ao descarte inadequado (BRASIL, 2009).

Leite (2005) define a logística reversa da seguinte forma:

Entendemos a logística reversa como a área da logística empresarial que planeja, opera e controla o fluxo e as informações logísticas correspondentes, do retorno dos bens de pós-venda e de pós-consumo ao ciclo de negócios ou ao ciclo produtivo, por meio dos canais de distribuições reversos, agregando-lhes valor de diversas naturezas: econômico, ecológico, legal, logístico, de imagem corporativa, entre outros (LEITE, 2005, p. 16-17).

Para Rubio *et al.* (2007), a logística reversa, visa retornar produtos no fim de sua vida útil à cadeia produtiva, oferecendo benefícios como a redução de custos com matéria-prima e a preservação dos recursos naturais.

Tanto a PNRS quanto os Decretos nº 10.240 e o Decreto nº 10.936/2022, trazem como objetivo, estabelecer a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos,

envolvendo fabricantes, distribuidores, varejistas e consumidores, para garantir que cada parte contribua efetivamente no processo.

A vida útil de um produto não se encerra na entrega ao consumidor final; ao contrário, quando um produto se torna obsoleto, danificado ou inutilizado, ele deve ser retornado ao ponto de origem para ser reaproveitado ou descartado corretamente. Essa prática não só reduz custos com matéria-prima, mas também contribui para a conservação dos recursos naturais, prolongando sua longevidade (RUBIO *et al.*, 2007, p. 5).

A Lei nº 12.305/10 descreve logística reversa como:

Instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios com a finalidade viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010, p. 2).

Souza (2012) aponta que as empresas podem adotar a logística reversa por motivos econômicos, legislativos e ecológicos. Do ponto de vista econômico, busca-se a redução de custos operacionais através do reaproveitamento de matéria-prima e do reuso ou remanufatura de produtos. No aspecto legislativo, a implementação da logística reversa atende às exigências legais, assegurando a continuidade das operações da empresa. Já sob a perspectiva ecológica, se a empresa considerar o impacto ambiental negativo do descarte inadequado de seus produtos, a logística reversa se torna um meio de respeitar e preservar o meio ambiente.

Segundo Couto e Lange (2017), os desafios operacionais para a implementação de sistemas de logística reversa no Brasil são numerosos e complexos. Estes incluem a necessidade de desenvolver infraestruturas adequadas para coleta e processamento de resíduos, o que demanda investimentos significativos em tecnologia, transporte e instalações de processamento. Além disso, há o desafio de integrar eficientemente esses sistemas com as operações logísticas existentes, garantindo que o retorno de produtos e materiais seja realizado de maneira ágil e econômica. Couto e Lange (2017), apontam também a necessidade de conscientização e cooperação dos consumidores e empresas. Para os autores, muitos ainda não estão plenamente cientes da importância da logística reversa, nem de suas responsabilidades neste processo. Isso requer esforços de educação e sensibilização, além de incentivos para encorajar a participação ativa de todos. Além disso, o cumprimento da legislação e das normas ambientais vigentes apresenta-se como um desafio, exigindo que as empresas se mantenham atualizadas e em conformidade com as regulamentações em constante evolução. Por fim, enfrenta-se também o desafio de mensurar o retorno sobre o investimento nesses sistemas, algo

crucial para assegurar a viabilidade econômica e a sustentabilidade de longo prazo das iniciativas de logística reversa.

Weetman e Serra (2019) destacam que, embora o conceito de logística reversa esteja amplamente reconhecido, é importante considerá-lo em conjunto com a economia circular. Enquanto a logística reversa foca no retorno dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos ao início da cadeia produtiva, a economia circular busca integrar o desenvolvimento econômico com o uso mais eficiente dos recursos naturais. Isso envolve otimizar processos de fabricação para reduzir a dependência de matérias-primas virgens, privilegiando materiais mais duráveis, recicláveis e renováveis. Ainda segundo os autores, a economia circular vai além da simples gestão de resíduos e reciclagem, abrangendo desde a reestruturação de processos e modelos de negócio até a otimização do uso de recursos, visando uma gestão mais eficaz dos recursos naturais disponíveis. A economia circular é fundamentada em três princípios essenciais: a eliminação de resíduos e poluição desde a concepção; a manutenção de produtos e materiais em uso por mais tempo; e a regeneração de recursos naturais.

3.2.2.2 Acordos setoriais

Atualmente a tecnologia tornou-se parte fundamental no cotidiano das pessoas, que anseiam por tecnologias de modelos mais modernos e com melhor desempenho. Esta busca constante por inovações, atrelado a estratégias adotadas pelos fabricantes para incentivar o consumo contínuo, aliado à prática de obsolescência programada, que faz com que os equipamentos eletroeletrônicos se tornem obsoletos e sejam descartados em um curto espaço de tempo, resultando em um aumento significativo no volume de resíduos equipamentos eletroeletrônicos. Nesse contexto, torna-se imperativo o desenvolvimento e a implementação de políticas e acordos setoriais direcionados ao controle e gerenciamento sustentável desses resíduos. Tais iniciativas são fundamentais para a harmonização de normas e regulamentações entre diferentes jurisdições, proporcionando uma abordagem mais eficaz e consistente em nível nacional e internacional. Além disso, os acordos desempenham um papel crucial na proteção ambiental e na saúde pública, promovendo práticas de consumo e produção responsáveis.

Para Al-Emran e Griffy-Brown (2023), a adoção de políticas voltadas para a sustentabilidade e acordo setorial é essencial para mitigar os impactos negativos associados ao descarte de equipamentos eletroeletrônicos, incentivando a reutilização, reciclagem e o *design* de produtos com maior longevidade. Essas ações contribuem para a construção de uma

sociedade mais sustentável, onde o progresso tecnológico caminha lado a lado com a responsabilidade ambiental.

De acordo com ABINEE (2019), em 31 de outubro de 2019, o Ministério do Meio Ambiente brasileiro assinou um acordo setorial, elaborado por diversas entidades, com o objetivo de estabelecer diretrizes para a gestão REEE, incluindo metas geográficas e de coleta, que entrou em vigor a partir de 1º de janeiro de 2021. Este acordo visa a implementação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto, exigindo que fabricantes, importadores, distribuidores e varejistas assumam a responsabilidade pela destinação final ambientalmente adequada dos produtos abrangidos. O foco principal do acordo em questão é garantir que as partes envolvidas sejam responsáveis pela logística reversa dos resíduos, incentivando-as a implementar sistemas individuais ou coletivos para o recolhimento e a correta destinação dos resíduos. Essa iniciativa está alinhada com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e os princípios de logística reversa, estabelecendo que a responsabilidade pelo gerenciamento de resíduos é compartilhada entre geradores, o poder público e os fabricantes, distribuidores e importadores. Ainda segundo ABINEE, tal medida representa um passo significativo na promoção de práticas sustentáveis e na proteção ambiental, assegurando o avanço tecnológico e a sustentabilidade. Na Quadro 3, destacam-se as principais metas definidas no acordo setorial. Metas estabelecidas e exclusões do Acordo Setorial

Quadro 3 - Metas abrangidas e não abrangidas no Acordo Setorial.

Termos	Descrição
1	Este Acordo Setorial visa estruturar, implementar e operacionalizar um Sistema de Logística Reversa para Produtos Eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico disponibilizados no mercado interno.
2	Não constituem objetivos deste Acordo Setorial: I. Produtos eletroeletrônicos e seus componentes destinados a uso profissional ou empresarial, incluindo aqueles empregados em processos produtivos; II. Equipamentos eletroeletrônicos utilizados em serviços de saúde, incluindo os de atendimento domiciliar (Home Care), independentemente de seu uso em residências; III. Pilhas, baterias e lâmpadas que não fazem parte integrante ou que podem ser removidas da estrutura física dos equipamentos eletroeletrônicos; IV. Peças eletroeletrônicas avulsas, isto é, que não estão fixadas aos equipamentos eletroeletrônicos; V. Quantidades ou volumes significativos de produtos eletroeletrônicos provenientes de grandes geradores, conforme definido pela legislação municipal ou distrital.
3	A logística reversa para os produtos eletroeletrônicos cobertos por este acordo;
4	A critério exclusivo da(s) Empresa(s) ou Entidade(s) Responsável(is), o Sistema de Logística Reversa mencionado neste acordo setorial poderá aceitar produtos eletroeletrônicos e seus componentes, com características semelhantes aos de uso residencial, que sejam descartados por microempresas ou empresas de pequeno porte.

Fonte: Adaptada de SINIR (BRASIL, 2019).

3.2.2.3 Economia circular

De acordo com um estudo de Brasil (2014), os equipamentos eletroeletrônicos fabricados no passado possuíam uma longevidade superior em comparação aos produzidos nos dias atuais. O estudo revela que aproximadamente 45% dos eletrodomésticos e dispositivos eletroeletrônicos desenvolvem falhas antes de completarem três anos de utilização, sendo comum que estes problemas surjam logo após o término da garantia, que usualmente é de um ano. Este estudo indica que a maioria dos equipamentos analisados são substituídos em um intervalo de dois a cinco anos. Ainda é apontado pela pesquisa que os consumidores muitas vezes preferem descartar os equipamentos que apresentam defeitos antes de atingirem três anos de uso e adquirir um novo.

Abadi, Herrmann e Modarres (2023) salienta que durante o período de garantia a maioria dos EEE funcionam normalmente. Contudo, uma vez finalizado este período, os equipamentos começam a apresentar falhas, como: superaquecimento ou rápido esgotamento da bateria e, frequentemente o custo de reparo é tão elevado que o conserto se torna inviável, levando os consumidores a optarem pela compra de um novo equipamento. Para os autores, esse cenário ilustra o fenômeno da obsolescência programada, caracterizado pela redução intencional do ciclo de vida útil de produtos abaixo do esperado, incentivando os consumidores a realizar compras frequentes. Para eles este estímulo ligado à satisfação dos consumidores em possuir EEE de modelo mais novo, alimenta este ciclo de consumo contínuo.

No contexto atual, onde os consumidores frequentemente descartam seus EEE devido à não suportar atualizações ou por não oferecerem a performance esperada, insere-se a relevância do conceito de economia circular. Onde o fim do ciclo de vida de um produto não se encerra quando seu primeiro proprietário decide não mais utilizá-lo. Pelo contrário, um equipamento que já não satisfaz as necessidades do consumidor original pode ainda ser de grande valor para um segundo ou terceiro usuário potencial.

Para Foster, Roberto e Igari (2016), a proposta da economia circular vai além da redução dos impactos ambientais. Para eles a economia circular visa uma reformulação do conceito tradicional de crescimento, priorizando o bem-estar coletivo e a sustentabilidade a longo prazo. Tal prática propõe a reutilização dos resíduos como insumos no próprio ciclo de produção, reduzido com isso o volume de resíduos despejados no meio ambiente e a necessidade de extração de matérias-primas.

Segundo Stahel (2016), a economia circular divide-se em dois segmentos: o que promove a reutilização e prolonga a vida útil através da reparação, refabricação, atualização e

modernização e o que foca na conversão de produtos obsoletos em novos recursos, através da reciclagem dos materiais. Stahel defende ainda que, a gestão convencional de resíduos é impulsionada pela minimização dos custos de recolha e eliminação (aterro versus reciclagem), já a economia circular visa maximizar o valor em cada ponto da vida de um produto.

Para Kiddee, Naidu e Wong (2013), a chave para o sucesso na gestão dos REEE está ligada a múltiplos fatores, que são: o desenvolvimento de dispositivos com *design* sustentável, a coleta eficiente desses resíduos, bem como a recuperação e reciclagem utilizando técnicas adequadas, proibir a transferência de dispositivos eletroeletrônicos usados para países em desenvolvimento e aumentar a conscientização acerca dos impactos ambientais e de saúde provocados pelos resíduos eletroeletrônico. Os autores defendem que nenhum método isolado será suficiente, no entanto, a combinação dessas estratégias pode proporcionar uma solução abrangente para o desafio dos resíduos eletroeletrônicos.

3.3 LEGISLAÇÕES ESPECÍFICAS

Na sequência, apresenta-se as normativas legais atualmente em vigor no Brasil para o gerenciamento de REEE. Este eixo legal é essencial para nortear o desenvolvimento de um sistema computacional destinado a gerir os REEE em IES. Tal sistema visa assegurar uma gestão aprimorada do armazenamento e acúmulo dos REEE, além de facilitar o reaproveitamento de componentes. Ele também proporciona uma visão detalhada e transparente dos processos de descarte, assegurando que estejam em conformidade com os requisitos legislativos.

3.3.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos – Lei nº 12.305/2010

Atualmente, enfrentamos períodos marcados por severas calamidades, incluindo guerras e conflitos impulsionados por divergências políticas, étnicas, religiosas e financeiras. Exemplos notáveis incluem a guerra entre Rússia e Ucrânia, que tem provocado uma mobilização internacional, e os conflitos em países como Etiópia, Iêmen, Haiti, Síria e no Oriente Médio. Paralelamente, as mudanças climáticas emergem como um desafio ambiental crítico para a humanidade nas próximas décadas. Conforme apontado pela ONU (2022), além das mudanças climáticas aceleradas principalmente pelas emissões de CO₂, que intensificam fenômenos meteorológicos extremos como secas, incêndios e inundações, enfrentaremos desafios que vão desde a escassez de água até a perda de biodiversidade e a gestão de resíduos.

A Organização Pan-Americana de Saúde – OPAS (2018) alerta que cerca de 90% da população mundial está exposta a ar poluído, o que demanda esforços urgentes para reduzir a contaminação e, conseqüentemente, diminuir a incidência de doenças respiratórias. Além disso, a contaminação da água é responsável por aproximadamente cinco milhões de mortes anuais. A ONU (2022) prevê que a população mundial atinja 8,5 bilhões de pessoas em 2030 e 9,7 bilhões em 2050, com isso, torna-se imperativo adotar práticas da economia circular, focadas na prevenção, redução, reciclagem e reutilização de resíduos, visando minimizar seu impacto na saúde pública e no meio ambiente.

A Lei nº 12.305/10 define saúde ambiental como:

[...] Saúde Ambiental é um conjunto de ações que proporciona o conhecimento e detecção de qualquer mudança nos fatores determinantes e condicionantes do meio ambiente que interferem na saúde humana, com a finalidade de identificar as medidas de prevenção e controle dos fatores de risco ambientais relacionados às doenças ou outros agravos à saúde (BRASIL 2010, p. 1).

Nesse contexto, a concepção de saúde ambiental emerge como uma estratégia crucial para diminuir os riscos para a saúde humana. Assim, fica evidente que a qualidade da água, do ar e do solo está intrinsecamente ligada à gestão adequada de resíduos tóxicos e perigosos.

Visando a preservação ambiental e, conseqüentemente, a promoção da saúde humana, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) foi instituída em 02 de agosto de 2010, através da Lei nº 12.305. Esta legislação estabelece diretrizes para a gestão integrada e o manejo adequado de resíduos sólidos, delineando as responsabilidades tanto dos produtores de resíduos quanto do poder público. A PNRS baseia-se no princípio de responsabilidade compartilhada e na implementação da logística reversa, buscando engajar todos os envolvidos no ciclo de vida dos produtos.

O Quadro 4 fornece uma visão de talhada dos instrumentos da política em questão (BRASIL, 2010).

Quadro 4 - Instrumentos da Política Nacional de Resíduos Sólido.

Incisos	Descrição
I	- Os planos de resíduos sólidos;
II	- Os inventários e o sistema declaratório anual de resíduos sólidos;
III	- A coleta seletiva, os sistemas de logística reversa e outras ferramentas relacionadas à implementação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;
IV	- O incentivo à criação e ao desenvolvimento de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis;
V	- O monitoramento e a fiscalização ambiental, sanitária e agropecuária;
VI	- A cooperação técnica e financeira entre os setores público e privado para o desenvolvimento de pesquisas de novos produtos, métodos, processos e tecnologias de gestão, reciclagem, reutilização, tratamento de resíduos e disposição final ambientalmente adequada de rejeitos;
VII	- A pesquisa científica e tecnológica;
VIII	- A educação ambiental;
IX	- Os incentivos fiscais, financeiros e creditícios;
X	- O Fundo Nacional do Meio Ambiente e o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico;
XI	- O Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (Sinir);
XII	- O Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (Sinisa);
XIII	- Os conselhos de meio ambiente e, no que couber, os de saúde;
XIV	- Os órgãos colegiados municipais destinados ao controle social dos serviços de resíduos sólidos urbanos;
XV	- O Cadastro Nacional de Operadores de Resíduos Perigosos;
XVI	- Os acordos setoriais;
XVII	- No que couber, os instrumentos da Política Nacional de Meio Ambiente, entre eles: a) os padrões de qualidade ambiental;
	b) O Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais;
	c) O Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental;
	d) A avaliação de impactos ambientais;
	e) O Sistema Nacional de Informação sobre Meio Ambiente (Sinima);
	f) O licenciamento e a revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras;
XVIII	- Os termos de compromisso e os termos de ajustamento de conduta; XIX - o incentivo à adoção de consórcios ou de outras formas de cooperação entre os entes federados, com vistas à elevação das escalas de aproveitamento e à redução dos custos envolvidos.

Fonte: Adaptado de PNRS (BRASIL, 2010).

Marotti, Pereira e Pugliesi (2017) argumentam que os princípios orientadores da PNRS frequentemente não se interligam, atribuindo isso à complexidade inerente e à base teórica do princípio em questão. Eles acrescentam que outros fatores, como as diretrizes e disposições contidas na legislação, fundamentam sua interpretação e implementação.

O Quadro 5 demonstra os objetivos que se pretendem atingir com a Lei nº 12.305/2010.

Quadro 5 - Objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólido.

Incisos	Descrição
I	- Proteção da saúde pública e da qualidade ambiental;
II	- Não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;
III	- Estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços;
IV	- Adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais;
V	- Redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos;
VI	- Incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados;
VII	- Gestão integrada de resíduos sólidos;
VIII	- Articulação entre as diferentes esferas do poder público, e destas com o setor empresarial, com vistas à cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de resíduos sólidos;
IX	- Capacitação técnica continuada na área de resíduos sólidos;
X	- Regularidade, continuidade, funcionalidade e universalização da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, com adoção de mecanismos gerenciais e econômicos que assegurem a recuperação dos custos dos serviços prestados, como forma de garantir sua sustentabilidade operacional e financeira, observada a Lei nº 11.445, de 2007;
XI	- Prioridade, nas aquisições e contratações governamentais, para:
	a) produtos reciclados e recicláveis;
	b) bens, serviços e obras que considerem critérios compatíveis com padrões de consumo social e ambientalmente sustentáveis;
XII	- Integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;
XIII	- Estímulo à implementação da avaliação do ciclo de vida do produto;
XIV	- Incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético;
XV	- Estímulo à rotulagem ambiental e ao consumo sustentável.

Fonte: Adaptado de PNRS (BRASIL, 2010).

O Capítulo I da PNRS delinea as prioridades na gestão de resíduos sólidos, colocando em destaque: a não geração, a redução, reutilização, reciclagem, tratar os resíduos sólidos e, por fim, garantir a disposição final dos rejeitos de maneira ambientalmente responsável. Este capítulo também ressalta a importância das atividades de controle e fiscalização, além de discutir a procedência dos resíduos e os riscos associados à sua periculosidade.

O Capítulo II da PNRS foca nos planos de gestão de resíduos sólidos, destacando inicialmente o Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Este plano, desenvolvido pela União com o auxílio do Ministério do Meio Ambiente, visa fornecer um diagnóstico abrangente da situação

atual dos resíduos sólidos, estabelecer metas de redução com base em padrões internacionais, promover o aproveitamento energético, além de planejar a eliminação e recuperação de áreas de lixões. Ele também propõe estratégias para aprimorar o controle e a fiscalização em nível nacional. Posteriormente, a PNRS introduz ferramentas de planejamento aplicáveis aos níveis estadual e municipal, assim como o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, que se concentra especificamente nos produtores de resíduos, incluindo estabelecimentos comerciais, prestadores de serviços, o setor da construção civil, responsáveis por terminais e empresas de transporte, entre outros. (BRASIL, 2010).

O Capítulo III da legislação em questão aborda as obrigações tanto dos produtores de resíduos quanto do poder público. Independentemente de serem indivíduos ou entidades jurídicas, os produtores de resíduos são incumbidos da implementação e gestão eficaz do plano de gerenciamento de resíduos sólidos. Isso se mantém verdadeiro mesmo quando serviços externos são contratados para a coleta, armazenamento, transporte, e processamento final dos resíduos. Esses produtores permanecem legalmente responsáveis por quaisquer impactos negativos ou danos ambientais resultantes de uma gestão de resíduos deficiente.

A Lei nº 12.305/2010 estabelece a responsabilidade compartilhada como um de seus princípios fundamentais, responsabilizando fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes pelo acompanhamento do ciclo de vida dos produtos, desde sua concepção até o momento em que se tornam resíduos. O objetivo é reduzir ao mínimo o volume de resíduos gerados e prevenir a disposição inadequada desses materiais no meio ambiente (BRASIL, 2010).

De acordo com a Confederação Nacional de Municípios - CNM (2019), a escassez de recursos financeiros e técnicos representa um dos principais obstáculos à efetiva implementação da PNRS no Brasil.

Para a CNM (2019), a implementação da PNRS deveria ser uma responsabilidade compartilhada entre o Governo Federal, os Estados, o setor empresarial, a sociedade civil e os Municípios. A CNM elucida que a PNRS constitui um conjunto abrangente de princípios, metas, diretrizes, instrumentos, objetivos e ações estabelecidos pelo governo federal, que podem ser executados de forma isolada ou em colaboração com Estados, o Distrito Federal, Municípios e entidades privadas, objetivando a gestão integrada e o manejo ambientalmente responsável de resíduos sólidos.

Considerando o apresentado, é fundamental o engajamento de todas as partes para garantir a efetiva implementação da Lei nº 12.305/2010 e alcançar os objetivos pretendidos por esta legislação.

3.3.2 Decreto nº 10.240/2020

Diante da crescente preocupação com a necessidade de uma destinação e disposição final ambientalmente responsável dos REEE, em 2020 foi regulamentado o Decreto nº 10.240, instituído para complementar a Lei nº 12.305/2010. Este decreto visa estabelecer diretrizes para a implementação e funcionamento de um sistema de logística reversa para equipamentos e produtos eletroeletrônicos, assim como seus componentes, provenientes tanto de uso doméstico quanto de empresas de pequeno porte no Brasil.

Os REEEs são definidos pelo Decreto nº 10.240/2020 como: acessórios e produtos que, embora não façam parte da estrutura física principal dos equipamentos eletroeletrônicos, são essenciais para seu funcionamento ou melhoram a experiência do usuário. Exemplos incluem controles remotos, carregadores, tampas e cabos removíveis; componentes: Itens como peças, materiais, substâncias e partes integrantes que são essenciais para a estrutura e funcionamento dos equipamentos eletroeletrônicos, cuja falta comprometeria a utilização adequada do produto; produtos eletroeletrônicos: equipamentos de uso doméstico que operam com corrente elétrica e têm uma tensão nominal de até 240 volts; produtos eletroeletrônicos cinzas: equipamentos e acessórios eletroeletrônicos importados ou comercializados de maneira não oficial ou não autorizada pelo fabricante original; produtos eletroeletrônicos órfãos: equipamentos e acessórios cujos fabricantes ou importadores não estão mais presentes no mercado; uso doméstico: a utilização dos produtos eletroeletrônicos de maneira pessoal, residencial ou familiar por indivíduos; uso não doméstico: refere-se a todas as utilizações dos produtos eletroeletrônicos que não se enquadram na categoria de uso doméstico, incluindo usos governamentais, corporativos, industriais e comerciais por entidades jurídicas (BRASIL, 2020).

De acordo com Castilho e Ferreira (2020), o Decreto nº 10.240 tem como objetivo atribuir responsabilidades compatíveis às estabelecidas no acordo setorial para os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de eletroeletrônicos de uso doméstico, que são encarregados de desenvolver e operacionalizar sistemas de logística reversa para os resíduos eletroeletrônicos, operando de forma independente dos sistemas de coleta pública existentes.

Embora o Decreto nº 10.240/2020 permita a criação de incentivos para promover o descarte de REEE em locais apropriados, ele não estabelece uma forma de compensação financeira ou remuneração que motive os consumidores a realizar o descarte ambientalmente correto. Segundo Castilho e Ferreira (2020), é essencial que todas as partes envolvidas reconheçam e cumpram sua parte na responsabilidade compartilhada definida pela PNRS, contribuindo para a gestão sustentável dos resíduos.

O Decreto estipula que apenas as entidades integrantes do sistema de logística reversa estão autorizadas a efetuar a transferência de REEE a partir dos pontos de coleta ou de consolidação. Conseqüentemente, fica vedada a prática de doar, transferir ou comercializar esses resíduos fora desse sistema regulado.

Castilho e Ferreira (2020) indagam que as disposições do Decreto nº 10.240 distribuem de maneira clara a responsabilidade por todo o ciclo de vida do produto entre os diversos participantes. Para os importadores, a adesão ao sistema de logística reversa é apresentada como uma condição essencial para a legalidade de suas operações. Os distribuidores são encarregados de motivar os comerciantes a se integrarem às entidades gestoras do sistema de logística reversa ou a desenvolverem seus próprios sistemas, além de serem responsáveis por prover locais apropriados para a consolidação dos resíduos até que sejam enviados para destinação final ambientalmente segura. Os comerciantes, por sua vez, devem não apenas seguir as diretrizes mencionadas, mas também participar ativamente em iniciativas de comunicação e educação ambiental. Completando o ciclo, cabe aos consumidores finais: separar e armazenar os resíduos eletroeletrônicos de forma a preservar sua integridade física e evitar riscos à saúde e ao meio ambiente; excluir informações privadas e dados armazenados em dispositivos eletroeletrônicos, como discos rígidos e cartões de memória, antes do descarte; descartar os equipamentos eletroeletrônicos de maneira responsável e de acordo com as orientações específicas, incluindo desligá-los e entregá-los nos pontos designados para o sistema de logística reversa.

O Decreto nº 10.240 estabelece a inclusão de cooperativas e associações de catadores no sistema de logística reversa, contanto que estas estejam formalmente autorizadas por meio de legislação apropriada. Quanto às iniciativas isoladas de logística reversa de REEE são obrigadas a garantir uma destinação final ambientalmente correta para todos os produtos eletroeletrônicos recolhidos. A fiscalização desse sistema será realizada através da submissão de dados, relatórios e demais documentos relevantes ao Ministério do Meio Ambiente pelas entidades participantes. O decreto também prevê a imposição de sanções administrativas, civis e criminais para o não cumprimento das obrigações estipuladas (BRASIL, 2020).

3.3.3 Decreto nº 10.936/2022

No dia 12 de janeiro de 2022, foi estabelecido o Decreto nº 10.936 que complementa a PNRS. Esta nova regulamentação impõe responsabilidades tanto a entidades físicas quanto jurídicas, abrangendo o setor público e o privado, quanto à geração de resíduos sólidos, abrangendo ações relacionadas à gestão integrada ou ao gerenciamento desses resíduos. As

responsabilidades podem ser diretas ou indiretas e englobam todas as atividades ligadas à gestão integrada ou ao manejo apropriado de resíduos sólidos. O Decreto determina que o Programa Nacional de Logística Reversa será coordenado e regulamentado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA). Para Filho (2022), o programa visa aprimorar a implementação e operacionalização da infraestrutura física e logística necessárias, promover ganhos de escala e facilitar a sinergia entre diferentes sistemas de gestão de resíduos. Define-se a logística reversa como uma estratégia de desenvolvimento econômico e social, que compreende um conjunto de ações, procedimentos e recursos destinados a permitir a recuperação e o retorno de resíduos sólidos ao setor empresarial. Isso possibilita o reaproveitamento dos materiais em seus ciclos produtivos originais ou em outros, ou sua destinação final de maneira ambientalmente responsável.

De acordo com Balbinot, Montovani e Panasolo (2022, p. 1), o decreto se fundamenta em três pilares essenciais: a otimização e conformidade na gestão de resíduos, a implementação da logística reversa e a adoção de ferramentas eficazes de gestão. Os autores enfatizam que o Decreto nº 10.936/2022 institui o Programa Nacional de Logística Reversa, concebido como uma ferramenta estratégica para a coordenação e harmonização dos diversos sistemas de logística reversa. Seu propósito principal é garantir a rastreabilidade das informações por meio da conexão efetiva com o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR), visando, assim, potencializar a sinergia entre os sistemas.

O decreto define a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto, com o intuito de implementação de um sistema de logística reversa de forma individualizada e sequencial. Essa normativa obriga fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes a assumirem a responsabilidade pela execução da logística reversa, de acordo com a quantidade de produtos que introduzem no mercado nacional. Tal responsabilidade deve ser atendida seguindo metas progressivas, intermediárias e finais, conforme especificado no documento que regulamenta a implementação da logística reversa (BRASIL, 2022).

É pontuado pelo novo Decreto que cooperativas e associações de catadores de materiais recicláveis, devidamente cadastradas e habilitadas através de um instrumento legal, podem integrar o sistema de logística reversa. Esta habilitação ocorre mediante acordos firmados entre essas entidades e as empresas ou organizações gestoras responsáveis pela prestação dos serviços.

O Quadro 6 abaixo, exibe os instrumentos do Decreto nº 10.936/2022 que estabelece diretrizes para a implantação e operacionalização do sistema de logística reversa, utilizando-se dos três instrumentos: I - de acordos setoriais; II - regulamentos editados pelo Poder Público; ou III - termos de compromisso, sendo que estes instrumentos tratam do disposto (BRASIL, 2022).

Quadro 6 - Instrumentos do Decreto nº 10.936/2022.

Incisos	Descrição
I	definições;
II	objeto;
III	estruturação da implementação do sistema de logística reversa;
IV	operacionalização do sistema de logística reversa e do seu plano operativo;
V	financiamento do sistema de logística reversa;
VI	governança para acompanhamento de performance;
VII	entidades gestoras;
VIII	forma de participação dos consumidores no sistema de logística reversa;
IX	obrigações dos fabricantes, dos importadores, dos distribuidores e dos comerciantes;
X	planos de comunicação e de educação ambiental;
XI	objetivos, metas e cronograma;
XII	monitoramento e avaliação do sistema;
XIII	viabilidade técnica e econômica do sistema de logística reversa; e
XIV	gestão de riscos e de resíduos perigosos.

Fonte: Adaptado do Decreto nº 10.936/2022 (BRASIL, 2022).

O Decreto determina que a implementação ou o aprimoramento do sistema de logística reversa deve ser realizado através de um termo de compromisso de âmbito nacional, seguindo os procedimentos especificados:

- I - Apresentação de proposta formal pelos fabricantes, pelos importadores, pelos distribuidores ou pelos comerciantes dos produtos e das embalagens a que se refere o art. 14, ao Ministério do Meio Ambiente, com as informações estabelecidas no §1º do art. 18 e os documentos de que trata o §2º do referido artigo;
- II - Oitiva dos órgãos federais com competências relacionadas à matéria, que deverão se manifestar no prazo de quinze dias; e
- III - Análise das manifestações a que se refere o inciso II, pelo Ministério do Meio Ambiente, que poderá:
 - a) aceitar a proposta, hipótese em que convidará os representantes do setor empresarial para assinatura do termo de compromisso, com a publicação de seu extrato no Diário Oficial da União;
 - b) solicitar aos representantes do setor empresarial a complementação ou o ajuste da proposta de termo de compromisso, com subsequente encaminhamento para a hipótese prevista na alínea "a" ou "c"; ou
 - c) determinar o arquivamento do processo, quando não houver consenso na negociação do termo de compromisso.

Parágrafo único. Os sistemas de logística reversa estabelecidos por termo de compromisso não serão precedidos de consulta pública (BRASIL, 2022, p. 9).

É enfatizado por Balbinot, Montovani e Panasolo (2022) a importância da priorização da participação de cooperativas ou de outras associações de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis, formadas por indivíduos de baixa renda, no sistema de coleta seletiva de resíduos sólidos, visando aumentar a reciclagem e outras formas de destinação final.

O Decreto nº 10.936/2022, promoveu alterações na Lei nº 12.305/2010 e revogou os textos que tratavam acerca do tema, nos Decreto nº 5.940/2006, Decreto nº 7.404/2010, Decreto nº 9.177/2017 e o inciso IV do caput do art. 5º do Decreto nº 10.240/2020 que identificava os componentes eletroeletrônicos desmontáveis e não fixados aos produtos eletroeletrônicos como excluídos do âmbito de aplicação do Decreto (BRASIL, 2022).

3.3.4 Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) – RP/SP

O Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) representa um modelo de planejamento estratégico que engloba um diagnóstico detalhado das condições municipais, bem como estabelece diretrizes e iniciativas de educação ambiental destinadas a prevenir a poluição e a degradação do meio ambiente.

Para Chaves, Siman e Sena (2020), o PMGIRS é um instrumento de medidas estratégicas focadas em abordar os desafios associados à gestão dos resíduos sólidos produzidos pelo município, levando em consideração aspectos políticos, econômicos, ambientais, culturais e sociais. Além disso, o PMGIRS visa propor estratégias para o controle e monitoramento dos processos produtivos a fim de prevenir disposições ou destinações inapropriadas.

Conforme o PMGIRS de Ribeirão Preto estado de São Paulo, o serviço de coleta seletiva não abrange todo o território municipal, beneficiando aproximadamente 75% da população. No entanto, esta média de cobertura do serviço de coleta seletiva tende a aumentar progressivamente. No município, materiais com potencial para reciclagem incluindo papel, plástico, metal e vidro, entre outros são recolhidos através de um serviço de coleta seletiva porta a porta, realizado semanalmente. Além disso, existem pontos de entrega voluntária, fruto de iniciativas privadas, distribuídos por uma variedade de locais, como estabelecimentos comerciais, escolas, centros comerciais, condomínios residenciais e redes de supermercados, facilitando o processo de recolhimento desses materiais pela população (RIBEIRÃO PRETO, 2020, p. 26).

Desde fevereiro de 2014, o município implementou a coleta seletiva de produtos eletroeletrônicos, resultando na coleta de cerca de 90 toneladas desses produtos até o momento. Só em 2019, foram descartadas 17 toneladas de REEE, conforme reportado em Ribeirão Preto (2020, p. 5).

Com o propósito de assegurar que o desenvolvimento econômico pautado na responsabilidade ambiental, o município de Ribeirão Preto, em colaboração com entidades públicas e institucionais, tem promovido uma série de iniciativas voltadas para a educação ambiental relacionada à gestão de resíduos sólidos. Entre as ações empreendidas, destacam-se: a realização de estudos para o desenvolvimento de um aplicativo dedicado à educação ambiental no contexto da gestão de resíduos sólidos, fruto de uma parceria com o Instituto Agir Ambiental, iniciativa que teve início em dezembro de 2019; a elaboração de uma cartilha de Educação Ambiental, concebida em 2017 pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMMA), disponibilizada tanto em formato impresso quanto digital, que abrange uma diversidade de temas, incluindo a gestão de resíduos sólidos no âmbito municipal; a implementação de seis ecopontos distribuídos estrategicamente pelo município, destinados ao descarte adequado de resíduos sólidos; e a gestão de um local específico para o descarte de resíduos eletroeletrônicos, situado na sede da SMMA (RIBEIRÃO PRETO, 2020).

O PMGIRS da cidade de Ribeirão Preto / SP, apresenta os programas voltados à educação ambiental:

As secretarias ainda possuem dois programas: o Programa Integrado de Educação Ambiental (PIEA), instituído em 01 maio de 2011, e o Programa de Educação Ambiental do Parque Municipal do Morro de São Bento (PEA), criado a partir de uma parceria com o Parque Municipal do Morro de São Bento em 02 maio de 2018, o qual foi desenvolvido em parceria com a Universidade de São Paulo (USP), *campus* de Ribeirão Preto.

O Programa Integrado de Educação Ambiental (PIEA) desenvolve atividades junto às escolas municipais. O programa possui projetos voltados para área de gestão de resíduos sólidos, como o “Recicla Ribeirão”, um projeto voltado ao público infantil/juvenil de 108 escolas (EMEI e EMEFs) e Centros de Educação Infantil (CEIs) da rede municipal de ensino da cidade de Ribeirão Preto. Segundo o MEC (2018), o número total de escolas (estadual, municipal e privada) em todos os níveis (fundamental, médio e infantil) era de 497 em Ribeirão Preto. De acordo com a totalidade apresentada, é possível aferir que cerca de 21,7% das instituições escolares são atendidas pelo PIEA, conseqüentemente, entende-se que 78,3% dos estabelecimentos deveriam ser contemplados no planejamento para abrangência do programa (RIBEIRÃO PRETO, 2020, p. 51).

O programa mencionado anteriormente abarca princípios de reciclagem e reutilização de materiais descartados, fomentando iniciativas que estimulam a reflexão dos estudantes acerca

dos impactos ambientais provocados pela disposição inadequada de resíduos sólidos. Além disso, promove a adoção de medidas visando a diminuição e mitigação desses impactos.

Com o objetivo de expandir a cobertura da coleta seletiva, o município delinea as seguintes estratégias: incentivar a criação de cooperativas e associações de catadores, promovendo a inclusão de catadores e a geração de renda, assim como aperfeiçoar seus modelos de gestão. Pretende-se também aumentar a participação dessas cooperativas na coleta seletiva domiciliar de materiais recicláveis, além de investir na capacitação de seus membros. Ademais, propõe-se a regulamentação da logística reversa, a ser adotada por fabricantes, comerciantes e importadores, especificada por tipo de resíduo, com o intuito de estimular a cadeia de reciclagem no município. Essa medida visa facilitar o aproveitamento de matérias-primas e insumos provenientes de materiais recicláveis e reciclados (RIBEIRÃO PRETO, 2020).

Por meio do programa integrado de educação ambiental para contextos educacionais formais e informais, implementado nas escolas municipais, o município almeja estender a oferta de cursos de educação formal a todas as instituições de ensino infantil e juvenil, tanto da rede pública quanto privada, presentes no território municipal. Atualmente, apenas 21,7% dessas instituições são contempladas pelo projeto. Adicionalmente, planeja-se disponibilizar cursos de educação ambiental não formal para todos os funcionários públicos municipais, bem como para o público em geral, promovendo também a conscientização e divulgação de práticas que visem à redução na geração de diversos tipos de resíduos (RIBEIRÃO PRETO, 2020).

3.4 SISTEMA DE INFORMAÇÃO E TECNOLOGIAS UTILIZADAS PARA GESTÃO DE REEE

Nesta seção, discute-se o conceito de sistema de informação, delinea-se as características de um sistema de informação voltado para apoio à tomada de decisão, explora-se as vantagens e a eficácia das ferramentas tecnológicas empregadas na gestão dos REEE, aborda-se a importância de um sistema dedicado à gestão dos REEE e oferece-se uma visão dos sistemas já existentes, que incentivam práticas de descarte sustentável deste tipo de resíduo, visando um futuro mais verde.

3.4.1 Sistema de Informação

Os computadores e sistemas computacionais/informação (SI) transformaram radicalmente nossas vidas, tornando-se uma parte indispensável e integrante do nosso cotidiano. Seu uso facilita a realização de diversas operações e atividades com maior precisão, qualidade e eficiência, reduzindo significativamente o tempo necessário para sua execução. Em um mundo em constante desenvolvimento e evolução, a continuidade dos sistemas de informação destaca-se por moldar a maneira como vivemos, trabalhamos e nos comunicamos.

Para Wakulicz (2016), um sistema de informação constitui-se como uma estrutura composta por elementos que estão interconectados e que dependem uns dos outros, destinada a alcançar um propósito específico. Tais sistemas podem ser estruturados com base em procedimentos de gestão, periodicidade, ou uma integração de ambos os aspectos. De maneira convencional, um sistema de informação é caracterizado por desempenhar três funções primordiais: a entrada de dados, onde as informações são recebidas; o processamento, caracterizado por operações de transformação aplicadas aos dados inseridos; e a saída de dados, momento em que as informações processadas são apresentadas através de relatórios, gráficos e outros meios similares. Zwass (2024), aponta que em um contexto simplificado, pode-se dizer que o sistema de informação é uma plataforma digital que combina ferramentas, processos e documentos. Usado para coletar, processar, armazenar e transmitir informações, de maneira a facilitar o acesso de usuários, solucionando problemas e atendendo suas necessidades.

Para Boell e Cecez-Kecmanovic (2015), os SI são fundamentais na era moderna, melhorando significativamente a eficiência e produtividade em âmbitos pessoais e profissionais. Com o uso deles, tarefas rotineiras são automatizadas, liberando pessoas para focar em atividades mais valiosas, e proporcionam acesso rápido a vastas quantidades de informações, facilitando a gestão de dados e a execução de tarefas complexas com precisão.

3.4.2 Sistema de Informação para Apoio a Tomada de Decisão

Na vida cotidiana os sistemas de informação são utilizados para aprimorar a comunicação e a conectividade, usando-se ferramentas como e-mails, mensagens instantâneas e redes sociais, já para as organizações os SI são ferramentas poderosas que fornecem visões valiosas para tomada de decisões estratégicas em setores como: negócios, saúde e educação, onde também facilita o aprendizado e a partilha de conhecimento. Boell e Cecez-Kecmanovic (2015) acrescenta que, a automação e o eficiente gerenciamento de informações proporcionados pelos SI, resultam em economia de tempo e esforço, contribuindo para transformar práticas empresariais, nos quais simplificam as operações e contribui para a inteligência do negócio,

permitindo uma gestão mais eficaz. Na esfera da saúde os SI proporcionam monitoramento e controle da saúde de forma segura. Além de permitir o uso de prontuários eletrônicos, que agiliza o atendimento e acesso às informações dos pacientes, auxilia na comunicação e na gestão eficaz de clínicas, laboratórios e hospitais, contribuindo significativamente para a elevação dos padrões de cuidado e segurança dos pacientes. No âmbito educacional, os sistemas de informação desempenham um papel fundamental na reformulação do acesso ao conhecimento e na distribuição de informações. Estes sistemas potencializam e facilitam o processo de aprendizagem, tornando-o mais acessível e interativo, consolidando-se como essenciais na sociedade contemporânea.

Como destacado anteriormente por Wakulicz (2016) e Zwass (2024), um sistema de informação é definido como uma plataforma digital estrategicamente projetada para alcançar objetivos específicos, por meio da coleta, processamento, armazenamento e disponibilização de informações. Essa estrutura facilita o acesso dos usuários e visa satisfazer suas necessidades. Entretanto, Nonato e Perez (2018) expandem essa visão argumentando que, os SI transcendem sua função básica. Segundo eles, os sistemas de informação são instrumentos indispensáveis para que as organizações não apenas permaneçam operacionais, mas também se destaquem em um mercado altamente competitivo, oferecendo vantagens estratégicas significativas.

Em estudo realizado por Nonato e Perez (2018), investigou-se o papel dos SI nas organizações como suporte às funções da memória organizacional, especialmente em contextos marcados por rápidas mudanças. Nesses ambientes, a habilidade de preservar conhecimento é crucial para manter uma vantagem competitiva, face aos desafios impostos por alta rotatividade de pessoal, processos de reorganização, fusões, aquisições e terceirizações. Para enfrentar tais desafios, é imperativo que as empresas desenvolvam estratégias ou utilizem de SI para salvaguardar sua memória corporativa. Nonato e Perez (2018) enfatizam ainda que, embora o uso deste tipo de SI traga vantagens competitiva estratégicas para as organizações que os utilizam, são grandes os desafios enfrentados para implantar os sistemas de informação, a começar pela as barreiras à adoção e a dependência do elemento humano para a captura e atualização de informações. Além disso, a preferência dos usuários por soluções simples e pragmáticas, como o uso de correios eletrônicos e planilhas, pode complicar as funções de integração e recuperação da memória organizacional. Essa abordagem, embora possa parecer ótima no curto prazo, pode ter consequências negativas a médio e longo prazos.

