



Reaproveitamento de placas de circuito impresso: uma revisão de literatura

Reuse of printed circuit boards: a literature review

Adriana dos Santos Franco⁽¹⁾; Cleumar da Silva Moreira⁽²⁾;
Camila Calado de Vasconcelos⁽³⁾; Adriane Borges Cabral⁽⁴⁾

⁽¹⁾ORCID n° <https://orcid.org/0000-0003-1951-5971>, Mestranda do Programa de Pós-Graduação Análise de Sistemas Ambientais pelo Centro Universitário Cesmac-PPGASA e Docente do Instituto Federal de Alagoas-IFAL; Maceio-AL-Brazil; drikfranco@hotmail.com.

⁽²⁾ ORCID n° <https://orcid.org/0000-0002-9075-5882>, Docente e pesquisador do Instituto Federal da Paraíba IFPB; João Pessoa-PB-Brazil; cleumar.moreira@ifpb.edu.br.

⁽³⁾ORCID n° <https://orcid.org/0000-0002-7345-6821> Docente e pesquisadora do Programa Profissional de Biotecnologia em Saúde Humana e Animal pelo Centro Universitário Cesmac; Maceio-AL-Brazil; camila19calado@gmail.com.

⁽⁴⁾ORCID n° <https://orcid.org/0000-0002-4417-7559> Docente e pesquisadora do PPGASA; Maceio-AL-Brazil; adrianeborgescabral@gmail.com.

Todo o conteúdo expresso neste artigo é de inteira responsabilidade dos seus autores.

Recebido em: 07 de setembro de 2020; Aceito em: 12 de novembro de 2020; publicado em 31 de 01 de 2021. Copyright© Autor, 2021.

RESUMO: Nas últimas décadas, como consequência do desenvolvimento tecnológico, os equipamentos eletroeletrônicos (EEE) têm sido substituídos rapidamente, gerando um aumento de sucatas eletrônicas que são compostas, em sua maioria, por placas de circuito impresso (PCIs). O descarte desse lixo eletrônico é inadequado, agride o meio ambiente e a saúde do ser humano e reforça a necessidade de implantar e disseminar formas ambientalmente corretas de reaproveitamento destes materiais. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo apresentar as principais formas de reaproveitamento das placas de circuito impresso e as alternativas para minimizar os impactos ambientais causados pelo descarte das mesmas. A revisão de literatura envolve a consulta de publicações científicas, em português, indexadas no Google Acadêmico no período de 2010 a 2018. Foram utilizados no sistema de busca os seguintes descritores: reaproveitamento de circuitos eletrônicos, reaproveitamento de resíduos de placas de circuitos impresso obsoletas, logística reversa em placas de circuito impresso obsoletas. A seleção das publicações científicas de maior relevância sobre a temática foi realizada após leitura dos títulos e resumos. Os trabalhos analisados apontam a reciclagem, a logística reversa e tecnologias verdes como as principais formas de reaproveitamento das placas dos circuitos impressos para minimizar os danos ao meio ambiente e ao ser humano.

PALAVRAS-CHAVE: Lixo eletrônico, reciclagem, logística reversa.

ABSTRACT: In the last decades, as a consequence of the fast-technological development of electronic devices, the quantity of electronic waste has increased, where mostly comprise printed circuit boards (PCB). The disposal of this electronic waste is non-adequate that harms the environment and human health, and reinforcing the need to implement and disseminate environmentally correct ways of reusing these materials. Here, we present a bibliographic review carried out on Google Scholar from 2010 to 2018. The following descriptors were used: reuse of electronic circuits, reuse of obsolete printed circuit board residues, a reverse logistics in obsolete printed circuit boards. The highest relevance papers have been chosen by the titles and abstracts reading. The analyzed papers pointed out recycling, reverse logistics, and green technology as the main ways to reuse the printed circuit boards to mitigate damage to the environment and mankind.

KEYWORDS: Eletronic waste, recycling, reverse logistics.

INTRODUÇÃO

Atualmente, o uso dos equipamentos eletroeletrônicos é mais frequente na vida das pessoas. Todavia, pelo fato de estarem relacionados com a inovação tecnológica e a aceleração da urbanização resulta no aumento de resíduos em geral, com maior ênfase nos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE). Isso se revela pela premência dos indivíduos trocarem seus equipamentos por saírem de circulação ou devido a mau funcionamento (PORTO et al., 2018).

