

A Iniciativa CRIAR – Centro de Reciclagem e Inovação em Automação e Robótica

MaxRobert Marinho
Ciência da Computação
UNEMAT – Universidade do Estado de
Mato Grosso
Rondonópolis-Brasil
max.marinho@unemat.br

Fernando Yoiti Obana
Ciência da Computação
UNEMAT – Universidade do Estado de
Mato Grosso
Alto Araguaia-Brasil
obana@unemat.br

Lucas Kriesel Sperotto
Ciência da Computação
UNEMAT – Universidade do Estado de
Mato Grosso
Alto Araguaia-Brasil
sperotto@unemat.br

Edinaldo Serra Cardoso Júnior
Engenharia Elétrica
UNESP – Universidade Estadual
Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Ilha Solteira-Brasil
edinaldo.junior@unemat.br

Abstract — *O descarte crescente de resíduos sólidos, especialmente eletrônicos, é um dos maiores desafios ambientais, sobretudo em municípios sem infraestrutura adequada. Nesse cenário, o CRIAR (Centro de Reciclagem e Inovação em Automação e Robótica), da UNEMAT, atua como Ambiente Promotor de Inovação dedicado à reciclagem e reutilização de equipamentos eletroeletrônicos. A iniciativa surgiu de projetos de extensão voltados à recomposição de laboratórios pedagógicos e à oferta de minicursos de eletrônica e robótica para a comunidade. O processo inclui triagem, reuso, manutenção e desmonte, assegurando o destino correto do e-lixo. Entre os resultados estão parcerias institucionais, captação de recursos, capacitação de estudantes e desenvolvimento de protótipos com materiais reciclados. Como perspectivas, destacam-se a aquisição de máquinas para processamento, a criação de grupo de pesquisa e a expansão para a região sudeste de Mato Grosso, consolidando o CRIAR como iniciativa inovadora e sustentável.*

Keywords—*reciclagem e reutilização de eletrônicos, resíduos sólidos, inovação tecnológica, sustentabilidade.*

I. INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios globais da atualidade é o aumento exponencial da produção de lixo pela humanidade [1]. A destinação correta desses resíduos preocupa não apenas as grandes metrópoles, mas cidades de pequeno porte. No Brasil, a maioria dessas pequenas cidades não dispõe de aterros sanitários em conformidade com a legislação, fazendo com que os resíduos sejam descartados em “lixões”, sem medidas adequadas de prevenção contra a contaminação ambiental [2], [3].

Nesse contexto, a gestão de resíduos sólidos deve ser orientada pelo princípio dos 3Rs — Reduzir, Reutilizar e Reciclar. Essa hierarquia estabelece a redução como medida preventiva para minimizar a geração de resíduos, a reutilização como alternativa para prolongar a vida útil dos equipamentos e a reciclagem como estratégia de reinserção dos materiais no ciclo produtivo [3], [4], [5]. No Brasil, essa lógica encontra respaldo na Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), que institucionalizou a prioridade da não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos [2].

Os desafios relacionados aos resíduos também se inserem em um contexto mais amplo de sustentabilidade global, representado pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) definidos pela Organização das Nações

Unidas na Agenda 2030 [1]. Tais objetivos orientam políticas e iniciativas em diversas áreas, incluindo a gestão de resíduos sólidos, a inovação tecnológica e a conscientização social.

Entre os diferentes tipos de resíduos, o eletrônico representa um problema ainda mais grave, pois sua decomposição é extremamente lenta e sua composição libera substâncias altamente tóxicas no meio ambiente. Em países como o Japão, a reciclagem desse material chega a índices próximos de 99% [6]. No Brasil, alguns grandes centros já contam com empresas especializadas na destinação correta de resíduos sólidos eletrônicos, evitando a poluição ambiental. No entanto, em cidades pequenas, essa prática ainda é pouco viável economicamente, devido ao baixo volume de resíduos coletados, fazendo com que grande parte do lixo eletrônico seja direcionado para os “lixões” [7], [8].

Diante dessa realidade, a reciclagem e a reutilização de resíduos surgem como alternativas essenciais para minimizar o descarte incorreto. Materiais como plástico, borracha, vidro e metais já possuem cadeias de reciclagem consolidadas. O vidro e o alumínio, por exemplo, são 100% recicláveis. No caso dos equipamentos eletrônicos, entretanto, a reutilização e a reciclagem exigem mão de obra especializada, pois, se manuseados de forma incorreta, podem causar sérios danos ao meio ambiente, à saúde humana e aos animais.