Para El-Ebiary *et al.* (2023), um sistema de informação que desempenha um papel crítico na tomada de decisões, coordenação, controle, análise e visualização de informações dentro de uma organização, não é simplesmente um SI e sim um sistema de informação gerencial (SIG),

que tem-se como principal objetivo facilitar a tomada de decisões de maneira mais assertiva, além de auxiliar a organização em seu planejamento. O autor ressalta que a eficácia do SIG é analisada pelo fornecimento rápido de informações qualificadas e precisas, que contribuem para o alinhamento das expectativas, metas, estratégias de ação e posicionamento no mercado. Por meio do Quadro 7 abaixo é possível observar alguns dos principais tipos de SIG para apoio a tomada de decisão.

Quadro 7 - Exemplos SIG para apoio a tomada de decisão.

Tipo	Descrição
EIS	<i>Executive Information System</i> - O sistema de informações executivas é uma ferramenta de relatórios que fornece acesso rápido a relatórios resumidos provenientes de todos os níveis e departamentos da empresa, como contabilidade, recursos humanos e operações.
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i> – software de controle e gerenciamento que trabalha com os processos, dados e informações gerenciais da empresa
CRM	<i>Customer Relationship Management</i> – sistemas que automatizam os processos e funções que organizam o contato com os clientes, coletando e armazenando contatos e seus históricos comerciais.
SCM	<i>Supply Chain Management</i> – tem a função de integrar os processos que dizem respeito a fornecedores, seja de produtos ou serviços.

Fonte: Adaptado do El-Ebiary *et al.* (2023).

Para Oliveira e Martiniuk (2021), os SIGs ocupam uma posição central na promoção do êxito das organizações modernas, facilitando a tomada de decisões por parte dos gestores e otimizando a eficiência e eficácia operacional, permitindo obter vantagens competitivas em relação aos concorrentes, pois o processo decisório estará mais focado e embasado em informações corretas e disponíveis em tempo hábil. A aplicabilidade dos SIGs nas organizações varia conforme o método de implementação adotado, enfatizando a importância de recomendações sistemáticas e pertinentes.

3.4.3 O Uso da Tecnologia para Gestão e Gerenciamento dos Resíduos Sólidos

A utilização de tecnologias tem se tornado indispensável para o gerenciamento eficiente dos REEE, desempenhando um papel crucial desde as etapas de coleta e separação até o processamento, reciclagem e disposição final, sendo essencial para a economia circular. Sua aplicabilidade estende-se por diversos aspectos da preservação ambiental, que vão desde: facilitar a identificação e classificação automatizada dos diferentes tipos de resíduos, elevando

significativamente a eficácia na distinção entre materiais recicláveis e não recicláveis; uso de SI para aprimorar as rotas de coleta de resíduos, visando a redução do consumo de combustíveis fósseis e, conseqüentemente, das emissões de gases de efeito estufa, além dos uso dos SIG para apoiar a tomada de decisão fundamentada em dados, otimizando a eficiência operacional. Ademais, a tecnologia prova ser um instrumento eficaz na promoção da educação e no engajamento digital, incentivando práticas sustentáveis entre a população. No campo da robótica, o emprego de tecnologia com Inteligência Artificial (IA) suportam à triagem automatizada de resíduos, melhorando tanto a precisão quanto a eficiência do processo. Esses robôs também são capazes de auxiliar na coleta de resíduos em locais de acesso restrito, evidenciando a versatilidade da tecnologia na superação de desafios operacionais no gerenciamento de REEE (MAGNO, 2023, p. 2).

LAW (2023) apresenta algumas cidades que fazem uso da tecnologia para gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos ao redor do mundo:

Singapura [...] foi adotada uma abordagem abrangente da gestão de resíduos, que inclui a coleta e separação de resíduos, a incineração de resíduos não recicláveis e a reciclagem de materiais. A cidade também utiliza tecnologias como contentores de lixo inteligentes e sistemas de rastreamento de resíduos para monitorar o fluxo em tempo real.

Amsterdã [...], além da tecnologia, possui uma forte cultura de reciclagem disseminada entre a população. A capital da Holanda tem um programa de reciclagem completo que separa e recicla uma ampla variedade de materiais. Outra cidade com alto índice de uso de tecnologia para o gerenciamento de resíduos é Tóquio, onde mais de 90% do lixo é reciclado ou compostado (LAW, 2023, p. 4.).

De acordo com LAW (2023), a inclusão de tecnologias avançadas na gestão e tratamento de resíduos sólidos é fundamental. Visto que, oferece modernidade e eficiência aos processos. Para o autor, é imperativo que o poder público adote inovações tecnológicas para melhorar as práticas de manejo e processamento de resíduos, visando a salvaguardar o meio ambiente. Além disso, Law enfatiza que é preciso adotar estratégias abrangentes que incluam a educação, a sensibilização da população e investimentos em infraestrutura apropriada. Pois estas ações são fundamentais para assegurar um manejo de resíduos eficiente e sustentável.

Em estudo realizado por Khan *et al.* (2022) sobre a situação atual, os desafios e perspectivas e o uso da tecnologia para a gestão de resíduos sólidos urbanos em oito regiões costeiras orientais da China, evidencia-se que em um mundo cada vez mais tecnológico, existem recursos avançados que permitem aprimorar qualquer modelo de gestão operacional. Onde as tecnologias de ponta, como *softwares* especializados em gestão, demonstram capacidade para substituir processos manuais, integrando o controle de atividades operacionais

em uma plataforma unificada. Os SIGs desempenham um papel crucial no gerenciamento de documentações e licenças, na elaboração de relatórios externos e na garantia da rastreabilidade dos resíduos desde sua geração até o tratamento final. Estas tecnologias também são fundamentais na identificação de potenciais gargalos operacionais, permitindo a otimização contínua do processo de gestão de resíduos (KHAN *et al.*, 2022, p. 8.). Há uma ampla gama de soluções tecnológicas que podem ser adaptadas e implementadas de acordo com as necessidades específicas de cada realidade. Tais tecnologias, já em uso em várias cidades europeias e em outras partes do mundo, podem servir de inspirações e estudos de caso aplicáveis ao contexto brasileiro, proporcionando modelos eficazes para enfrentar desafios similares em busca de promover o desenvolvimento econômico sustentável (LAW, 2023, p. 4).

Para Czekala, Drozdowski e Labiak (2023), a implementação de sistemas tecnológicos destinados a otimizar o processo de manejo de resíduos, tornando-o simultaneamente mais eficiente, ecológico e sustentável, não apenas potencializa as operações atuais de gestão e reciclagem, mas também se antecipa a um futuro onde os progressos tecnológicos desempenharão um papel crucial na ampliação das taxas de reciclagem e na eficácia global do processo. Para os autores, os avanços tecnológicos provavelmente terão um impacto ainda maior nas taxas e na eficiência da reciclagem, levando a um planeta mais verde e saudável. Assim, a gestão inteligente de resíduos representa um componente crucial na transição para práticas de desenvolvimento mais sustentáveis e na mitigação dos desafios ambientais contemporâneos.

Em estudo conduzido por Madkhali *et al.* (2023), os autores oferecem uma análise ampla das estratégias e métodos empregados na previsão e gestão de REEE na Arábia Saudita. Conforme destacado em sua pesquisa, o país emerge como o maior gerador de resíduo de equipamento eletroeletrônico entre as nações árabes, uma realidade que tem estimulado a adoção de diversas iniciativas e políticas ao longo das últimas décadas. Contudo, a gestão eficaz desses resíduos permanece como um desafio ainda não resolvido. Madkhali *et al.* (2023) enfatizam que a solução para este dilema transcende a aplicação de metodologias de gestão isoladas, argumenta-se que a segregação inadequada e os sistemas de reciclagem existentes, tornam a gestão dos resíduos eletroeletrônicos mais difícil. As práticas vigentes na Arábia Saudita são marcadas por uma falta de eficiência e especialização, ressalta-se a necessidade de uma rede de gestão bem regulamentada com estimativas e previsões precoces e ações concretas para mitigar os impactos prejudiciais. Neste contexto, os autores recomendam a criação de um marco regulatório robusto, que integre sistemas informatizados de monitoramento e previsão, aliados a estratégias de conscientização e engajamento social. Adicionalmente, sublinha-se a

necessidade de implementar um sistema de gestão REEE abrangente que apoie a gestão de resíduos eletroeletrônicos, facilitando a segregação efetiva, reciclagem e disposição final segura, visando uma resposta integrada e eficiente ao desafio apresentado.

Law (2023) aponta que, o uso de tecnologia, seja na operacionalização da gestão de resíduos ou como ferramenta de apoio à tomada de decisão, frequentemente encontra obstáculos para sua implementação, devido aos elevados custos e a falta de financiamento adequado para a produção. Contudo, é somente com sua adoção em larga escala que sua viabilidade econômica e operacional se torna mais palpável e concretizável.

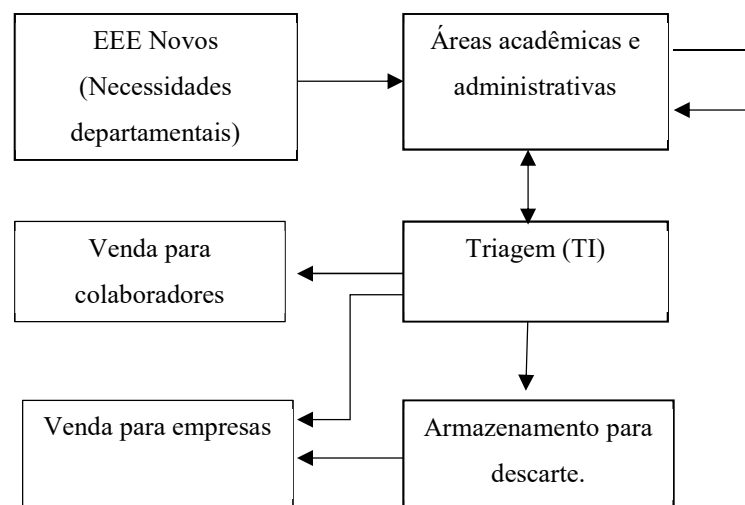
3.4.4 Sistemas de Gerenciamento de REEE

Atualmente, observa-se que os equipamentos eletroeletrônicos rapidamente se tornam inadequados para atender às necessidades dos consumidores. Isso, pode ocorrer por diversos motivos, entre eles: o desgaste natural do equipamento, atrelado a qualidade de fabricação, onde a tecnologia empregada não é de boa qualidade e contribui significativamente para a redução da vida útil desses dispositivos; condições ambientais em que os EEE são usados e mantidos, juntamente com o nível de manutenção e os cuidados que recebem e a obsolescência programada onde o equipamento deixa de atender as necessidades por não suportarem atualizações ou por não apresentar performance suficiente para executar os novos aplicativos, sistemas, entre outros. Todos esses fatores, influenciam a vida útil dos equipamentos eletroeletrônicos (HUANG *et al.*, 2020, p. 12).

Seguindo os fatores apontados por Huang *et al.* (2020), entende-se que os EEE são produzidos para uma vida útil limitada, resultando em sua rápida obsolescência e, por conseguinte, tornando-se uma fonte de preocupação para ambientalistas, governos e organizações ambientalmente conscientes. Partindo deste princípio, o autor desta tese realizou um estudo investigativo durante o mestrado para identificar como as IES privadas do interior do estado de São Paulo/BR, realizam o manejo dos EEE adquiridos por elas (BORGES, 2022). Assim, identificou-se que a maioria das IES explanadas no estudo utilizam o conceito de economia circular, no qual o fim do ciclo de vida de um EEE não se encerra quando o equipamento não atende mais as necessidades do primeiro proprietário/usuário, pois, este equipamento ainda atender a demandas de um segundo ou terceiro usuário. O estudo aponta que, maior parte das IES investigadas, realizam remanejamento ao adquirir um novo equipamento. Por exemplo: ao adquirir um novo computador, este irá substituir um computador já existente no setor que solicitou a aquisição e será realizado o remanejamento do computador

substituído até que o equipamento de configuração inferior seja retirado do departamento. Após este processo, o equipamento passa por uma triagem pelo departamento de tecnologia da instituição, onde o mesmo é avaliado e analisa-se a possibilidade de remanejá-lo para outro departamento dentro da IES. Caso o equipamento não atenda mais a necessidade da IES, contudo, se estiver em condição de uso, ele é armazenado, para posteriormente ser vendido para colaboradores ou empresas parceiras. Os EEE que não são comercializados são destinados ao desmonte para reutilização de componente, já os componentes inutilizáveis e ou aparelhos ultrapassados, são vendidos como REEE para empresas que ainda tentam reaproveitar, e por fim, repassam para empresas especializadas que fazem a reciclagem. As informações coletadas no mestrado do autor desta tese (BORGES, 2022), além de possibilitar a criação de diagramas que facilita a compreensão do processo de manejo dos equipamentos eletroeletrônicos dentro destas IES, como demonstrado na Figura 5, serviram de subsídio para que o autor criasse diretrizes de gerenciamento de REEE, que servem de apoio às IES privadas, a criarem suas próprias políticas internas.

Figura 5 – Diagrama de manejo dos EEE dentro de uma IES investigada



Fonte: BORGES (2022, p. 75).

Observa-se no contexto apresentado que as IES que participaram do estudo, preocupam-se com o desfazimento de forma sustentável dos EEE que não atendem suas necessidades. O estudo aponta ainda que, durante a pandemia da Covid-19, as IES investiram fortemente na aquisição de EEE para manter suas atividades acadêmicas e administrativas. Identificou-se que, seus investimentos na área de tecnologia concentraram-se na aquisição de *hardwares*, como: computadores/*notebooks* e equipamento *multimídia* para manter as aulas *online*; expansão de *links* de Internet para aulas mediadas por tecnologia e *softwares* (BORGES, 2022, p. 80).

Para Gusso *et al.* (2020), as IES enfrentaram desafios sem precedentes devido à pandemia da Covid-19. As restrições e complicações resultantes tiveram um impacto substancial no ambiente educacional, afetando profundamente tanto os processos de aprendizagem quanto as operações institucionais. Gusso *et al.* (2020) pontua que, para preservar a continuidade de suas atividades acadêmicas as IES foram compelidas a adotar ferramentas digitais e isso implicou investimentos significativos na capacitação do corpo docente para enfrentar este novo paradigma. No entanto, no âmbito do ensino apoiado por tecnologia, enfrentou-se o desafio de que nem todos os professores e estudantes dispunham dos recursos tecnológicos necessários (tais como computadores/*notebooks*, *webcams*, *headsets*) ou de um acesso à *internet* de qualidade suficiente que permitisse uma interação eficaz entre alunos, professores e as instituições. Considerando a rápida obsolescência dos EEE, conforme destacado anteriormente neste estudo, é calculável que os dispositivos adquiridos durante a pandemia, estejam prestes a serem descartados. Assim, é de suma importância que as IES, considerem a necessidade de um sistema para apoio à tomada de decisão, que ajude no controle de equipamentos que ainda podem ser reaproveitados, realocados ou descartados.

Em estudo de caso realizado por Costa (2019) em uma IES localizada no município de Porto Velho – RO, identificou-se a necessidade de se desenvolver e implementar um sistema que possibilite melhorar a gestão dos REEE gerados internamente na IES estudada, com o objetivo de assegurar o armazenamento apropriado, facilitar o remanejamento e aprimorar o controle sobre os EEE e seus resíduos.

Percebe-se que as IES brasileiras se demonstram engajadas em ações de sustentabilidade, visto que, algumas IES criam programas e pontos de coletas de REEE para que a comunidade possa se desfazer dos resíduos eletroeletrônicos de maneira ecologicamente correta. Um exemplo proeminente é a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) que, em colaboração com a Weee.do criou um ponto de entrega voluntária de REEE em seu campus de Florianópolis, onde uma organização social realiza a coleta dos resíduos e reaproveita parte das peças recolhidas para promover a inclusão digital em comunidades carentes, enquanto os materiais não reutilizáveis são direcionados para reciclagem em processos legalmente autorizados e certificados. Embora a iniciativa não inclua a coleta de resíduos diretamente nas residências, ela oferece um local acessível para que as pessoas possam levar seus resíduos eletroeletrônicos ao ponto de entrega voluntária (PEV) (UFSC, 2020).

Observa-se que desde a promulgação da PNRS instituída sob a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, tanto o setor público quanto o as iniciativas privadas vêm discutindo e promovendo ações sustentáveis acerca dos REEE. Porém, apesar dos esforços contínuos,

somente em 2022 o país testemunhou o lançamento da primeira plataforma digital para gestão de resíduos eletroeletrônicos (BRASIL, 2022). Esta plataforma incorpora conceitos de gestão ambiental e economia circular, facilitando o reaproveitamento de equipamentos eletroeletrônicos que já não servem aos seus proprietários originais. Ela oferece a possibilidade de pessoas em qualquer local do Brasil solicitarem a coleta de resíduos ou produtos eletroeletrônicos, permitindo o acompanhamento do processo em tempo real. Uma vez coletado, o item é enviado para uma unidade de processamento onde passa por um processo de manufatura reversa ou recondicionamento, que inclui reparos, limpeza, testes e atualizações, antes de ser revendido a novos consumidores. A plataforma também facilita a emissão de certificados de destinação final, destruição e rastreabilidade, além de relatórios estratégicos para a gestão ambiental, contribuindo com a conformidade junto a órgãos reguladores como Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA). O objetivo é maximizar a vida útil dos produtos e materiais, aliviando a demanda por recursos naturais e promovendo a sustentabilidade (BRASIL, 2022).

Na cidade de Banda Aceh, localizada na Indonésia, bem como em diversas cidades e países ao redor do mundo, enfrenta-se problemas no tocante à gestão e processamento dos REEE, onde observa-se que os cidadãos frequentemente realizam o descarte desses resíduos em lixeiras comuns ou queimam em terrenos baldios. De acordo com Farizi e Sari (2021), esta prática pode ser atribuída a várias causas, incluindo a indisponibilidade de containers específicos para o depósito resíduos eletroeletrônicos, a ausência de conhecimento sobre os locais apropriados para a disposição dos REEE, e um deficiente entendimento sobre a importância de segregação do lixo/resíduo eletroeletrônico do lixo comum. Nesse contexto, Farizi e Sari (2021) desenvolveram e implementaram um sistema para gerenciamento dos resíduos eletroeletrônicos, baseado em uma tecnologia segura (*Blockchain com Hyperledger Fabric*). Tal sistema foi desenvolvido para executar como um aplicativo em dispositivos móveis que contenham sistema *Android*.

Farizi e Sari (2021), descreve como funciona o aplicativo:

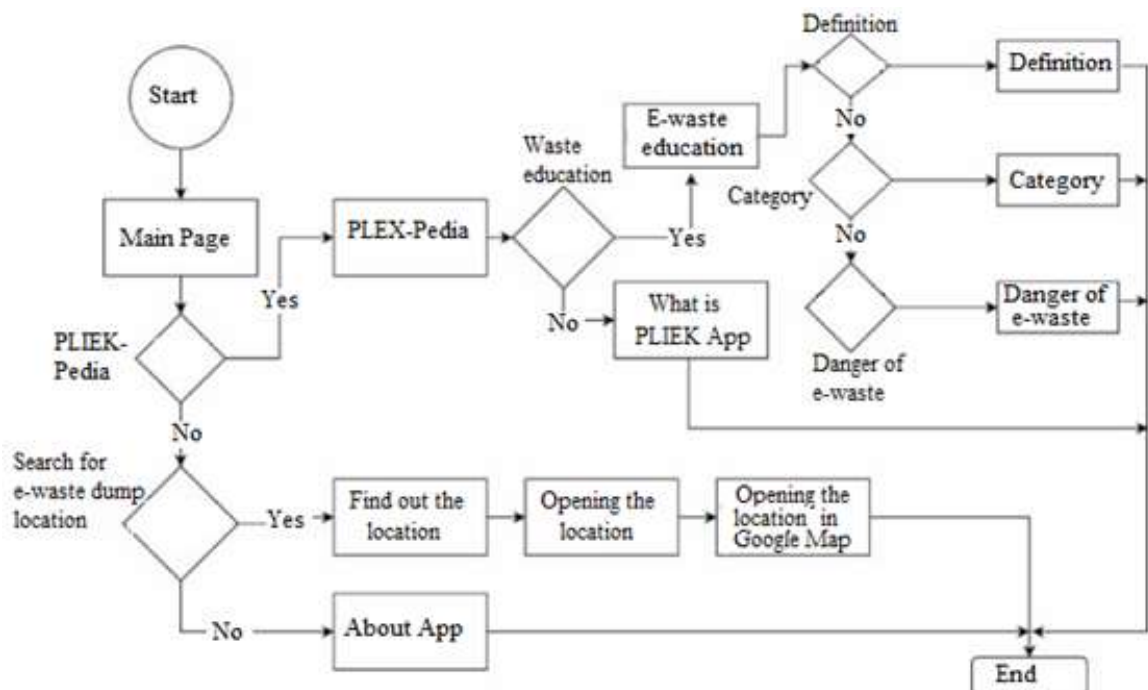
O aplicativo *android* deste sistema serve para descobrir a localização do ponto de coleta de lixo eletrônico e como um aplicativo educacional que contém conhecimentos sobre lixo eletrônico. A determinação da localização do local de coleta de lixo eletrônico considera diversos aspectos com a ajuda da tecnologia GIS. Além disso, a tecnologia do *Google Maps* é fornecida para direcionar os usuários do aplicativo aos locais de coleta de lixo. Esta coleta de lixo eletrônico utiliza um sistema de pontuação para atrair o público a entregar seus resíduos a uma coleta pré-determinada de lixo eletrônico. Após a coleta comunitária ou coleta de seu lixo eletrônico, será obtida uma pontuação com base no tipo e quantidade de lixo coletado. Os dados e resíduos da comunidade serão

armazenados em tecnologia baseada em *Blockchain*. *Blockchain* é uma tecnologia descentralizada para que os bancos de dados sejam distribuídos (FARIZI e SARI, 2021, p. 12).

O aplicativo desenvolvido por Farizi e Sari (2021), apresenta um sistema de pontuação que tem como objetivo educar e motivar a população a realizar o descarte adequado de resíduos eletroeletrônicos. Esse sistema segue critérios previamente definidos que atribui pontos aos indivíduos que depositam seus resíduos nos pontos de coleta. As pontuações acumuladas são registradas em um banco de dados que conta com tecnologia segura, que impede sua manipulação de forma inadequada. Os autores do estudo em questão, propuseram formas de recompensas que podem ser obtidas mediante a acumulação de pontos. Que incluem: a conversão de pontos em criptomoedas, resgates em dinheiro ou a obtenção de outras formas de gratificação, tais como presentes ou *vouchers*, fomentando assim uma maior participação e engajamento por parte da comunidade na correta disposição de resíduos eletroeletrônicos.

Observa-se por meio da Figura 6 o *design* de aplicativo móvel de gerenciamento de resíduos eletroeletrônicos desenvolvido por Farizi e Sari (2021).

Figura 6 - Fluxo de uso de um aplicativo móvel para gerenciamento de REEE



Fonte: FARIZI E SARI (2021).

Farizi e Sari (2021), apresenta na Figura 6 que ao iniciar o aplicativo, o usuário será conduzido à tela inicial, na qual terá à sua disposição uma variedade de funcionalidades. Entre essas, incluem-se a opção de localizar pontos de coleta de resíduos eletroeletrônicos,

informações detalhadas sobre o aplicativo, e um módulo educativo acerca dos resíduos eletroeletrônicos. Se o usuário selecionar a opção de recurso educacional, será redirecionado para uma seção dedicada, que abrange tanto a educação sobre resíduos eletroeletrônicos quanto orientações sobre o uso do aplicativo. Por outro lado, ao escolher a funcionalidade de localização, o aplicativo *Google Maps* será ativado, fornecendo direções para o ponto de coleta de REEE mais próximo.

Anteriormente ao sistema de gerenciamento de REEE desenvolvido em Banda Aceh, Indonésia, um sistema de coleta de resíduos eletroeletrônicos já havia sido implantado na universidade Monash, Malásia. Sistema este, que faz uso da *Internet das Coisas* (IoT) e tem o objetivo de promover a sustentabilidade do conceito de cidades inteligentes. Como parte desse sistema, foi projetado uma caixa inteligente de coleta de resíduo eletroeletrônico doméstico, equipada com sensores para medir o nível de resíduos eletroeletrônicos a fim de registrar os dados de descarte. Para gerenciar essas caixas inteligentes, foi desenvolvido um servidor de *backend* que notifica e agenda automaticamente a coleta dos resíduos eletroeletrônicos quando o volume na caixa de coleta atinge um limite predefinido. Assim como em Banda Aceh, este projeto foi concebido para auxiliar os usuários finais na disposição adequada de seus REEE domésticos, indicando o local mais próximo da caixa inteligente de coleta (KANG *et al.*, 2019, p. 3).

Exibe-se na Figura 7 dois modelos da caixa inteligente apontadas no trabalho de Kang *et al.* (2019).

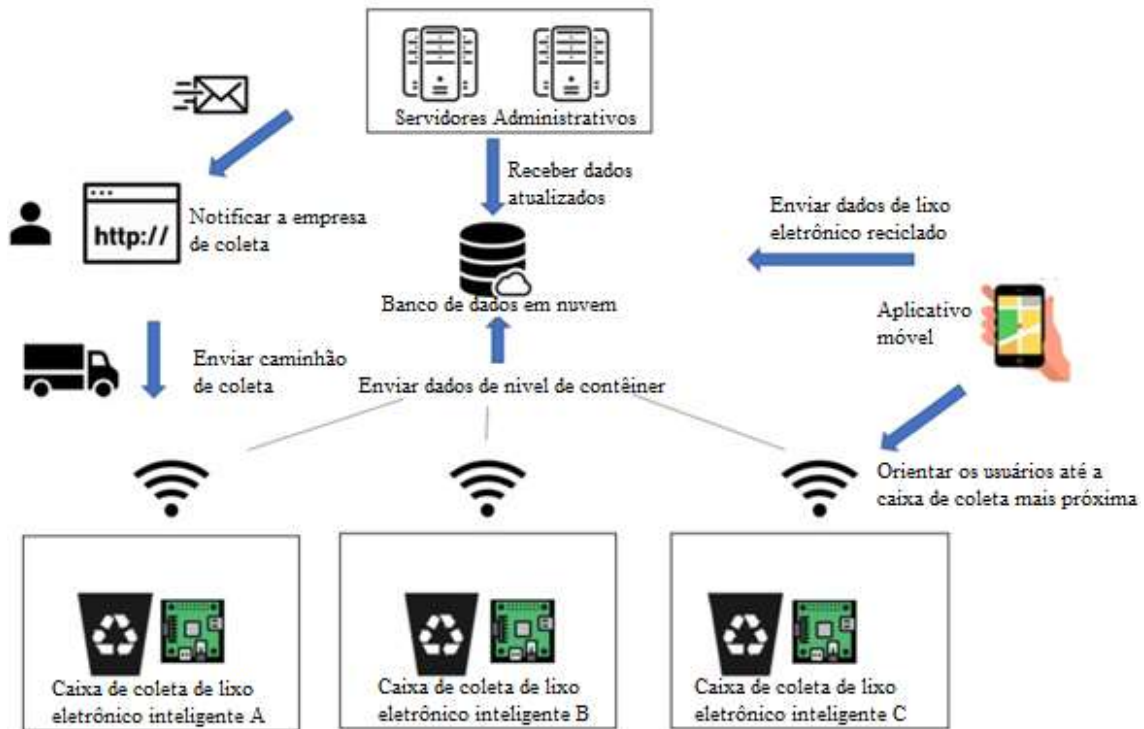
Figura 7 - Caixa inteligente de coleta de resíduo eletroeletrônico



Fonte: KANG *ET AL.* (2019).

Já na Figura 8 visualiza-se a arquitetura do sistema de coleta de REEE.

Figura 8 - Arquitetura do Sistema de coleta de REEE



Fonte: Adaptado de Kang *et al.* (2019).

As cidades inteligentes mencionadas acima, são definidas por Eremia, Toma e Sanduleac (2017), como uma cidade que faz uso da tecnologia da informação e comunicação (TIC) para melhorar a eficiência operacional, compartilhar informações com o público e fornecer uma melhor qualidade de serviço governamental e bem-estar ao cidadão. Os autores defendem que as cidades inteligentes ou *smart cities*, devem ser pensadas como cidades inteligentes sustentáveis do futuro, que não apenas contam com a eficiência energética e adoção de políticas de sustentabilidade, mas também fazem uso de IoT para conectar e otimizar a infraestrutura urbana.

De acordo com Sharma, Kumar e Mangla (2023), a tecnologia deve ser usada como facilitador na gestão sustentável dos resíduos. Para os autores os sistemas de gerenciamento de REEE promovem avanços significativos através da automação e eficiência no processamento. Este tipo de tecnologia permite a extração de *insights* valiosos a partir de dados visuais, automatizando tarefas que antes dependiam de capacidades humanas, o que resulta em uma gestão mais confiável, econômica, com melhor controle e segurança. Por fim, os autores esperam que a adoção de tecnologia leve a uma abordagem mais eficaz e ecologicamente

responsável no manejo dos resíduos eletroeletrônicos, estabelecendo práticas de gestão sustentáveis e avançadas.

3.5 CONCEITOS DE ARQUITETURA DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO

Esta seção expõe os conceitos de arquitetura de sistema de informação, com a abrangência de uma série de princípios fundamentais que orientam como os sistemas de informação são estruturados, projetados e desenvolvidos. Conceitos essenciais para criar sistemas robustos, escaláveis e de fácil manutenção.

3.5.1 Definição do Problema

Segundo Pfleeger (2004) o desenvolvimento de qualquer *software* deve ter como requisito básico a identificação do problema ao qual o sistema pretende resolver. Para o autor esta é uma etapa fundamental para se iniciar o desenvolvimento de um *software*. Nesta fase o objetivo é compreender o que precisa ser resolvido, as lacunas ou dores apontadas pelos usuários.

Fernandes (2003) aponta que a definição do problema precisa ser realizada de maneira clara e concisa, deve-se estabelecer definições e objetivos gerais e específicos que o sistema precisa alcançar. Outro ponto importante descrito pelo autor é a necessidade de se identificar os limites e restrições, incluindo restrições tecnológicas, orçamentárias, de tempo e recursos humanos.

3.5.2 Diagrama de Ishikawa ou Diagrama de Causa e Efeito

O Diagrama de Ishikawa é descrito por Paladini (2004), como ferramenta de representação gráfica utilizada para identificar, explorar e exibir visualmente as possíveis causas de um determinado problema. Paladini (2004) expõe ainda que, o diagrama Ishikawa ou diagrama de espinha de peixe, como também é conhecido, é muito utilizado na gestão de qualidade, processos de melhoria contínua e análise de falhas. Para Luca (2016), o diagrama de Ishikawa apresenta uma natureza flexível e adaptável, não se restringindo a um modelo fechado. Essa característica, possibilita adapta-lo conforme a necessidade de cada análise.

3.5.3 Stakeholders

Lyra e Gomes (2009) defini *stakeholder* como as partes interessadas, que podem ser qualquer pessoa, desde funcionários da linha de frente até fornecedores, parceiros e ou organizações que possuem interesse ou são afetados por ações, objetivos e políticas de uma empresa. Em estudo realizado por Benn, Abratt e O'Leary (2016), evidencia-se que a literatura carece de uma compreensão unificada dos fundamentos do envolvimento das partes interessadas, e a abordagem fragmentada da construção do envolvimento das partes interessadas desafia o seu desenvolvimento e legitimidade. Os autores argumentam que, ao pensar nos *stakeholders*, as organizações devem concentrar-se na satisfação de todos os envolvidos.

3.5.4 Usuários do Sistema

No contexto de sistemas de informação, o controle de acesso refere-se às permissões concedidas a um usuário autenticado dentro do sistema. Esses usuários, também conhecidos como Atores ou *Stakeholders*, podem receber autorizações para acessar telas específicas e visualizar determinadas informações. Essa estrutura de permissões é fundamental para garantir a segurança e a eficiência operacional do sistema.

Segundo Maia, Barbosa e Williams (2019), os usuários de sistemas são pessoas que utilizam um determinado serviço, sistema ou plataforma. No âmbito da tecnologia da informação, o termo usuário é geralmente utilizado para designar aqueles que interagem com *softwares*, aplicativos, *sites* e dispositivos eletroeletrônicos em geral.

3.5.5 Análise de Requisitos do Sistema

Para Freitas e Francisco (2013), a análise de requisitos é uma etapa fundamental no processo de desenvolvimento de sistemas. Nesta fase, procura-se compreender e definir os requisitos necessários para o desenvolvimento do sistema. Esta análise serve para assegurar que o produto final atenda às necessidades e expectativas dos usuários e das partes interessadas, ou seja, os objetivos que se pretende alcançar. Durante esta etapa, identifica-se quem são os *stakeholders* e quais são suas expectativas em relação ao sistema. Além disso, procede-se ao

levantamento de todas as tabelas que constituirão a base de dados, essenciais para o armazenamento das informações.

3.5.6 Limite Sistêmico

O limite sistêmico é referido por Leffingwell e Widrig (2000), como o ponto além do qual um sistema não consegue mais operar. Assim, o limite sistêmico restringe a área de atuação do sistema. Os autores expõem que para determinar o limite sistêmico é preciso uma avaliação reflexiva que busca responder as questões, abaixo:

- Quem fornecerá, usará ou removerá a informação do sistema?
- Quem operará o sistema?
- Quem realizará manutenção no sistema?
- Onde o sistema será usado?
- De onde o sistema conseguirá sua informação?
- Que outros sistemas externos interagirão com o sistema?

3.5.7 Lista de Restrições

De acordo com Leffingwell e Widrig (2000), lista de restrições refere-se ao limite que determina a extensão da liberdade que temos para oferecer uma solução. As restrições podem ser identificadas a partir de fontes mais comuns, como: econômicas, políticas, tecnológicas, sistemas, ambientais, cronograma e recursos.

3.5.8 Modelagem Conceitual

De acordo com Leffingwell e Widrig (2000), a modelagem conceitual é um processo fundamental no desenvolvimento de sistemas de informação, servindo como uma representação abstrata do mundo real, no qual possam ser compreendidas nas necessidades reais e encontrar soluções que possam satisfazê-las. Seu objetivo principal é aprofundar a compreensão do problema a ser resolvido, antes do início do desenvolvimento do *software* e fornecer uma representação compreensível do sistema para todos os *stakeholders* envolvidos.

Para Thallheim (2012), os modelos conceituais utilizam uma linguagem como portadora do artefato de modelagem e são restringidos pela expressividade deste portador. É uma maneira de representar as informações que serão manipuladas por um sistema de maneira abstrata, que permite aos desenvolvedores e *designers* de sistemas compreender e organizar os requisitos de forma clara e estruturada. Para o autor, a modelagem é um dos principais elementos da cultura da ciência da computação, que consiste em padrões de comportamento comumente aceitos, artes, consenso, instituições e todos os outros meios e pensamentos de apoio.

Em estudo realizado por Gabriel *et al.* (2020), apresenta-se as boas práticas para a modelagem conceitual, que visam desenvolver modelos conceituais robustos e eficazes. Segundo os autores, a modelagem conceitual descreve de maneira formal as regras de negócio e são geralmente representados por meio de diagramas, que facilitam a visualização e compreensão das estruturas de dados.

3.5.9 Modelagem de Sistema

Para Georges (2010), a modelagem de sistema se difere da modelagem conceitual, pois enquanto o primeiro está relacionado à implementação e ao funcionamento prático de um sistema, levando em consideração as restrições técnicas e os requisitos detalhados, o segundo tem foco nos conceitos, ideias implícitas e nas restrições gerais. Assim, enquanto a modelagem conceitual se concentra nos aspectos e na estrutura geral de um sistema, a modelagem de sistema lida com a implementação e os detalhes técnicos para tornar esse sistema funcional. De acordo com Sommerville (2011), a modelagem de sistemas é o processo de criar modelos abstratos de um sistema de informação, onde cada modelo é elaborado para descrever uma visão ou perspectiva diferente do sistema de informação.

3.5.10 Linguagem UML - *Use Case*

Para Costa (2001), os a utilização da a Linguagem de Modelagem Unificada (UML) permite criar diagramas que traz a representação textual ou visual que descreve uma sequência de eventos que ocorrem quando o usuário interage com o sistema. Na visão de Johnston (2004), esta linguagem é aplicada com o propósito de compreender e otimizar a interação do negócio com seu ambiente externo, analistas de sistemas e arquitetos de soluções utilizam o caso de uso

como uma ferramenta para fornecer *insights* essenciais para o desenvolvimento da solução proposta.

3.5.11 Definição de Linguagem de Programação

A linguagem de programação é definida por Sebesta (2012), como uma linguagem formal, que através de instruções padronizadas, formada por um conjunto de regras sintáticas e semânticas, permite que o desenvolvedor comunique suas intenções precisas ao computador, fazendo com que a máquina execute as operações desejadas.

Para Ghazala e Islam (2016), as linguagens de programação podem variar em complexidade e propósito, que vão desde linguagens de baixo nível, que se aproximam da linguagem de máquinas, até linguagem de alto nível, que são mais próximas da linguagem humana. Segundo os autores, as linguagens de programação são meios formais que, através de um conjunto de instruções, permitem que os desenvolvedores escrevam sequências de comandos, ações consecutivas, dados e algoritmos para criar sistemas que controlam a máquina para executar determinadas tarefas seguindo as ações pré-definidas.

Uma linguagem de programação pode ser convertida ou traduzida em código de máquina através dos processos de compilação e interpretação. A compilação envolve a tradução do código fonte para código de máquina de uma única vez, enquanto a interpretação realiza essa tradução de maneira gradual, à medida que o programa é executado. Ambos os métodos convertem o código fonte, escrito em uma linguagem de programação, para código de máquina, permitindo assim sua execução pelo computador (SEBESTA, 2012, p. 25).

3.5.12 Definição de Banco de Dados

Segundo Berrington (2017), um banco de dados abrange qualquer sistema que agrega e mantém uma coleção organizada de informações relacionadas a um tópico específico, seguindo uma determinada ordem. Estas informações são armazenadas em tabelas compostas por diversas linhas subdivididas em colunas identificadas por campos. Onde cada linha representa um registro do banco de dados. Para o autor, os sistemas de banco possuem características específicas que permitem o armazenamento, classificação, garantia da integridade e recuperação eficiente dos dados. Tais registros podem ser acessados através de consultas, geralmente destinadas a um propósito comum. Berrington (2017) enfatiza que atualmente,

testemunha-se um período de significativa transformação e evolução, impulsionado pela proliferação contínua das tecnologias da informação e comunicação. Diante disso, surge a necessidade de armazenar informações de uma forma organizada, confiável e de fácil recuperação.

Este projeto foi estruturado para utilizar o *Firebase*, uma plataforma de desenvolvimento multiplataforma que fornece infraestrutura de *back-end* e permite que os desenvolvedores concentrem seus esforços na criação de aplicativos, sem a necessidade de se preocupar excessivamente com a hospedagem dos dados.

3.5.13 Modelagem de Banco de Dados

Para Parsons (2003), a modelagem de dados evoluiu significativamente longo dos anos, transitando de uma abordagem centrada em aspectos técnicos e orientada às limitações das máquinas, para uma perspectiva voltada à compreensão e representação da estrutura do conhecimento tal como percebido pelos usuários finais. Alves (2014) refere-se à modelagem de banco de dados como um dos momentos mais críticos no processo de desenvolvimento de *software*. Para o autor, este processo, envolve entender de forma precisa a necessidade e criar um modelo lógico e eficiente, para que o produto final cumpra os propósitos estabelecidos. Já Mosquera, Navarrete e Mora (2020) descrevem que a modelagem de banco de dados em várias etapas, que são: o levantamento de requisitos, onde se compreende as necessidades dos dados; a modelagem conceitual, com a criação do modelo de dados de maneira abstrata; a modelagem lógica, que trata do refinamento do modelo conceitual e inclui mais detalhes, como: os tipos de dados e as regras de integridade; a modelagem física, que nada mais é que uma adaptação do modelo lógico para um modelo próprio para o sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Nesse capítulo apresentam-se os procedimentos metodológicos empregados no desenvolvimento do presente estudo e no desenvolvimento do sistema de gerenciamento dos REEE para uso em IES.

Salienta-se que foi utilizado inteligência artificial, disponível em <<https://chatgpt.com>>, como ferramenta de apoio na escrita deste estudo. Contudo, ressalta-se que a revisão de literatura, estruturação, ideias e reflexões foram realizadas pelo autor.

4.1 NATUREZA DO ESTUDO

O presente estudo é de natureza exploratória, com abordagem metodológica quali-quantitativa.

De acordo com Gil (2017), as investigações exploratórias destacam-se por sua flexibilidade no planejamento, possibilitando ao pesquisador observar e compreender de forma mais aprofundada os aspectos inerentes ao fenômeno em estudo. Para o autor, o pesquisador busca familiarizar-se com o conteúdo que se pretende estudar. Já a abordagem quali-quantitativa é referenciada por Schneider, Fujii e Corazza (2017), como a união da pesquisa qualitativa e quantitativa e aplicam-se em estudos que buscam entender processos dinâmicos, considerando os aspectos da realidade social e realizando levantamentos de dados. Desta forma, o cruzamento dos dados obtidos por meio de revisão bibliográfica com os resultados do levantamento e análise de dados possibilita uma investigação mais abrangente e aprofundada sobre o tema em questão.

4.2 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE INFORMAÇÃO PARA GERENCIAMENTO DE REEE

Para o desenvolvimento do sistema proposto neste estudo, seguiram-se as etapas ilustradas na Figura 9 (elaborada a partir do *MS PowerPoint 2022*), que abrangem desde o planejamento até a construção e validação efetiva do sistema, facilitando assim a compreensão e o desenvolvimento do sistema de gestão e gerenciamento de REEE. A divisão ocorreu da seguinte forma:

Figura 9 – Fluxograma do ciclo para o desenvolvimento do sistema



Fonte: Autoria própria (2024).

Na etapa de planejamento, identificou-se o problema e a lacuna que o sistema pretende preencher. Utilizou-se o diagrama de *Ishikawa* como ferramenta de representação gráfica para explorar e visualizar as possíveis causas do problema, além de identificar as partes interessadas e envolvidas no processo representadas por meio do diagrama de *Stakeholders*.

Em análise de requisitos, foram analisados modelos conceituais e de sistema, que permitiram a visualização de representações abstratas do mundo real e a compreensão das reais necessidades antes do início do desenvolvimento do sistema. Nesta etapa, elaborou-se um diagrama de modelagem de sistema, que facilitou a visualização e compreensão das estruturas do sistema. Foram desenvolvidos diagramas de casos de uso, utilizados para documentar e descrever as interações entre os usuários e o sistema. Além disso, levantou-se os requisitos funcionais (RF) e não funcionais (RNF), utilizado para entender as necessidades dos usuários e as características técnicas do projeto, e bem como modelos abstratos que descrevem a visão, as perspectivas e as sequências de eventos que ocorrem quando os usuários interagem com o sistema. Assim, o autor conseguiu transmitir claramente as intenções e requisitos do sistema, fornecendo aos desenvolvedores insights valiosos para a compreensão e desenvolvimento do sistema proposto.

Na etapa de definição de linguagens e estrutura, definiu-se as linguagens de programação que foram utilizadas para o desenvolvimento do sistema. A escolha das linguagens, se deram pela facilidade de uso e por permitir a criação de código reutilizável em diferentes plataformas.

Essas linguagens são conhecidas por sua alta performance e capacidade de garantir a segurança necessária para proteger os dados.