Atualmente, o lixo eletrônico (ou e-lixo) representa um grande problema ambiental, no qual milhões de toneladas são produzidos por ano mundialmente. A questão associada ao acúmulo de e-lixo é a necessidade de uma demanda maior de matéria prima, como por exemplo, na construção de um computador onde se utilizam duas toneladas de matéria prima. (FERREIRA; DA SILVA; GALDINO, 2010).

Com o crescimento das vendas de eletrônicos e a rápida evolução tecnológica surgem dois problemas: primeiro, um problema ambiental, pois os eletrônicos são constituídos de metais pesados que são descartados no meio ambiente; segundo, falta de matéria prima, pois com a produção de eletrônicos em voga necessita-se de mais matéria prima (FERREIRA; DA SILVA; GALDINO, 2010).

A área de eletrônica não era considerada agente poluidora do meio ambiente, porém o avanço tecnológico encurtou a vida útil dos equipamentos eletroeletrônicos e isso resultou em um problema ambiental (MATOS, 2008 apud SANTOS et al., 2017). A maioria destes equipamentos contém substâncias nocivas à saúde como chumbo, mercúrio e cádmio entre outros e, conseqüentemente, os descartes efetuados em locais impróprios ou em depósitos de lixo comum levam à contaminação do solo, do ar e das águas superficiais e subterrâneas, além de terem efeito acumulativo em todos os níveis tróficos, maléfica à saúde humana (CARDOSO et al., 2010; DEL GROSSI, 2011).

As placas eletrônicas ou placas de circuito impresso (PCIs) apresentam variações de composição e componentes (MUNIZ et al., 2017). Segundo (LI et al 2004 apud SAKURAI 2012) os materiais presentes nas PCIs podem ser categorizados em três grupos: orgânicos, metais e cerâmicos. Os materiais orgânicos são principalmente compostos de papéis e plásticos que dificultam a propagação de fogo. Nylon e poliuretano também são materiais orgânicos utilizados, porém em quantidades reduzidas. Já os metais que compõem as PCIs são: comuns, como o cobre (Cu), aço,

alumínio (Al) e latão; raros, como o tântalo (Ta) e gálio (Ga); nobres como o ouro (Au), prata (Ag) e paládio (Pd); perigosos como o cromo (Cr), chumbo (Pb), berílio (Be), cádmio (Cd), zinco (Zn), mercúrio (Hg) e níquel (Ni). As cerâmicas presentes nas PCIs são basicamente a sílica e a alumina.

Segundo (eCYCLE 2016 apud MELLO; MAYER; COSTA 2016), o procedimento para reciclagem do lixo eletrônico se inicia com a coleta e triagem dos equipamentos, quando se separam os que possuem condições de uso daqueles que não poderão ser reutilizados. A reciclagem das PCIs ainda é limitada devido à heterogeneidade dos materiais constituintes e à complexidade de sua produção. Por isso, o estudo a reciclagem desses materiais por processamento mecânico, térmico e químico ou a combinação destes estão em andamento (PARK et al., 2009 apud CALGARO et al., 2014).

Dentre os métodos que podem ser utilizados para o descarte adequado das PCIs está a logística reversa que, além do caráter de preservação ambiental, também pode contribuir para a redução de custos de produção. A logística reversa diminui o impacto ambiental do descarte impróprio de produtos eletrônicos e oferece uma oportunidade de redução de custos na produção e sustentabilidade das operações (ROQUE; PALETTA, 2012).

A logística reversa é um dos instrumentos introduzidos pela Política de Resíduos Sólidos através da Lei nº 12.305, com intuito de compartilhar a responsabilidade pelo ciclo de vida dos produtos com os *stakeholders* (SOUZA et al., 2018). Neste sentido, são inúmeros impactos ambientais causados pelos REEE. Por outro lado, formas viáveis para mitigação desta problemática estão sob investigação.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo realizar um levantamento bibliográfico acerca das principais formas de reaproveitamento das placas de circuito impresso e as alternativas para minimizar os impactos ambientais causados pelo descarte das mesmas.