A reutilização de computadores, por exemplo, ocorre quando equipamentos obsoletos, mas ainda funcionais, ou peças aproveitáveis de aparelhos não operacionais são usados na montagem de novos computadores em condições de uso. Já a reciclagem envolve o desmonte de equipamentos sem possibilidade de reaproveitamento, direcionando suas partes metálicas e plásticas para novos fins. O maior desafio está nas placas de circuito impresso (PCIs), que contêm metais pesados e tóxicos, como chumbo, cádmio, cobre e níquel. Por outro lado, também apresentam metais preciosos, como ouro, prata, platina e paládio.

Nesse contexto, o CRIAR (Centro de Reciclagem e Inovação em Automação e Robótica), desenvolvido na UNEMAT (Universidade do Estado de Mato Grosso “Alberto Reyes Maldonado”, no Curso de Ciência da Computação, em Alto Araguaia (AiA) e Rondonópolis (ROO), municípios do estado de Mato Grosso (MT), surge como um Ambiente Promotor de Inovação (API) no intuito de proporcionar a reutilização e a reciclagem de materiais eletroeletrônicos,

garantindo que os resíduos recebam a destinação correta, sem causar contaminação ao meio ambiente.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

Um levantamento do CEMPRE (Compromisso Empresarial para Reciclagem) em 2023, por meio de seu relatório da pesquisa realizada pela Ciclossoft [7], que disserta sobre o Panorama de Coleta Seletiva no Brasil, apresenta informações sobre organização e legislação dos processos de coleta seletiva de resíduos, bem como um mapa de controle dos catadores de resíduos, postos de entrega voluntária, comércio atacadista de materiais recicláveis, triagem e recicladores de papel, para diversos municípios do Brasil [8].

Em 2023 foram coletadas um total de 220 kt, cerca de 13 kg/hab, de resíduos sólidos incluindo latas de alumínio, plásticos no geral, metais, papelão, vidro e embalagens longa vida. Ainda assim, neste estudo não são apresentados dados sobre o resíduo eletrônico, evidenciando, ainda mais, a necessidade de tratamento deste tipo de resíduo sólido.

A literatura destaca que o conceito dos 3Rs constitui a base das práticas de sustentabilidade aplicadas à gestão de resíduos [6], [8]. A redução envolve ações preventivas no consumo e na produção, a reutilização possibilita novas aplicações a equipamentos obsoletos e a reciclagem promove a recuperação de matérias-primas.

O descarte incorreto de resíduos eletrônicos representa uma séria ameaça ao meio ambiente, principalmente devido à presença de metais pesados tóxicos em sua composição. Entre os mais comuns estão o mercúrio, o berílio e o chumbo, além de diversos outros compostos químicos que, quando mal gerenciados, contaminam o solo e os lençóis freáticos. A incineração desses materiais, por sua vez, libera toxinas perigosas no ar. Por essa razão, a destinação adequada do lixo eletrônico é fundamental não apenas para a preservação ambiental, mas também para a saúde humana [9], [10], [11].

Em 2014, estimou-se que cerca de 5% de todo o lixo produzido pela humanidade seja composto por resíduos eletrônicos. Isso corresponde a aproximadamente 50 milhões de toneladas descartadas anualmente [8]. De acordo com o Global E-waste Monitor 2024, no período de 2022, os Estados Unidos lideraram a geração desse tipo de resíduo, com 7188 kt, equivalendo a 21,3 kg/hab, mas alcançando 56% de coleta deste material. No mesmo período, o Brasil produziu 2443 kt, ou cerca de 11,4 kg/hab, mas somente com 3% de coleta [9].

Entre 2010 e 2022, a geração de resíduos eletrônicos no Brasil aumentou 438%, evidenciando seu rápido crescimento [12]. Mesmo com 49 instrumentos regulatórios — entre regras, regulamentos, políticas e orientações —, o Brasil carece de políticas públicas efetivas e de planos de gestão capazes de informar melhor a população sobre o problema do lixo eletrônico [2], [9], [11], [13].