Na fase que visou projetar arquitetura de armazenamento de dados, desenvolveu-se os diagramas de classe, uma das principais representações na modelagem orientada a objetos, com o propósito de apresentar a estrutura de um sistema de forma clara e objetiva. Diagrama este que têm como função principal descrever a estrutura estática do sistema, destacando as classes, seus atributos, métodos e os relacionamentos entre elas, o que auxilia significativamente no processo de *design* e desenvolvimento de *software*.

Para a etapa de *design*, criou-se um *storyboard* que representa as sequências de pré-visualização dos elementos de uma interface, ou seja, a prototipação não funcional. Isso permitiu ao autor demonstrar aos desenvolvedores como devem funcionar as principais funcionalidades do sistema proposto. Também foram apresentados protótipos que ofereceram aos desenvolvedores uma visão detalhada de como as telas do sistema deveriam ser desenvolvidas.

Em validação do sistema, foram conduzidas simulações que permitiram validar a integridade e a segurança dos dados, bem como a robustez do sistema. Esta etapa, permitiu assegurar que as permissões de edição fossem corretamente restritas de acordo com os níveis de acesso definidos. Além disso, testaram-se as rotinas e funcionalidades essenciais do sistema, de forma a mitigar riscos potenciais e identificar possíveis falhas antes da implantação.

Em desenvolvimento do Sistema, descreveu-se como foi realizado o desenvolvimento do sistema e por quem.

4.2.1 Planejamento

Neste subitem, identificou-se as lacunas que o sistema pretende suprir, definiu-se as partes afetadas e envolvidas, além de apresentar os benefícios que o sistema pode proporcionar às IES.

4.2.1.1 Definição do problema

A partir do escopo delineado, identificou-se os problemas ilustrados no Quadro 8, onde também é possível visualizar os benefícios que um sistema para gestão dos REEE pode proporcionar para o ambiente em questão.

Quadro 8 - Definição do Problema.

Itens	Descrição
O problema	Dificuldade de gerenciamento dos REEE gerados pelas IES.
	Controle manual dos REEE gerados.
	Falta de informação em tempo hábil para tomada de decisão.
	Desperdício de recursos e não conformidade com as regulamentações ambientais.
Afetados	A saúde dos seres vivos e a integridade dos ecossistemas, sendo: os seres humanos afetados na saúde respiratória, doenças cardiovasculares, câncer, sistema imunológico, entre outros; os animais sofrem tanto na saúde quanto em seu habitat; as plantas são afetadas em seu crescimento, fotossíntese, solo, água e biodiversidade vegetal; os ecossistemas são prejudicados pela eutrofização, acidificação e interrupção dos ciclos biogeoquímicos. Além disso, há impactos econômicos e sociais, resultando em perdas econômicas, redução da qualidade de vida e aumento dos custos com saúde.
Motivos	O controle manual além de tomar muito tempo, não fornece informações precisas.
Benefícios	Disponibilizar formulário eletroeletrônico para que o usuário possa solicitar a retirada de equipamentos que não estão sendo utilizados.
	Catalogar os EEE que não atendem a necessidade da IES, mas que podem ser vendidos para empresas coletoras como equipamentos a serem reaproveitados.
	Mensurar a quantidade de EEE que ficam sem uso nas áreas.
	Fazer controle dos EEE inservíveis que estão sendo armazenados para triagem ou descarte.
	Fornecer informações que possibilite o remanejamento de equipamentos que não atendem a determinadas áreas, mas que podem ser utilizados em outras áreas da Instituição.
	Quantificar o número de EEE que são remanejados, reaproveitados ou que ocorre a reutilização de peças.
	Gerar relatórios e exportar arquivos para ferramentas que possam gerar gráficos com separação por tipos de equipamentos existentes; equipamentos que tiveram maior durabilidade; quantidade de equipamentos existentes em cada local de armazenamento (campus); entre outros.
Disponibilizar informações atualizadas em tempo real.	

Fonte: Autoria própria (2024).

4.2.1.2 Diagrama de Ishikawa ou Diagrama de Causa e Efeito

Na etapa 2, elaborou-se o diagrama de *Ishikawa*, também conhecido como diagrama de espinha de peixe, apresentado na Figura 10, destaca as principais causas do problema identificado. Esta ferramenta analítica explora os processos sob diversas perspectivas, correlacionando causas potenciais que complicam a gestão dos REEE gerados por IES. As categorias analisadas, denominadas "espinhas", incluem tecnologia, mão de obra, equipamentos, materiais, processos, métodos, pessoal e ambiente. Cada categoria detalha as especificidades que contribuem para o problema em questão. De maneira geral, pode-se

perceber que a ausência de um sistema de gestão e gerenciamento dos REEE contribui para o desperdício de tempo com controles manuais, que muitas vezes dificultam a gestão e o reaproveitamento de peças ou equipamentos, resultando em desperdício de recursos. Além disso, a inexistência de tal sistema pode dificultar a reutilização de equipamentos que, embora estejam ociosos em algum setor da IES, poderiam atender a outras demandas internas. A falta de um controle eficaz também resulta na estocagem de equipamentos que não serão reaproveitados, o que poderia ser evitado com um sistema adequado. Portanto, a implementação de um sistema de gestão e gerenciamento de REEE não apenas facilitaria a tomada de decisões em tempo hábil, como também auxiliaria no desfazimento de equipamentos obsoletos, promovendo uma gestão mais eficiente e sustentável dos recursos gerados na instituição.

Utilizou-se o *MS PowerPoint 2022*, para elaborar a Figura 10 ilustrada abaixo.

Figura 10 - Diagrama de Ishikawa



Fonte: Adaptado de Fundação Estudar (2022).

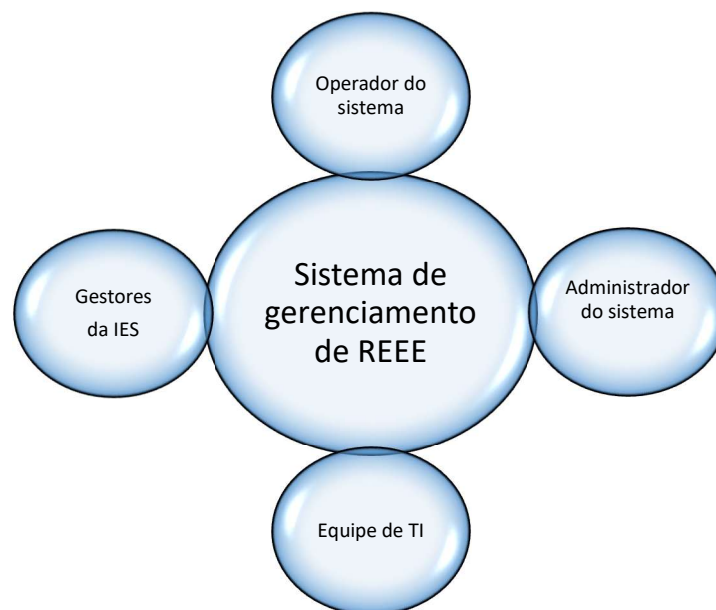
4.2.1.3 Stakeholders

Por meio da Figura 11, visualiza-se as pessoas e ou grupos de pessoas (*stakeholders*) afetadas, direta ou indiretamente pela implementação de um sistema de gerenciamento dos REEE. Cada bolha ilustrada no diagrama de *stakeholders* representa uma categoria que possui um papel definido. Entre essas, embora os gestores não estejam diretamente envolvidos na operacionalização do sistema. Eles desempenham um papel central na promoção da sustentabilidade, sendo responsáveis por elaborar e implementar políticas sustentáveis, definir

metas para reduzir o impacto ambiental da IES, promover a conservação de recursos naturais e incentivar a economia circular por meio da reutilização e da redução de desperdícios. Além disso, os gestores têm papel crucial no engajamento e sensibilização de *stakeholders* internos e externos quanto à importância da sustentabilidade e às responsabilidades de cada um. No contexto do sistema, os gestores recebem uma conta mestra que lhes confere a permissão para criar, alterar ou desativar contas de usuário administradores, além de cadastrar e editar informações da instituição. Por sua vez, os administradores do sistema têm a capacidade de criar, modificar e desativar contas de usuários com perfis de operador e administrador, porém, não têm a permissão para alterar ou excluir dados da conta mestra. Já os *stakeholders* denominados equipe de TI, podem receber o perfil de administradores ou simplesmente ser acionados por um administrador para realizar o recolhimento de EEE ou seu remanejamento/reutilização. Quanto a operacionalização de rotinas internas no sistema, como: cadastrar, alterar e excluir equipamentos ou peças, gerar relatórios ou efetuar consultas, são permissões liberadas para contas do perfil administrador. Por fim, os operadores do sistema são os usuários que solicitam a retirada de EEE ociosos nos setores da IES.

Para a elaboração do diagrama de *Stakeholders* apresentado na Figura 11, utilizou-se o *MS PowerPoint 2022*.

Figura 11 - Diagrama de *Stakeholders*



Fonte: Autoria própria (2024).

4.2.2 Análise de Requisitos

Nesta parte do estudo, realizou-se a análise de requisitos, parte fundamental para o desenvolvimento do sistema, onde desenvolveu-se o diagrama de modelagem de sistema e diagramas de casos de uso, que possibilitaram identificar e documentar as necessidades, expectativas e funcionalidades esperadas do sistema.

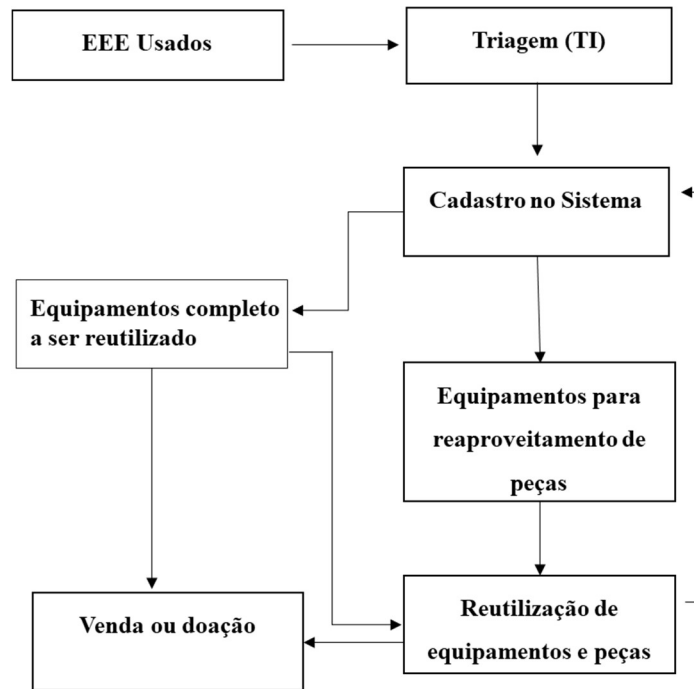
4.2.2.1 Modelagem de sistema

O diagrama ilustrado na Figura 12, proporciona uma representação clara e simplificada do processo que, normalmente, é conduzido de maneira intuitiva, sem um processo bem definido e com controle manual, que dificulta o levantamento de dados estatístico para apoio à tomada de decisão em tempo hábil. Este diagrama possibilitou a análise das necessidades e dos comportamentos desejados do sistema, além de proporcionar uma melhor compreensão do sistema a ser desenvolvido e facilitar a comunicação entre o autor do estudo e os desenvolvedores do sistema.

Sommerville (2011), define a modelagem de sistema como um processo de desenvolvimento de modelos abstratos, que tem como objetivo, apoiar o desenvolvedor a compreender uma visão ou perspectiva. Para o autor, os modelos de sistemas são representações simplificadas que ajudam na visualização e na mitigação dos requisitos do sistema durante sua fase de projeto.

Utilizou-se o aplicativo *MS Word 2022* para confeccionar a Figura 12 apresentada abaixo.

Figura 12 - Diagrama de modelagem de sistema



Fonte: Autoria própria (2024).

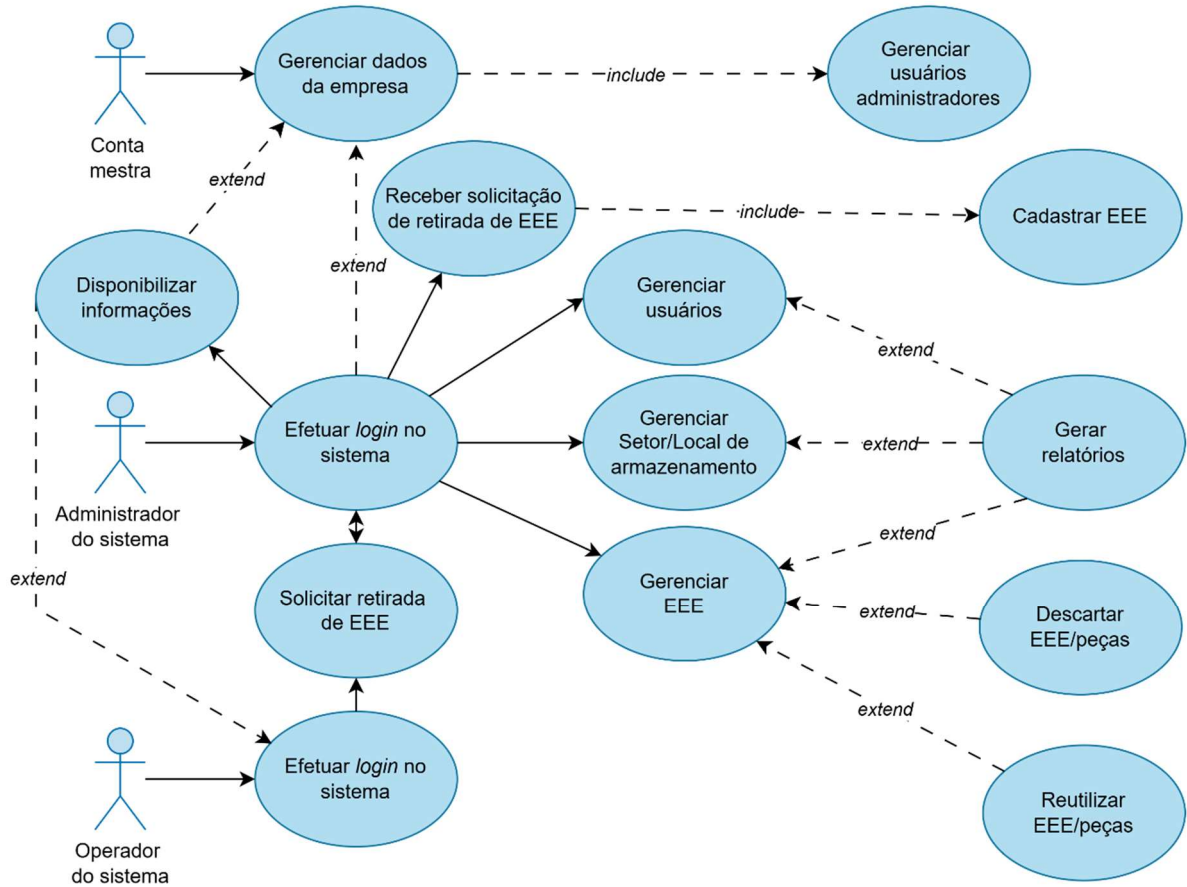
4.2.2.2 Diagramas de *Use Cases* e requisitos funcionais e não funcionais

Utilizou-se a Linguagem de Modelagem Unificada (UML) para a documentação e modelagem do sistema. Assim, empregou-se o diagrama de *Use Case*, para descrever os cenários que apresentam as principais funcionalidades propostas para o sistema. O uso desse tipo de diagrama auxiliou o autor a explicar aos desenvolvedores como o sistema deve se comportar e permitiu que ambos compreendessem os requisitos e os comportamentos esperados do sistema, antecipando possíveis problemas.

Para desenvolver os diagramas ilustrados nos *Use Cases*, utilizou-se a ferramenta *online* Drawio, de uso gratuito, disponível em: <https://app.diagrams.net>.

Visualiza-se por meio da Figura 13, o *Use Case* Visualizar Estrutura Funcional do Sistema, que possibilita ter uma visão macro.

Figura 13 - Diagrama *Use Case* de Visualizar Estrutura Funcional do Sistema



Fonte: Autoria própria (2025).

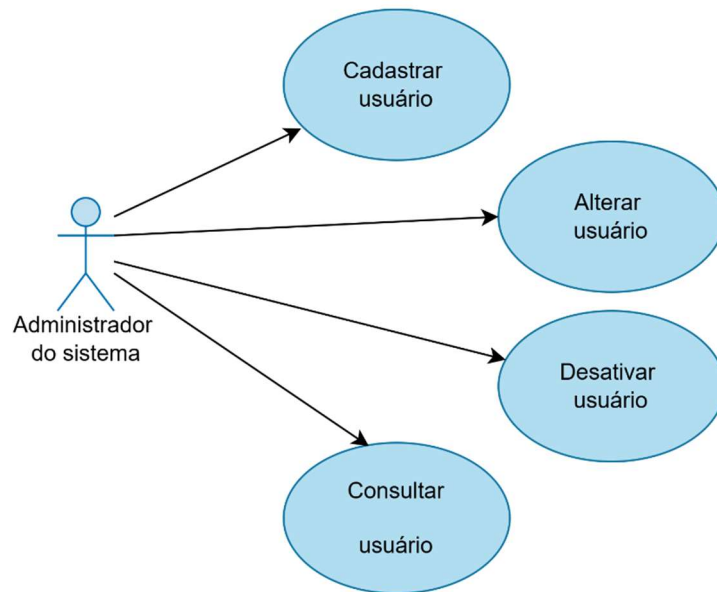
Quadro 9 - Diagrama *Use Case* de Sistema Visualizar Estrutura Funcional do Sistema.

Use Case de Sistema	Visualizar Estrutura Funcional do Sistema
Ator	Administrador/Conta mestra/Operador do Sistema
Descrição	Visualiza-se de forma macro a estrutura de todo o sistema, com os portais do administrador, conta mestra e operador.
Restrição	- Não possibilita a visualização de forma detalhada como funciona as rotinas e funcionalidades do sistema;
Observação	

Fonte: Autoria própria (2025).

A Figura 14, ilustra-se o *Use Case* de Sistema que representa o processo de Cadastrar Usuário no Sistema.

Figura 14 – Diagrama *Use Case* de Sistema Cadastrar Usuário



Fonte: Autoria própria (2024).

No Quadro 10 é apresentada a descrição do *Use Case* de Sistema Cadastrar Usuário.

Quadro 10 - Diagrama *Use Case* de Sistema Cadastrar Usuário.

<i>Use Case</i> de Sistema	Cadastrar Usuário
Ator	Administrador do Sistema
Descrição	O administrador pode cadastrar um novo usuário informando o nome, o <i>login</i> /senha. Inicialmente, foi criado um usuário denominado “conta mestra”, com senha pré-definida. Este usuário mestre detém permissão para criar, alterar ou desativar contas de usuário, bem como cadastrar e editar informações da empresa. Já o usuário administrador está autorizado a criar e modificar as contas de usuários com perfil de operador e administrador. O processo de autenticação é realizado a nível de aplicação e é registrado em estruturas internas do sistema.
Restrição	- O processo de cadastro só pode ser efetuado por usuário com perfil de administrador. Porém, este não pode alterar ou excluir dados da conta mestra;
Observação	- O usuário conta mestra não tem as mesmas permissão que o administrador, este pode somente cadastrar/alterar dados da empresa e criar novos administradores. Porém a administração do sistema deve ser realizada com um usuário de perfil administrador.

Fonte: Autoria própria (2024).

No Quadro 11 é apresentada a descrição do *Use Case* de Sistema Cadastrar Usuário – Alterar Usuário.

Quadro 11 - Diagrama *Use Case* de Sistema Alterar Usuário.

<i>Use Case</i> de Sistema	Alterar Usuário
Ator	Administrador do Sistema
Descrição	O administrador pode alterar os dados de um usuário já cadastrado, com perfil de operador ou administrador. As informações disponíveis para alteração são: nome, <i>login</i> /senha, tipo de conta e unidade a qual ele pertence.

Fonte: Autoria própria (2024).

No Quadro 12 é apresentada a descrição do *Use Case* de Sistema Cadastrar Usuário – Desativar Usuário.

Quadro 12 - Diagrama *Use Case* de Sistema Desativar Usuário.

<i>Use Case</i> de Sistema	Desativar Usuário
Ator	Administrador do Sistema
Descrição	O administrador pode desativar outros usuários cadastrados pesquisando pelo nome ou <i>login</i> .
Restrição	O processo de desativar usuário só pode ser efetuado por usuário com perfil de administrador.

Fonte: Autoria própria (2024).

No Quadro 13 é exibida a descrição do *Use Case* de Sistema Cadastrar Usuário – Consultar Usuário.

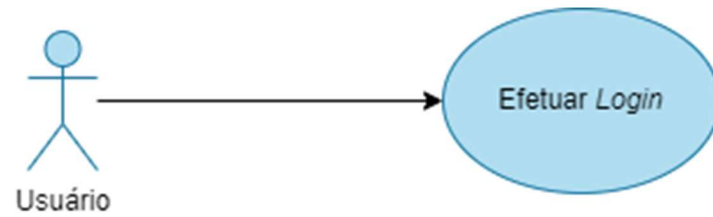
Quadro 13 - Diagrama *Use Case* de Sistema Consultar Usuário.

<i>Use Case</i> de Sistema	Consultar Usuário
Ator	Administrador do Sistema
Descrição	O administrador pode consultar usuários cadastrados no sistema, a consulta pode ser feita por nome ou <i>login</i> utilizando busca fonética.

Fonte: Autoria própria (2024).

Na Figura 15 exibe-se o *Use Case* de Sistema que representa o *Login* no Sistema.

Figura 15 - Diagrama *Use Case* de Sistema Efetuar *Login*



Fonte: Autoria própria (2024).

No Quadro 14 é apresentada a descrição do *Use Case* de Sistema Efetuar *Login*.

Quadro 14 - Diagrama *Use Case* de Sistema Efetuar *Login*.

<i>Use Case</i> de Sistema	Efetuar <i>Login</i>
Ator	Operador/Administrador do Sistema
Descrição	O processo de autenticação e efetuar o <i>login</i> no sistema, requer o usuário e senha criados na aplicação pelo administrador. A autenticação é feita por intermédio da utilização de <i>login</i> /senha cadastrados.

Fonte: Autoria própria (2024).

Na Figura 16 exibe-se o *Use Case* de Sistema que representa o Solicitar Retirada de EEE.

Figura 16 – Diagrama *Use Case* de Sistema Solicitar Retirada de EEE



Fonte: Autoria própria (2024).

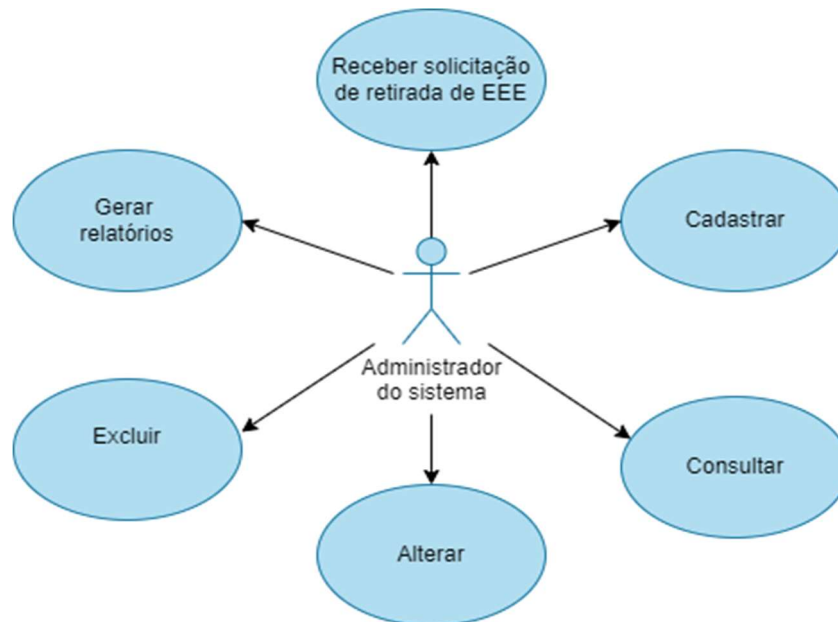
No Quadro 15 é apresentada a descrição do *Use Case* de Sistema Solicitar Retirada de EEE.

Quadro 15 - Diagrama *Use Case* de Sistema Solicitar Retirada de EEE.

<i>Use Case</i> de Sistema	Solicitar retirada de EEE
Ator	Operador/Administrador do Sistema
Descrição	O usuário do sistema (operador/administrador) pode solicitar a retirada de EEE que está sem uso em um determinado setor da IES. Após o preenchimento da solicitação, o administrador do sistema receberá uma pendência para disparar o recolhimento do EEE.

Fonte: Autoria própria (2024).

Na Figura 17 exibe-se o *Use Case* de Sistema que representa o Acessar Rotinas no Sistema.

Figura 17 – Diagrama *Use Case* de Sistema Acessar Rotinas

Fonte: Autoria própria (2024).

No Quadro 16 é apresentada a descrição do *Use Case* de Sistema Acessar Rotinas.

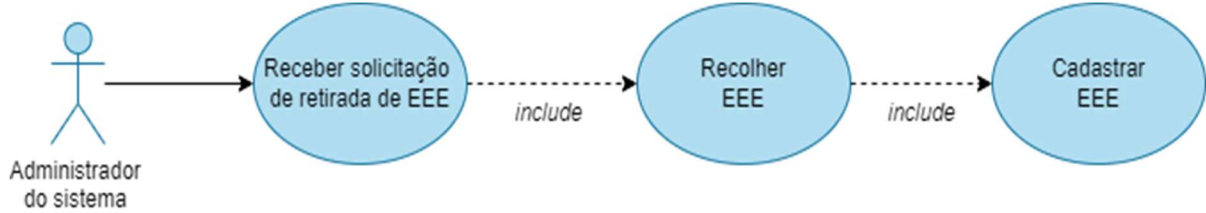
Quadro 16 - Diagrama *Use Case* de Sistema Acessar Rotinas.

<i>Use Case</i> de Sistema	Acessar Rotinas
Ator	Administrador do Sistema
Descrição	O administrador possui acesso às funções que incluem receber solicitação de retirada de EEE que não estão em uso em determinado setor, às rotinas de cadastrar, consultar, alterar e excluir itens do sistema, além de gerar relatórios gerenciais.

Fonte: Autoria própria (2024).

Na Figura 18 exibe-se *Use Case* de Sistema que representa Receber Solicitação no Sistema.

Figura 18 - Diagrama *Use Case* de Sistema Receber Solicitação



Fonte: Autoria própria (2024).

No Quadro 17 é apresentada a descrição do *Use Case* de Receber Solicitação.

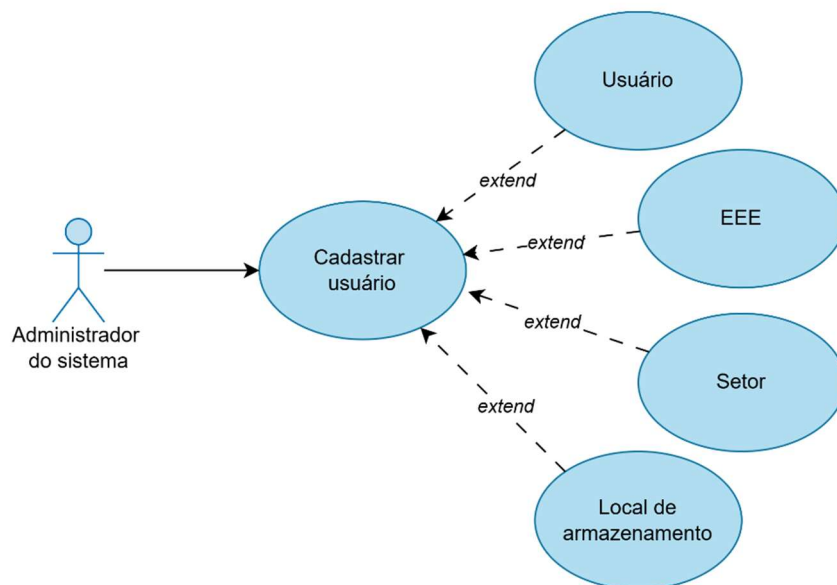
Quadro 17 - Diagrama *Use Case* de Sistema Receber Solicitação.

<i>Use Case</i> de Sistema	Receber Solicitação
Ator	Administrador do Sistema
Descrição	O administrador recebe as solicitações abertas pelos usuários do sistema para retirada de EEE que não estão em uso. A partir desta solicitação, o administrador deve solicitar o recolhimento deste EEE e em seguida, realizar seu cadastro no sistema.

Fonte: Autoria própria (2024).

Na Figura 19 exibe-se o *Use Case* de Sistema que representa a rotina de Cadastrar.

Figura 19 – Diagrama *Use Case* de Sistema Cadastrar



Fonte: Autoria própria (2024).
No Quadro 18 é apresentada a descrição do *Use Case* Cadastrar.

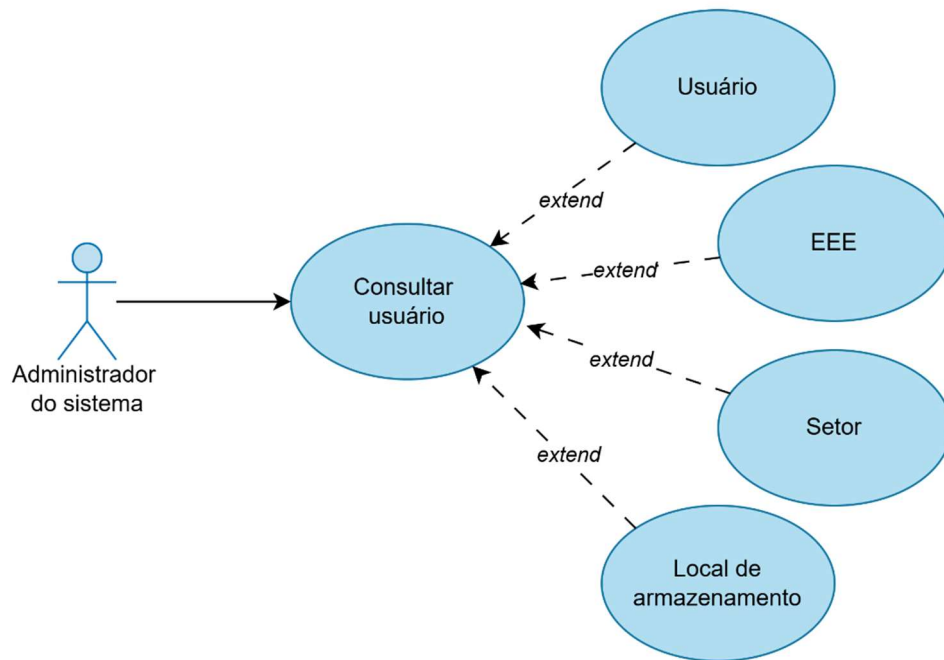
Quadro 18 - Diagrama *Use Case* de Sistema Cadastrar.

<i>Use Case</i> de Sistema	Cadastrar
Ator	Administrador do Sistema
Descrição	Por meio da rotina cadastrar, o administrador consegue cadastrar usuário, EEE, setores das IES e o local de armazenamento dos REEE.
Observação	A rotina de cadastrar usuário foi elucidada no <i>Use Case</i> Cadastrar Usuário.

Fonte: Autoria própria (2024).

Na Figura 20 exibe-se o *Use Case* de Sistema que representa a rotina Consultar.

Figura 20 – Diagrama *Use Case* de Sistema Consultar



Fonte: Autoria própria (2024).

No Quadro 19 é apresentada a descrição do *Use Case* Consultar.

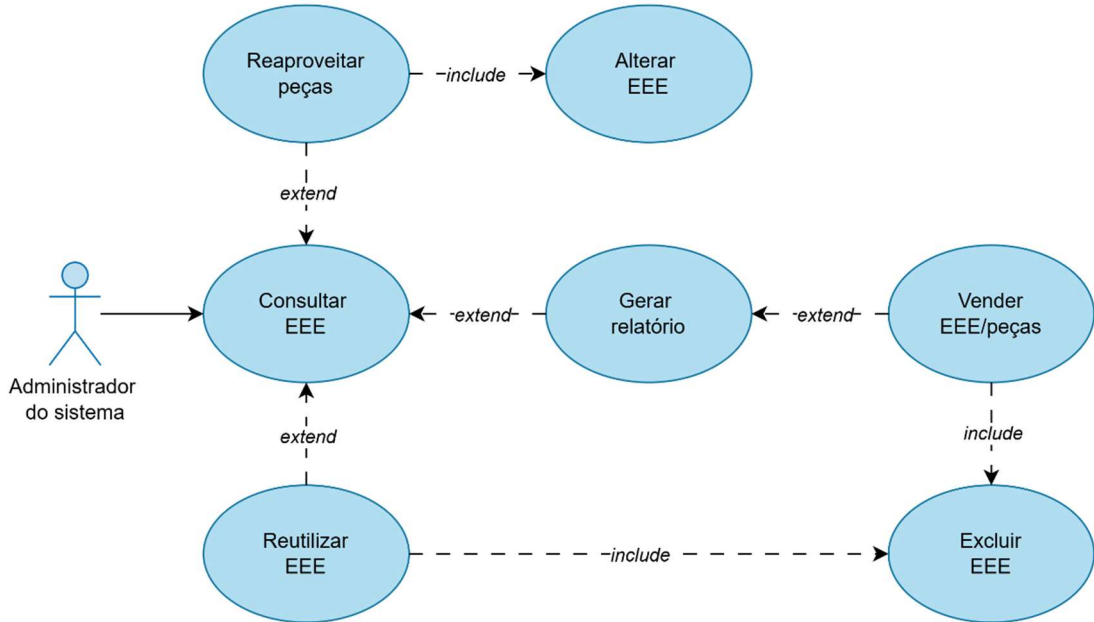
Quadro 19 - Diagrama *Use Case* de Sistema Consultar.

<i>Use Case</i> de Sistema	Consultar
Ator	Administrador do Sistema
Descrição	Através da função de consultar, o administrador pode verificar informações sobre usuários, EEE, setores da IES e os locais de armazenamento dos REEE.

Fonte: Autoria própria (2024).

Na Figura 21 exibe-se o *Use Case* de Sistema que representa as Consultar EEE.

Figura 21 – Diagrama *Use Case* de Sistema Consultar EEE



Fonte: Autoria própria (2024).

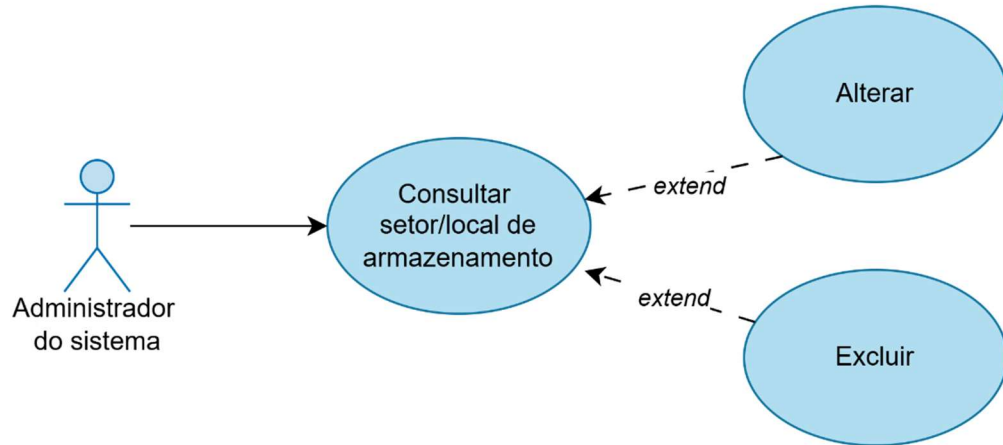
No Quadro 20 é apresentada a descrição do *Use Case* de Sistema Consultar EEE.

Quadro 20 - Diagrama *Use Case* de Sistema Consultar EEE.

<i>Use Case</i> de Sistema	Consultar EEE
Ator	Administrador do Sistema
Descrição	O administrador poderá realizar consultas dos equipamentos disponíveis para reutilização, reaproveitamento de peças ou venda/descarte. Essa consulta pode ser filtrada por tipo, modelo ou marca. O administrador também pode gerar relatórios detalhados da consulta realizada. No caso dos EEE ou peça serem vendidos, deve ocorrer a exclusão deles no sistema e, para aqueles equipamentos que houve a remoção de peças, este, deve ser alteado no sistema.

Fonte: Autoria própria (2024).

Na Figura 22 exibe-se o *Use Case* de Sistema que representa a rotina de Consultar Setor/Local de Armazenamento.

Figura 22 - Diagrama *Use Case* de Sistema Consultar Setor/Local de Armazenamento

Fonte: Autoria própria (2024).

No Quadro 21 e 22 é apresentada a descrição do *Use Case* Consultar Setor e Consultar Local de Armazenamento.

Quadro 21 - Diagrama *Use Case* de Sistema Consultar Setor.

<i>Use Case</i> de Sistema	Consultar Setor
Ator	Administrador do Sistema
Descrição	Por meio da rotina consultar setor, o administrador pode consultar os setores existentes na IES e se desejar, pode-se chamar as rotinas de alterar ou excluir.

Fonte: Autoria própria (2024).

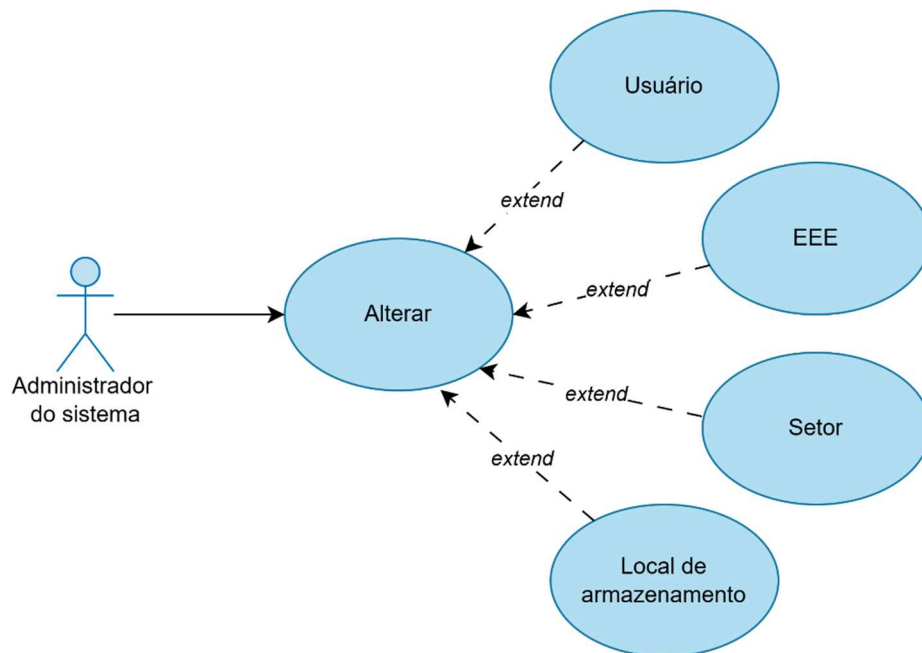
Quadro 22 - Diagrama *Use Case* de Sistema Consultar Local de Armazenamento.

<i>Use Case</i> de Sistema	Consultar Local de Armazenamento
Ator	Administrador do Sistema
Descrição	Por meio da rotina consultar local de armazenamento, o administrador pode consultar os locais de armazenamento existentes, e se deseja, pode-se chamar a rotina de alterar ou excluir.

Fonte: Autoria própria (2024).

Na Figura 23 exibe-se o *Use Case* de Sistema que representa a rotina Alterar.

Figura 23 - Diagrama *Use Case* de Sistema Alterar



Fonte: Autoria própria (2024).

No Quadro 23 é apresentada a descrição do *Use Case* Alterar.

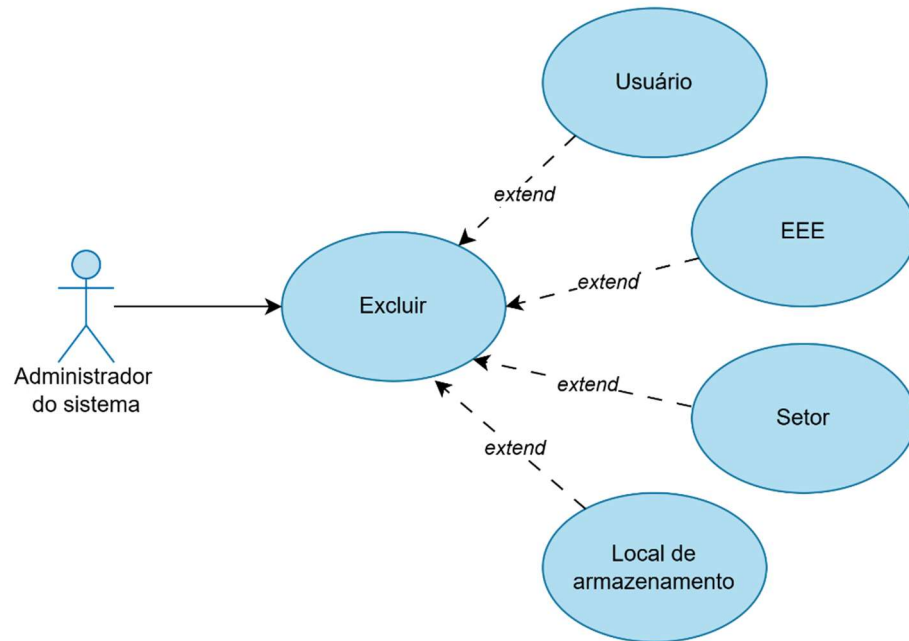
Quadro 23 - Diagrama *Use Case* de Sistema Alterar.

<i>Use Case</i> de Sistema	Alterar
Ator	Administrador do Sistema
Descrição	Por meio da rotina alterar, o administrador pode modificar usuário, EEE, setores das IES e o local de armazenamento dos REEE.

Fonte: Autoria própria (2024).

Na Figura 24 exibe-se o *Use Case* de Sistema que representa a rotina Excluir/Desativar.

Figura 24 - Diagrama *Use Case* de Sistema Excluir/Desativar



Fonte: Autoria própria (2024).

No Quadro 24 é apresentada a descrição do *Use Case* Excluir/Desativar.

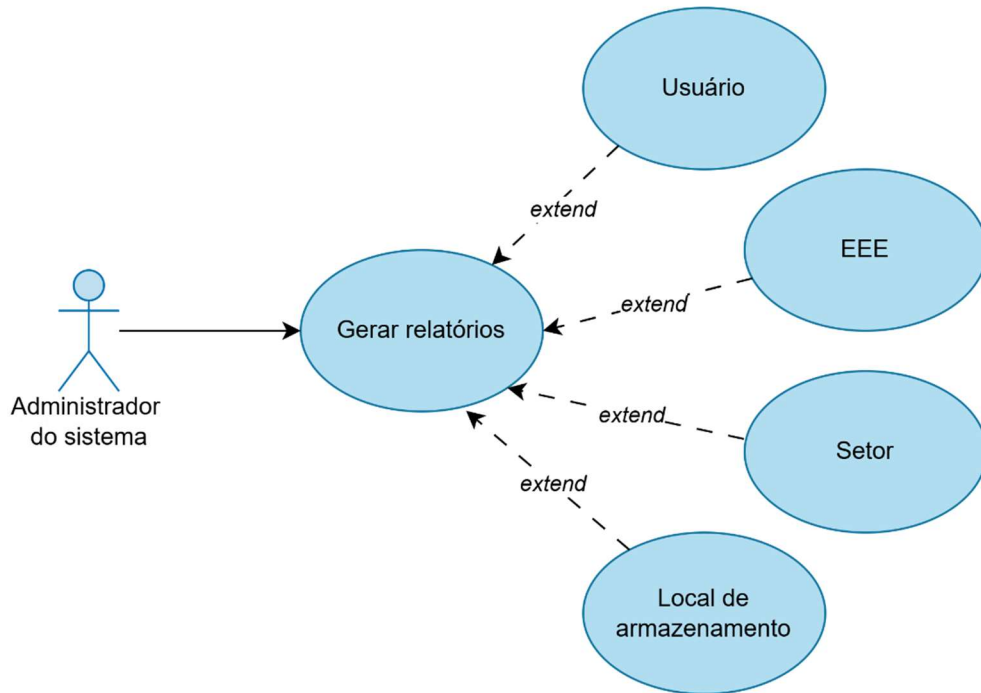
Quadro 24 - Diagrama *Use Case* de Sistema Excluir.