Pesquisas indicam que 36% da população desconhece o problema do descarte de resíduos eletrônicos. Entre os 64% que têm alguma informação sobre o tema, 58% afirmam possuir equipamentos sem uso em casa. Destes, 36% costumam doar os aparelhos, 34% os mantêm armazenados em suas residências e 29% os descartam ao lixo comum [10].

A Alemanha, Brasil e Japão possuem leis que estipulam metas para coleta, reciclagem, remanufatura e/ou disposição adequada do lixo eletrônico, envolvendo 50-80%, 17% e 60-60%, respectivamente [11]. Um fator importante é a

conscientização, que demanda um tempo. No Japão já se faz parte da cultura esta conscientização pois foi onde surgiram as primeiras leis de gerenciamento de Resíduos Sólidos em 1954 [13]. Estudos recentes destacam que metas como os ODS são fundamentais para enfrentar os desafios da gestão de resíduos eletrônicos [4], [8], [10]. No Brasil somente em 2010, pela Lei nº 12.305/10 que se instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) [2].

Com a aprovação da PNRS, de 2010 a 2017 ocorreu um aumento de 233% no número de postos de entrega voluntária no Brasil, mas com uma distribuição desproporcional, onde a maior concentração se fixou no Estado de São Paulo com 84%, enquanto o Estado de Mato Grosso possui 0,5%.

Nesse cenário, o CRIAR vem como uma ponte para a recepção e processamento de alguns dos resíduos sólidos como o eletrônico, e com propostas para o processamento de plástico e vidro, a fim de que possam ser reutilizados para outros fins, e ainda promover a formação e conscientização da comunidade sobre a necessidade da reciclagem e reutilização dos resíduos eletrônicos no sudeste do Estado de Mato Grosso.

III. HISTÓRICO E OBJETIVOS DO CRIAR

O CRIAR surgiu da união de projetos de extensão e pesquisa que, desde 2015, objetivam a reciclagem e reutilização de resíduos eletroeletrônicos, além da formação e conscientização da comunidade acadêmica local e regional. O marco inicial ocorreu com a criação do Projeto de Reutilização e Reciclagem de Equipamentos Eletroeletrônicos (PRREE), voltado à recomposição dos laboratórios pedagógicos do Curso de Ciência da Computação do Campus de Alto Araguaia. O projeto consistia em coletar computadores obsoletos, funcionais ou não, e recondição-los para utilização em atividades de ensino.

Em 2017, o PRREE recebeu doações expressivas de instituições financeiras e empresas privadas, possibilitando a criação dos laboratórios de Hardware, Redes e de Eletrônica e Sistemas Embarcados (LESE), todos sediados no CEPAlA (Centro de Ensino, Pesquisa e Extensão de Alto Araguaia). No mesmo ano, o Governo Municipal de ROO demandou maior oferta de profissionais da área de Computação, o que levou à expansão do curso e das atividades do CRIAR para esse município.

A partir de 2019, em ROO, novos projetos de extensão ampliaram o escopo de atuação do CRIAR, incluindo a reciclagem de plásticos, vidros e madeira, além da criação de minicursos de formação complementar. Nesse período, o projeto consolidou sua relevância regional ao ser premiado no Programa Acelerador de Projetos Inovadores de Rondonópolis (PAPIRO).

Em 2020, o CRIAR representou a UNEMAT internacionalmente na *China International Fair for Investment & Trade* (CIFIT), evidenciando seu potencial em inovação e sustentabilidade. No mesmo ano, foi aprovado no Edital FAPEMAT 09/2020, consolidando-se como Ambiente Promotor de Inovação (API) em Mato Grosso. Durante a pandemia da COVID-19, em parceria com o LESE, produziu e distribuiu 1.300 protetores faciais e cabines de respiração não invasiva, atendendo gratuitamente nove municípios de Mato Grosso, um de Goiás e instituições de segurança pública. Em 2023, foi inaugurado em ROO o Laboratório de Eletrônica Instrumental e Automação (LEIA), totalmente estruturado com materiais e equipamentos reciclados doados.

Com essa trajetória, o CRIAR consolidou-se como uma API da UNEMAT, destinado à reciclagem e reutilização de resíduos eletrônicos, plásticos e vidro, e como um centro de inovação tecnológica, oferecendo consultoria, capacitação e apoio a projetos empreendedores e inovadores, com o objetivo de integrar ciência, tecnologia e responsabilidade social na promoção do desenvolvimento sustentável.