<i>Use Case</i> de Sistema	Excluir/Desativar
Ator	Administrador do Sistema
Descrição	Por meio da rotina excluir/desativar, o administrador pode excluir EEE, setores das IES e o local de armazenamento dos REEE.
Observação	A rotina de excluir, foi elucidada nos <i>Use Case</i> anteriores. Os usuários que já tiveram acesso ao sistema, não serão excluídos, mas sim desativados.

Fonte: Autoria própria (2024).

Na Figura 25 exibe-se o *Use Case* de Sistema que representa a rotina de Gerar Relatório.

Figura 25 - Diagrama *Use Case* de Sistema Gerar Relatório



Fonte: Autoria própria (2024).

No Quadro 25 é apresentada a descrição do *Use Case* Gerar Relatório.

Quadro 25 - Diagrama *Use Case* de Sistema Gerar Relatório.

<i>Use Case</i> de Sistema	Gerar Relatório
Ator	Administrador do Sistema
Descrição	Por meio da rotina gerar relatório, o administrador pode gerar relatório de todos os itens cadastrados no sistema. No caso dos relatórios de EEE e peças, podem ser detalhados por tipo, modelo e outras informações especificadas durante o cadastro do mesmo.

Fonte: Autoria própria (2024).

Os requisitos funcionais (RF) e não funcionais (RNF) foram levantados com o objetivo de compreender as necessidades dos usuários e as características técnicas essenciais para o desenvolvimento do sistema. Conforme detalhado no Quadro 26, os requisitos funcionais definem as funcionalidades que o sistema deve oferecer, especificando as ações, tarefas e comportamentos que ele deve executar para atender às demandas dos usuários. Por outro lado, os requisitos não funcionais apresentados no Quadro 27, estabelecem critérios relacionados à

operação do sistema, abrangendo aspectos como desempenho, segurança, usabilidade, escalabilidade e outras restrições técnicas que garantem a qualidade e a eficiência da solução.

Quadro 26 - Requisitos funcionais da solução

Código	Identificação	Ator	Descrição
RF001	Cadastrar empresa	Conta mestra	Permitir cadastro de empresa.
RF002	Efetuar login	Conta mestra, operador e administrador	Permitir acesso ao sistema com e-mail e senha.
RF003	Gerenciar usuários admin	Conta mestra	Possibilita gerenciar contas de usuário de perfil de administrador.
RF004	Manutenir dados da empresa	Conta mestra	Possibilita modificar dados da empresa.
RF005	Alterar logo	Conta mestra	Permite alterar imagem que representa a empresa.
RF006	Acessar informações disponibilizadas	Conta mestra, operador e administrador	Oferece acesso as informações disponibilizadas pelos administradores.
RF007	Redefinir senha	Conta mestra, operador e administrador	Permite alterar a senha cadastrada.
RF008	Abrir chamados	Operador e administrador	Possibilita abrir chamados para recolhimento de EEE sem uso em áreas da empresa.
RF009	Consultar/alterar chamados	Operador	Permite consultar e alterar chamados.
RF010	Disponibilizar informações	Administrador	Proporciona acesso às informações disponibilizadas pelos administradores. Ex. manuais de uso e informações sustentáveis.
RF011	Receber solicitações	Administrador	Permite que os administradores recebam as solicitações para recolhimento de EEE que não estão em uso.
RF012	Consultar empresa	Administrador	Permite visualizar dados da empresa/unidades.
RF013	Gerenciar usuários	Administrador	Possibilita manter usuários do sistema.
RF014	Manutenir EEE e REEE	Administrador	Possibilita manejo de EEE e REEE.
RF015	Manutenir setores	Administrador	Possibilita o cadastro de instalações/setores da empresa.
RF016	Manutenir locais de armazenamento	Administrador	Permite a gestão dos locais de armazenamento de EEE e REEE.
RF017	Gerar relatórios	Administrador	Proporciona acesso às informações do sistema por meio de relatórios.
RF018	Gerar senha de primeiro acesso	Sistema	O sistema gera uma senha aleatória e envia ao e-mail cadastrado do usuário.

Fonte: Autoria própria (2025).

Quadro 27 - Requisitos não funcionais da solução

Código	Atributo de qualidade	Requisito	Categoria
RNF001	Usabilidade	Deve permitir que o sistema seja intuitivo de modo que usuários iniciantes consigam utilizá-lo.	Desejável
RNF002	Usabilidade	O sistema deverá ser adaptável às especificidades da empresa.	Desejável
RNF003	Usabilidade	O sistema deve ser flexível para gestão de diversos tipos de EEE e REEE.	Obrigatório
RNF004	Segurança	Deve-se garantir a integridade dos dados.	Obrigatório
RNF005	Segurança	Deve-se utilizar um banco de dados confiável, que faça uso de criptografia e acesso autenticado.	Obrigatório
RNF006	Segurança	Deve-se restringir o acesso as informações de acordo com o nível de permissão de cada usuário do sistema.	Obrigatório
RNF007	Produto	As ferramentas utilizadas para o correto funcionamento do sistema devem ser de gratuitas ou de custo acessível.	Obrigatório
RNF008	Compatibilidade	Deve ser compatível com qualquer versão do Windows que seja igual ou superior ao Windows 7.	Desejável
RNF009	Performance	O tempo de resposta do sistema não pode ultrapassar 5 segundos.	Desejável
RNF010	Disponibilidade	O sistema deve ser desenvolvido com ferramentas estáveis (robusta e confiável).	Obrigatório
RNF011	Escalabilidade	O sistema deve permitir escalonamento para suportar o aumento de usuários	Obrigatório

Fonte: Autoria própria (2025).

4.2.3 Definição de Linguagens e Estrutura

Conforme elucidado no item 3.5.11 deste estudo, a linguagem de programação é o meio pelo qual o programador transmite instruções para que o computador as execute. Essas instruções são traduzidas para a linguagem de máquina, possibilitando a execução efetiva pelo computador.

4.2.3.1 Linguagem de programação

Para o desenvolvimento deste projeto, utilizou-se a linguagem de programação *Dart* com *framework Flutter*. Esta linguagem compreende tanto a parte visual da aplicação *front-end* quanto o *back-end* que lida diretamente com o banco de dados. Assim, utilizou-se esta tecnologia por facilitar o processo de criação em multiplataformas em um único código.

O *Dart* é uma linguagem de programação criada pela *Google* em 2011, com a missão inicial de substituir o *JavaScript* no desenvolvimento de *scripts* para páginas *web*. Com o tempo, *Dart* se consolidou como uma linguagem voltada para a *web*, oferecendo uma

alternativa robusta e eficiente ao *JavaScript* nos navegadores. O *Flutter*, por sua vez, é um *framework* de código aberto desenvolvido pelo *Google* que utiliza a linguagem *Dart*. Ele é empregado na criação de aplicativos móveis, *web*, *desktop* e embarcados, todos a partir de uma única base de código. Com o *Dart* no núcleo, o *Flutter* permite a criação de aplicações otimizadas para diversos dispositivos, superando outras ferramentas híbridas em eficiência (FLUTTER, 2024).

Para Zammetti (2020), o *Dart* é uma linguagem utilizada no desenvolvimento de aplicativos *webs*, *desktop* e aplicativos IoT (*Internet of Things*). Alguns aspectos importantes podem ser considerados a respeito do *Dart*, como: ser totalmente orientado a objeto e baseado em C, que por sua vez é semelhante para muitos programadores. Outro ponto favorável é o modo em que o *Dart* é executado, pois este antecipa a compilação para códigos nativos, o que torna a linguagem muito performática. Como já elucidado anteriormente e confirmado pelo autor, o *Flutter* é capaz de agilizar o desenvolvimento para todos os ambientes, seja *mobile* (*Android* e *iOS*), *Web* ou até mesmo *desktop* (*Windows*, *macOS* e *Linux*), pois, a interface do *Flutter* fornece a biblioteca *foundation*, que tem o objetivo de remover as diferenças entre as APIs (*Application Programming Interface*) das plataformas nativas. Assim, ele não precisa perguntar que API deve usar em uma plataforma, só precisa saber que a chamada da API do *Flutter* deve ser executada para iniciar o aplicativo, ou seja, funciona em ambas as plataformas (ZAMMETTI, 2020, p. 26.).

De acordo com Staff (2024), o *back-end* é a parte do *software* responsável pelo processamento de dados, pela lógica de negócios e pelo gerenciamento de banco de dados. Segundo o autor, o *back-end* trabalha nos bastidores, assegurando que todas as funcionalidades e estruturas do sistema funcionem corretamente.

4.2.3.2 Banco de dados

Para o armazenamento dos dados, foi utilizado o *Firebase*, uma plataforma que fornece infraestrutura de *back-end*. Adquirida pela *Google* em 2014, o *Firebase* é uma plataforma de desenvolvimento multiplataforma que oferece diversas ferramentas para o desenvolvimento de aplicativos *Android*, *iOS* e aplicativos *web*. Dentre as ferramentas e serviços disponibilizados no *Firebase*, destacam-se: mensagens, banco de dados, autenticação e segurança. Esta plataforma foi desenvolvida para auxiliar os desenvolvedores na construção de aplicativos de alta qualidade, permitindo que os desenvolvedores concentrem seus esforços na criação de

aplicativos, sem a necessidade de se preocupar excessivamente com a hospedagem dos dados, configuração ou segurança (FIREBASE, 2024).

Para Khawas e Shah (2018), ao contrário da maioria dos bancos de dados, o *Firebase* não utiliza uma estrutura de tabelas com linhas e colunas, como a que é empregada na *Structured Query Language* (SQL), para o armazenamento de dados. Em vez disso, o *Firebase* adota o formato *JavaScript Object Notation* (JSON) para armazenar as informações, dispensando o uso de comandos tradicionais, conhecidos como *queries*, para inserir, adicionar, deletar e atualizar dados.

O *Flutter* utiliza do *FlutterFire* para integrar os aplicativos desenvolvidos nesta linguagem ao *Firebase*, desta forma, o *FlutterFire* é um conjunto de *plugins* que permitem implementar serviços do *Firebase* em aplicativos *Flutter*, proporcionando uma integração eficiente e simplificada (FLUTTERFIRE, 2024).

4.2.4 Projetar Arquitetura de Armazenamento de Dados

Desenvolveu-se o Diagrama de Classes para determinar a estrutura das classes utilizadas pelo sistema de gestão e gerenciamento de REEE, onde definiu-se os atributos e métodos de cada classe, além de mapear as relações e comunicações entre elas.

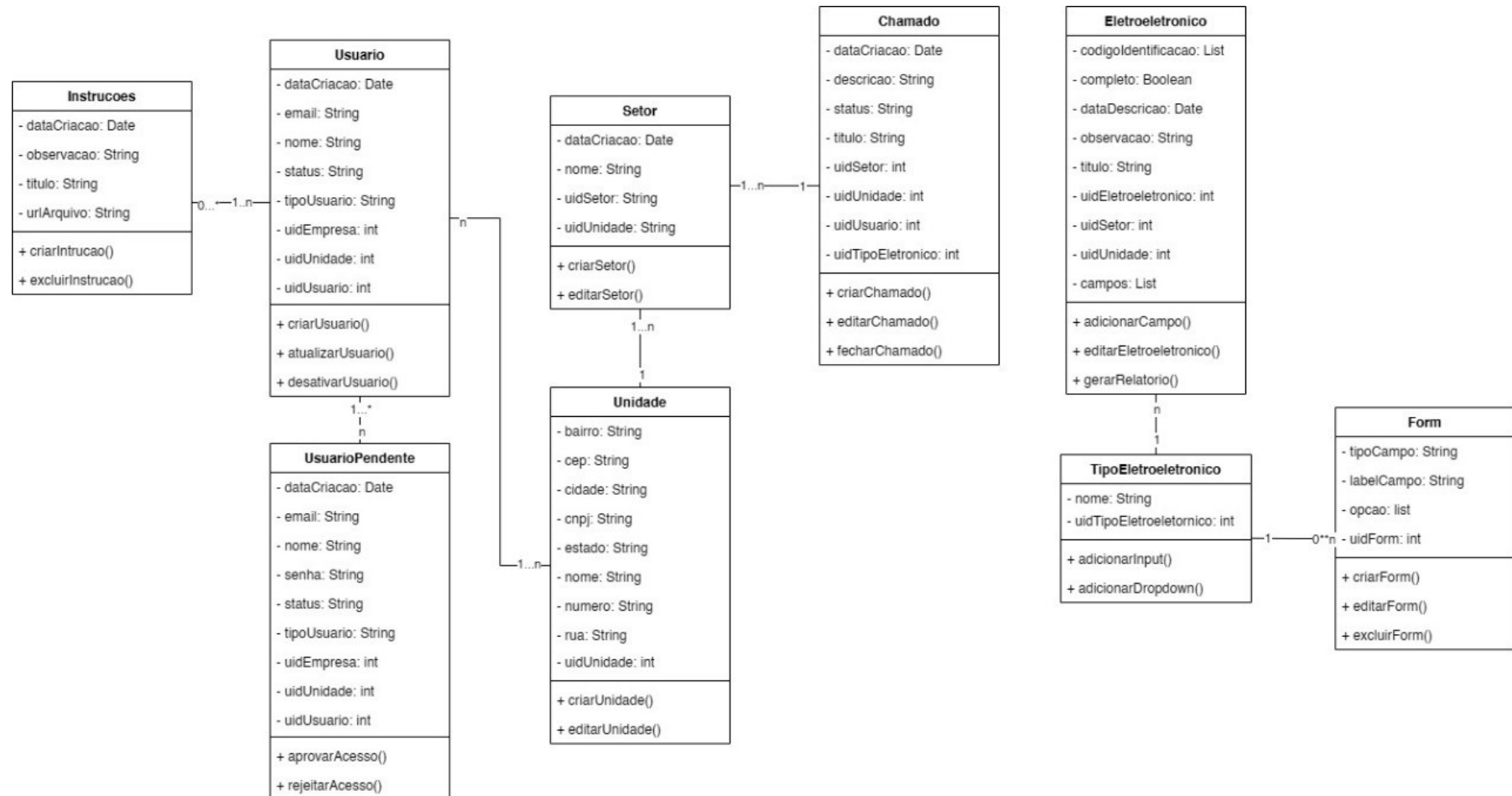
O diagrama de classes é uma ferramenta de modelagem que facilita a visualização e o planejamento da estrutura de um sistema. Através da Figura 26, pode-se observar como as classes estão conectadas e interagem entre si, representando associações.

Ao elucidar o diagrama de classe apresentado na Figura 26, pode-se afirmar que, a entidade "unidade" representa a IES, na qual existem usuários e setores. Dessa forma, a entidade de IES se relaciona com outras entidades. A entidade "usuário" e "usuáriopendente" armazena os usuários e senhas do sistema, que podem ser operadores, administradores ou a conta mestra, conforme explicado no capítulo 4.2.1.3 - Stakeholders. Esta entidade ainda se relaciona com a "instruções", onde são armazenadas as instruções inseridas no sistema, como: instruções de melhores práticas para a gestão dos REEE, instruções de uso do sistema e outras que poderão ser acrescentadas. A entidade "eletroeletrônicos" armazena os equipamentos, como computadores, monitores e impressoras, entre outros. Para controlar esses itens no sistema, primeiro é necessário cadastrá-los, sendo possível registrar tanto sua entrada quanto sua saída. Esta entidade, relaciona-se com a "tipoelétrônico", que como o próprio nome expõe, nesta entidade armazena-se os tipos de equipamentos que são controlados pelo sistema". Todos os

equipamentos controlados pelo sistema, para reaproveitamento ou descarte são originários de algum setor, armazenado pela entidade "setor" e todo setor é uma área ligada à IES. A entidade "chamado" gerencia os chamados abertos por usuários operadores para retirarem equipamentos que por ventura estão sem uso em um determinado setor da instituição. Por fim, a entidade "form", complementa o cadastro de tipo de equipamentos eletroeletrônicos, ou seja, antes de cadastrar um equipamento no sistema, é preciso registrar o tipo com todas as suas especificidades.

Utilizou-se a ferramenta *online* Drawio, disponível no *link* <<https://app.diagrams.net>>, para desenvolver o diagrama de classe apresentado na Figura 26.

Figura 26 - Diagrama de Classe



Fonte: Autoria própria (2024).

4.2.5 Interfaces de Sistema/*Design*

Na interface homem-máquina, os *storyboards* e a prototipagem são fundamentais para fornecer subsídios essenciais ao desenvolvimento e à definição dos requisitos do sistema. A interface do usuário é o canal pelo qual o usuário interage e se comunica com o sistema.

4.2.5.1 *Storyboard*

Durante a fase de modelagem, o analista utiliza recursos gráficos, como *storyboards* ou protótipos de telas, para representar sequências de pré-visualização dos elementos de uma interface de sistema. As técnicas de *storyboarding* e prototipação são empregadas para facilitar a comunicação entre o desenvolvedor e o cliente, permitindo que os clientes visualizem o produto final antes do início do desenvolvimento.

De acordo com Cabreira (2013), durante a fase de modelagem, utiliza-se recursos gráficos, como *storyboards* ou protótipos de telas, para representar sequências de pré-visualização dos elementos de uma interface de sistema. Para o autor, os *storyboards* podem ser utilizados nos estágios iniciais de projeto como uma ferramenta de prototipação não funcional, permitindo verificar hipóteses e validar decisões de *design*, possibilitando economizar tempo e recursos financeiros. No entanto, os *storyboard* possuem a limitação de não permitir representar fluxos de tempo. Originária das palavras "*story*" (história) e "*board*" (quadro). Porém, enquanto uma história em quadrinhos representa a realização definitiva de um projeto, o *storyboard* é uma etapa preliminar que facilita a visualização de uma ideia ainda em desenvolvimento. Além disso, os *storyboards* podem ser combinados com técnicas alternativas, como módulos gestuais e casos de uso, criando um quadro de ações ilustrativas, como exemplificado na Figura 27 deste projeto, onde foi criado pelo autor deste estudo uma *storyboard* que representa as funções básicas do sistema proposto.

Utilizou-se o *MS PowerPoint 2022* e imagens encontradas na internet, acessadas pelo *link* <https://br.freepik.com/> para confeccionar o *storyboard* apresentado na Figura 27.

Figura 27 - Storyboard



Fonte: Autoria própria (2024).

4.2.5.2 Prototipação

A prototipação é um método evolutivo no desenvolvimento de *software*, que envolve a criação de representações limitadas de um *design* para demonstrar conceitos, experimentar alternativas e compreender melhor o problema.

Segundo Cangiglieri Junior, Selhorst Junior e Sant'anna (2015), para o desenvolvimento de protótipos, utiliza-se de cinco fases. sendo elas: 1 - Obter requisitos: desenvolvedor e cliente definem os objetivos gerais do sistema, identificam requisitos conhecidos e áreas que necessitam de definições adicionais; 2 - Elaborar projeto rápido: registram-se as funcionalidades mais desejadas e importantes para o protótipo, representando os aspectos do sistema visíveis ao usuário; 3 - Construir protótipo: o protótipo é construído conforme as especificações das fases anteriores; 4 - Avaliar protótipo: o protótipo é entregue ao cliente para *feedback*. O cliente e o desenvolvedor validam modificações e novas ideias para o produto final e 5 – Refinar protótipo: cliente e desenvolvedor refinam os requisitos e o protótipo, incorporando alterações sugeridas na fase de avaliação.

Para Leonardo e Dina (2017), os protótipos podem ser de baixa ou alta fidelidade, sendo que os de baixa fidelidade, utilizam materiais simples, distantes do produto final, frequentemente feitos no papel, como *storyboards*. Eles são úteis para a exploração e testes iniciais, são simples, baratos e fáceis de modificar. Enquanto os protótipos de alta fidelidade se aproximam da interface final do sistema, utilizando técnicas e materiais similares ao produto final, mas com funcionalidades limitadas e sem requisitos não funcionais implementados. Além disso, os autores, enfatizam que a técnica de prototipação melhora a qualidade da especificação do *software*, reduzindo os custos de desenvolvimento e manutenção, pois o usuário valida requisitos inconsistentes durante o processo. No entanto, a desvantagem é o alto custo, devido à necessidade de desenvolver muitos protótipos a cada *feedback* do cliente, que pode confundir o protótipo com uma versão completa do sistema.

A Figura 28, apresentada a seguir, ilustra um protótipo de baixa fidelidade. Nesse estágio, o autor deste estudo, em colaboração com os desenvolvedores do sistema, estava visualizando como seriam as telas do sistema após sua implementação. No entanto as Figuras 29, 30 e 31, apresentam protótipos de alta fidelidade, elaborados após as partes envolvidas terem definido com clareza o funcionamento desejado para o sistema.

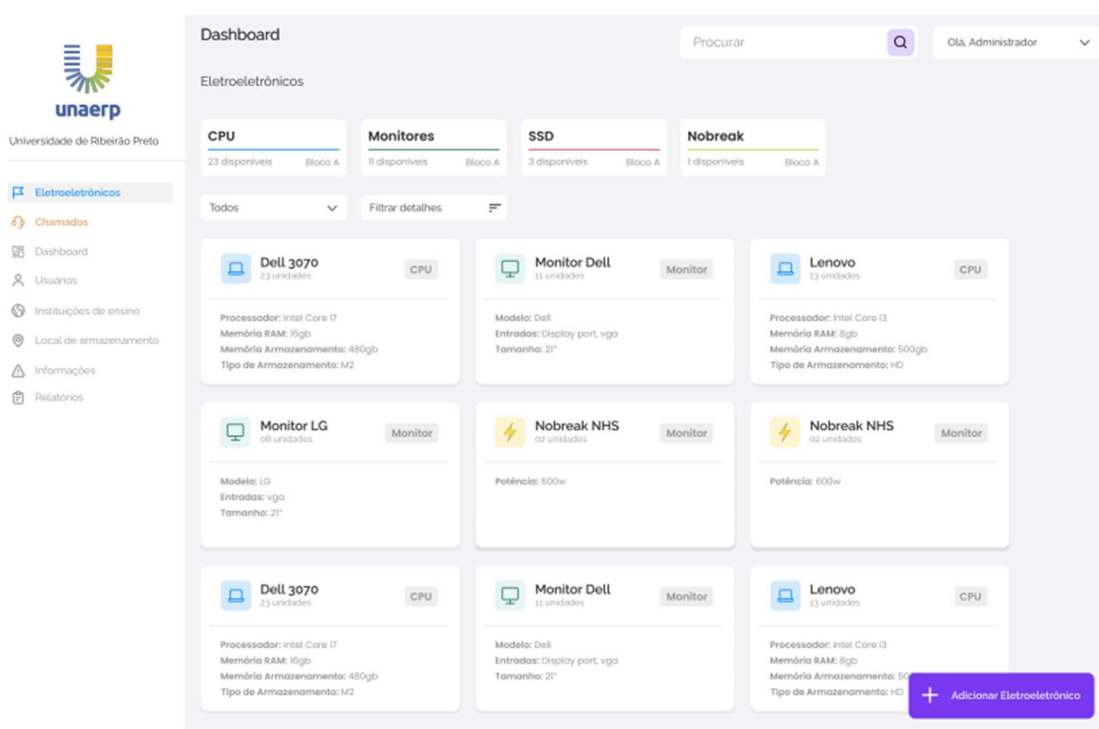
Figura 28 - Protótipo de baixa fidelidade - Tela inicial do sistema



Fonte: Autoria própria (2024).

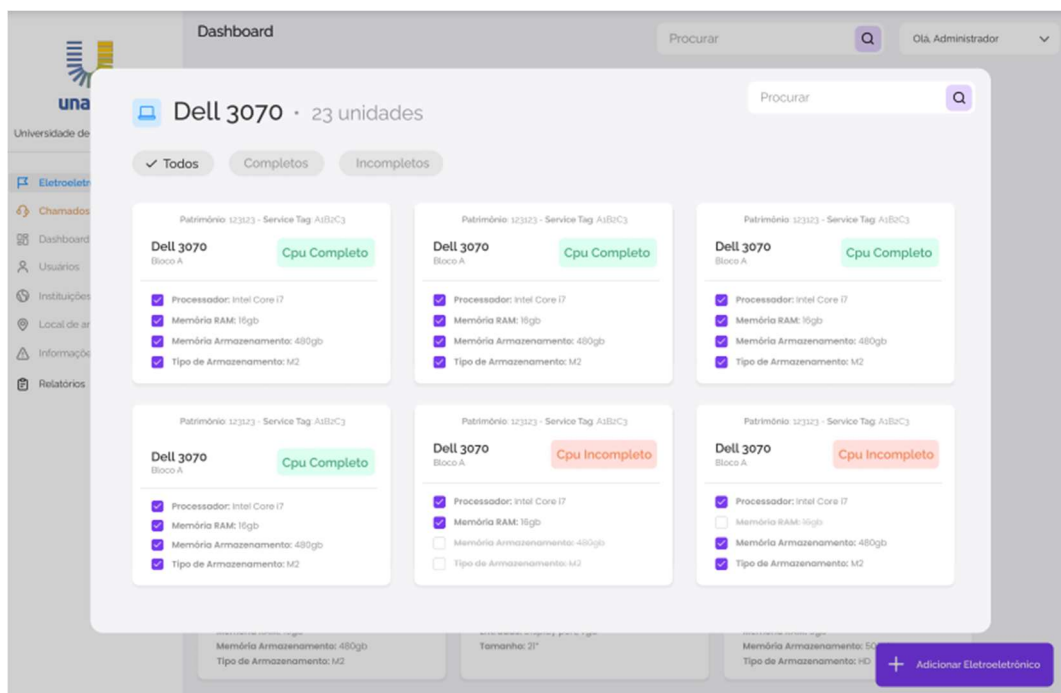
É apresentado na Figura 28 o protótipo de baixa fidelidade da tela inicial do sistema, onde são visíveis elementos específicos: no canto superior esquerdo, a logomarca da empresa seguida pelo seu nome. No canto inferior esquerdo, encontra-se o menu de acesso rápido, contendo as principais opções do sistema. Ao clicar em uma dessas opções, os itens cadastrados no menu selecionado são exibidos no lado direito da tela. Para realizar novos cadastros, alterações ou exclusões, basta clicar com o botão direito do mouse na opção desejada. Contudo a Figura 29 apresenta o protótipo de alta fidelidade da tela de eletroeletrônicos. Nesse protótipo, foi incorporado um menu lateral à esquerda, permitindo o acesso às opções de navegação pelo sistema. A *dashboard* exibe os equipamentos cadastrados, suas respectivas quantidades e filtros que possibilitam a visualização de equipamentos específicos. Logo abaixo, há um botão destinado ao cadastro de novos EEE. Ao clicar em um dos equipamentos exibidos na *dashboard*, será apresentada a imagem ilustrada na Figura 30, que mostra os detalhes do item selecionado. Essa tela permite registrar a remoção de peças reaproveitadas do equipamento, o que o torna marcado como incompleto, indicando que uma ou mais peças foram retiradas para reutilização. Além de permitir filtrar por equipamentos completos ou incompletos.

Figura 29 - Protótipo de alta fidelidade - Tela de eletroeletrônicos



Fonte: Autoria própria (2024).

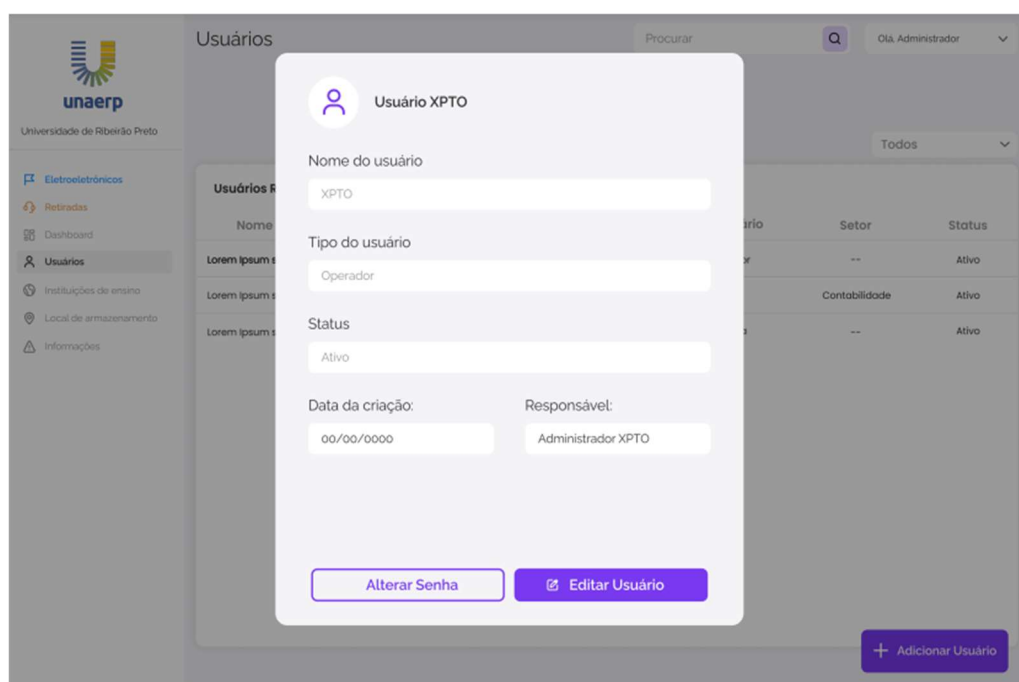
Figura 30 - Protótipo de alta fidelidade - Detalhes do tipo equipamento selecionado



Fonte: Autoria própria (2024).

A Figura 31, por sua vez, representa o protótipo de alta fidelidade da tela de cadastro de usuários. Nessa interface, é possível incluir informações como o nome completo, o tipo de usuário (operador ou administrador), o *status* (ativo ou desativado), a data de criação da conta e o nome do administrador responsável pela criação. Além de apresentar a opção para incluir novos usuários.

Figura 31 - Protótipo de alta fidelidade - Cadastro de usuário



Fonte: Autoria própria (2024).

4.2.6 Desenvolvimento do Sistema

Com base na revisão da literatura e na identificação dos problemas delineados nas seções 1, bem como na utilização do diagrama de *Ishikawa*, desenvolveu-se um sistema destinado a auxiliar as IES na gestão dos seus REEE. O sistema, denominado SisGRE3 (Sistema de Gestão e Gerenciamento de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos), tem como objetivo potencializar a eficiência operacional e fortalecer a capacidade das IES em responder de forma ágil e eficaz. Ademais, busca-se otimizar a utilização e a reutilização desses resíduos.

Para o desenvolvimento do sistema, foi promovido um esforço colaborativo entre o autor do estudo e os alunos João Antônio Lemos Araújo e Gabriel Lamarca Galdino da Silva, ambos da 8ª etapa do curso de Engenharia de Software da Universidade de Ribeirão Preto (Unaerp), que atuaram como desenvolvedores. Pontua-se que as funcionalidades específicas do sistema foram compelidas pela necessidade de uma gestão mais eficaz dos resíduos eletroeletrônicos, e serão detalhadamente apresentadas no próximo capítulo deste estudo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta o sistema desenvolvido para a gestão e o gerenciamento dos REEE (SisGRE3). São descritos os portais disponibilizados aos operadores, administradores e à conta mestra), incluindo suas telas e funcionalidades. Além de permitir a gestão dos REEE de forma ágil e prática, o sistema possibilita a geração de relatórios gerenciais, fornecendo informações detalhadas sobre os equipamentos armazenados e reutilizados, otimizando a gestão de recursos e contribuindo para a redução do impacto ambiental. Também, apresenta-se o processo de validação do sistema, informações de registro e onde o mesmo está disponível para *download*.

5.1 SISTEMA SISGRE3

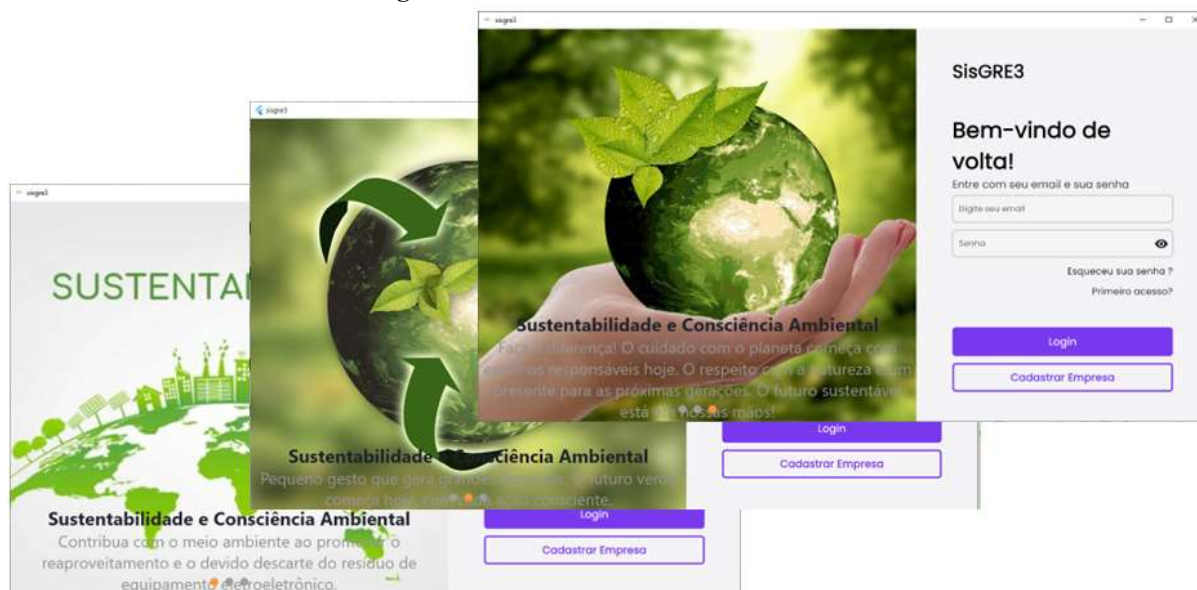
Aqui são elucidadas as principais telas do sistema e apresentadas suas respectivas funcionalidades.

5.1.1 Tela Inicial

A imagem apresentada na Figura 32 ilustra a tela inicial do sistema criado. Esta interface está organizada em duas seções; no lado esquerdo, observam-se três imagens que se alternam automaticamente. Em cada uma que se alterna, é apresentado uma mensagem de sustentabilidade e conscientização ambiental, que visa promover a gestão adequada dos REEE. As mensagens exibidas são: Tela 01 - Contribua com o meio ambiente ao promover o reaproveitamento e o devido descarte do resíduo de equipamento eletroeletrônico; Tela 02 - Pequeno gesto que gera grandes impactos. O futuro verde começa hoje, com cada ação consciente e Tela 03 - Faça a diferença! O cuidado com o planeta começa com escolhas responsáveis hoje. O respeito com a natureza e um presente para as próximas gerações. O futuro sustentável está em nossas mãos!

As imagens utilizadas foram coletadas dos sites:
<https://brasilecola.uol.com.br/educacao/sustentabilidade.htm>;
<https://pixabay.com/pt/illustrations/natureza-terra-sustentabilidade-3294632>;
<https://pixabay.com/pt/photos/natureza-terra-sustentabilidade-3289812>.

Figura 32 - Tela inicial do sistema SisGRE3



Fonte: Autoria própria (2024).

À direita da Figura 32, encontra-se a tela de login, que exibe o nome do sistema e uma mensagem de boas-vindas, além dos campos para inserção do nome de usuário (*e-mail*) e da senha de acesso. Abaixo, há um *link* para a rotina de recuperação de senha e outro para o primeiro acesso. Na parte inferior, estão dispostos o botão "*Login*" para acessar o sistema e o botão para o cadastro da empresa.

5.1.2 Cadastrar IES

A primeira etapa na implementação do sistema consiste no cadastro da IES. Durante o cadastro da empresa, cria-se o usuário denominado “Conta Mestre”. Essa conta é exclusiva para o registro e a atualização dos dados da empresa, além de permitir a criação do usuário administrador, como ilustrado na Figura 33.

Figura 33 - Cadastrar IES e criar conta mestra

Cadastre sua empresa!!

Email
roberto@unaerp.br

Número
2201

Senha
123456

Cidade
Ribeirão Preto

Repetir Senha
.....

Telefone
(16) 03603-7000

Nome da Empresa
Unaerp

Adicionar Setores

Nome da unidade
Unaerp - Ribeirão Preto

Compras

Controladoria

CNPJ
55.983.670/0001-67

Registros Acadêmicos

Financeiro

Cep
14096-900

Adicionar Local de Armazenamento

Selecionar Imagem

Porão T1 - Bloco A

Criar



Fonte: Autoria própria (2024).

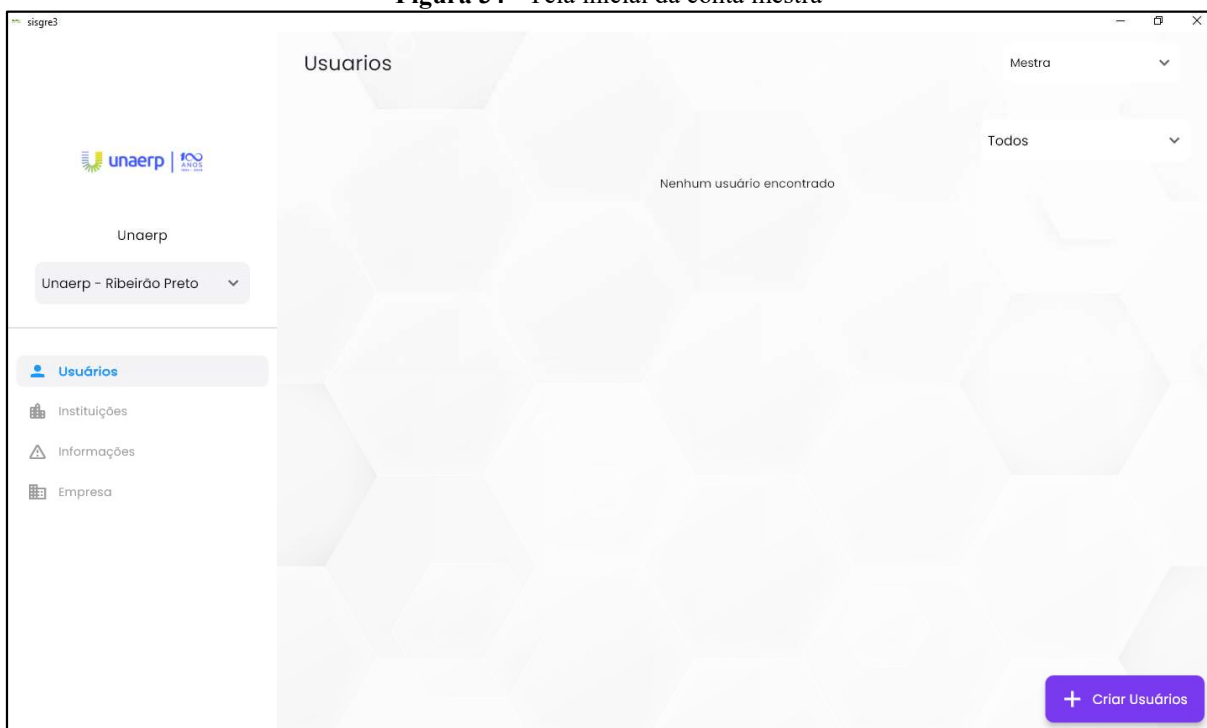
A Figura 33 apresentada acima, exibe a tela de cadastro da instituição de ensino, com todos os seus dados cadastrais, além de possibilitar o registro da conta mestra. A senha definida para esta conta deve seguir o requisito mínimo de seis dígitos e pode conter, números, caracteres especiais, além de letras maiúsculas e minúsculas. Nesta tela, também é possível adicionar o local de armazenamento dos equipamentos eletroeletrônicos e os setores da IES. É importante ressaltar que o cadastro será considerado finalizado apenas com a inserção de uma imagem, que pode ser o logotipo da empresa ou qualquer outra imagem, a qual permanecerá visível durante todo o uso do sistema.

5.1.3 Portal da Conta Mestra

Ao efetuar o login com a conta mestra, é exibida a tela apresentada na Figura 34. Nesta tela, no lado esquerdo, pode-se observar a imagem carregada no cadastro da IES, bem como o nome e as unidades cadastradas. Mais abaixo, estão dispostos os menus operacionais (Usuários, Instituições, Informações e empresa). Ao clicar em um desses menus, as informações pertinentes são exibidas à direita. Na Figura 34, foi selecionado o menu “Usuários”, o que resulta na exibição, à direita, dos usuários cadastrados, juntamente com a data de criação, o perfil, a unidade à qual cada usuário está vinculado e o status da conta, que pode estar ativa ou

inativa. Ressalta-se que toda a administração do sistema é realizada com a conta de administrador, como já mencionado anteriormente neste estudo.

Figura 34 - Tela inicial da conta mestra



Fonte: Autoria própria (2024).

No canto superior direito, é exibida a conta atualmente conectada, e logo abaixo encontra-se um filtro que permite a seleção entre as contas de administrador e operador. Ao selecionar uma opção, os resultados do filtro são exibidos na tela abaixo. No canto inferior direito, há um botão para “Criar Usuários”.

5.1.3.1 Cadastro contas de administrador pela conta mestra

Ao clicar no botão “Criar Usuários” ilustrado na Figura 35, abre-se a tela para adicionar um novo usuário. Nesta tela, devem ser inseridos o nome e o *e-mail* do usuário, o tipo de conta e a unidade à qual ele pertence, podendo ser selecionado todas as unidades cadastradas. É importante destacar que, ao ser vinculado a uma unidade, o usuário poderá executar as funções correspondentes exclusivamente a essa unidade. Além disso, ressalta-se que a conta mestra cria contas apenas com perfil de administrador.

Figura 35 – Cadastro de usuário administrador

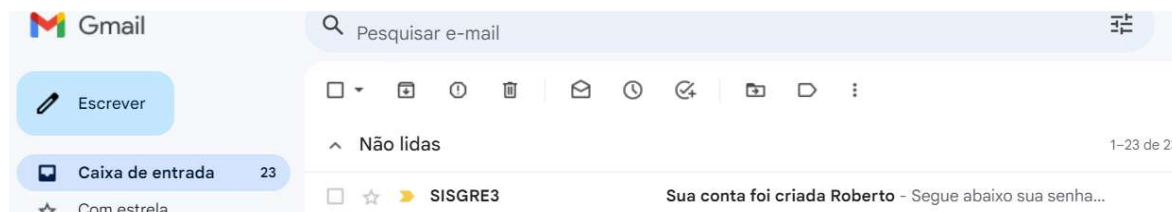
The screenshot shows a web interface for user management. The main heading is 'Usuarios'. A modal window titled 'Adicionar Usuário' is open, containing the following fields and controls:

- Nome do usuário:** Roberto Borges - Admin
- Email:** rborges@unaerp.br
- Tipo do usuário:** administrador (selected from a dropdown menu)
- Checkboxes:** Unaerp - Ribeirão Preto, Unaerp - Guarujá
- Buttons:** Cancelar (white), Criar (purple)

In the background, the 'Usuarios' page is visible with a sidebar menu containing 'Instituições', 'Informações', and 'Empresa'. A '+ Criar Usuários' button is located in the bottom right corner of the main interface.

Fonte: Autoria própria (2024).

Ao realizar o cadastro do usuário, será enviado um *e-mail* com a senha para o primeiro acesso no endereço de *e-mail* fornecido durante o cadastro. Essas informações são ilustradas nas Figuras 36 e 37.

Figura 36 – Recebimento do *e-mail* com a senha de primeiro acesso

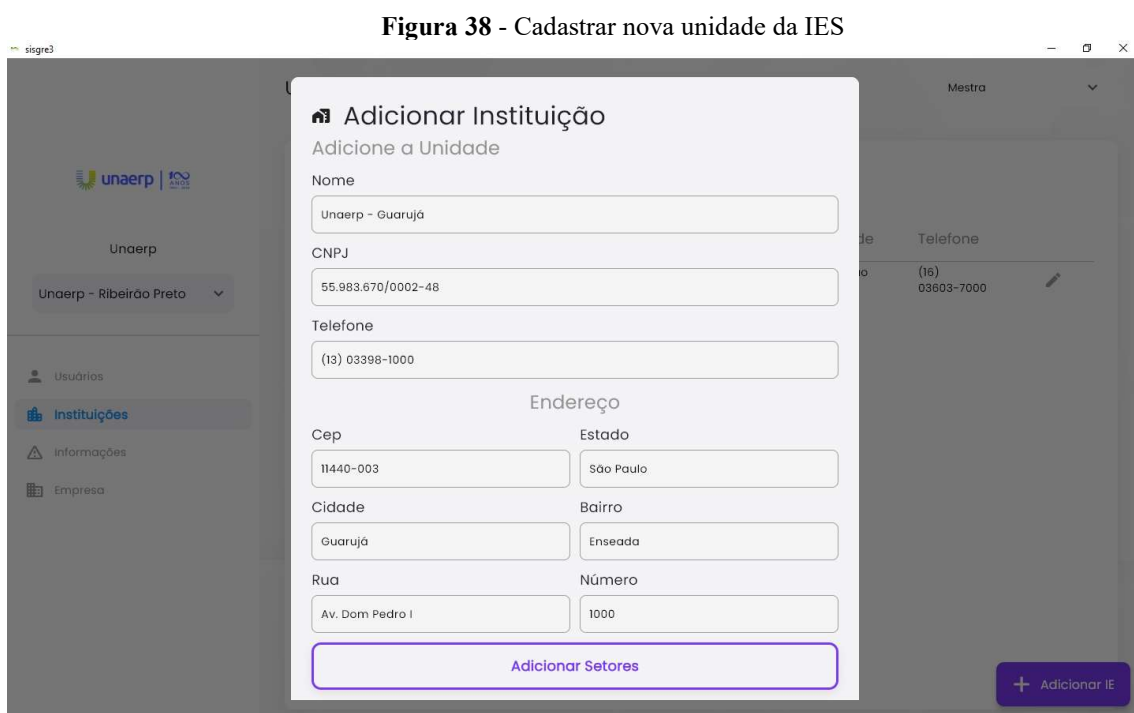
Fonte: Autoria própria (2024).



Fonte: Autoria própria (2024).

5.1.3.2 Cadastrar novas unidades da IES

Conectado com a conta mestra, também é possível cadastrar novas unidades da IES, ao clicar no menu “Instituições” e depois selecionar o botão “Adicionar IES”, como apresentado na Figura 38. Nesta tela permite o cadastro de novas unidades da IES.

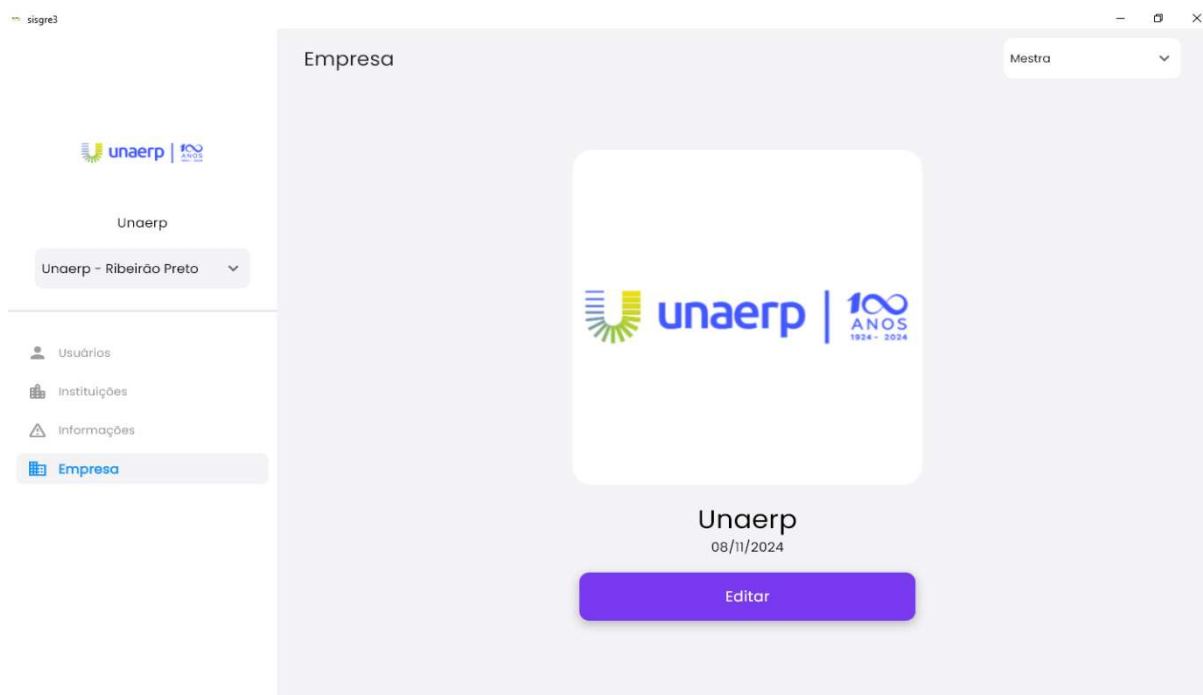


Autoria própria (2024).

O menu “Informações” será apresentado no portal do administrador.

Ao selecionar o menu “Empresa” a tela apresentada na Figura 39 será exibida, permitindo alterar a imagem carregada durante o cadastro da IES.

Figura 39 - Alterar imagem da IES



Autoria própria (2024).

5.1.4 Portal do Operador

A Figura 40 exibe o cadastro de um usuário do tipo operador, que pode ser criado exclusivamente quando o acesso é realizado por uma conta de administrador. Assim como no cadastro do administrador, uma senha de primeiro acesso é enviada ao operador cujo e-mail foi fornecido durante o processo de registro.

Figura 40 - Cadastro de usuário operador

Usuarios

Administrador

Todos

Status

ato... ativa

ato... ativa

Unaerp

Unaerp - Ribeirão Preto

Eletroeletrônicos

Chamados

Usuários

Instituições

Instalações

Adicionar Usuário

Preencha o formulário abaixo para adicionar usuários

Nome do usuário

Roberto - Operador

Email

roberto.borges@sou.unaerp.edu.br

Tipo do usuário

operador

Selecione a unidade

Unaerp - Ribeirão Preto

Cancelar

Criar

+ Criar Usuários

Fonte: Autoria própria (2024).

Ao receber a senha de primeiro acesso, o operador deverá clicar no *link* “Primeiro Acesso”, localizado na tela inicial do sistema, apresentado na Figura 41. Deve-se inserir o usuário, que corresponde ao *e-mail* cadastrado, juntamente com a senha recebida por *e-mail*. Em seguida, deve-se criar uma nova senha, seguindo os critérios de no mínimo 6 caracteres, que podem incluir letras, números e caracteres especiais, e para finalizar é necessário clicar no botão “Cadastrar”. É importante salientar que o campo de senha é sensível a letras maiúsculas e minúsculas; portanto, se a senha for definida com letras em diferentes casos, elas devem ser inseridas de forma correspondente para que o sistema permita o *login*.

Figura 41 - Tela de primeiro acesso



SisGRE3

Preencha os campos!

Entre com seu email e a senha enviada no email

roberto.borges@sou.unaerp.edu.br

.....

.....

.....

Cadastrar

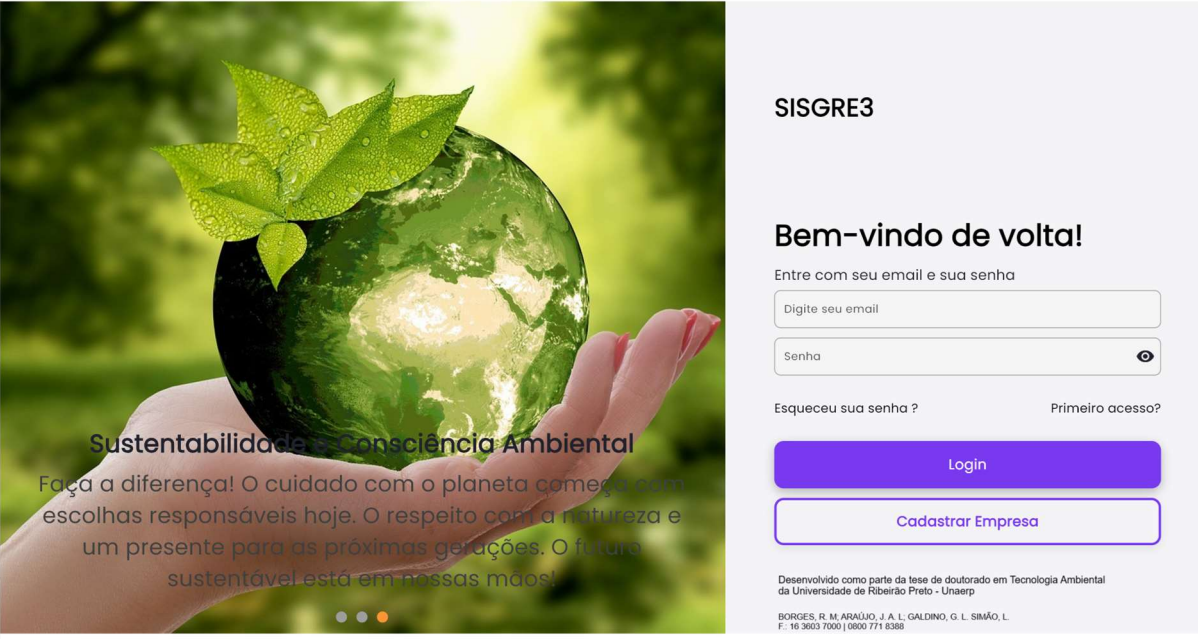
Cancelar

Sustentabilidade e Consciência Ambiental
 Faça a diferença! O cuidado com o planeta começa com escolhas responsáveis hoje. O respeito com a natureza é um presente para as próximas gerações. O futuro sustentável está em nossas mãos!

Fonte: Autoria própria (2024).

Após criar a senha de acesso, o usuário poderá ter acesso ao sistema inserindo o endereço de *e-mail* e a senha definida, e em seguida clicando em "*Login*". Esse procedimento é ilustrado na Figura 42. A Figura 43 exibe o portal do operador.

Figura 42 - Tela de login



SISGRE3

Bem-vindo de volta!

Entre com seu email e sua senha

Digite seu email

Senha

Esqueceu sua senha? Primeiro acesso?

Login

Cadastrar Empresa

Desenvolvido como parte da tese de doutorado em Tecnologia Ambiental da Universidade de Ribeirão Preto - Unaerp
 BORGES, R. M. ARAÚJO, J. A. L. GALDINO, G. L. SIMÃO, L.
 F: 16 3603 7000 | 0800 771 8388

Sustentabilidade e Consciência Ambiental
 Faça a diferença! O cuidado com o planeta começa com escolhas responsáveis hoje. O respeito com a natureza é um presente para as próximas gerações. O futuro sustentável está em nossas mãos!

Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 43 - Portal do operador



Fonte: Autoria própria (2024).

A tela exibida na Figura 43 apresenta, no lado esquerdo, o menu operacional do operador, que inclui as opções “Chamados” e “Informações”. À direita, são exibidos os itens correspondentes à opção selecionada.

5.1.4.1 Registrar chamados

Ao selecionar o menu “Chamados” à esquerda e clicar no botão “Abrir Chamado”, localizado no canto inferior direito, será apresentada a tela ilustrada na Figura 44. Nela, o usuário operador deverá inserir um título para o chamado, selecionar o tipo de equipamento a ser recolhido, indicar o setor ao qual pertence e, no campo de descrição, fornecer informações sobre o equipamento e/ou o motivo para a retirada. Após completar esses passos, basta clicar em "Abrir", e o chamado será exibido na tela de chamados com o status "Aberto", exibido na Figura 44.

Figura 44 - Registrar chamados

Chamados

Operario

unaerp | 100 ANOS

Unaerp

Unaerp - Ribeirão Preto

Chamados

Informações

Abrir chamado

Preencha o formulário abaixo para solicitar a retirada de um equipamento

Título da retirada

Retirar computador sem uso

Tipo do eletroeletronico

Computador

Selecione o setor

Registros Acadêmicos

Descrição

O equipamento não está em uso a algum tempo

Cancelar

Abrir

+ Abrir Chamado

Fonte: Autoria própria (2024).

Quando o administrador do sistema, atender ao chamado aberto pelo operador, ele poderá fechá-lo e registrar uma resposta. Assim, o operador conseguirá acompanhar o andamento do chamado por meio da alteração do status para “Fechado”, apresentado na Figura 45, segundo plano. Ao clicar no status, o operador visualizará a observação inserida pelo administrador.

Figura 45 - Chamado aberto e fechado

Chamados

Operador

unaerp | 100 ANOS

Unaerp

Chamados

Informações

Meus Chamados

Título	Abertura	Status
Retirar equipamento sem uso	28/06/2024	Aberto

+ Abre Chamado

Operador

Status

Fechado

+ Abre Chamado

Fonte: Autoria própria (2024).

5.1.4.2 Menu informações

No portal do operador, também é possível acessar as informações postadas pelos administradores, conforme ilustrado na Figura 46. Para isso, basta clicar no menu “Informações”. No painel à direita, serão exibidas as informações disponibilizadas, que podem incluir manuais de apoio à utilização do sistema, orientações sobre o descarte de REEE, entre outras.

Clicando sobre o ícone “baixar” à direita da informação, postada no mural de informações. O arquivo será baixado no computador.

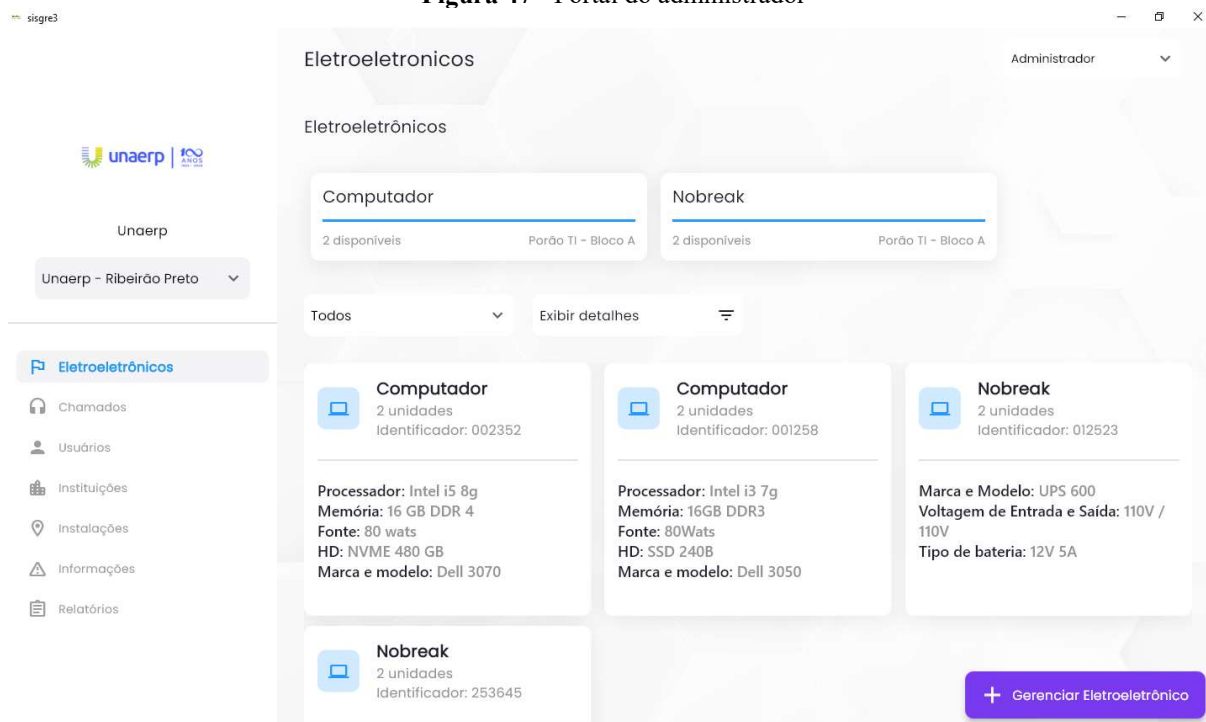


Fonte: Autoria própria (2024).

5.1.5 Portal do Administrador

Após a conta mestra concluir o cadastro da conta de administrador e este receber a senha, conforme demonstrado no item 5.1.3.1 deste estudo, o administrador poderá acessar o portal utilizando o *link* “Primeiro Acesso” para redefinir sua senha, seguindo os requisitos previamente mencionados. Ao acessar o portal o administrador visualizará a tela apresentada na Figura 47.

Figura 47 - Portal do administrador



Fonte: Autoria própria (2024).

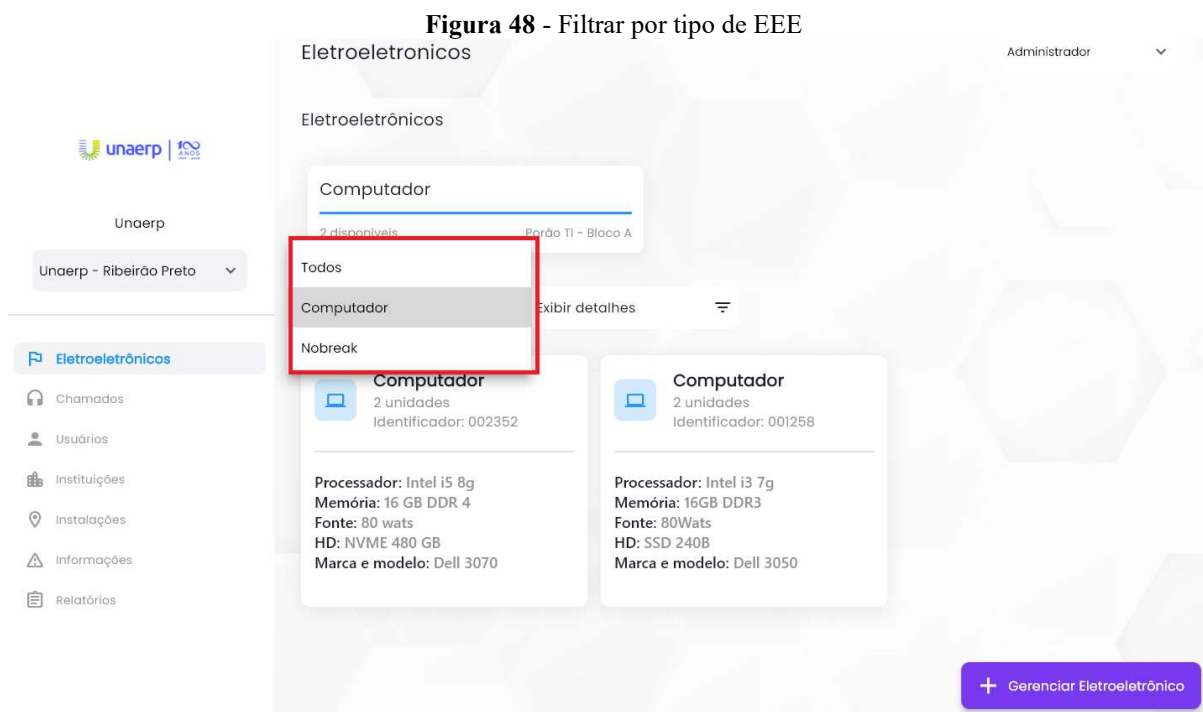
No portal do administrador ilustrado na Figura 47, percebe-se que este, oferece mais opções do que os portais do operador e da conta mestra, uma vez que toda a administração do sistema é realizada por este tipo de usuário. À esquerda, além da imagem carregada no cadastro da empresa, são exibidos o nome da empresa e as unidades ou campi. Também estão disponíveis os menus (Eletroeletrônicos, Chamados, Usuários, Instituições, Instalações, Informações e Relatórios), cujas funcionalidades serão detalhadas nos itens a seguir. O *dashboard* à direita será alterado conforme a opção selecionada no menu.

5.1.5.1 Eletroeletrônicos

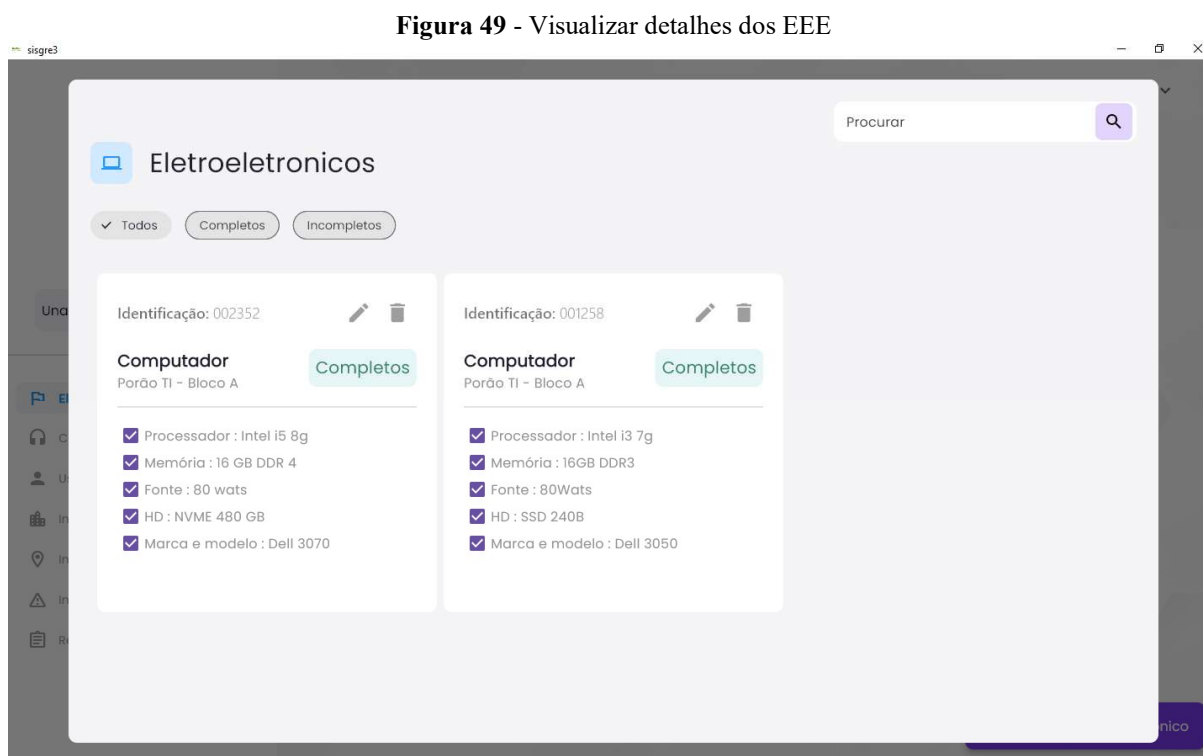
A interface apresentada na Figura 48 é exibida ao selecionar o menu “Eletroeletrônicos”. Nesta tela, visualizam-se os EEE e os REEE registrados no sistema. Na parte superior, há um painel de visualização que mostra os tipos de equipamentos cadastrados, com informações sobre a quantidade de itens disponíveis para uso e o local de armazenamento destes.

Na parte inferior da tela, encontra-se um filtro que permite a visualização dos equipamentos por categoria específica, além de possibilitar a exibição de detalhes dos itens selecionados. A Figura 48 ilustra a seleção de um tipo específico de equipamento para

visualização na parte inferior da tela. Por exemplo, ao selecionar "Computadores", serão exibidos somente os itens dessa categoria. Após a seleção de um tipo, o filtro à direita permite a visualização dos detalhes correspondentes ao item escolhido, como ilustrado na Figura 49.



Fonte: Autoria própria (2024).

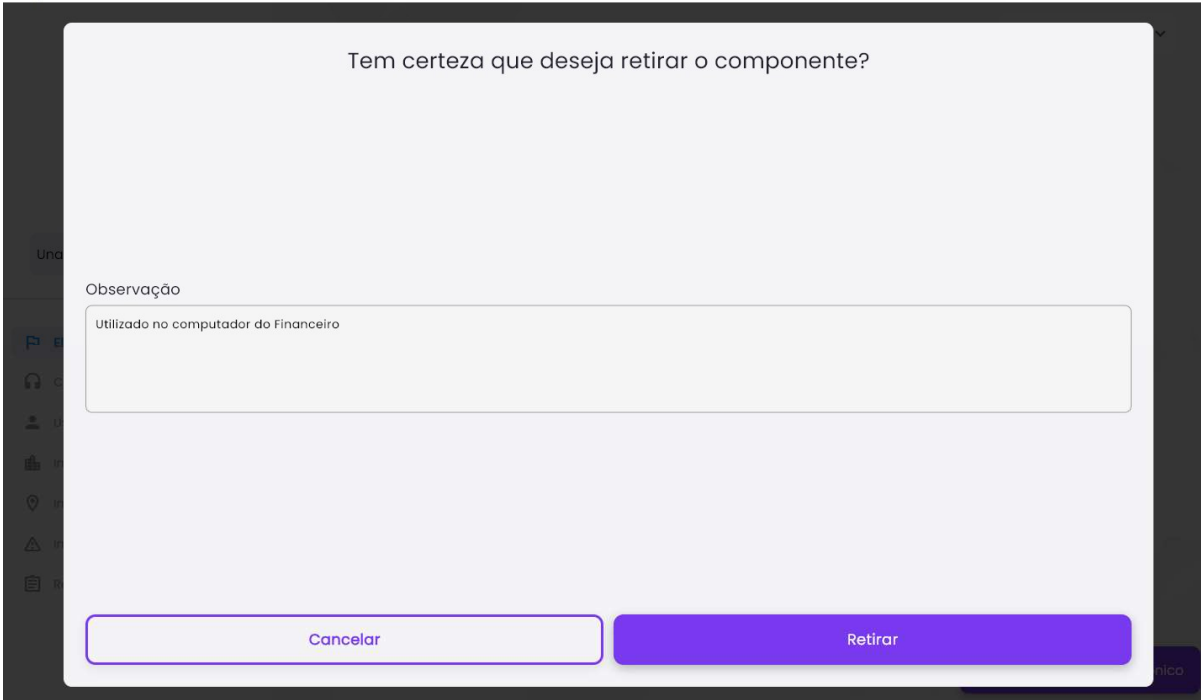


Fonte: Autoria própria (2024).

No canto superior da Figura 49, encontra-se o botão “Procurar”, que permite aplicar filtros na visualização atual. Esse recurso possibilita a busca por qualquer informação registrada sobre o equipamento, desde o número de patrimônio ou número de série até componentes específicos, como processador, memória, disco, marca, entre outras características.

Para registrar a baixa de um equipamento ou componente reutilizado ou vendido pela IES, basta selecioná-lo, seja na tela exibida na Figura 48 ou na Figura 49. Na primeira tela, é necessário dar um duplo clique sobre o equipamento desejado para expandi-lo e permitir a edição de seus componentes. Na segunda tela, como os detalhes do equipamento já estão visíveis, basta marcar ou desmarcar o componente que se deseja adicionar ou remover. Em seguida, será exibida a tela ilustrada na Figura 50, na qual o usuário deverá justificar a alteração realizada.

Figura 50 – Justificar alteração de componentes



Tem certeza que deseja retirar o componente?

Observação

Utilizado no computador do Financeiro

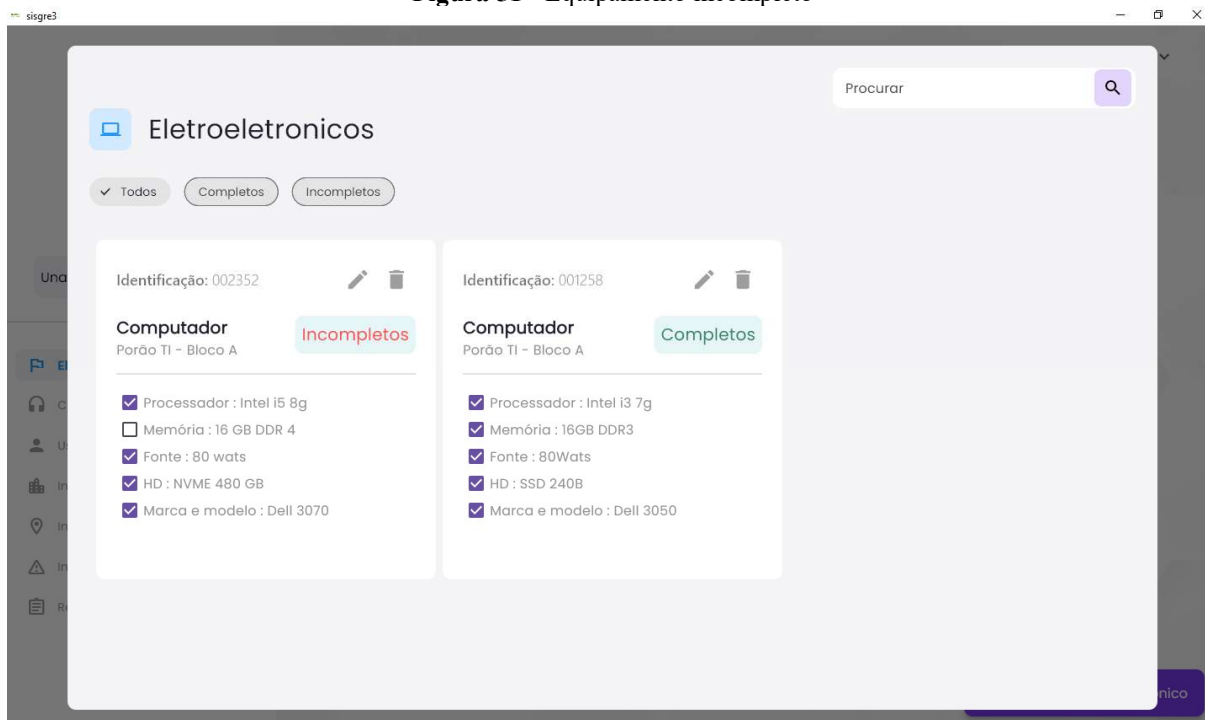
Cancelar Retirar

Fonte: Autoria própria (2024).

Da mesma forma que se pode retirar um componente, também é possível acrescentar, clicando sobre o ícone alterar (forma de um lápis) exibido na Figura 49. A imagem ilustrada na Figura 51, exibe como fica o status do equipamento que foi retirado algum componente para ser reaproveitado. No exemplo: foi retirado a memória do computador, desta forma o mesmo,

ficou com status de incompleto e em cor vermelha, facilitando a distinção entre os equipamentos completos e não completos.

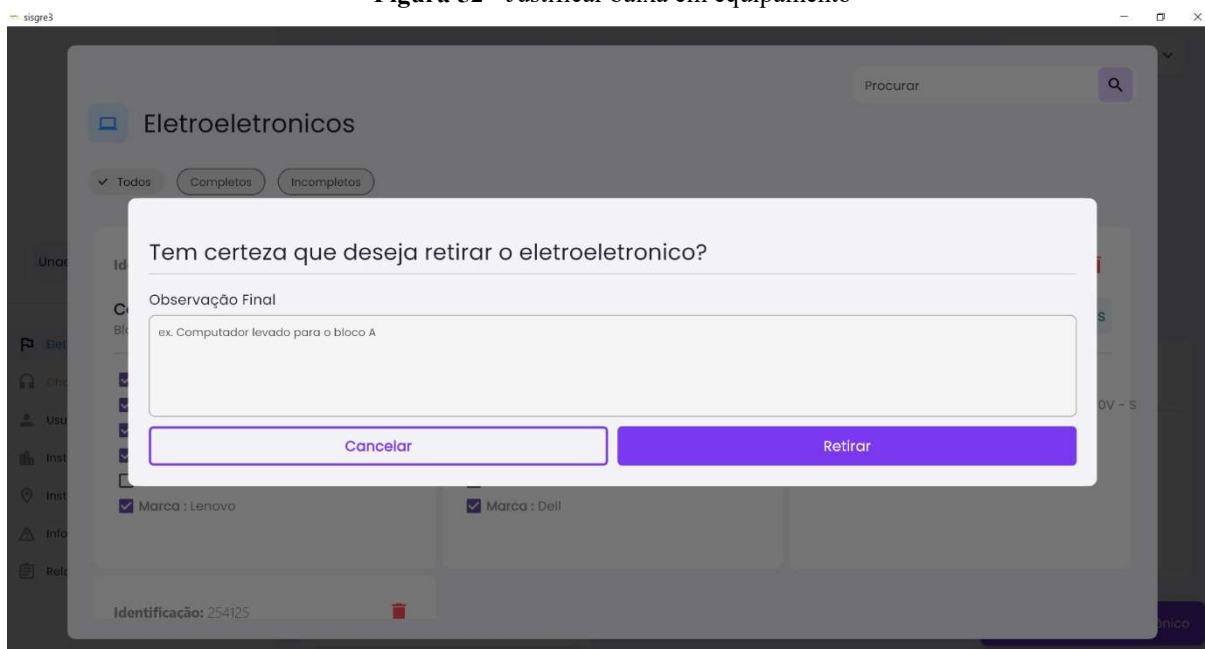
Figura 51 - Equipamento incompleto



Fonte: Autoria própria (2024).

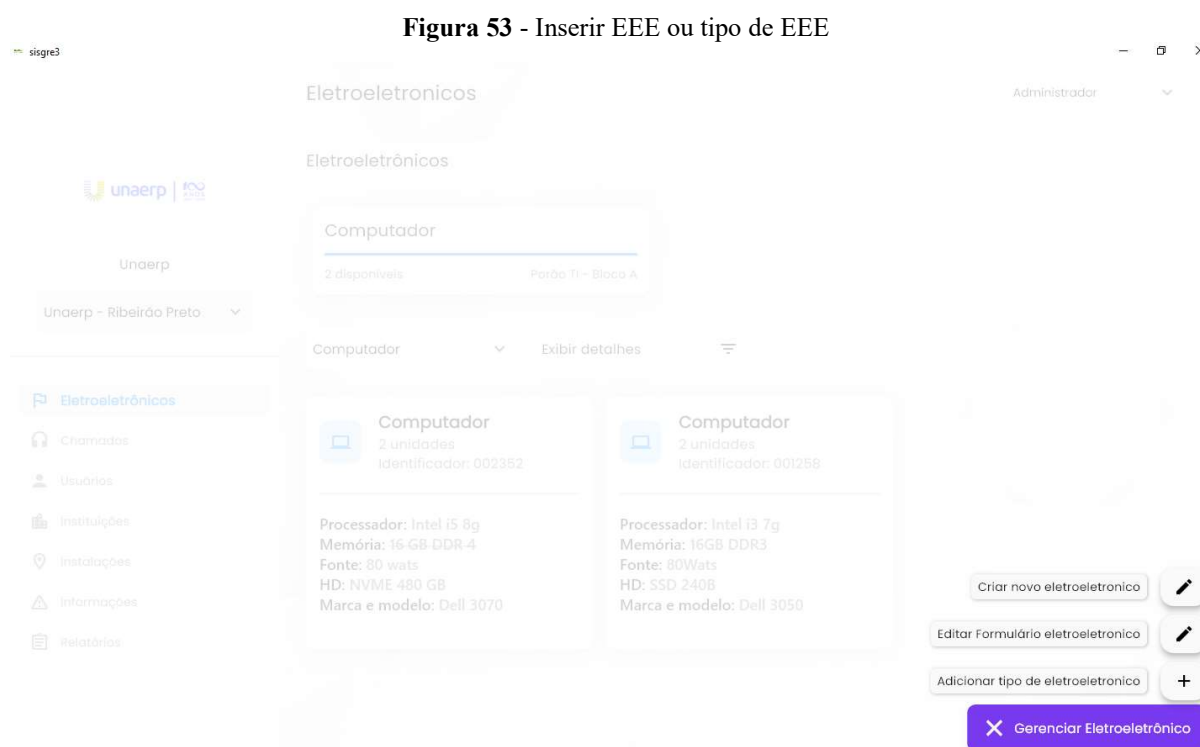
A tela representada na Figura 52, será exibida, caso um equipamento completo seja removido do sistema.

Figura 52 - Justificar baixa em equipamento



Fonte: Autoria própria (2024).

Para adicionar um EEE ou um novo tipo de EEE à gestão do sistema, deve-se clicar no botão “Gerenciar Eletroeletrônico” apresentado na Figura 53 e, em seguida, selecionar a opção desejada.



Fonte: Autoria própria (2024).

Ao selecionar a opção "Adicionar tipo de Eletroeletrônico", a tela ilustrada na Figura 54 será exibida. Nessa tela, é possível cadastrar o tipo de equipamento a ser gerenciado no sistema. Os campos e listas apresentados correspondem aos componentes do equipamento: os campos permitem a inserção de informações pelo usuário, enquanto as listas possibilitam a seleção de opções já cadastradas. Destaca-se que é possível adicionar quantos campos e listas forem necessários. A Figura 55 ilustra o processo de adição de uma lista.

Figura 54 - Adicionar tipo de EEE

Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 55 - Adicionar campos pré-definidos (lista)

Fonte: Autoria própria (2024).

Observa-se que posterior ao cadastro dos EEE ou dos tipos de EEE, pode-se adicionar novos campos ou listas, para isso, deve-se selecionar a opção “Editar formulário eletroeletrônico”.

Ao selecionar a opção "Criar novo eletroeletrônico", a tela ilustrada na Figura 56 será exibida para o cadastro do EEE. Nessa tela, é possível selecionar a unidade à qual o equipamento pertence, o local de armazenamento, o tipo de equipamento previamente cadastrado, além de inserir as informações pertinentes a esse equipamento.

Figura 56 - Cadastro de EEE

A imagem mostra a interface de usuário para o cadastro de um equipamento eletroeletrônico (EEE). O sistema é acessado por um usuário administrador. O formulário contém os seguintes elementos:

- Seleção de unidade:** Um menu suspenso com a opção "Unaerp - Ribeirão Preto" selecionada.
- Local de armazenamento:** Um menu suspenso com a opção "Porão TI - Bloco A" selecionada.
- Seleção do eletroeletrônico:** Um menu suspenso com a opção "Computador" selecionada.
- Campos de texto:**
 - Código de identificação: ex. patrimônio, número de série
 - Processador
 - Memória
 - Fonte
 - HD
- Lista:**
 - Marca e modelo: "Dell 3050"
- Botão de ação:** Um botão azul com o texto "+ Gerenciar Eletroeletrônico".

À esquerda, há um menu lateral com opções como "Eletroeletrônicos", "Chamados", "Usuários", "Instituições", "Instalações", "Informações" e "Relatórios". No topo, o nome do usuário "Administrador" é exibido.

Fonte: Autoria própria (2024).

5.1.5.2 Chamados

Ao selecionar o menu "Chamados", a tela ilustrada na Figura 57 será, permitindo ao administrador visualizar os chamados atendidos e os que aguardam atendimento. O administrador pode filtrar a exibição para visualizar todos os chamados, apenas os abertos ou fechados. Para isso basta selecionar no filtro ao lado.

Ao clicar sobre o status de um chamado, as informações detalhadas serão exibidas. Se o chamado estiver fechado, a tela ilustrada na Figura 58 será apresentada, permitindo visualizar quem finalizou o atendimento e a justificativa para essa ação. No caso de um chamado aberto, ao clicar em seu status, a tela ilustrada na Figura 59 será exibida, permitindo que o administrador feche o chamado e insira observações, que poderão ser visualizadas pelo operador após o encerramento do chamado. Além disso, o sistema permite buscar chamados específicos, visualizar um resumo da quantidade de chamados abertos e abrir novos chamados.

Figura 57 - Tela de chamados do administrador

Chamados

Procurar

Administrador

Chamados Abertos: 1

Todos

Chamados

Título	Abertura	Fechamento	Status
Equipamento sem uso	08/11/2024	08/11/2024	fechado
Retirar computador sem uso	08/11/2024	--	aberto

+ Abrir Chamados

Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 58 - Observações sobre o chamado fechado

Chamados

Procurar

Administrador

Chamados Abertos: 1

Todos

Chamados

Título

Abertura

Fechamento

Status

Observação do chamado

Nome Usuário Fechamento: Roberto Borges - Admin

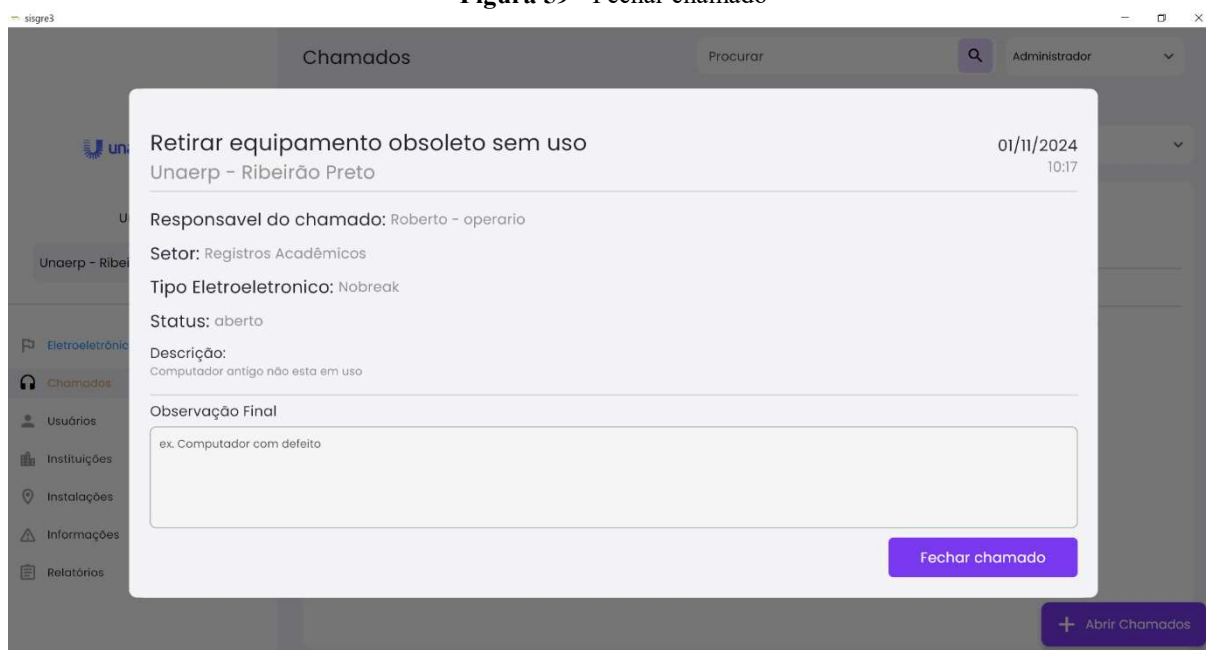
Email Usuário Fechamento: rborges@unaerp.br

Observação Fechamento: Equipamento retirado

+ Abrir Chamados

Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 59 - Fechar chamado



Fonte: Autoria própria (2024).

5.1.5.3 Usuários

No menu “Usuários”, são exibidos os usuários cadastrados no sistema, incluindo o tipo de conta (administrador ou operador) e a unidade a que pertencem. O administrador pode aplicar filtros para facilitar a visualização, ativar ou desativar usuários e também criar novos usuários ao clicar no botão “Criar Usuários”, conforme ilustrado na Figura 60.