IV. PROCEDIMENTOS E RESULTADOS

Inicialmente foram realizadas diversas visitas e diálogos com empresas locais públicas e privadas, viabilizando doações de equipamentos eletrônicos em desuso, quebrados ou obsoletos, para que fossem reutilizados, reciclados ou descartados de maneira correta, evitando a contaminação do meio ambiente. No Brasil, resíduos eletrônicos não podem ser descartados juntamente com o lixo comum, sendo obrigatória sua destinação por meio de empresas ou projetos habilitados que realizem o tratamento adequado desses materiais, conforme a Lei nº 12.305/2010 [9].

A partir da recepção desses materiais, o CRIAR, juntamente com os projetos de extensão em reciclagem e reutilização de resíduos sólidos, desenvolveu um processo de reciclagem e reutilização de equipamentos eletrônicos, cujo fluxograma é representado na Fig. 1.

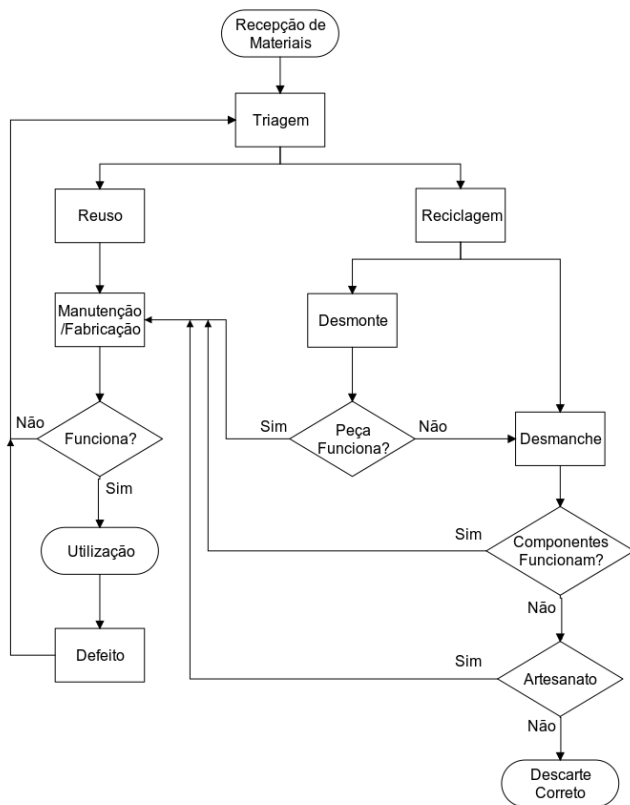


Fig. 1. Fluxograma do processo de reciclagem de lixo eletrônico

O processo de reciclagem e reutilização dos resíduos eletrônicos segue etapas organizadas que garantem sua destinação correta. Inicialmente, realiza-se a triagem, na qual os equipamentos são avaliados quanto ao funcionamento. Aqueles em boas condições passam pela manutenção e retornam ao uso até apresentarem novos problemas, sendo então reencaminhados para triagem. Já os que apresentam falhas seguem para a reciclagem, dividida em duas fases: desmonte, em que peças reaproveitáveis são retiradas para uso

em equipamentos similares; e desmanche, destinado à extração de componentes ainda funcionais para aplicação em novos projetos. Paralelamente, materiais como plásticos e vidros são separados, demandando procedimentos de triagem mais simples.

Em termos de impacto educacional e social, desde 2015 foram oferecidos mais de 15 minicursos de eletrônica, robótica e programação, beneficiando aproximadamente 350 estudantes de escolas estaduais, municipais e do CREAS. Mais de 200 computadores, 50 notebooks, 200 impressoras e 100 monitores foram recebidos, recondicionados ou reaproveitados.

Como resultados práticos, o CRIAR destinou ao ferrovelho mais de 1.500 kg de latas, 70 kg de cobre e 20 kg de alumínio, gerando renda complementar. Além disso, captou mais de R\$ 250 mil em recursos de editais de fomento, incluindo a SECITECI-MT, o Edital PAPI-UNEMAT e parcerias com outras APIs, possibilitando o financiamento de bolsas e a aquisição de equipamentos e materiais de consumo.