Figura 60 - Tela de usuários

Usuários

Administrador

Todos

Unaerp

Unaerp - Ribeirão Preto

Eletroeletrônicos

Chamados

Usuários

Instituições

Instalações

Usuários Recentes

Nome	Email	Tipo de Us	Unidade	Status
Roberto - Operador	roberto.borges@sou.unaerp.edu.br	operador	Unaerp - Ribeirão Preto	ativa
Roberto Borges - Admin	rborges@unaerp.br	administrador	Unaerp - Ribeirão Preto...	ativa

+ Criar Usuários

Fonte: Autoria própria (2024).

Para desativar um usuário, o administrador deve clicar sobre o botão alterar (no formato de um lápis) e mudar o status o usuário, também é possível mudar o tipo de conta e a que unidade o usuário pertence, ilustrado na Figura 61.

Figura 61 - Alterar usuário existente

Editar Usuário

Nome

Roberto - Operador

Status

ativa

Tipo do usuário

operador

Selecione a unidade

Unaerp - Ribeirão Preto

Atualizar senha (será enviado um email para redefinir a senha)

Cancelar

Editar Usuário

+ Criar Usuários

Fonte: Autoria própria (2024).

Ao clicar em “Criar Usuários”, a tela ilustrada na Figura 62 será exibida, permitindo que o administrador realize o cadastro de um novo usuário, associando-o a um ou mais campi e definindo seu perfil.

Figura 62 – Cadastrar conta de usuário

A imagem mostra a interface de usuário de um sistema web. No topo, há o título 'Usuários' e um menu de usuário com o nome 'Administrador'. À esquerda, há um menu lateral com o logotipo 'unaerp' e opções como 'Eletroeletrônicos', 'Chamadas', 'Usuários', 'Instituições', 'Instalações', 'Informações' e 'Relatórios'. O formulário principal, intitulado 'Adicionar Usuário', contém os seguintes campos: 'Nome do usuário' (com o placeholder 'Digite o nome do usuário'), 'Email' (com o exemplo 'joao@gmail.com') e 'Tipo do usuário' (menu suspenso com 'administrador' selecionado). Abaixo, há duas opções de seleção: 'Unaerp - Ribeirão Preto' e 'Unaerp - Guarujá', ambas com caixas de seleção vazias. No rodapé do formulário, há dois botões: 'Cancelar' (branco) e 'Criar' (roxo). No canto inferior direito da tela, há um botão '+ Criar Usuários'.

Fonte: Autoria própria (2024).

5.1.5.4 Instituições

A Figura 63, exibe as IES cadastradas no sistema. Ressalta-se que tanto o cadastro quanto a alteração dos dados dessas instituições devem ser realizados exclusivamente por meio da conta mestra.

Figura 63 - IES cadastradas

The screenshot shows a web application interface for managing institutions. On the left is a sidebar menu with the following items: Eletroeletrônicos, Chamados, Usuários, **Instituições** (highlighted), Instalações, Informações, and Relatórios. The main content area is titled 'Unidades Cadastradas' and contains a table with the following data:

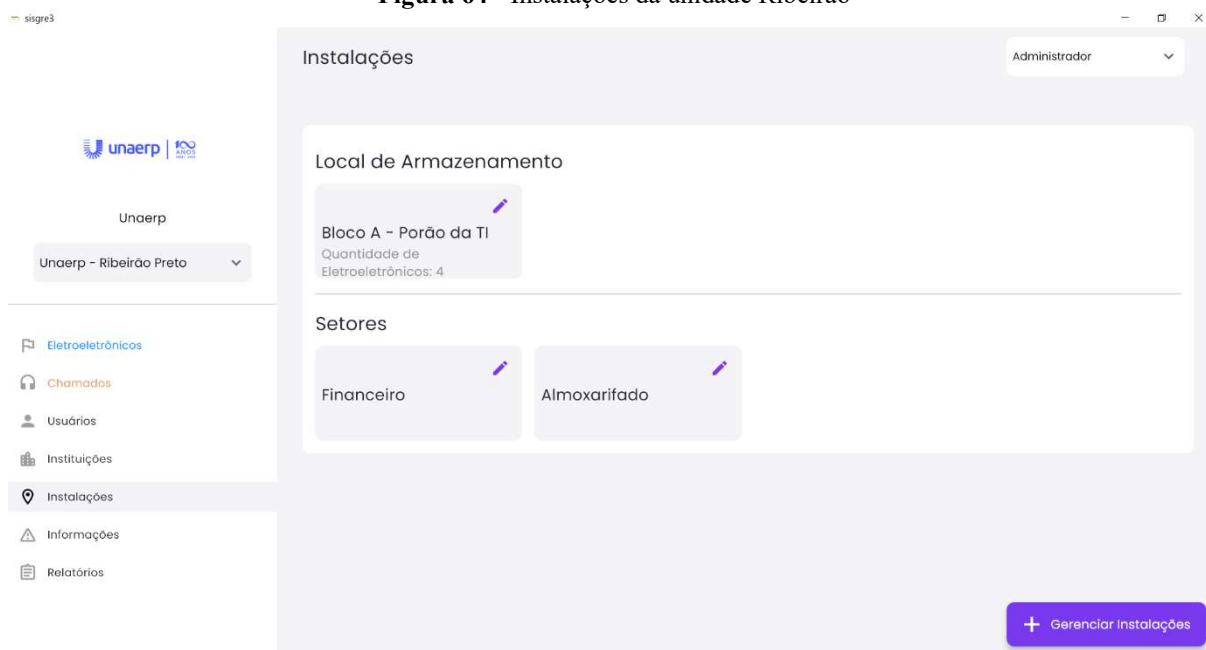
Nome	CNPJ	Endereço	Cidade	Telefone
Unaerp - Ribeirão Preto	55.983.670/0001-67	Av. Costabile Romano, 2201 - Ribeirão Preto - São Paulo, 14096-900	Ribeirão Preto	(16) 03603-7000
Unaerp - Guarujá	55.983.670/0002-48	Av. Dom Pedro I, 1000 - Enseada, Guarujá - São Paulo, 11440-003	Guarujá	(13) 03398-1000

Fonte: Autoria própria (2024).

5.1.5.5 Instalações

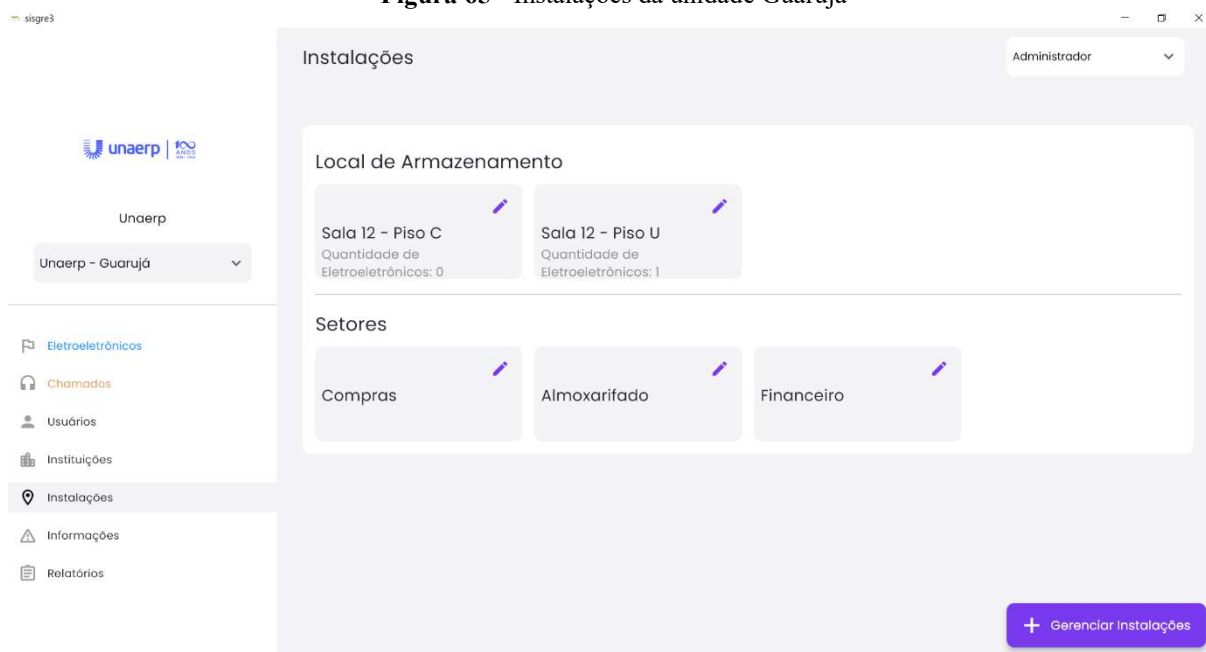
A Figura 64 exibe a *dashboard* do menu “Instalações”. Nessa tela, são apresentados os locais de armazenamento e os setores da IES, ambos vinculados a um campus específico. Por exemplo, ao selecionar "Unaerp – Ribeirão Preto", o administrador visualizará os locais de armazenamento e setores dessa unidade. Já ao selecionar "Unaerp – Guarujá", serão exibidos os locais de armazenamentos e setores correspondentes a essa unidade, como ilustrado na Figura 65.

Figura 64 - Instalações da unidade Ribeirão



Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 65 - Instalações da unidade Guarujá



Fonte: Autoria própria (2024).

Para inserir novos locais de armazenamento ou setores, basta clicar em “Gerenciar Instalações” e selecionar o tipo de instalação que deseja cadastrar, sendo local de armazenamento ou setor. Em seguida, a tela de cadastro será exibida, onde é necessário inserir o nome e selecionar a unidade à qual a instalação pertence. Após preencher essas informações, deve-se finalizar o cadastro.

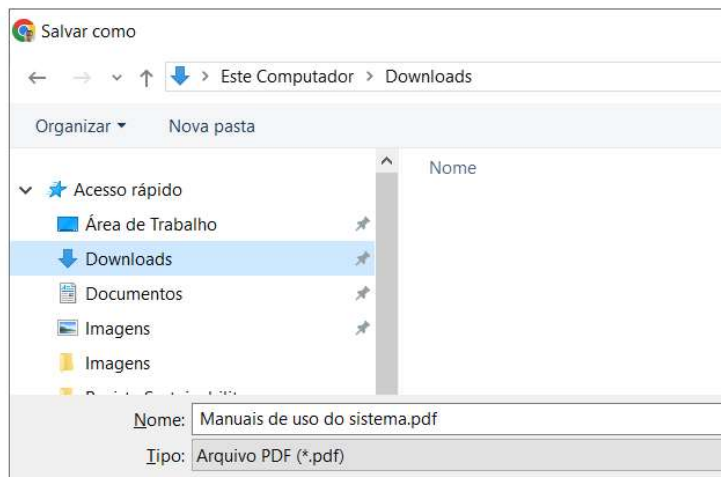
5.1.5.6 Informações

Visualiza-se na Figura 66 o menu “Informações”. Nesta tela, são exibidos os *links* de manuais e informações disponibilizadas pelos administradores do sistema. Enfatiza-se que os conteúdos inseridos nesse painel ficam acessíveis tanto para contas de operadores quanto para a conta mestra e demais administradores, sendo que apenas os administradores têm permissão para adicionar ou excluir informações. Nota-se na Figura 66 os *links* para as orientações de uso do sistema “Manual de apoio para uso do sistema” e o arquivo intitulado “Ações sustentáveis para a gestão dos REEE”, que fornece diretrizes para auxiliar na gestão dos resíduos gerados dentro da IES (Apêndice I).



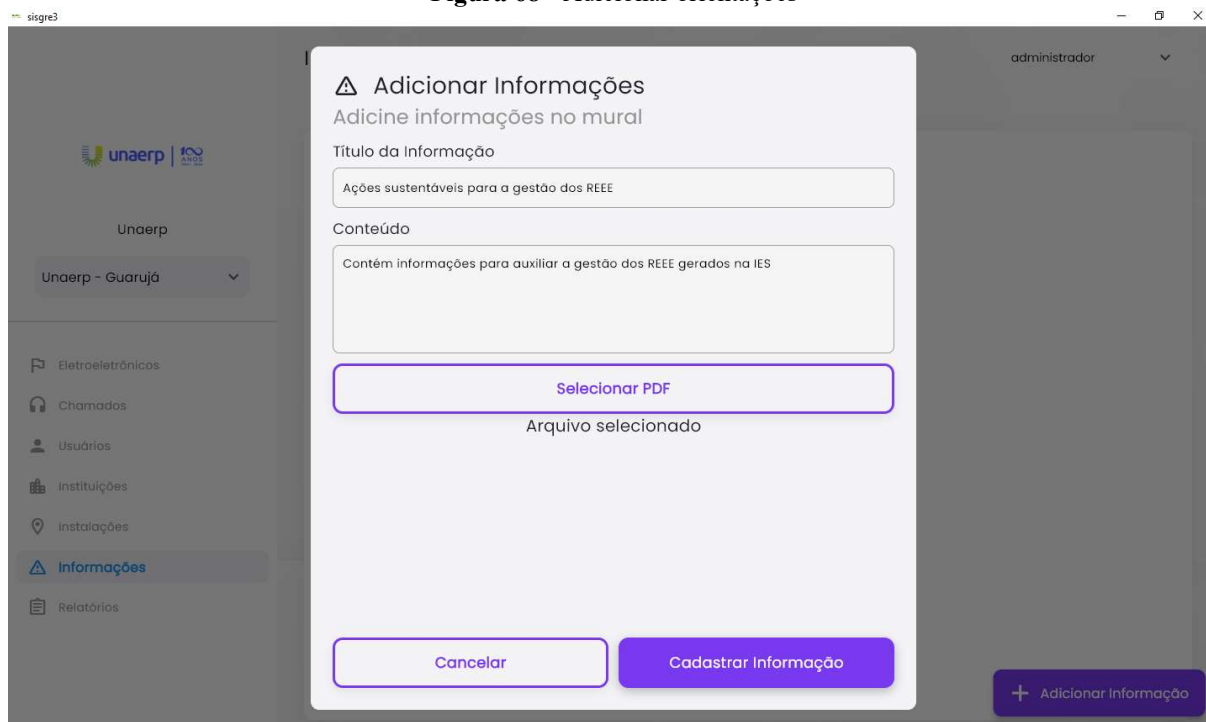
Fonte: Autoria própria (2024).

Para acessar as orientações postadas pelos administradores, deve-se clicar no botão “Baixar arquivo”. Em seguida deve-se selecionar o local onde o arquivo será salvo e inserir um nome para identificá-lo. Após fornecer essas informações, clique em "Salvar" para concluir o *download* e disponibilizar o arquivo, conforme ilustrado na Figura 67.

Figura 67 - Salvar arquivos de orientações

Fonte: Autoria própria (2024).

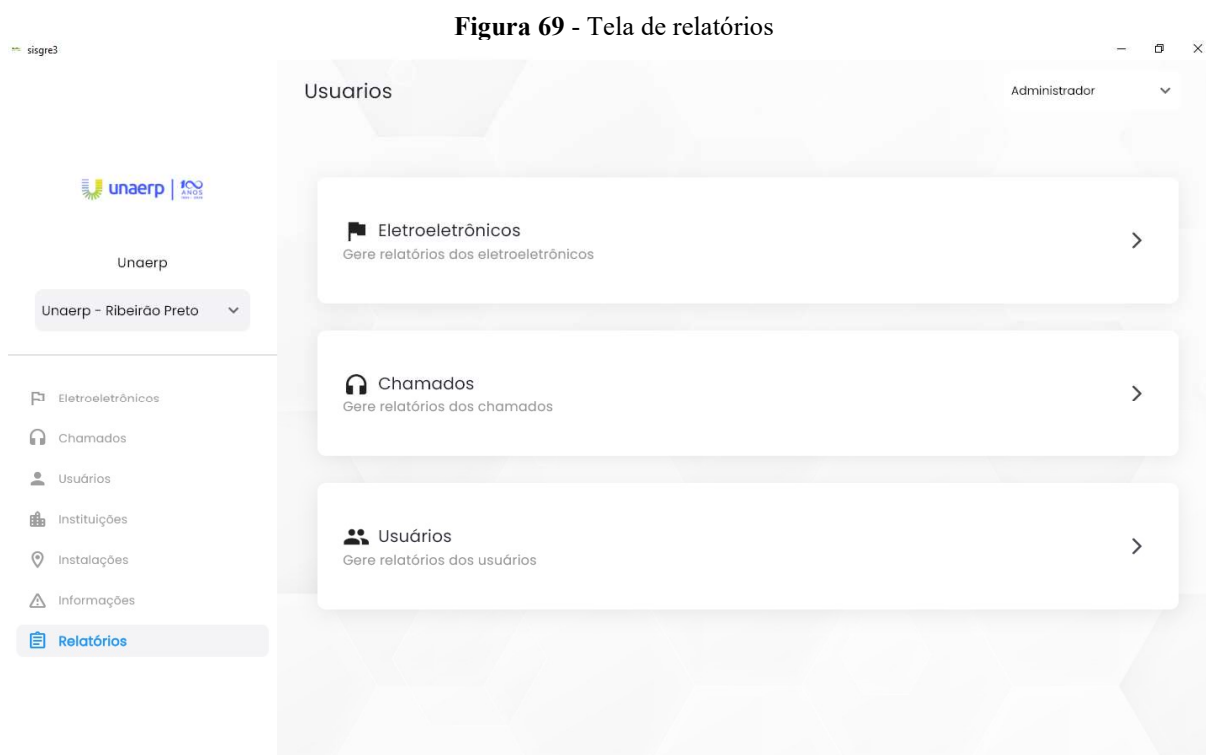
Para inserir novas informações o administrador, deve clicar no botão “Adicionar Informação”, localizado no canto inferior da tela de informações. Ao realizar esta ação a tela ilustrada pela Figura 68 será apresentada. Nesta tela, define-se o nome do arquivo que será exibido no painel, pode-se adicionar observações no campo “Conteúdo”, que também ficarão visíveis para os usuários do sistema. Em seguida, deve-se selecionar o arquivo em formato PDF e concluir a operação clicando em "Cadastrar Informação".

Figura 68 - Adicionar orientações

Fonte: Autoria própria (2024).

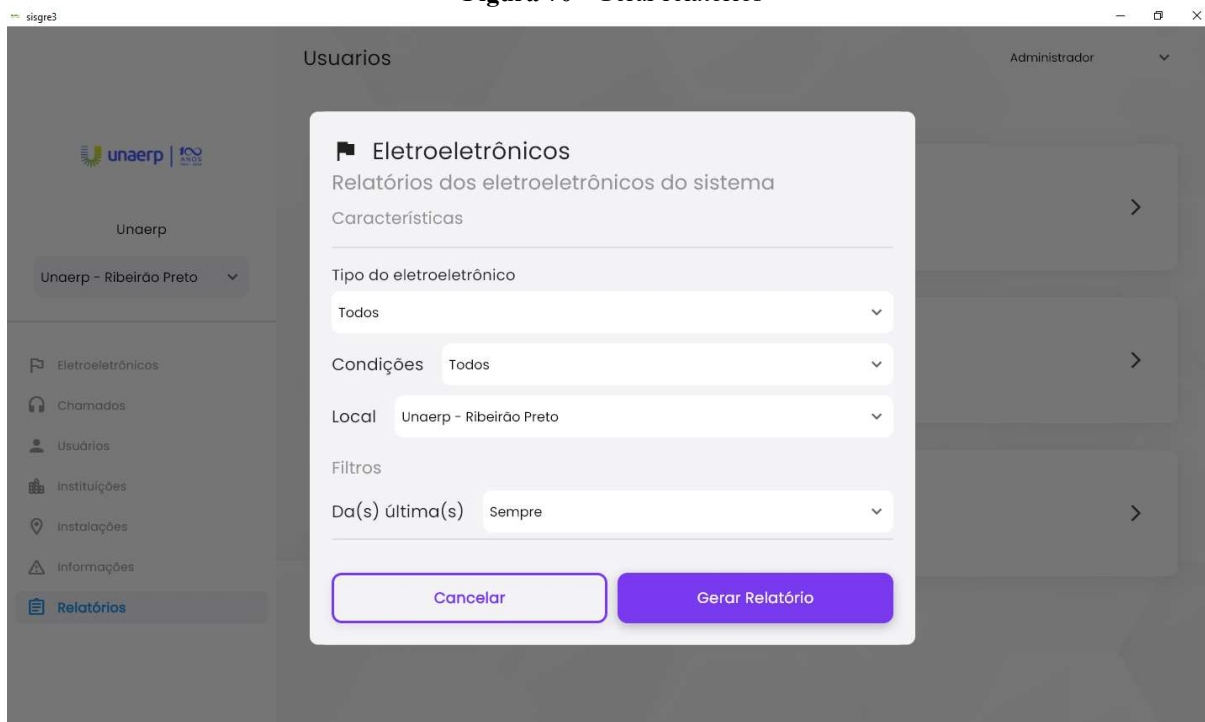
5.1.5.7 Relatórios

O menu “Relatórios” exibe a tela mostrada na Figura 69, onde, no painel à direita, estão disponíveis os relatórios do sistema SisGRE3. Para gerar um relatório, deve-se clicar na seta ao lado do tipo de relatório desejado. Ao selecionar o relatório de eletroeletrônico, a tela apresentada na Figura 70 será exibida.



Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 70 - Gerar relatórios

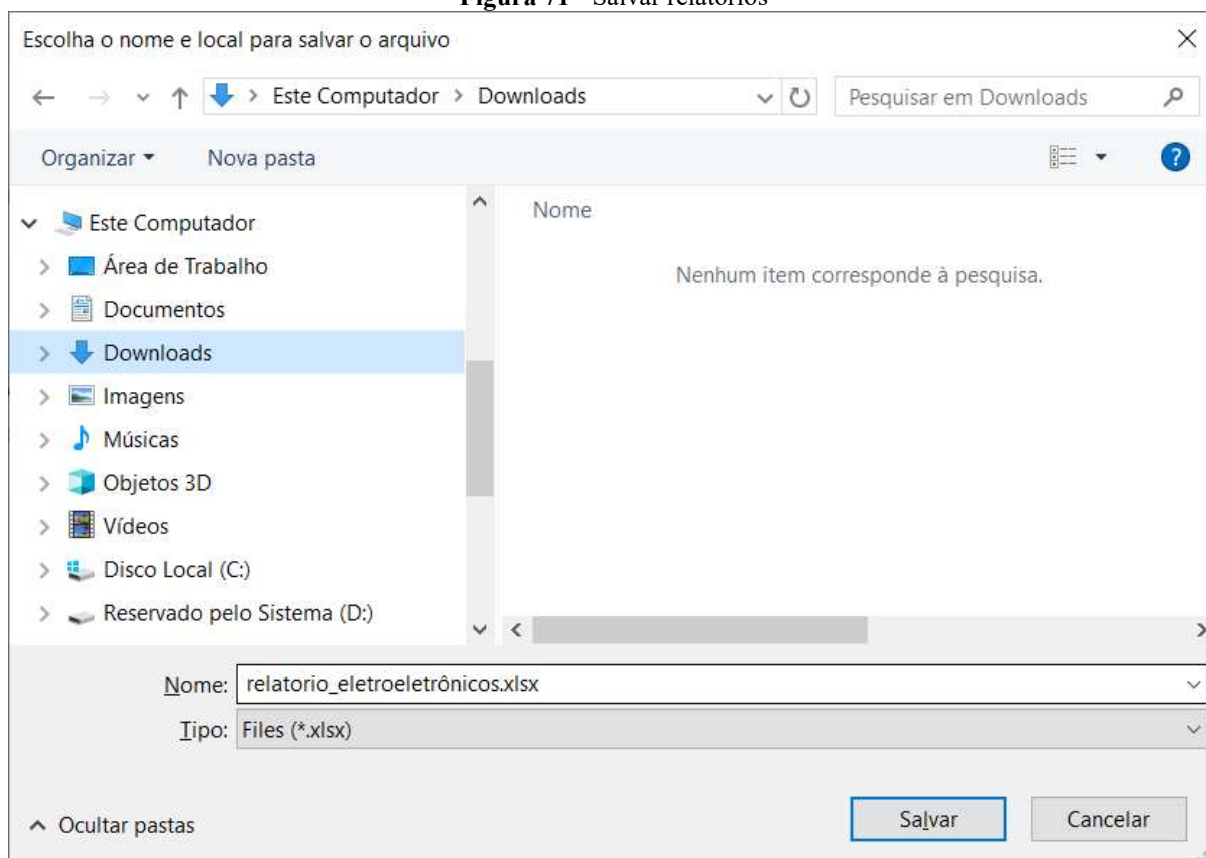


Fonte: Autoria própria (2024).

Por meio da tela apresentada na Figura 70, o administrador pode gerar relatórios dos REEE movimentados., permite-se gerar relatório de todos os equipamentos ou de um tipo específico, bem como filtrar por condições (completos e incompletos), unidade da IES e o período das movimentações (1 semana, 1 mês, 3 meses, 1 ano ou sempre). Após selecionar as opções desejadas, deve-se clicar em “Gerar Relatório”. Em seguida, será solicitado o nome do relatório e o local de armazenamento do arquivo, como ilustrado na Figura 71. Com isso, o sistema vai gerar um arquivo com extensão “.xlsx” (formato *Microsoft Excel*).

Os demais relatórios disponíveis incluem o relatório de “Chamados”, que permite filtrar por status (abertos ou pendentes) nos períodos já mencionados, e o relatório de “Usuários”, que pode ser filtrado por tipo de usuário (operador ou administrador) e pela unidade à qual estão vinculados.

Figura 71 - Salvar relatórios

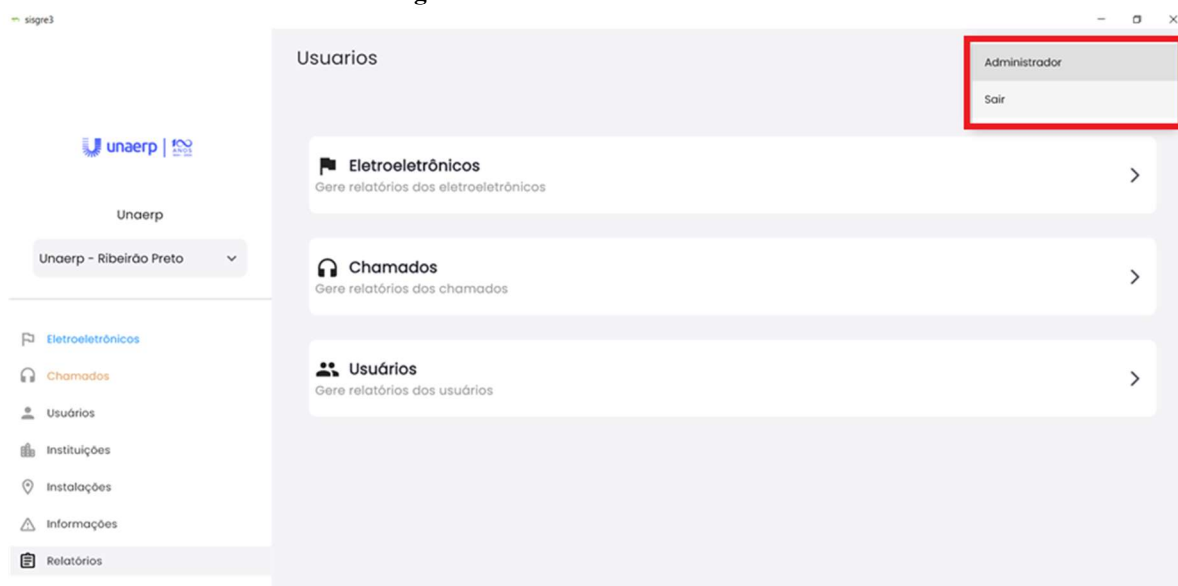


Fonte: Autoria própria (2024).

5.1.6 Encerrar uso do Sistema SisGRE3

Para encerrar o uso do sistema, deve-se clicar sobre o tipo de usuário, localizado no canto superior direito, ilustrado do na Figura 72 e selecionar a opção “Sair”. Essa opção está disponível nos portais de operador, administrador e conta mestra. Ressalta-se que, se o sistema for fechado sem clicar sobre o botão “Sair”, a sessão permanecerá ativa, assim ao reabrir o sistema o usuário e senha de acesso não serão solicitados.

Figura 72 - Encerrar sessão do sistema



Fonte: Autoria própria (2024).

5.2 VALIDAR SISTEMA SISGRE3

Aqui são apresentados os métodos adotados para validar o sistema SisGRE3.

5.2.1 A importância de validar um sistema

O processo de validação de um sistema visa garantir que um sistema informatizado execute, de maneira consistente e confiável, as funções para as quais foi projetado.

Segundo Nogueira (2020), a validação de sistemas computadorizados consiste em verificar e garantir que o sistema atenda aos requisitos e padrões esperados, assegurando a integridade dos dados e a correta funcionalidade. Esse processo envolve a realizar testes de *software*, verificar a integridade e segurança dos dados e avaliações de segurança. O objetivo é assegurar que o sistema seja confiável, eficiente e seguro para seu uso pretendido. Para o autor, a integridade das informações é garantida por meio de medidas de segurança, como controle de acesso, autenticação, criptografia e verificações de consistência. A validação do sistema garante a proteção dos dados contra erros, manipulações indevidas e acessos não autorizados, assegurando sua confiabilidade.

5.2.2 Validar a segurança e a proteção do sistema

Conforme detalhado no item 4.2.3.2, os dados coletados pelo sistema SisGRE3 são armazenados e gerenciados em um banco de dados robusto e confiável (*Firebase*), tecnologia esta que garante a integridade e restringe o acesso aos dados, apenas a usuários autorizados por meio da aplicação ou a administradores com permissões diretas à base de dados. Para reforçar a segurança do sistema, foram implementados portais exclusivos para cada perfil de usuário (operador, administrador e conta mestra). Além disso, implementou-se a emissão de uma senha provisória para o primeiro acesso do usuário cadastrado, que deve ser substituída por uma senha definitiva no primeiro *login*, obedecendo aos critérios de segurança mencionados nos itens 5.1.3.1 e 5.1.4.

A fim de validar a segurança e proteção do sistema SisGRE3, conduziu-se algumas simulações, conforme descrito a seguir:

Validação de segurança 01:

- Realizou-se o cadastro da empresa utilizando a conta mestra;
- Tentou-se alterar os dados empresariais por meio de uma conta com perfil de administrador;

Observa-se na Figura 73, o registro dos dados da IES, efetuados através da conta mestra. Por outro lado, a Figura 74 demonstra a impossibilidade de modificação dos dados quando acessados por uma conta de perfil de administrador, corroborando a eficácia das restrições de permissão implementadas no sistema.

Figura 73 – Registro dos dados da empresa

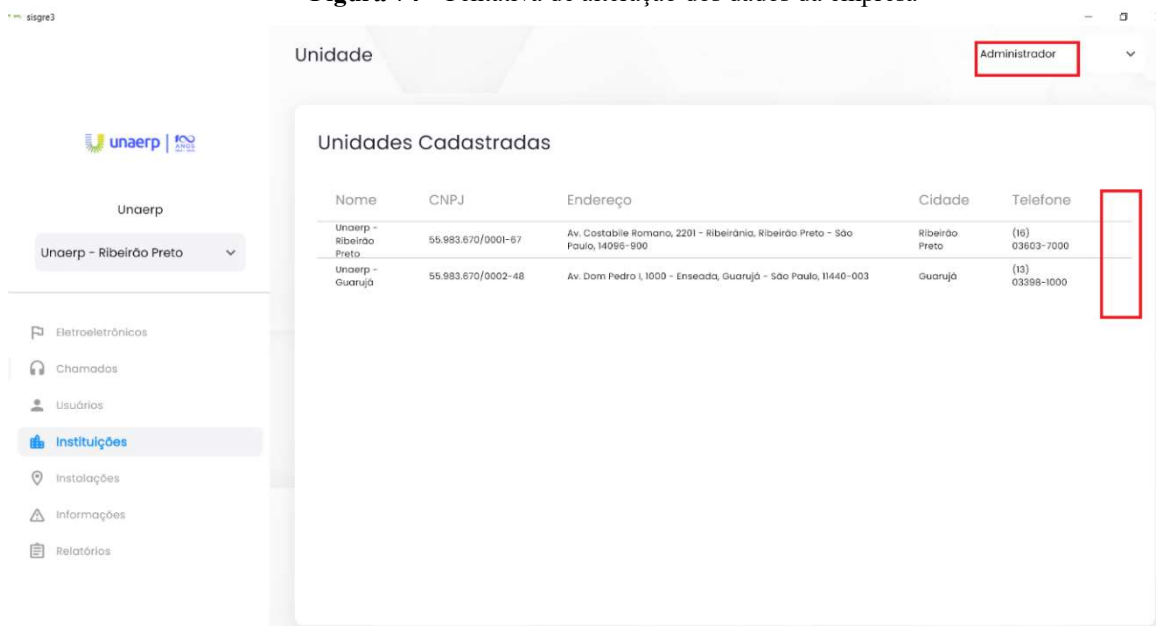
The screenshot displays the 'Unidades Cadastradas' section of the SisGRE3 system. The interface is accessed via a 'Mestra' (Master) account, as indicated by the red box around the 'Mestra' dropdown menu. The table below shows the registered units:

Nome	CNPJ	Endereço	Cidade	Telefone
Unaerp - Ribeirão Preto	55.983.670/0001-67	Av. Costabile Romano, 2201 - Ribeirânia, Ribeirão Preto - São Paulo, 14096-900	Ribeirão Preto	(16) 03603-7000
Unaerp - Guarujá	55.983.670/0002-48	Av. Dom Pedro I, 1000 - Enseada, Guarujá - São Paulo, 11440-003	Guarujá	(18) 03398-1000

Red boxes highlight the 'Mestra' account type and the edit icons for each unit row. A '+ Adicionar IES' button is visible at the bottom right of the table.

Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 74 - Tentativa de alteração dos dados da empresa



Fonte: Autoria própria (2025).

Validação de segurança 02:

- Simulou a manipulação de um chamado criado por um usuário operador, utilizando uma conta de administrador.

Conforme ilustrado na Figura 75, o portal do administrador exibe um chamado registrado por um usuário operador. Observa-se que, mesmo com credenciais administrativas, não é possível manipular os dados inseridos no chamado. Essa restrição intencional assegura a confiabilidade das informações, garantindo a transparência e a segurança no gerenciamento dos chamados. No entanto, cabe ao perfil de administrador a gestão de determinadas funcionalidades, tais como: o cadastro de equipamentos eletroeletrônicos e seus componentes, as informações de *login* dos usuários, o gerenciamento de instalações, bem como a remoção e republicação de dados no sistema.

Figura 75 - Portal do administrador, *dashboard* chamados.

Título	Abertura	Fechamento	Status
Retirar equipamento sem uso	14/12/2024	--	aberto
Equipameto sem uso	08/11/2024	08/11/2024	fechado
Retirar computador sem uso	08/11/2024	10/12/2024	fechado

Fonte: Autoria própria (2025).

Os resultados confirmam que o sistema opera conforme o previsto, restringindo adequadamente as permissões de edição conforme os níveis de acesso.

5.2.3 Validar funcionalidades do sistema e integridade dos dados

As simulações executadas neste item, visaram validar as principais funcionalidades do sistema.

Validação de funcionalidade e integridade 01:

- Cadastrar e alterar tipo de EEE;

As Figuras 76 e 77 comprovam o correto funcionamento das funções de cadastro e edição de formulários para EEE. A Figura 76 mostra o cadastro do formulário para monitor com os parâmetros técnicos que se deseja controlar no sistema, enquanto a Figura 77 demonstra a edição deste formulário, acrescentando os campos tamanho e resolução. Os testes confirmam que o sistema gerencia adequadamente os formulários, mantendo a integridade das informações.

Figura 76 - Adicionar formulário de EEE

The screenshot shows a web application interface for adding a new type of electroelectronic equipment. The main window is titled 'Adicionar Tipo do Eletroeletrônico'. It contains the following fields and sections:

- Dropdown:** 'Eletroeletrônico que já existem' with 'Nobreak' selected.
- Text Input:** 'Título do tipo de eletroeletrônico' with 'Monitor' entered.
- Buttons:** 'Adicionar Campo' and 'Adicionar Lista' (purple).
- Campos (Fields):**
 - 'Marca' (text input)
 - 'Modelo' (text input)
- Lista (List):** 'Conexão' with options: 'VGA', 'HDMI', 'DVI', 'Display Port'.
- Buttons:** 'Cancelar' (white) and 'Adicionar Tipo Eletroeletrônico' (purple).

The background shows a sidebar with navigation options like 'Chamados', 'Usuários', 'Instituições', 'Instalações', 'Informações', and 'Relatórios'. A right-hand panel displays details for a 'Nobreak' unit, including its quantity (2), identifier (253645), and technical specifications.

Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 77 - Editar formulário de EEE

The screenshot shows the 'Editar Formulário' (Edit Form) window. It allows editing an existing form configuration. The fields and sections are:

- Dropdown:** 'Selecione o formulário' with 'Monitor' selected.
- Text Input:** 'Título do Eletroeletrônico' with 'Monitor' entered.
- Buttons:** '+ Adicionar Campo' (purple).
- Campos (Fields):**
 - 'Marca' (text input with delete icon)
 - 'Modelo' (text input with delete icon)
 - 'Tamanho' (text input with delete icon)
 - 'Resolução' (text input with delete icon)
- Lista (List):** 'Conexão' with 'VGA' selected and a '+ Adicionar Lista' button (purple).
- Buttons:** 'Cancelar' (white) and 'Editar' (purple).

The background interface is consistent with Figure 76, showing the same sidebar and right-hand panel details.

Fonte: Autoria própria (2025).

Validação de funcionalidade e integridade 02:

- Cadastro e manejo EEE;
- Emissão de relatórios.

Para validar a funcionalidade de cadastro de EEE, procedeu-se com o registro de diferentes equipamentos, conforme demonstrado nas figuras correspondentes. Cadastros de unidades de EEE do tipo monitor, cujos registros encontram-se ilustrados nas Figuras 78 e 79;

Registros de equipamentos do tipo computador, devidamente documentados nas Figuras 80 e 81.

Figura 78 - Cadastro de EEE monitor

Selecione o eletroeletrônico

Monitor

Campos

43928

LG

20MK400H-B

19,5

HD

Lista

Conexão

HDMI

Observação

Também tem conexão VGA

Administrador

Unaerp

Unaerp - Ribeirão Preto

Eletroeletrônicos

Chamados

Usuários

Instituições

Instalações

Informações

Relatórios

Nobreak

2 disponíveis

Porç

Computador

2 unidades

Identificador: 001258

Processador: Intel i3 7g

Memória: 16GB DDR3

Fonte: 80Wats

HD: SSD 240B

Marca e modelo: Dell 3050

+ Gerenciar Eletroeletrônico

Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 79 - Monitores cadastrados no sistema

Eletroeletrônicos

Administrador

Eletroeletrônicos

Monitor

3 disponíveis

Porção T1 - Bloco A

Computador

2 disponíveis

Porção T1 - Bloco A

Nobreak

2 disponíveis

Porç

Todos

Exibir detalhes

Monitor

3 unidades

Identificador: 43928

Marca: LG

Modelo: 20MK400H-B

Tamanho: 19,5

Resolução: HD

Conexão: HDMI

Monitor

3 unidades

Identificador: 43928

Marca: LG

Modelo: 20MK400H-B

Tamanho: 19,5

Resolução: HD

Conexão: HDMI

Monitor

3 unidades

Identificador: 39055

Marca: LG

Modelo: 20MK400H-B

Tamanho: 19,5

Resolução: HD

Conexão: HDMI

Computador

2 unidades

Identificador: 001258

Computador

2 unidades

Identificador: 001258

+ Gerenciar Eletroeletrônico

Unaerp

Unaerp - Ribeirão Preto

Eletroeletrônicos

Chamados

Usuários

Instituições

Instalações

Informações

Relatórios

Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 80 - Cadastro de EEE computador

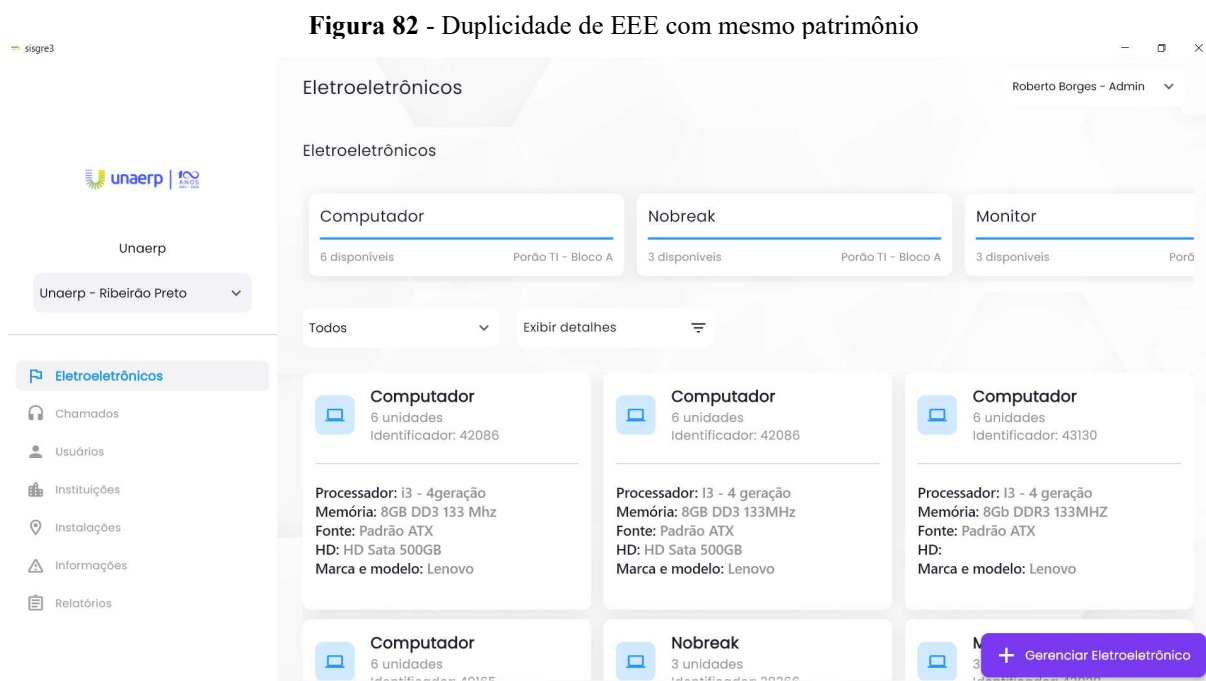
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 81 - Computadores cadastrados no sistema

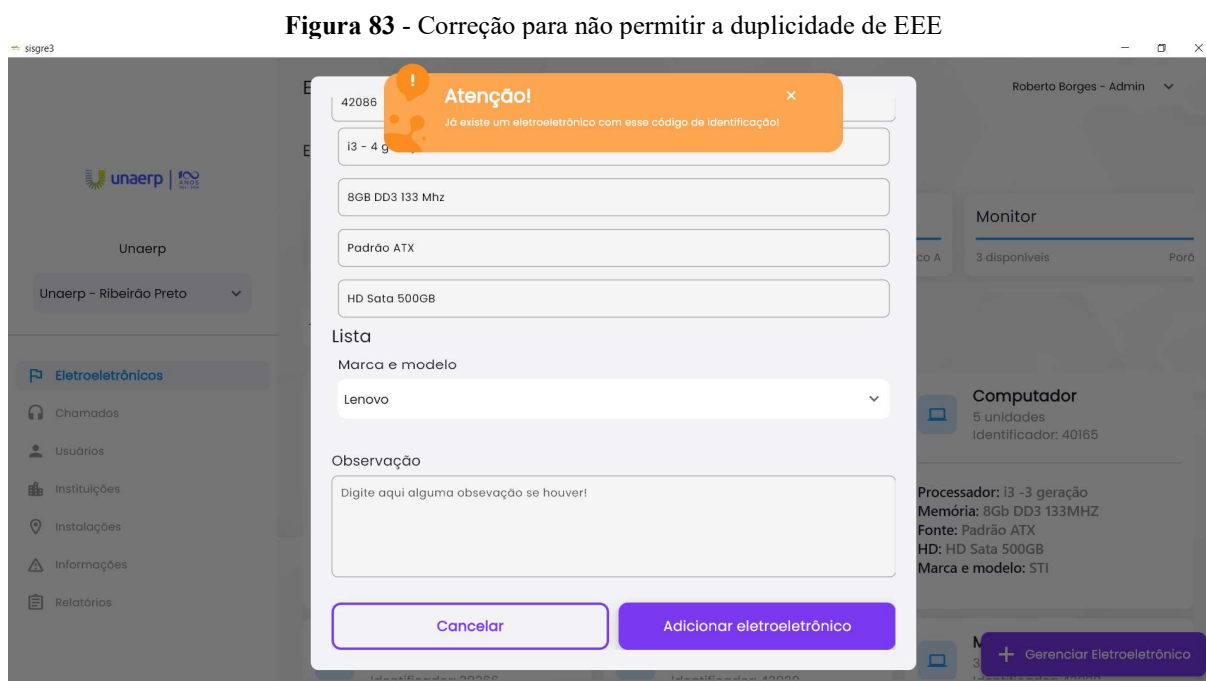
Fonte: Autoria própria (2025).