O projeto também consolidou parcerias estratégicas com empresas e instituições, como a PROESI, que fornece componentes eletrônicos regularmente, além de parceiros locais que garantem serviços de conectividade gratuitos. Na esfera acadêmica, o CRIAR produziu publicações em eventos nacionais e internacionais e foi reconhecido em iniciativas como o Programa Centelha MT, que premia práticas de inovação e empreendedorismo. Os resultados alcançados pelo CRIAR demonstram alinhamento com diversas ODS, demonstradas na Tabela 1.

TABELA 1. ODS ALCANÇADAS PELA INICIATIVA CRIAR

ODS	Ações do CRIAR
1 - Erradicação da Pobreza	Inclusão social por meio de capacitação gratuita e doações de equipamentos recondicionados.
4 - Educação de Qualidade	Minicursos de eletrônica, robótica e programação para alunos da rede pública e extensão universitária.
8 - Trabalho Decente e Crescimento Econômico	Oferta de bolsas de pesquisa, estímulo ao empreendedorismo e inovação regional.
9 - Indústria, Inovação e Infraestrutura	Criação e fortalecimento dos laboratórios LESE e LEIA, desenvolvimento de protótipos e cultura maker.
10 - Redução das Desigualdades	Democratização do acesso à tecnologia com reutilização de equipamentos eletrônicos.
11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis	Reciclagem e destinação correta de resíduos eletrônicos, plásticos e vidro.
12 - Consumo e Produção Responsáveis	Processos de triagem, reuso e reciclagem como eixo central da atuação.
13 - Ação Contra a Mudança Global do Clima	Mitigação de impactos ambientais ao reduzir o descarte incorreto de metais pesados e tóxicos.
17 - Parcerias e Meios de Implementação	Rede de colaboração com universidades, governo e empresas para viabilizar projetos e recursos.

No campo da inovação, o CRIAR tem possibilitado o desenvolvimento de diversos protótipos tecnológicos a partir de materiais reciclados, os quais vêm sendo amplamente divulgados em feiras científicas, mostras de inovação e plataformas digitais, contribuindo para a difusão de práticas sustentáveis e de baixo custo (Fig. 2).



Fig. 2. Protótipos desenvolvidos com e-lixo e mostras tecnológicas.

Dessa forma, os procedimentos técnicos adotados e os resultados alcançados demonstram a efetividade do CRIAR em integrar práticas de reciclagem, formação educacional, inovação tecnológica e desenvolvimento socioambiental.

V. TRABALHOS FUTUROS

Todo o resíduo sólido metálico recebido pelo CRIAR já possui processamento e destinação adequada. Os resíduos eletrônicos, por sua vez, são utilizados em projetos de ensino, pesquisa e extensão, enquanto a fração restante é armazenada para posterior processamento e extração de metais preciosos e terras raras. O mesmo ocorre com resíduos plásticos e vidro, que aguardam estrutura tecnológica mais avançada para aproveitamento integral.

Para ampliar sua capacidade, o CRIAR recebeu recentemente um aporte de cerca de R\$ 70 mil da SECITEC-MT, destinado à aquisição de equipamentos para processamento de plásticos, extração de metais estratégicos e fortalecimento dos laboratórios.

O LESE e o LEIA já integram a rede de laboratórios compartilhados do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) do Governo Federal e encontram-se em processo de obtenção de certificações para reconhecimento oficial como laboratórios Maker e FabLab.

No campo da pesquisa, merece destaque a criação do grupo RECIAR (Reciclagem, Eletrônica e Inovação em Automação e Robótica), atualmente em processo de institucionalização. Esse grupo ampliará significativamente a capacidade de produção científica e tecnológica, consolidando uma rede de colaboração entre instituições de ensino superior regionais e nacionais.

VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O crescimento do consumo tecnológico intensifica a geração de resíduos eletrônicos, especialmente em municípios sem infraestrutura adequada. Desde 2015, o CRIAR integra ensino, pesquisa e extensão para desenvolver soluções inovadoras em reciclagem e reaproveitamento, equipando laboratórios, firmando parcerias, capacitando comunidades e conquistando reconhecimento em diferentes níveis.

Amparado pela Lei nº 12.305/2010 e pelo Decreto nº 10.240/2020, o CRIAR atua de forma estruturada no

reaproveitamento de materiais eletrônicos. Entretanto, ainda possui desafios quanto a ampliação da infraestrutura e a institucionalização do grupo de pesquisa RECIAR, além da aquisição de equipamentos para processamento de plásticos e PCIs.

Alinhado à Agenda 2030, o CRIAR contribui para diversos ODS, e promove os 3Rs (redução, reutilização e reciclagem), unindo ciência, tecnologia e responsabilidade social na construção de soluções sustentáveis, reafirmando-se como um modelo de impacto socioambiental e consolidando-se como referência em inovação tecnológica, economia circular, com impacto regional, nacional e internacional.

REFERÊNCIAS

- [1] Organização das Nações Unidas, *Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. Nova York: ONU, 2015. Acesso em: 2 de setembro de 2025. [Online]. Disponível em: <https://sdgs.un.org/2030agenda>
- [2] Brasil, *Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos*. Brasília, DF, 2010. [Online]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/12305.htm
- [3] M. R. Moreira, É. Kastrup, J. M. Ribeiro, A. I. D. Carvalho, e A. P. Braga, “O Brasil rumo a 2030? Percepções de especialistas brasileiros(as) em saúde sobre o potencial de o País cumprir os ODS Brazil heading to 2030”, *Saúde debate*, vol. 43, nº spe7, p. 22–35, 2019.
- [4] A. L. Balduino Junior et al., “Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e a Preservação Ambiental no Brasil”, *DCS*, vol. 22, nº 81, p. e3136, jul. 2025, doi: 10.54899/dcs.v22i81.3136.
- [5] G. P. C. Penna, C. F. da Silva Filho, V. E. Ferrari, e M. R. R. Georges, “Adesão aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) pelas Empresas Brasileiras”, *Latin American Journal of Business Management*, vol. 13, nº 2, 2022, [Online]. Disponível em: <https://www.lajbm.com.br/journal/article/view/713>
- [6] J. E. Nalini, “Mercado de reciclagem do lixo do Brasil: Entraves ao Desenvolvimento”, Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo - PUC, São Paulo, SP, 2008. Acesso em: 2 de setembro de 2025. [Online]. Disponível em: <https://ariel.pucsp.br/bitstream/handle/9356/1/Jose%20Eduardo%20Nalini.pdf>
- [7] Ciclossoft, “Panorama da Coleta Seletiva no Brasil”, Ciclossoft. Acesso em: 2 de setembro de 2025. [Online]. Disponível em: <https://ciclossoft.cempre.org.br/>
- [8] CEMPRE, “Compromisso Empresarial para Reciclagem”. Acesso em: 2 de setembro de 2025. [Online]. Disponível em: <https://cempre.org.br/>
- [9] C. P. Baldé et al., *Global E-waste Monitor 2024*. Geneva/Bonn: International Telecommunication Union (ITU) and United Nations Institute for Training and Research (UNITAR), 2024. Acesso em: 2 de setembro de 2025. [Online]. Disponível em: <https://api.globalewaste.org/publications/file/297/Global-E-waste-Monitor-2024.pdf>
- [10] L. A. A. da Silva, K. R. B. Miranda, S. S. Araújo, e A. M. Soares, “Lixo eletrônico e as perspectivas de uma sociedade de consumo: um estudo exploratório na cidade de Natal-RN”, em *Anais do III Workshop e I Jornada Científica de Ferramentas de Gestão Ambiental para Competitividade e Sustentabilidade (JCGA 2009)*, Natal, RN, Brasil, 2009, p. 5–13.
- [11] D. V. Bayão e C. M. M. P. Amorim, “Logística reversa do lixo eletrônico: uma comparação do cenário brasileiro com alguns países desenvolvidos”, em *Contribuição técnica ao 37º Seminário de Logística – Suprimentos, PCP e Transportes (ABM Week)*, São Paulo, SP, Brasil, out. 2018.
- [12] R. T. G. Andrade, C. S. Fonseca, e K. M. Mattos, “Geração e Destino dos Resíduos Eletrônicos de Informática nas Instituições de Ensino Superior de Natal-RN”, *HOLOS*, vol. 2, p. 100, jul. 2010, doi: 10.15628/holos.2010.395.
- [13] T. R. Silva, T. M. Venâncio, A. O. S. Britto Júnior, e F. H. De Carvalho Junior, “Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos no Japão: História e Atualidade”, *cnx*, vol. 12, nº 1, p. 72, mar. 2018, doi: 10.21439/conexoes.v12i1.1082.