Durante os procedimentos de validação da rotina de cadastro de EEE, identificou-se uma inconsistência no sistema, que possibilitava registrar múltiplos equipamentos com o mesmo número de patrimônio. Conforme evidenciado na Figura 82, o sistema permitiu indevidamente o duplo cadastro do equipamento de patrimônio 42086. Esta vulnerabilidade foi imediatamente reportada aos desenvolvedores, que implementou as correções necessárias. A

solução implementada, agora ilustrada na Figura 83, introduziu um mecanismo que impede a duplicidade de cadastros de equipamentos com os mesmos números de patrimônio.



Fonte: Autoria própria (2025).

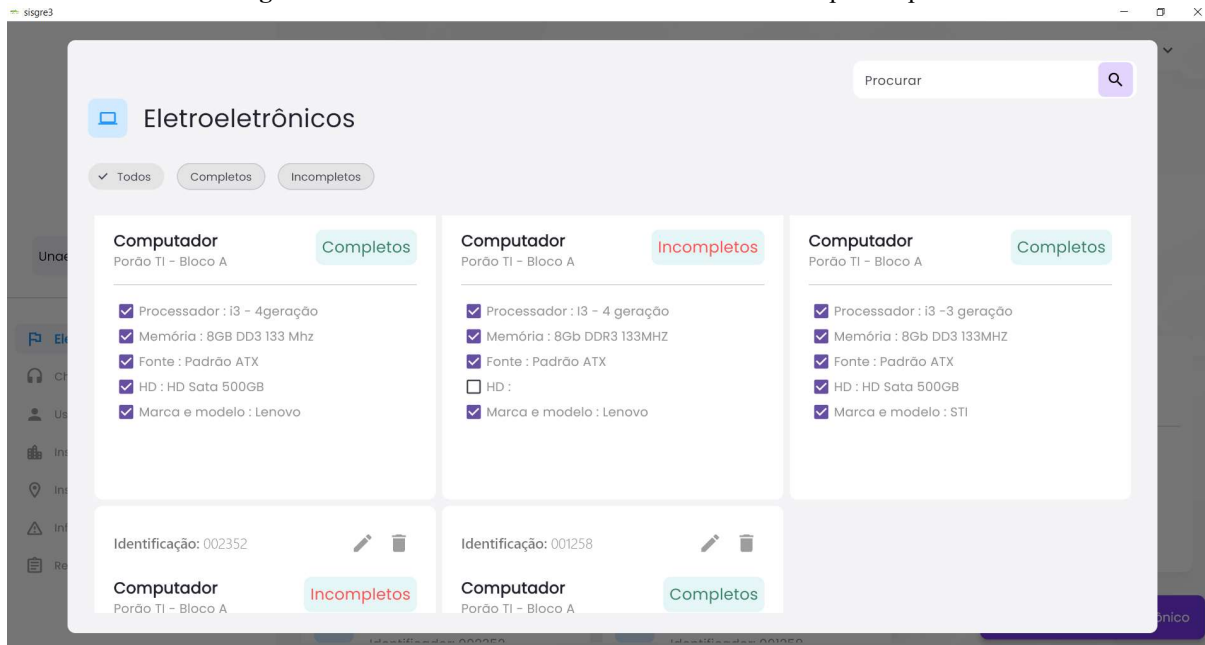


Fonte: Autoria própria (2025).

Durante a validação do manejo dos EEE, ocorreu a reutilização de componentes de um dos equipamentos cadastrados no sistema. Inicialmente, os EEE foram visualizados de forma detalhada, conforme ilustrado na Figura 84. Em seguida, procedeu-se ao reaproveitamento de

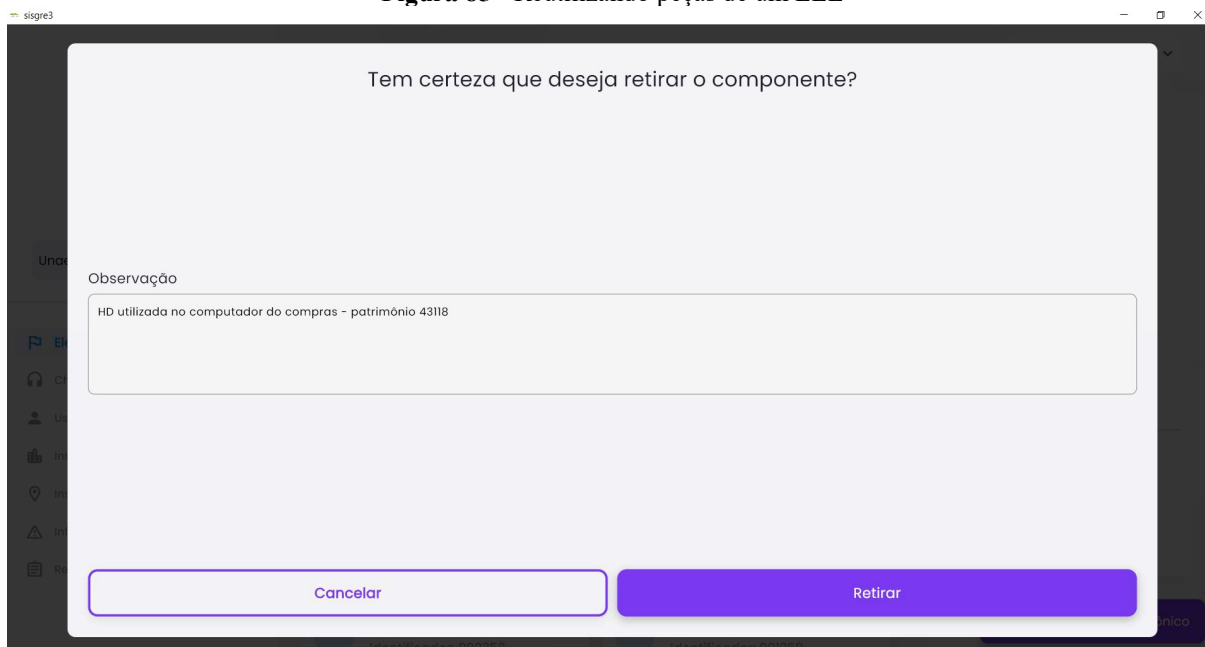
peças, exemplificado na Figura 85. Por fim, a Figura 86 evidencia que o equipamento de patrimônio 42086 teve seus componentes, incluindo memória, fonte de energia e HD, reutilizados em outros setores da IES.

Figura 84 - Visualizar de forma detalhada os EEE do tipo computador



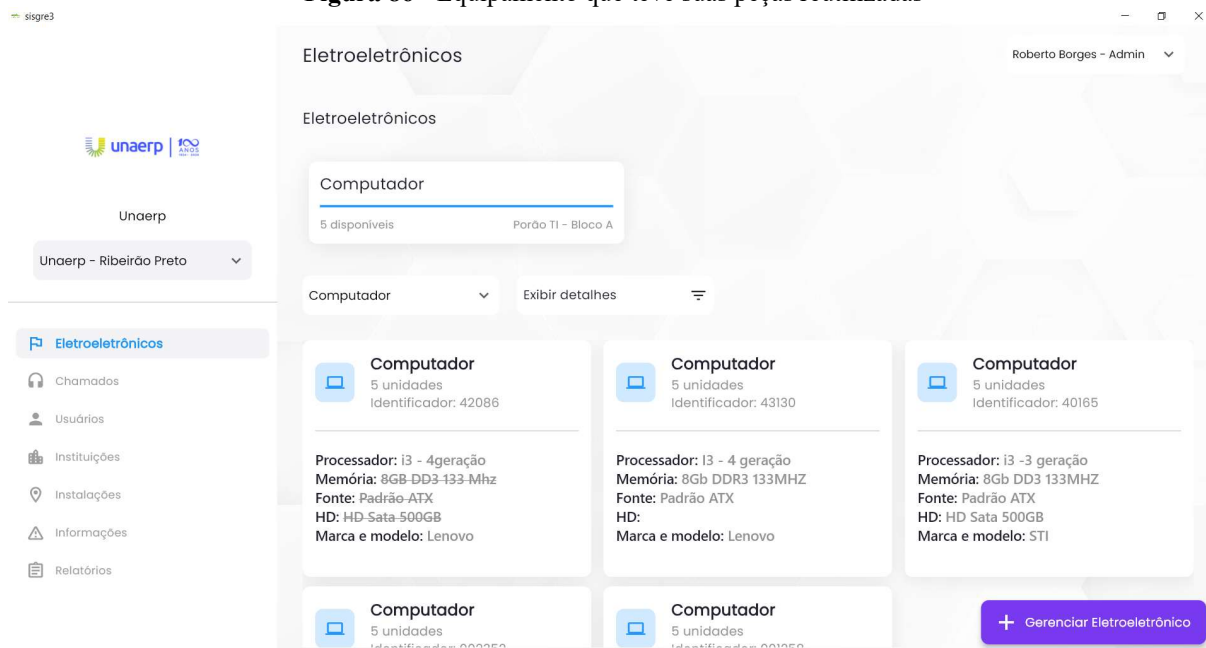
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 85 - Reutilizando peças de um EEE



Fonte: Autoria própria (2025).

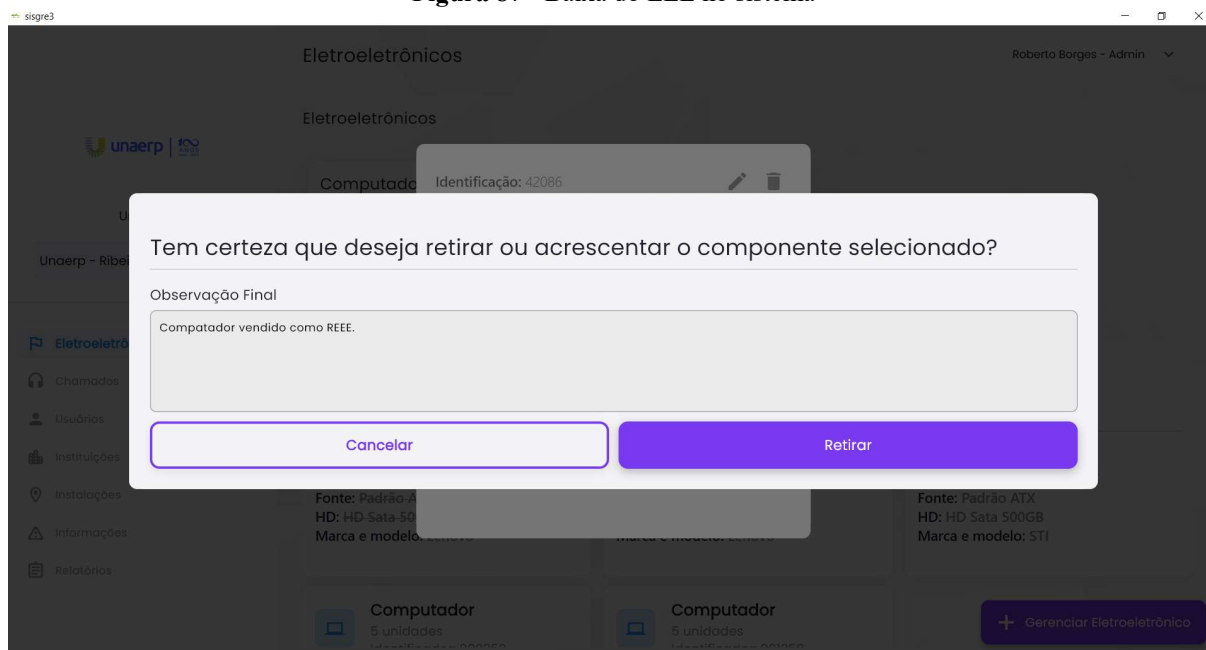
Figura 86 - Equipamento que teve suas peças reutilizadas



Fonte: Autoria própria (2025).

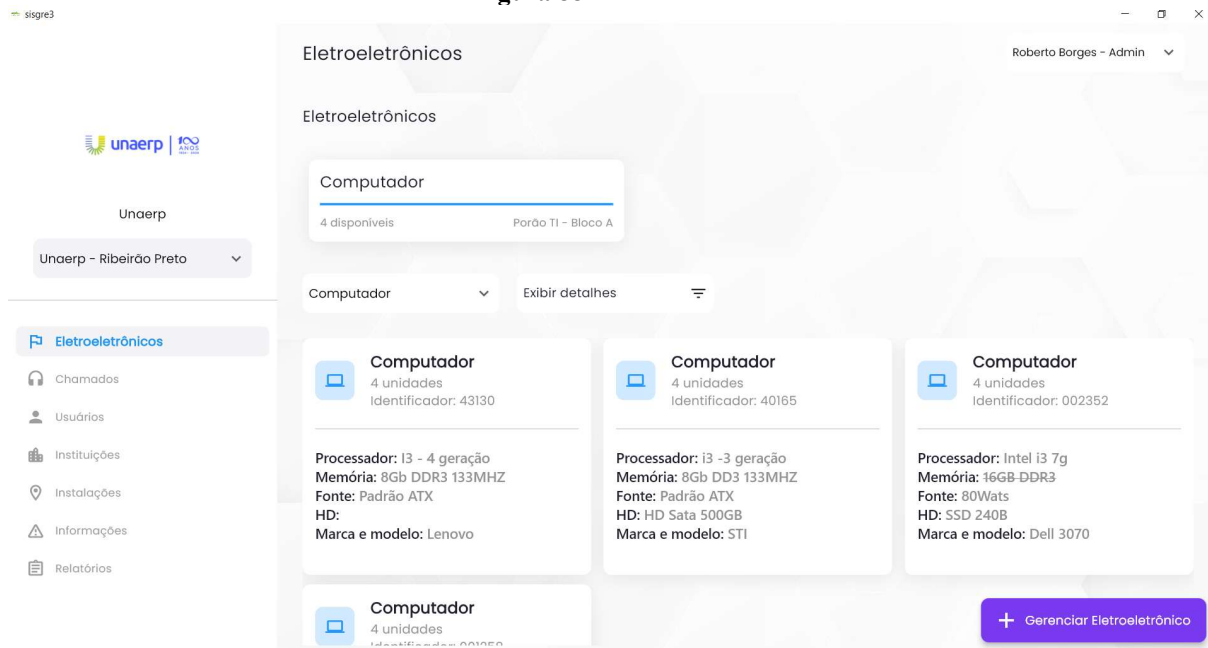
Como diversas peças do equipamento citado no exemplo anterior foram reaproveitadas, o EEE foi considerado inapto para reutilização e, portanto, baixado no sistema e comercializado como REEE. A Figura 87 ilustra esse processo, que requer acessar a visualização detalhada do EEE e selecionar o ícone de exclusão (representado por uma lixeira). Após essa ação, é necessário fornecer uma justificativa para a baixa do item. Em seguida, conforme evidenciado na Figura 88, o equipamento de patrimônio 42086 é removido do sistema e não é mais exibido.

Figura 87 - Baixa do EEE no sistema



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 88 - Tela dos EEE



Fonte: Autoria própria (2025).

As ações de reutilização de peças do equipamento de patrimônio 42086 para *upgrade* de outros equipamentos da IES anteriormente descritas, é evidenciada pela Figuras 89. Nesta, observam-se: as peças que foram removidas do equipamento, o responsável pela movimentação no sistema, as respectivas observações e data em que o procedimento foi realizado. A Figura 90, por sua vez, registra o processo de baixa patrimonial do equipamento que foi considerado inapto para a reutilização. Além de trazer transparência nas operações de reaproveitamento e descarte de REEE, o relatório apresentado nas Figuras 89 e 90 contribui para a correta gestão dos ativos tecnológicos da instituição.

Figura 89 - Relatório de movimentação de EEE (manejo)

Identificação	Nome	Tipo	Existe	Nome do Eletroeletrônico	Nome do Usuário	Observação	Data retirada
42086	Processador	i3 - 4geração	Sim				
	Memória	8GB DD3 133 Mhz	Não	8GB DD3 133 Mhz	Roberto Borges - Admin	Utilizar memória para upgrade em computador do Depto. Financeiro Patrimônio 43116	31/03/2025
	Fonte	Padrão ATX	Não	Padrão ATX	Roberto Borges - Admin	Fonte utilizada no computador do compras - patrimônio 43118	31/03/2025
	HD	HD Sata 500GB	Não	HD Sata 500GB	Roberto Borges - Admin	HD utilizada no computador do compras - patrimônio 43118	31/03/2025
	Marca e modelo	Lenovo	Sim				

Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 90 - Relatório movimentação de EEE (baixa de patrimônio)

1	Nome	CEP	Rua	Bairro	Numero	Cidade	Estado	CNPJ						
2	Unaerp - Ribeirão Preto	14096-900	Av. Costabile Ribeirânia	2201	Ribeirão Preto	São Paulo		55.983.670/0001-67						
3														
4	Filtro:	Ordenados pelo tipo Computador, Incompleto, no(a) Unaerp - Ribeirão Preto, de Sempre												
5														
6	Idenificação	Nome	Completo	Observaç Retirado	Local Armazenado	Nome do Usuário Criador	Email do Usuário Criador	Data Criação	Nome do Usuário Retirada	Email do Usuário Retirad	Observação Retirada	Data Retirada		
7	42086	Computador	Não	Sim	Porão TI - Bloco A	Roberto Borges - Admin	rborges@unaerp.br	31/03/2025	Roberto Borges - Admin	rborges@unaerp.br	Computador vendido como REEE	31/03/2025		
8	43130	Computador	Não	Não	Porão TI - Bloco A	Roberto Borges - Admin	rborges@unaerp.br	28/03/2025	-	-	-	-		
9														
10														

Fonte: Autoria própria (2025).

Validação de funcionalidade e integridade 03:

- Alterar o perfil do usuário, a unidade a qual pertence e desativar conta.

Nesta etapa de validação das funcionalidades de usuário, realizou-se a alteração do perfil e da unidade de trabalho do usuário "Roberto – Operador 02", conforme ilustrado na Figura 91. O procedimento foi detalhadamente demonstrado na Figura 92. Posteriormente, o *status* da conta do referido usuário foi modificado de "ativo" para "desativado", como evidenciado na Figura 93. Por fim, a Figura 94, que apresenta o relatório de usuário, corrobora e consolida o registro dessas alterações, conferindo maior robustez à documentação do processo.

Figura 91 - Tela de usuários do sistema

Usuários

Roberto Borges - Admin

Todos

Unaerp

Unaerp - Ribeirão Preto

Usuários Recentes

Nome	Email	Tipo de Usuário	Unidade	Status
Roberto - Operador 02	r.borges.1@hotmail.com	operador	Unaerp - Ribeirão Preto	ativa
Roberto - Operador	roberto.borges@sou.unaerp.edu.br	operador	Unaerp - Ribeirão Preto	ativa
Roberto Borges - Admin	rborges@unaerp.br	administrador	Unaerp - Ribeirão Preto...	ativa

+ Criar Usuários

Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 92 - Editar usuário

Editar Usuário

Nome
Roberto - Operador 02

Status
ativa

Tipo do usuário
administrador

Unaerp - Ribeirão Preto
 Unaerp - Guarujá

Atualizar senha (será enviado um email para redefinir a senha)

Cancelar Editar Usuário

+ Criar Usuários

Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 93 - Tela de usuário do campus Guarujá

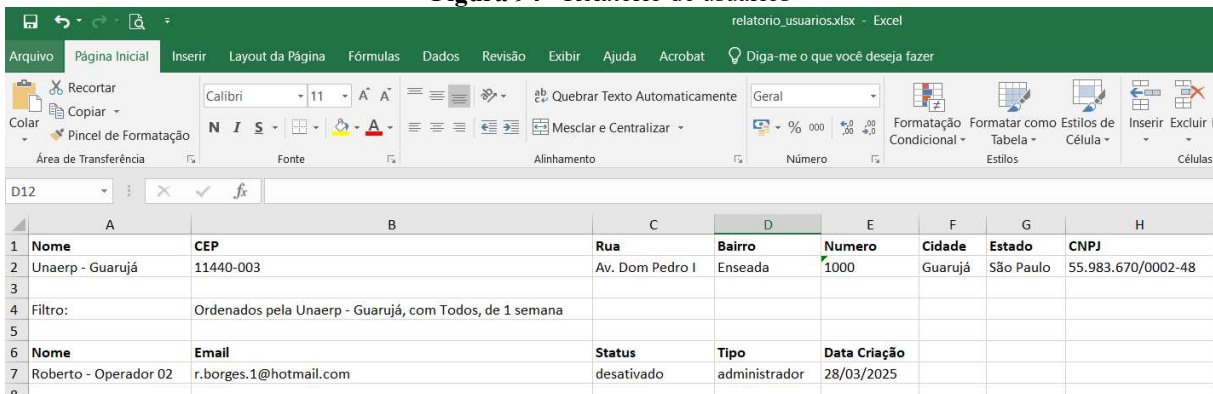
Usuários Recentes

Nome	Email	Tipo de Usuário	Unidade	Status
Roberto - Operador 02	r.borges.l@hotmail.com	administrador	Unaerp - Guarujá	desativa
Roberto Borges - Admin	rborges@unaerp.br	administrador	Unaerp - Ribeirão Preto...	ativa

+ Criar Usuários

Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 94 - Relatório de usuários



1	Nome	CEP	Rua	Bairro	Numero	Cidade	Estado	CNPJ
2	Unaerp - Guarujá	11440-003	Av. Dom Pedro I	Enseada	1000	Guarujá	São Paulo	55.983.670/0002-48
3								
4	Filtro:	Ordenados pela Unaerp - Guarujá, com Todos, de 1 semana						
5								
6	Nome	Email	Status	Tipo	Data Criação			
7	Roberto - Operador 02	r.borges.1@hotmail.com	desativado	administrador	28/03/2025			
8								

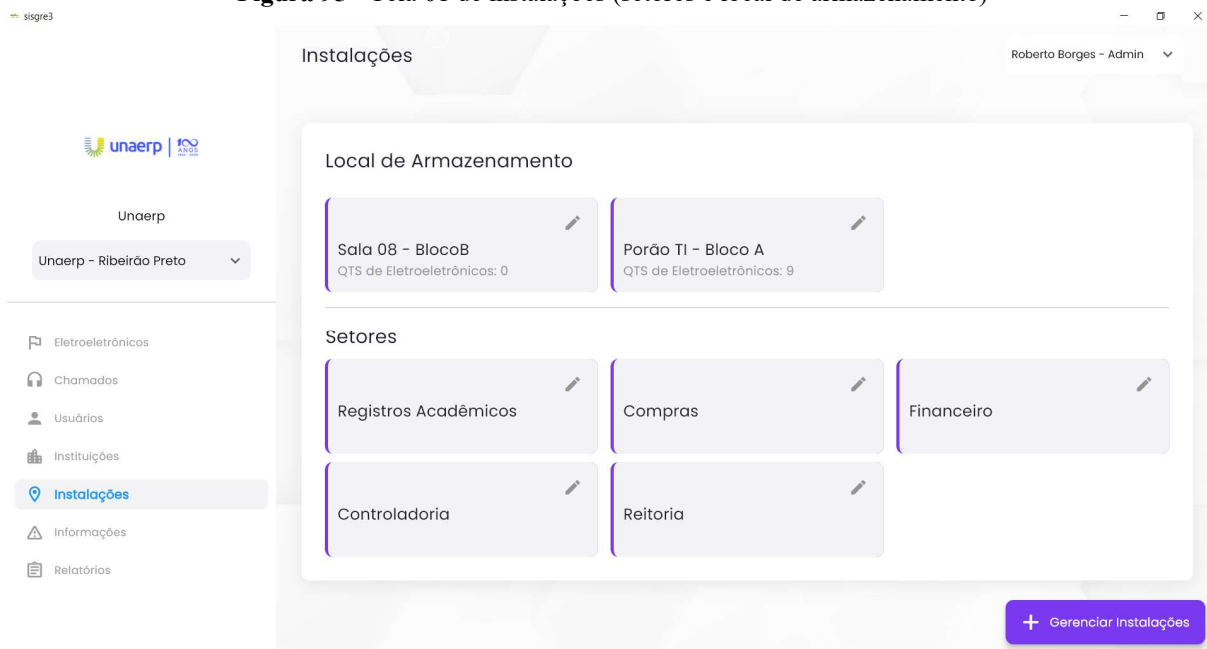
Fonte: Aatoria própria (2025).

Validação de funcionalidade e integridade 04:

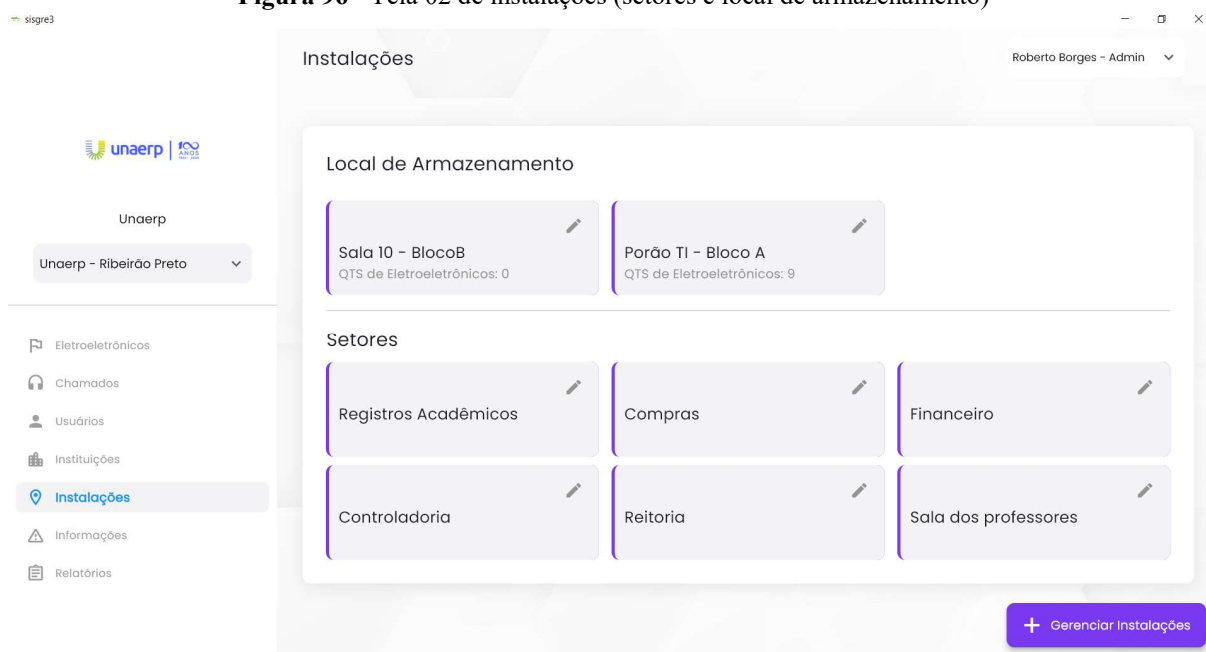
- Alterar o local de armazenamento e criou-se um novo setor da IES.

Conforme exibido na Figura 95, que apresenta as instalações do campus Unaerp – Ribeirão Preto, foi possível modificar o local de armazenamento por meio da opção alterar (representada por um ícone de lápis). Dessa forma, o local anteriormente registrado como "Sala 08 – Bloco B" foi atualizado para "Sala 10" do mesmo bloco. Nesta validação também foi inserido o departamento "Sala dos Professores" como novo setor. Para tanto, acessou-se a função "Gerenciar Instalações" e selecionou-se "Adicionar Setor". Tanto a alteração do local de armazenamento quanto a inclusão do novo setor estão devidamente registradas na Figura 96, que comprova a execução dos procedimentos.

Figura 95 - Tela 01 de instalações (setores e local de armazenamento)



Fonte: Aatoria própria (2025).

Figura 96 - Tela 02 de instalações (setores e local de armazenamento)

Fonte: Autoria própria (2025).

O processo de validação permitiu avaliar as funcionalidades e rotinas essenciais do sistema, de forma a mitigar riscos potenciais e antecipar possíveis falhas no sistema. Garantindo assim, a qualidade do sistema quanto a preservação da integridade dos dados.

5.3 INSTRUÇÕES DE ONDE BAIXAR E COMO UTILIZAR O SISTEMA

Esta seção apresenta o processo de registro do sistema SisGRE3, onde ele está disponível para *download* e como implementá-lo para uso em outras instituições.

5.3.1 Registro do Sistema

O sistema desenvolvido neste estudo é resultado da experiência profissional do autor desta tese, na área de tecnologia da informação, bem como do empenho e dedicação dos desenvolvedores envolvidos no projeto. Visando à preservação da propriedade intelectual dos participantes e à proteção da solução criada no âmbito do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu da Universidade de Ribeirão Preto, o sistema, denominado SisGRE3, foi devidamente registrado junto ao INPI (Instituto Nacional da Propriedade Industrial) sob o pedido de Registro de Programa de Computador nº RPC 29409192335957633, com data de publicação de 10 de

maio de 2025. Além de assegurar os direitos sobre a criação, o registro do sistema no contexto de uma tese ou projeto de pesquisa acadêmica reforça seu caráter inovador, sua originalidade e sua aplicabilidade prática.

5.3.2 Baixar e Implementar o Sistema

O SisGRE3 foi desenvolvido para promover a sustentabilidade no âmbito das IES. No entanto, durante seu desenvolvimento e implementação, constatou-se que o sistema é adaptável a qualquer tipo de organizações. Originalmente projetado para auxiliar na gestão e manejo de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, com ênfase em dispositivos tecnológicos, verificou-se que sua versatilidade permite a aplicação a qualquer tipo de equipamento passível de reaproveitamento de peças e componentes. Além disso, o sistema possui uma interface intuitiva, que simplifica a operação e viabiliza o controle eficiente de REEE em geral.

Com o propósito de fomentar práticas sustentáveis, o software SisGRE3 está disponível gratuitamente para *download* por meio do repositório institucional, na página desta tese acessível em [<https://repositorio.unaerp.br>]. Para sua implementação, é necessário que o usuário possua conhecimentos básicos em *Firebase* e em linguagem de programação *Dart* com *framework Flutter*, permitindo adequar o sistema às necessidades específicas de cada organização, incluindo a configuração da base de dados e a modificação do e-mail remetente para envio de senhas de acesso. O código-fonte é acompanhado por um manual introdutório de configuração, intitulado "Configuração básicas do sistema SisGRE3.pdf", que oferece orientações para a correta instalação e configuração do sistema. Encontra-se neste estudo como (Apêndice II).

6 CONCLUSÃO

O estudo permitiu alcançar os objetivos específicos propostos, ao apresentar e caracterizar os principais tipos de REEE gerados pelas atividades de TI no ambiente para o qual o sistema foi desenvolvido. Abordou-se aspectos relevantes da logística reversa e acordos setoriais vigentes no Brasil, além de elucidar as normas e legislações que regulamentam o descarte adequado de REEE, destacando seus objetivos, diretrizes e aplicabilidade. Introduziu-se o conceito de sistemas de informação gerencial como ferramenta de apoio à tomada de decisões, reforçando a importância de uma abordagem sistemática para a gestão de resíduos.

Para o desenvolvimento do sistema, identificou-se a lacuna no gerenciamento de REEE, que o sistema busca preencher. Analisou-se as possíveis causas do problema e identificou-se os principais atores envolvidos no processo. A análise de requisitos facilitou a compreensão clara do sistema, permitindo que as intenções e os requisitos fossem devidamente transmitidos aos desenvolvedores, assegurando a correta implementação. Também foram utilizadas representações gráficas que proporcionaram uma visão detalhada da estruturação do sistema, auxiliando na sua concepção. Desta forma, o estudo alcançou seu objetivo principal, evidenciando o papel crucial das IES na liderança de soluções que auxiliam e fortalecem o combate às mudanças climáticas, frequentemente intensificadas por práticas negligentes. As IES, enquanto formadoras de cidadãos conscientes e responsáveis, desempenham um papel fundamental na promoção da conscientização ambiental e no fomento de soluções sustentáveis, por meio da educação, da inovação tecnológica e da adoção de práticas ecologicamente corretas.

O desenvolvimento do sistema computacional representa um avanço indispensável para o desenvolvimento sustentável, oferecendo uma solução para auxiliar as IES na gestão e controle dos REEE por elas gerados. O sistema facilita o remanejamento dos equipamentos, aprimora o controle sobre os resíduos, e fornece orientações sobre as melhores práticas de gerenciamento desses materiais, além de oferecer informações essenciais para o uso adequado do aplicativo.

O principal objetivo do sistema é automatizar o fluxo de informações, promovendo maior controle sobre materiais e componentes de equipamentos eletroeletrônicos descartados que podem ser reciclados ou reutilizados. Tais informações são cruciais para a realização de estudos estatísticos futuros sobre este tipo de resíduo, contribuindo para a identificação de soluções mais eficazes no combate ao descarte inadequado de resíduos eletroeletrônico. Essa abordagem

não apenas reduzirá os impactos ambientais negativos associados ao tratamento e descarte inadequado de REEE, mas também impulsionará uma maior sustentabilidade ambiental, fomentando a conscientização e a responsabilidade social.

REFERÊNCIAS

ABADI, H. H. N.; HERRMANN, J. W.; MODARRES, M. Measuring and indexing the durability of electrical and electronic equipment. **Sustainability**, v. 15, n. 19, p. 1-23, oct. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su151914386>. Acesso em: 14 mar. 2024.

AI-EMRAN, M.; GRIFFY-BROWN, C. The role of technology adoption in sustainable development: Overview, opportunities, challenges, and future research agendas. **Technology in Society**, v. 73, may 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2023.102240>. Acesso em: 23 fev. 2024.

ALVES, W. P. **Banco de dados**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA. **Faturamento do setor eletroeletrônico cai 6% em 2023**. Disponível em: <http://www.abinee.org.br/noticias/com790.htm>. Acesso em: 29 jan. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA. Faturamento do setor eletroeletrônico atinge R\$ 220,4 bilhões em 2022. **Revista Abinee**, n. 103, p. 50-51, jan. 2023. Disponível em: <https://www.abinee.org.br/arquivos/revistas/103/62-63/>. Acesso em: 29 jan. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA. **Logística reversa: Abinee e Green Eletron assinam acordo setorial com MMA**, 2019. Disponível em: <http://www.abinee.org.br/noticias/com129.htm>. Acesso em: 22 fev. 2024.

AUDY, J. A inovação, o desenvolvimento e o papel da Universidade. **Estudos avançados**, v. 31, n. 90, p. 75–87, maio 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0103-40142017.3190005>. Acesso em: 15 jan. 2024.

BALBINOT, C.; MONTOVANI, G.; PANASOLO, A. **Considerações sobre o Decreto Federal nº 10.936/2022: Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <https://dpadv.com.br/consideracoes-sobre-o-decreto-federal-no-10-936-2022-politica-nacional-de-residuos-solidos-pnrs>. Acesso em: 29 fev. 2024.

BENN, S.; ABRATT, R.; O'LEARY. Defining and identifying stakeholders: views from management and stakeholders. **South African Journal of Business Management**, v.47, n. 2, p. 1-11, jun. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.4102/sajbm.v47i2.55>. Acesso em: 08 abr. 2024.

BERRINGTON, J. Databases. **Anaesthesia & intensive care medicine**, v. 18, n. 3, p. 155-157, mar. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mpaic.2016.11.016>. Acesso em: 04 abr. 2024.

BOCCHI, N.; FERRACIN, L. C.; BIAGGIO, S. R. Pilhas e baterias: fundamento e impacto ambiental. **Química e Sociedade**, n. 11, maio 2000. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc11/v11a01.pdf>. Acessado em 20 jan. 2024.

BOEL, S. K.; CECEZ-KECMANOVIC, D. What is an information system? **IEEE Xplore**, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/HICSS.2015.587>. Acesso em: 03 mar. 2024.

BOMA-SIAMINABO, H. Management and administration: Conceptual clarification of management and administration. *BW Academic Journal*, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 7, 2022. Disponível em: <https://www.bwjjournal.org/index.php/bsjournal/article/view/744> . Acesso em: 24 mar. 2025.

BORGES, R. M. **Diretrizes para gerenciamento de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) em Instituições de Ensino Superior privadas**. 2022. 117 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Universidade de Ribeirão Preto – UNAERP - Ribeirão Preto, 2022. Disponível em: <http://repositorio.unaerp.br/handle/12345/453>. Acesso em: 16 mar. 2024.

BRASIL. Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo. **Decreto nº 54.645 de 05 de agosto de 2009**, regulamenta dispositivos da Lei nº 12.300 de 2006, que institui a política estadual de resíduos sólidos, e altera o inciso I do artigo 74 do regulamento da Lei 997, de 1976, aprovado pelo Decreto nº 8.468, de 1976. Brasília: Assembleia Legislativa, 2009. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2009/decreto-54645-05.08.2009.html>. Acesso em: 29 jan. 2024.

BRASIL. Confederação Nacional de Municípios. **Política de Resíduos Sólidos completa nove anos e municípios ainda têm dificuldades para executar lei**, 2019. Disponível em: <https://www.cnm.org.br/comunicacao/noticias/politica-nacional-de-residuos-solidos-completa-nove-anos-e-municipios-ainda-tem-dificuldades-para-implementar-lei#:~:text=A%20falta%20de%20recursos%20financeiros,setor%20empresarial%2C%20sociedade%20e%20Munic%C3%ADpios>. Acesso em: 24 fev. 2024.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor - IDEC. **Mais da metade dos equipamentos eletrônicos é substituída devido à obsolescência**. Brasília: IDEC, 2014. Disponível em: <https://idec.org.br/o-idec/sala-de-imprensa/release/mais-da-metade-dos-equipamentos-eletronicos-e-substituida-devido-a-obsolescencia-programada>. Acesso em: 14 mar. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Acordo setorial para implantação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos de uso doméstico e seus componentes**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2019. Disponível em: https://sinir.gov.br/images/sinir/Acordos_Setoriais/Eletr%C3%B4nicos/Acordo_Setorial_-_Eletr%C3%B4nicos_sem_anexos.pdf. Acesso em: 23 fev. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA Resolução nº 401 de 4/11/2008**. Estabelece os limites máximos de chumbo, cádmio e mercúrio para pilhas e baterias comercializadas no território nacional e os critérios e padrões para o seu gerenciamento ambientalmente adequado, e dá outras providências. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=570. Acesso em: 19 jan. 2024.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. **Decreto nº 10.240, de 12 de fevereiro de 2020**. Brasília, DF: Presidência da República, 2020. Disponível em:

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10240.htm. Acesso em: 24 fev. 2024.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. **Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022**. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF: Presidência da República, 2022. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2022/Decreto/D10936.htm. Acesso em: 29 fev. 2024.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. **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. Brasília, DF: Presidência da República, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 25 fev. 2024.

CABREIRA, A. T. **Pensando interfaces naturais baseadas na interação gestual: contribuições no campo do design de interação humano-computador**, 2013. Disponível em: https://www2.ufpel.edu.br/cearte/design/digital/tcc/acervo/2012_2/arthur_cabreira.pdf. Acesso em: 29 mai. 2024.

CANCIGLIERI JUNIOR, O.; SELHORST JUNIOR, A.; SANT'ANNA, A. M. O. Método de decisão dos processos de prototipagem rápida na concepção de novos produtos. **Gestão & Produção**, v. 22, n. 2, p. 345-355, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0104-530X633-13>. Acesso em: 29 mai. 2024.

CARVALHO, C. **Como criar APIs em Python usando FastAPI**. Disponível em: <https://www.alura.com.br/artigos/como-criar-apis-python-usando-fastapi>. Acesso em: 27 mai. 2024.

CASTILHO, A. F.; FERREIRA, E. Novo Decreto regulamenta a logística reversa de produtos eletroeletrônicos. **Inteligência Jurídica**, mar. 2020. Disponível em: <https://www.machadomeyer.com.br/pt/inteligencia-juridica/publicacoes-ij/ambiental/novo-decreto-regulamenta-a-logistica-reversa-de-produtos-eletroeletronicos>. Acesso em: 24 fev. 2024.

CHAVES, G. L. D.; SIMAN, R. R.; SENA, L. G. Ferramenta de avaliação dos Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos: parte 2. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, n. 1, p. 181-195, jan./fev. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-4152202020180120B>. Acesso em: 29 fev. 2024.

COSTA, C. A. A aplicação da linguagem de modelagem unificada (UML) para o suporte ao projeto de sistemas computacionais dentro de um modelo de referência. **Gestão & Produção**, v. 8, n. 1, p. 19-36, abr. 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2001000>. Acesso em: 24 abr. 2024.

COSTA, V. A. U. **Diretrizes para destinação de resíduos eletroeletrônicos de uma Instituição de ensino de Porto Velho – RO**. 2019. 111 f. Dissertação (mestrado em Tecnologia Ambiental) – Universidade de Ribeirão Preto – UNAERP, Ribeirão Preto, 2019. Disponível em: <https://repositorio.unaerp.br/handle/12345/202>. Acesso em: 16 mar. 2024.

COUTO, M. C. L.; LANGE, L. C. Análise dos sistemas de logística reversa no Brasil. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 5, p. 889-898, set/out. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/esa/v22n5/1809-4457-esa-22-05-00889.pdf>. Acesso em: 29 jan. 2024.

CZEKALA, W. DROZDOWSKI; J. LABIAK, P. Modern technologies for waste management: a review. 2023. **Applied Sciences**, v. 13, n. 15, p. 1-14, jul. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app13158847>. Acesso em: 11 mar. 2024.

EL-EBIARY, Y. A. *et al.* A review of the effectiveness of management information system in decision making. **Journal of Pharmaceutical Negative Results**, v. 14, special issue 2, p. 1281-1288, feb. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.47750/pnr.2023.14.S02.155>. Acesso em: 05 mar. 2024.

EREMIA, M.; TOMA, L.; SANDULEAC, M. The smart city concept in the 21st century. **Prodedia engineering**, v. 181, p. 12-19, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.357>. Acesso em: 28 mar. 2024.

EURO CIRCUITS. **Eurocircuits are a European manufacturer of standard technology printed circuit boards (or PCBs)**. Disponível em: <https://www.eurocircuits.com/who-are-we-and-why-have-we-made-this-film/>. Acesso em: 20 jan. 2024.

EUROPA. Directiva 2002/96/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 27 de janeiro de 2003, relativa aos resíduos de equipamentos eléctricos e electrónicos (REEE) - Declaração comum do Parlamento Europeu, do Conselho e da Comissão relativa ao Artigo 9º. **Jornal Oficial**, n. L 037, p. 0024-0039, fev. 2003. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32002L0096:PT:HTML>. Acesso em: 15 jan. 2024.

FARIZI, T. S.; SARI, R. F. Implementation of blockchain-based electronic waste management system with hyperledger fabric. **IEEE Xplore**, p. 1-6, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/IC-ICTRuDev50538.2021.9656503>. Acesso em: 22 mar. 2024

FAWOLE, A. A. *et al.* Climate change implications of electronic waste: strategies for sustainable management. **Bulletin of the National Research Centre**, v. 47, n. 147, p. 1-10, oct. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s42269-023-01124-8>. Acesso em: 12 fev. 2024.

FRANCO, A. S. *et al.* Danos causados à saúde humana pelos metais tóxicos presentes no lixo eletrônico. **Diversitas Journal**, v. 6, n. 2, p. 2025-2039, abr./jun. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v6i2-1626>. Acesso em: 24 fev. 2024.

FERNÁNDEZ, L. D. O poder das tecnologias para frear a mudança climática. **Revista Gerência de Riscos e Seguros**, p. 1-4, 2019. Disponível em: <https://www.mapfreglobalrisks.com/pt-br/gerencia-riscos-seguros/estudos/o-poder-das-tecnologias-para-frear-a-mudanca-climatica>. Acesso em: 23 nov. 2023.

FERNANDES, J. H. C. Qual a prática do desenvolvimento de softwares? **Ciência e Cultura**, v. 55, n. 2, apr./jun. 2003. Disponível em:

http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252003000200021. Acesso em: 08 abr. 2024.

FLUTTER architectural overview. **Flutter**. Disponível em: <https://docs.flutter.dev/resources/architectural-overview>. Acesso em: 24 maio 2024.

FORTI, V. O crescimento do lixo eletrônico e suas implicações globais. **Panorama setorial da Internet**, a. 11, n. 4, dez. 2019. Disponível em: <https://cetic.br/media/docs/publicacoes/6/20191217174403/panorama-setorial-xi-4-lixo-eletronico-atualizado.pdf>. Acesso em: 29 jan. 2024.

FOSTER, A.; ROBEROT, S. S.; IGARI, A. T. Economia circular e resíduos sólidos: uma revisão sistemática sobre a eficiência ambiental e econômica. *In*: ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, 18., 2016, São Paulo. **Anais [...]**. Disponível em: <https://engemausp.submissao.com.br/18/anais/arquivos/115.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2024.

FREITAS, S. C.; FRANCISCO, A. C. Conceitos de análise de requisitos de software à luz da aprendizagem significativa. **Ensaio**, v. 34, n. 10, 2013. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a13v34n10/13341014.html>. Acesso em: 20 abr. 2024.

GABRIEL, G. T. *et al.* Good practices and deficiencies in conceptual modelling: a systematic literature review. **Journal of Simulation**, v. 16, n. 1, p. 84-100, may 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/17477778.2020.1764875>. Acesso em: 02 abr. 2024.

GEORGES, M. R. R. Business process modeling and production control system specification in the self-adhesive industry. **Journal of Information Systems and Technology Management**, v. 7, n. 8, p. 639-667, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.4301/S1807-17752010000300007>. Acesso em: 08 abr. 2024.

GHAZALA, S.; NOMAN, I. A qualitative study of major programming languages: teaching programming languages to computer science students. **International Journal of Information and Communication Technology**, v. 10, n. 1, p. 24-34, spring 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/306438454_A_qualitative_study_of_major_programming_languages_teaching_programming_languages_to_computer_science_students. Acesso em: 04 abr. 2024.

GIL, C. A. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GHOSH, B. *et al.* Waste printed circuit boards recycling: an extensive assessment of current status. **Journal of Cleaner Production**, v. 94, p. 5–19, may 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.024>. Acesso em: 15 jan. 2024.

GREEN ELETRON. **Resíduos eletrônicos no Brasil 2023**. Disponível em: https://greeneletron.org.br/download/RELATORIO_DADOS_2023.pdf. Acesso em: 29 jan. 2024.

GUSSO, H. L. *et al.* Ensino superior em tempos de pandemia: Diretrizes à Gestão Universitária. **Educação & Sociedade**, v. 41, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/es/a/8yWPh7tSfp4rwts4YTxtfr/?lang=pt#>. Acesso em: 16 mar. 2024.

HUANG, H. *et al.* Gap between discarding and recycling: Estimate lifespan of electronic products by survey in formal recycling plants in China. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 156, may 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104700>. Acesso em: 28 mar. 2024.

INTELIGÊNCIA EM TELECOMUNICAÇÕES (TELECO). **Estatísticas de celulares no Brasil**, 2021. Disponível em: <https://www.teleco.com.br/ncel.asp>. Acesso em: 29 jan. 2024.

INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION (ITU). **Global e-waste monitor**, 2020. Disponível em: http://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2020/07/Foreword_GEM_2020_def_july1_low.pdf. Acesso em: 20 jan. 2024.

INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION (ITU). **Global e-waste monitor**, 2024. Disponível em: https://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2024/03/GEM_2024_18-03_web_page_per_page_web.pdf. Acessado em: 02 Jul. 2024.

JOHNSTON, S. Rational UML profile for business modeling. **Rational Software**, mar. 2004. Disponível em: <https://www.ibm.com/developerworks/rational/library/5167-pdf.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2024.

KANG, K. D. *et al.* Electronic waste collection systems using Internet of Things (IoT): household electronic waste management in Malaysia. **Journal of Cleaner Production**, v. 252, apr. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119801>. Acesso em: 22 mar. 2024.

KEMERICH, P. D. C. *et al.* Descarte indevido de pilhas e baterias: a percepção do problema no Município de Frederico Westphalen-RS. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 8, n. 8, p. 1680-1688, set./dez. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/223611706319>. Acesso em: 15 fev. 2024.

KHAN, S. *et al.* Technologies for municipal solid waste management: current status, challenges, and future perspectives. **Chemosphere**, v. 288, feb. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132403>. Acesso em: 11 mar. 2024.

KIDDEE, P.; NAIDU, R.; WONG, M. H. Electronic waste management approaches: an overview. **Waste Management**, v. 33, feb. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.01.006>. Acesso em: 22 mar. 2024.

LAW, T. Tecnologia como aliada da gestão de resíduos nas grandes cidades. **UOL**, 2023. Fórum. Disponível em: <https://tiinside.com.br/06/06/2023/tecnologia-como-aliada-da-gestao-de-residuos-nas-grandes-cidades>. Acesso em: 11 mar. 2024.

LEFFINGWELL, D.; WIDRIG, D. **Managing software requirements: a unified approach**. Indianapolis: Pearson Education, 2001. *E-book*. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=UiHipKGmXJAC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 02 abr. 2024.

LEITE, P. R. **Logística reversa: meio ambiente e competitividade**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

LEONARDO, A.; DINA, L. L. Storyboarding e prototipação. **Rede Multisites STI**, Niterói, RJ, 2017. Disponível em: <https://www.professores.uff.br/screspo/wp-content/uploads/sites/127/2017/09/artigoIHC3.pdf>. Acesso em: 29 maio 2024.

LUCA, L. A new model of Ishikawa diagram for quality assessment. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, n. 161, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/161/1/012099>. Acesso em: 08 abr. 2024.

LYRA, M. G.; GOMES, R. C. O papel dos stakeholders na sustentabilidade da empresa: contribuições para construção de um modelo de análise. **Revista de Administração Contemporânea**, n. 13, especial, jun. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-6552009000500004>. Acesso em: 08 abr. 2024.

MADKHALI, H. *et al.* A comprehensive review on e-waste management strategies and prediction methods: a Saudi Arabia perspective. **Knowledge**, v. 3, n. 2, p. 163-179, apr. 2023.. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/knowledge3020012>. Acesso em: 22 mar. 2024.

MAGNO, C. **Tecnologias sustentáveis: soluções ajudam a gerir o lixo**. 2023. Disponível em: <https://saneamentobasico.com.br/residuos-solidos/tecnologias-sustentaveis-gerir-lixo>. Acesso em: 11 mar. 2024.

MAIA, M. A. Q.; BARBOSA, R. R.; WILLIAMS, P. Usabilidade e experiência do usuário de sistemas de informação: em busca de limites e relações. **Ciência da Informação em Revista**, Maceió, v. 6, n. 3, p. 34-48, set./dez. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.28998/cirev.2019v6n3c>. Acesso em: 30 abr. 2024.

MAROTTI, A. C. B.; PEREIRA, G. S. F.; PUGLIESI, E. Questões contemporâneas na gestão públicas de resíduos sólidos: análise dos princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos a partir de seus objetivos e instrumentos. **Revista de Políticas Públicas**, São Luís, v. 21, n. 1, p. 339-364, 2017.

MOSQUERA, D. M.; NAVARRETE, R.; MORA, S. L. Modeling and management big data in databases - systematic literature review. **Sustainability**, v. 12. p. 1-41, jan. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su12020634>. Acesso em: 08 abr. 2024.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **População mundial chegará a 8 bilhões em novembro de 2022**. 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/189756-popula%C3%A7%C3%A3o-mundial-chegar%C3%A1-8-bilh%C3%B5es-em-novembro-de-2022>. Acesso em: 25 fev. 2024.

NOGUEIRA, C. C. S. Validação de Sistemas Computadorizados (VSC/CSV), 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/educacaoepesquisa/webinar/medicamentos/arquivos/2707json-file-1> . Acesso em: 31 de mar. 2025.

NONATO, J. A. A.; PEREZ, G. Information systems supporting the functions of organizational memory: an exploratory study. **Journal of Information Systems and**

Technology Management, v. 15, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4301/S1807-1775201815008>. Acesso em 05 mar. 2024.

NOVA regulamentação da Política Nacional de Resíduos Sólidos é publicada. **Mattos Filho**, 2022. Disponível em: <https://www.mattosfilho.com.br/unico/regulamentacao-residuos-solidos>. Acesso em: 29 fev. 2024.

OLIVEIRA, W. C.; MARTINIUK, V. C. A importância do sistema de informação nas empresas da FAIT. **Revista Científica Eletrônica de Ciências Aplicadas**, n. 2, p. 1-14, nov. 2020. Disponível em: https://fait.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/XDymmXAY62VisuQ_2021-6-8-16-34-45.pdf. Acesso em: 22 mar. 2024.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). China e Estados Unidos lideram lista de países que mais geram lixo eletrônico. **Nações Unidas**: ONU News, jul. 2020. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2020/07/1719142>. Acesso em: 03 mar. 2024.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DE SAÚDE (OPAS). Nove em cada dez pessoas em todo o mundo respiram ar poluído. **OPAS**, maio 2018. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/noticias/1-5-2018-nove-em-cada-dez-pessoas-em-todo-mundo-respiram-ar-poluido#:~:text=A%20OMS%20estima%20que%20cerca%20de%2090%25%20das%20pessoas%20em,da%20Europa%20e%20das%20Am%C3%A9ricas>. Acesso em: 25 fev. 2024.

PALADINI, E. P. **Gestão da qualidade**: teoria e prática. São Paulo: Atlas, 2004.

PARSONS, J. Data modeling: handbook on data management in information systems. *In*: BLAZEWICZ, J. *et al.* **Handbook on data management in information systems**. 1st. ed. Berlin: Springer Verlag, 2003. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-540-24742-5_3. Acesso em: 08 abr. 2024.

PFLEEGER, S. L. **Engenharia de software**: teoria e prática. 2. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

PYTHON packaging user guide. **Python**, 2024. Disponível em: <https://packaging.python.org/en/latest>. Acesso em: 27 mai. 2024.

RAZI, K. M. H. A. Resourceful recycling process of waste desktop computers: a review study. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 110, jul. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.03.017>. Acesso em: 23 nov. 2023.

RECICLO INTELIGÊNCIA AMBIENTAL. **Plataforma digital para gestão de resíduos eletrônicos**, 2022. Disponível em: <https://gruporeciclo.com/plataforma-digital-para-gestao-de-residuos-eletronicos>. Acesso em: 16 mar. 2024.

RIBEIRÃO PRETO. Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto. **Plano Integrado de Resíduos Sólidos de Ribeirão Preto**. Ribeirão Preto: Secretaria do Meio Ambiente, 2020. Disponível em: <https://www.ribeiraopreto.sp.gov.br/files/splan/planod/200311-plano-residuo-solidos-aud.pdf>. Acesso em: 29 fev. 2024.

RODRIGUES, L. F. R. Obsolescência programada e consumismo, desafio para o Planeta. **Estado de Minas**, Direito e Inovação, 2022. Disponível em: <https://www.em.com.br/app/colunistas/direito-e-inovacao/2022/09/15/noticia-direito-e-inovacao,1393913/obsolescencia-programada-e-consumismo-desafio-para-o-planeta.shtml>. Acesso em: 24 fev. 2024.

ROVIRA, S.; PERES, W.; SAPORITO, N. (coord.). **Digital technologies for a new future**. Santiago: United Nations publication, c2021. 91 p. Disponível em: https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/46817/S2000960_en.pdf. Acesso em 19 jan. 2024.

RUBIO, S.; CHAMORRO, A.; MIRANDA, F. J. Characteristics of the research on reverse logistics (1995–2005). **International Journal of Production Research**, v. 46, n. 4, nov. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00207540600943977>. Acesso em: 29 jan. 2024.

SCHNEIDER, E. M.; FUJII, R. A. X.; CORAZZA, M. J. Pesquisas quali-quantitativas: contribuições para a pesquisa em ensino de ciências. **Revista Pesquisa Qualitativa**, São Paulo, v. 5, n. 9, p. 569-584, 2017. Disponível em: <https://editora.sepq.org.br/rpq/article/view/157>. Acesso em: 16 abr. 2024.

SEBESTA, R. W. **Concepts of programming languages**. 10th ed. Boston: Pearson Education, 2012. *E-book*. Disponível em: <https://www.ime.usp.br/~alvaroma/ucsp/proglang/book.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2024.

SHARMA, H.; KUMAR, H.; MANGLA, S. K. Enablers to computer vision technology for sustainable e-waste management. **Journal of Cleaner Production**, v. 412, aug. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137396>. Acesso em: 23 mar. 2024.

SILVA, I. M. M. **Tecnologia para armazenamento geológico de CO₂ pode reduzir o aquecimento global**, 2021. Disponível em: <https://pp.nexojornal.com.br/ponto-de-vista/2021/Tecnologia-para-armazenamento-geol%C3%B3gico-de-CO2-pode-reduzir-o-aquecimento-global>. Acesso em: 28 fev. 2024.

SOARES, V. Diagrama de Ishikawa: o que é, para que serve e como usar. **Na Prática.org**, 2024. Disponível em: <https://www.napratica.org.br/diagrama-de-ishikawa>. Acesso em: 20 abr. 2024.

SOMMERVILLE, I. **Engenharia de software**. 9. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

SOUSA, G. M. Logística Reversa de resíduos não industriais pós-consumo. **ILOS**, 2012. Disponível em: <https://www.ilos.com.br/web/logistica-reversa-de-residuos-nao-industriais-pos-consumo>. Acesso em: 23 jan. 2024.

SOUZA, I. M. **Gestão das universidades federais brasileiras: uma abordagem fundamentada na gestão do conhecimento**. 2009. 399 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Gestão do Conhecimento) – Universidade Federal de Santa Catarina – Florianópolis, 2009. Disponível em: <http://btd.egc.ufsc.br/wp-content/uploads/2010/06/Irineu-Souza.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2023.

COUSERA STAFF. What does a back-end developer do?, 2024. Disponível em: <https://www.coursera.org/articles/back-end-developer>. Acesso em: 24 mai. 2024.

STAHTEL, W. R. The circular economy. *Nature*, 531, p. 435–438, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/531435a>. Acesso em: 14 mar. 2024.

THALHEIM, B. The science and art of conceptual modelling. In: HAMEURLAIN, A. (ed.). **Transactions on large-scale data- and knowledge-centered systems VI**. Berlin: Springer, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-642-34179-3_3. Acesso em: 02 abr. 2024.

UNITED NATIONS Climate Action (US). **Causes and effects of climate change**, 2022. Disponível em: <https://www.un.org/en/climatechange/science/causes-effects-climate-change>. Acesso em: 24 nov. 2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (UFSC). **Ponto de entrega voluntária de resíduos eletroeletrônicos não patrimoniados**, 2020. Disponível em: <https://gestaoderesiduos.ufsc.br/ponto-de-entrega-voluntaria-de-residuos-elctroeletronicos-nao-patrimoniados>. Acesso em: 16 mar. 2024.

WAKULICZ, G. J. *Sistemas de informações gerenciais*. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2016. ISBN 9788594500021. Disponível em: <https://central3.to.gov.br/arquivo/453437/>. Acesso em: 05 mar. 2024.

WEETMAN, C.; SERRA, A. C. C. **Economia circular: conceitos e estratégias para fazer negócios de forma mais inteligente, sustentável e lucrativa**. 1. ed. São Paulo: Autêntica Business, 2019. ISBN 9788581305140.

ZAMMETTI, F. **Flutter na prática: melhore seu desenvolvimento mobile com o SDK Open Source mais recente do Google**. São Paulo: Novatec, 2020.

ZWASS, V. Information system. *Encyclopedia britannica*, 2024. Disponível em: <https://www.britannica.com/topic/information-system>. Acesso em: 04 mar. 2024.

APÊNDICE I

Ações sustentáveis para a gestão de REEE (Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos)

Identificação, controle e armazenamento dos REEE

- Fazer controle dos EEE inservíveis que estão sendo armazenados para triagem ou descarte.
 - As informações levantadas para controle podem auxiliar no processo de triagem para reaproveitamento, reutilização e descarte dos equipamentos disponíveis.
- Construir/Implementar um ambiente adequado para o armazenamento de EEE que não estão em uso.
 - Implementar um ambiente adequado pode contribuir para minimizar o armazenamento de EEE dispostos em locais inadequados.

Capacitação, divulgação e incentivo ao descarte ambientalmente correto dos REEE

- Proporcionar maior visibilidade das ações de práticas de sustentabilidade ambiental existentes na IES.
 - Tornar visível as ações e práticas sustentáveis para fomentar o senso de responsabilidade com o meio ambiente e minimizar o descarte incorreto de REEE gerados fora da instituição.
- Implementar programas de capacitação de colaboradores e alunos quanto a sustentabilidade e preservação dos recursos naturais.
- Estabelecer parcerias com instituições públicas e/ou privadas, credenciadas à criação e aplicação de cursos de educação ambiental.
 - Capacitar sobre o desfazimento dos EEE inservíveis e legislações vigentes (PNRS, logística reversa, acordos setoriais, entre outros).
- Disseminar a existência das diretrizes de gerenciamento de EEE inservíveis.
 - Orientar os colaboradores da IES sobre a existência de diretrizes contribuirá para o correto descarte dos EEE inutilizáveis.
- Criar mecanismos para que todos os setores da IES visualizem sua importância no processo de logística reversa dos resíduos sólidos gerados pela IES.
 - Articular para que todos da IES tenham ciência do quanto sua participação é imprescindível para o bom andamento das práticas sustentáveis adotadas pela Instituição.

Ações para prolongar a vida dos equipamentos

- Controlar a quantidade de equipamentos equivalentes (de mesmo modelo) existentes na IES a fim de mensurar a possibilidade de reaproveitamento de peças e ou acessórios.
 - Evitar a ocorrência do acúmulo de equipamento, peças e acessórios que não serão reaproveitados.

- Realizar remanejamento de equipamentos que não atendem a determinadas áreas, mas que podem ser utilizados em outras áreas da Instituição.
 - Reaproveitar os EEE em outras áreas, permitirá a redução de gastos desnecessários com novos equipamentos.
- Quantificar o número de EEE que são remanejados, reaproveitados ou que ocorre a reutilização de peças.
 - Possibilita criar um indicador que demonstre os esforços para minimizar investimentos desnecessários.
- Planejar a aquisição de equipamentos que permitam upgrade.
 - Permite prolongar a vida útil dos equipamentos com custo-benefício melhor que a aquisição de novos.
- Programar manutenção preventiva do parque tecnológico.
 - Além de possibilitar o prolongamento da vida útil do equipamento, evita paradas não programadas.
- Regimentar a utilização de equipamentos que estão disponíveis para desenvolvimento de atividades acadêmicas.
 - Propicia implementar cursos extracurriculares, como por exemplo, manutenção em hardwares, rede de computadores e robótica.

Ações para descarte ambientalmente adequado dos EEE inservíveis

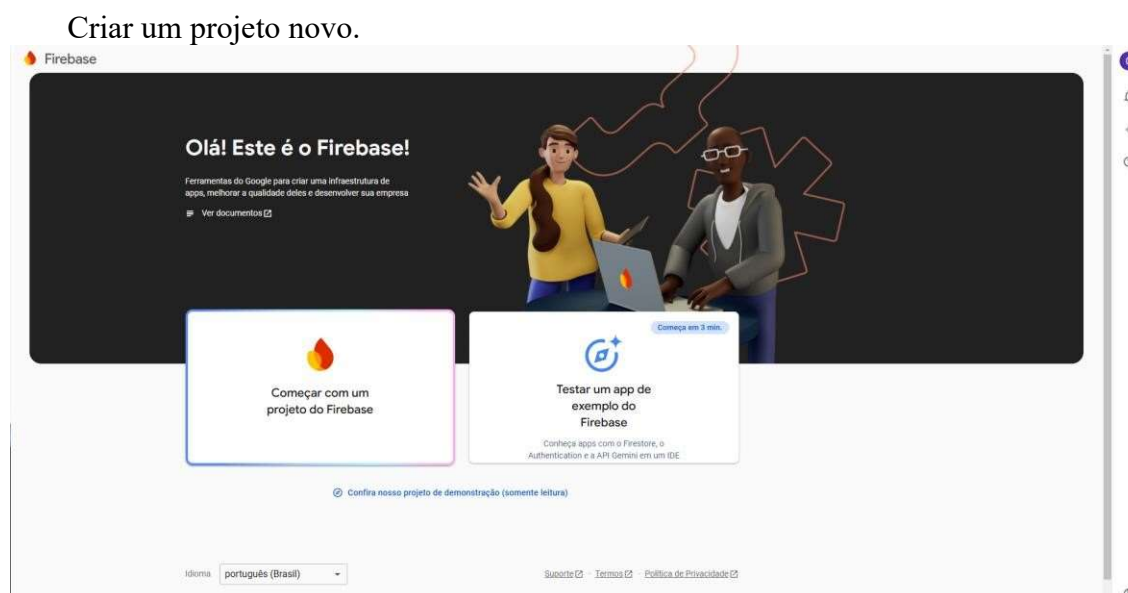
- Incluir a logística reversa nos contratos de compras de equipamentos eletroeletrônicos.
 - Comprometer fabricantes, distribuidores e comerciantes quanto ao ciclo de vida dos equipamentos comercializados por eles.
- Catalogar os EEE que não atendem a necessidade da IES, mas que podem ser vendidos para empresas coletoras como equipamentos a ser reaproveitados.
 - Possibilita reverter parte do valor gasto na aquisição, para novos investimentos.
- Firmar parceria com as empresas coletoras para que retirem os EEE e REEE com menor periodicidade e emita certificado de responsabilidade ambiental.
 - Embora o descarte final não seja realizado pela IES, ela é corresponsável pelas ações da empresa coletora. Ressalta-se que o recolhimento frequente ajuda a evitar o acúmulo desnecessário.

APÊNDICE II

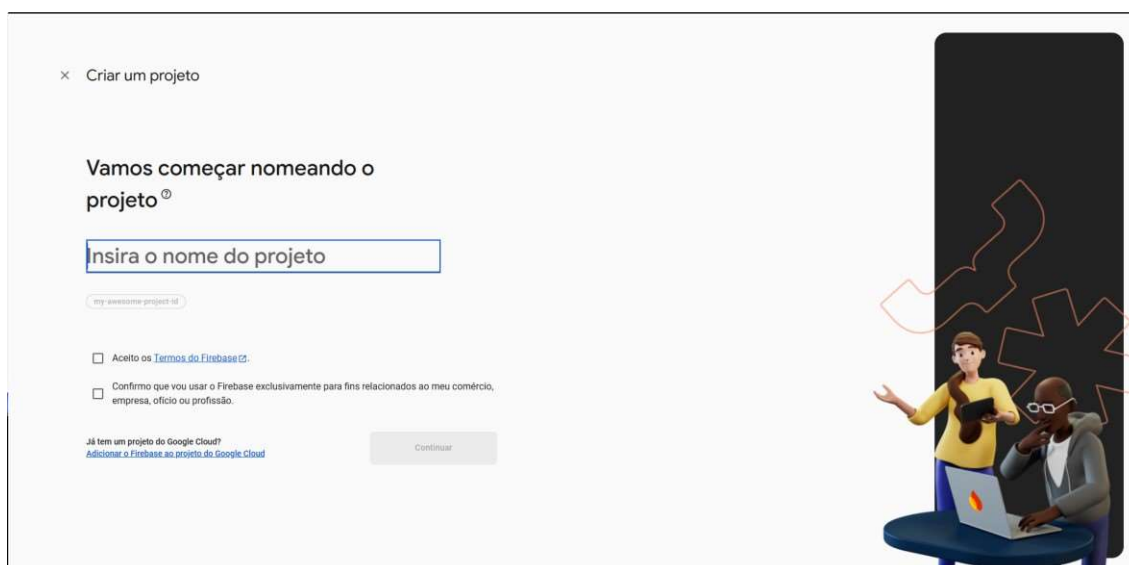
Configuração básicas do sistema SisGRE3

Como mudar o banco de dados.

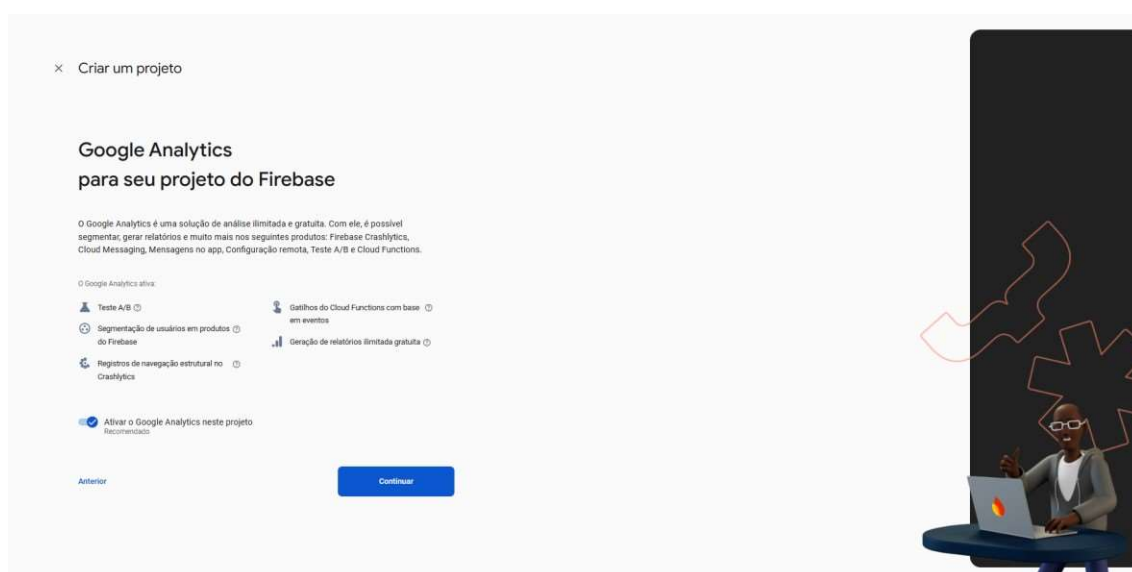
Acessar o portal do *Firebase*, acessível por meio do *link*: <https://console.firebase.google.com/>. Após acessar o portal realize o cadastro e faça o *login*, como demonstrado abaixo:



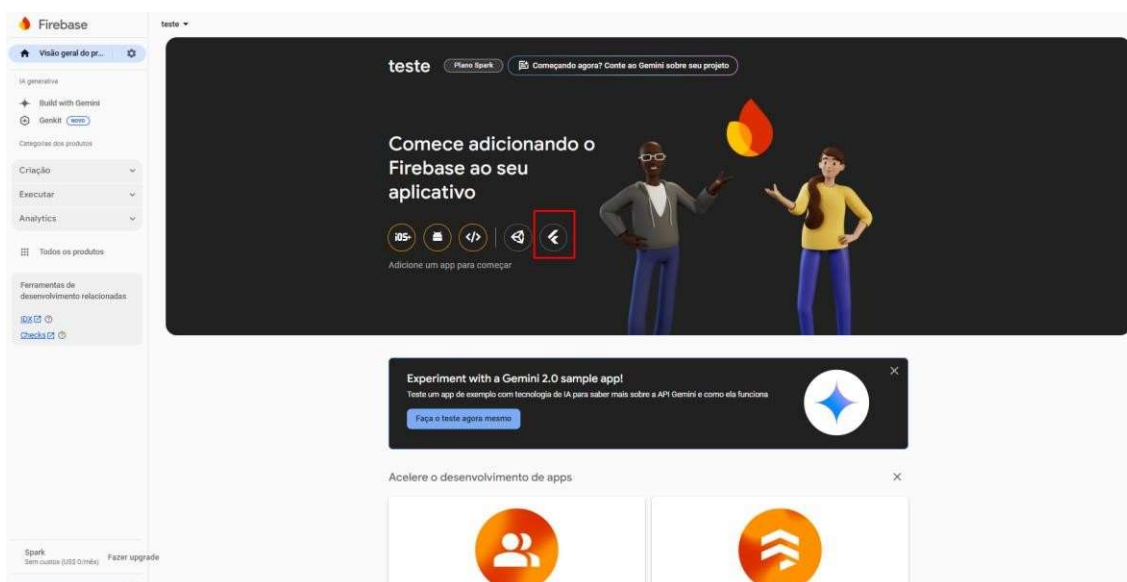
Insira o nome do projeto, leia e aceite os termos de uso.



Conclua o processo (opcional ativar o *google analytics*). O *google analytics* é uma ferramenta gratuita que analisa o tráfego e o engajamento de *sites* e aplicativos. Possibilitando criar relatórios que fornecem *insights* sobre o desempenho da base de dados.

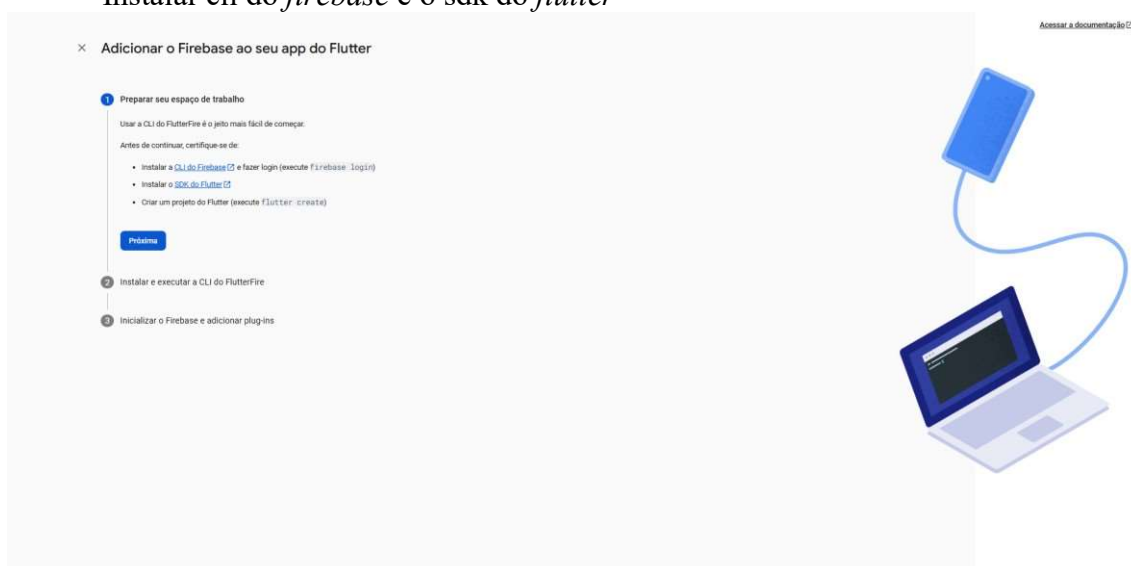


Após efetuar login na plataforma, deve-se clicar sobre o símbolo do *Flutter* para adicionar o *Firebase* no seu projeto.



Na sequência deve-se instalar o cli do *firebase* e o sdk do *flutter*. Para isso siga as instruções abaixo ou acesse o passo a passo no *site* do fabricante por meio do *link*: <https://firebase.google.com/docs/flutter/setup?authuser=4&hl=pt-br&platform=ios>.

Instalar cli do *firebase* e o sdk do *flutter*



Abrir o *prompt* de comando “*cmd*”, como no exemplo abaixo. E acessar a pasta do projeto. Digite “*firebase login*” para acessar o projeto.

```
C:\Users\Joao\Documents\novo\SISGRE3>firebase login
```

Após efetuar o login, digite os comandos abaixo, para criar o link ao firebase.

2 Instalar e executar a CLI do FlutterFire

Em qualquer diretório, execute o comando:

```
$ dart pub global activate flutterfire_cli
```

Em seguida, na raiz do diretório do seu projeto do Flutter, execute o comando:

```
$ flutterfire configure --project=teste-ac613
```

Com isso, seus apps são registrados automaticamente por plataforma com o Firebase, e um arquivo de configuração `lib/firebase_options.dart` é adicionado ao seu projeto do Flutter.

Anterior **Próxima**

Exemplo 01:

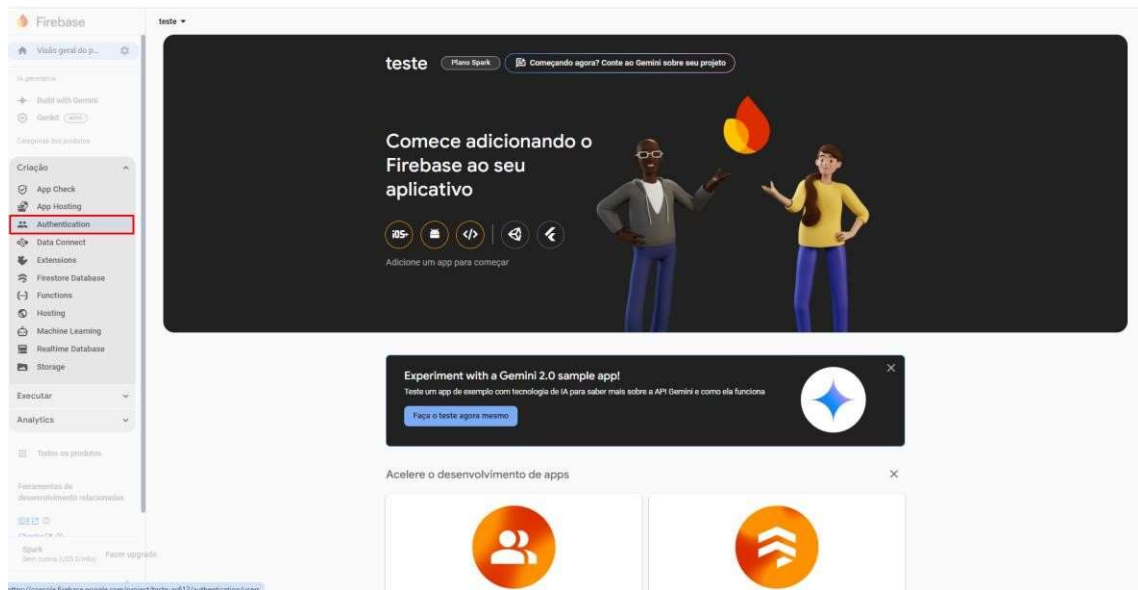
```
C:\Users\Joao\Documents\novo\SISGRE3>dart pub global activate flutterfire_cli
Package flutterfire_cli is currently active at version 1.0.0.
Downloading packages...
> characters 1.4.0 (was 1.3.1)
> dart_console 1.2.0 (4.1.1 available)
> file 6.1.4 (7.0.1 available)
> http 0.13.6 (1.2.2 available)
> intl 0.18.1 (0.20.1 available)
> process 4.2.4 (5.0.3 available)
> pub_semver 2.1.5 (was 2.1.4)
> pub_updater 0.2.4 (0.5.0 available)
> source_span 1.10.1 (was 1.10.0)
> win32 5.9.0 (was 5.8.0)
Building package executables... (4.0s)
Built flutterfire_cli:flutterfire.
Installed executable flutterfire.
Activated flutterfire_cli 1.0.0
```

Exemplo 02:

```
C:\Users\Joao\Documents\novo\SISGRE3>flutterfire configure --project=teste-ac613
✓ Generated FirebaseOptions file C:\Users\Joao\Documents\novo\SISGRE3\lib\firebase_options.dart already exists, do you want to override it? · yes
! Found 4 Firebase projects. Selecting project teste-ac613.
? Which platforms should your configuration support (use arrow keys & space to select)?
android
ios
macos
web
✓ windows
```

(obs. Deixar marcado apenas o *Windows*)

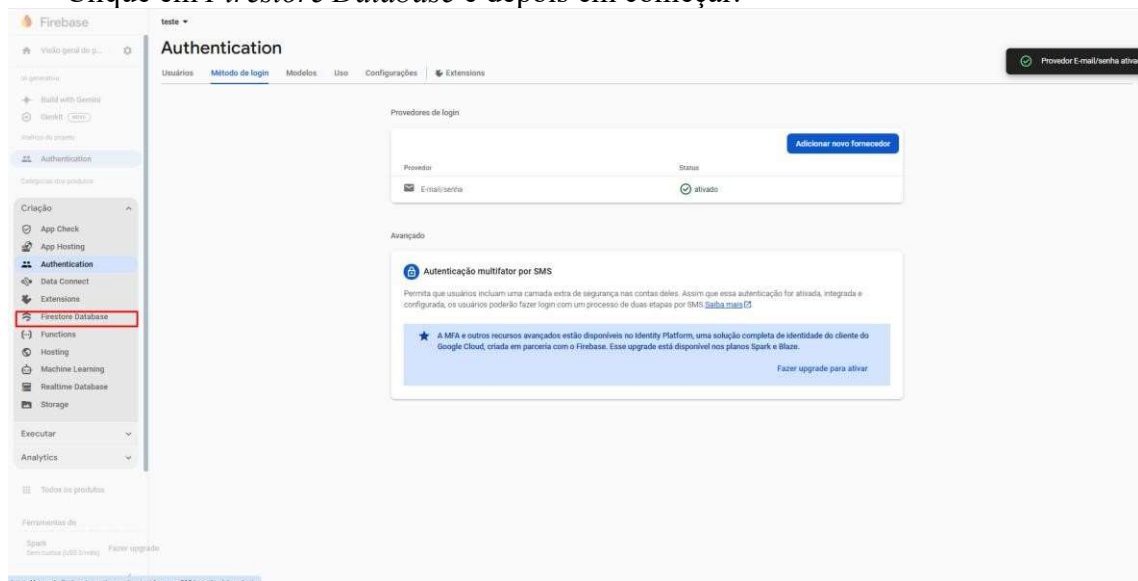
Na sequência deve-se clicar em *authentication* e depois e em começar.



Como ativar o envio de e-mail no método de login



Clique em *Firestore Database* e depois em *começar*.



Na sequência, selecione o local que desejar (Pode ser qualquer um, mas se a distância for muito grande, isso pode impactar o desempenho).

Comentário: São Paulo é o mais próximo, porém tem um custo mais elevado.

Criar banco de dados ✕

1 Definir nome e local — 2 Regras de segurança

ID do banco de dados

(default)

Local

nam5 (United States) ▾

ⓘ Sua configuração de localização é onde os dados do Cloud Firestore serão armazenados

⚠ Não será possível alterar o local depois de terminar a configuração dele. Saiba mais [🔗](#)

Cancelar Próxima

Adicione a regra desejada, recomendo -- rules_version = '2';

Exemplo 01:

```
service cloud.firestore {
  match /databases/{database}/documents {
    match /{document=**} {
      allow read, write: if true;
    }
  }
}
```

Exemplo 02:

Criar banco de dados ✕

1 Definir nome e local — 2 Regras de segurança

Após definir a estrutura de dados, será necessário criar regras para proteger seus dados. [Saiba mais](#)

Iniciar no modo de produção

Seus dados são particulares por padrão. O acesso de leitura/gravação do cliente será concedido apenas se especificado por suas regras de segurança.

Iniciar no modo de teste

Por padrão, seus dados estão definidos para permitir uma configuração rápida. Porém, você precisa atualizar suas regras de segurança em até 30 dias para permitir o acesso de leitura/gravação do cliente em longo prazo.

```
rules_version = '2';

service cloud.firestore {
  match /databases/{database}/documents {
    match /{document=**} {
      allow read, write: if false;
    }
  }
}
```

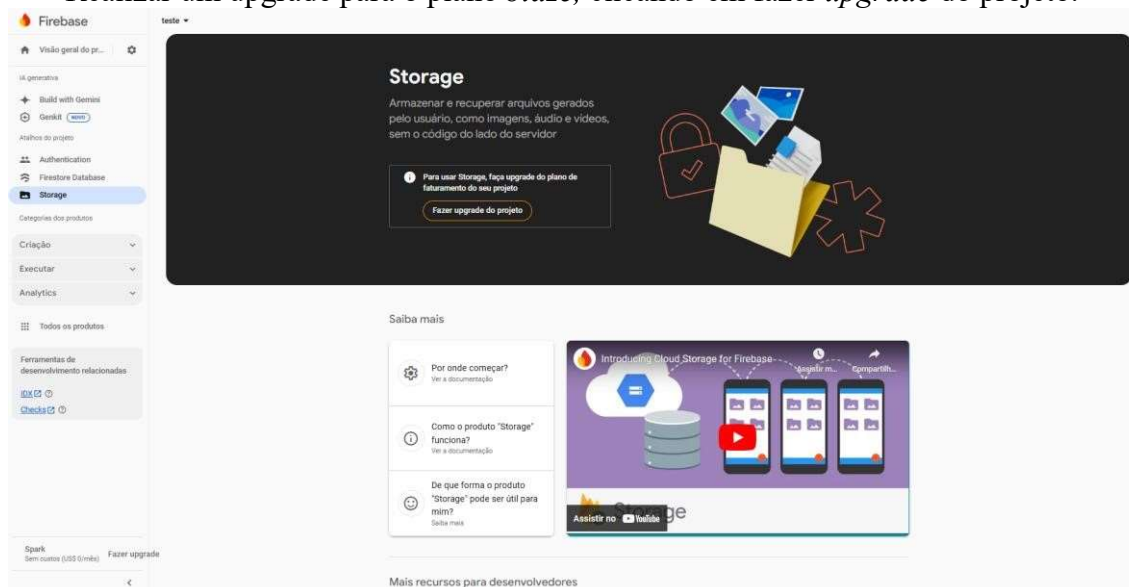
i Todas as leituras e gravações de terceiros serão negadas

Cancelar Criar

Deve-se ir selecionar *storage*, como ilustrado abaixo.

The screenshot shows the Firebase console interface. On the left-hand side, there is a navigation menu with various service categories. Under the 'Crição' (Creation) section, the 'Storage' option is highlighted with a red rectangular box. The main area of the console shows the 'Cloud Firestore' configuration page, which is currently empty, indicating that the database has been created but no data has been added yet.

Realizar um upgrade para o plano *blaze*, clicando em fazer *upgrade* do projeto.



Selecione o local do servidor igual anteriormente e coloque essa regra - `rules_version = '2';`

Exemplo:

```
service cloud.firestore {
  match /databases/{database}/documents {
    match /{document=**} {
      allow read, write: if true;
    }
  }
}
```

Processo finalizado, porém, deve-se se atentar aos *logs*, pois viram urls para criação de índices no bando *firebase*.