METODOLOGIA

A revisão de literatura consistiu na consulta de publicações científicas, em português, indexadas no Google Acadêmico no período de 2010 a 2018, sendo utilizados

em seu sistema de busca os seguintes descritores: reaproveitamento de circuitos eletrônicos, reaproveitamento de resíduos de placas de circuitos impresso obsoletas, a logística reversa em placas de circuito impresso obsoletas. A seleção das publicações científicas de maior relevância sobre a temática foi realizada após leitura dos títulos e resumos.

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica no Google Acadêmico utilizando os descritores: reaproveitamento de circuitos eletrônicos, reaproveitamento de resíduos de placas de circuitos impresso obsoleta, a logística reversa em placas de circuito impresso obsoletas.

Foram assinaladas publicações científicas em português nos anos de 2010 a 2018. Foi realizada leitura dos títulos e resumos, e seleção daquelas de maior relevância sobre a temática.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da pesquisa realizada no Google Acadêmico, foram listados:

- 2.440 artigos sobre reaproveitamento de circuitos eletrônicos,
- 463 artigos sobre reaproveitamento de resíduos de placas de circuitos impresso obsoletas;
- 334 artigos sobre a logística reversa em placas de circuito impresso obsoletas.

Após leitura de títulos e resumos das publicações científicas foram selecionados os de maior relevância para a temática, que compreendeu:

- 08 artigos e 1 TCC sobre reaproveitamento de circuitos eletrônicos;
- 7 artigos, 1 TCC e 1 dissertação sobre reaproveitamento de resíduos de placas de circuitos impresso obsoleta;
- 15 artigos sobre a logística reversa em placas de circuito impresso obsoletas.

Através da consulta realizada à literatura foi possível verificar as principais formas de reaproveitamento das placas dos circuitos impressos (Tabela 1).

Tabela 1. As principais formas de reaproveitamento das placas dos circuitos impressos citadas na literatura pesquisada.

Título do artigo	Ano	Natureza do estudo	Principais formas de reaproveitamento
E-lixo: soluções para o futuro	2015	Análise de textos	<ul style="list-style-type: none"> Logística reversa Tecnologia Verde
Reutilização do lixo eletrônico e sua contribuição na robótica educativa	2014	Revisão de Literatura	<ul style="list-style-type: none"> Metareciclagem
TI Verde: Reaproveitamento de Lixo Eletrônico em Benefício da Educação	2016	Revisão de Literatura	<ul style="list-style-type: none"> Logística reversa
Valorização de Resíduos: recuperação de metais de Placas de Circuitos Eletrônicos	2017	Revisão de Literatura	<ul style="list-style-type: none"> Grande potencial econômico como matéria-prima fornecedora de metais.
Modelo técnico e econômico de reaproveitamento de placas de circuito impresso	2012	Pesquisa científica	<ul style="list-style-type: none"> Reciclagem
Preparação e caracterização de compósitos obtidos a partir de rejeitos poliméricos oriundos de placas de equipamentos eletrônicos	2014	Pesquisa científica	<ul style="list-style-type: none"> Reciclagem
Reciclagem do e-lixo (ou lixo eletro-eletrônico)	2010	Pesquisa bibliográfica Coleta de dados	<ul style="list-style-type: none"> Logística reversa Reciclagem
Pense Verde: o portal do Lixo eletrônico	2010	Coleta de dados	<ul style="list-style-type: none"> Reciclagem
Gestão do descarte de resíduos eletroeletrônicos com foco na TI verde	2018	Pesquisa documental Estudo de caso	<ul style="list-style-type: none"> Logística reversa TI Verde
Resíduos Eletroeletrônicos: materiais reaproveitados dentro da Cadeia de Processamento	2015	Pesquisa quantitativa e qualitativa	<ul style="list-style-type: none"> Reciclagem
Destinação dos Resíduos De Equipamentos Elétricos E Eletrônicos (REEE) Em Londrina – PR	2011	Estudo de Caso	<ul style="list-style-type: none"> Reciclagem
Análise de Argamassa de Assentamento com Incorporação de Resíduos de Placas de Circuito Impresso (PCI)	2016	Estudo de caso	<ul style="list-style-type: none"> Reciclagem (pó para argamassa)
Caracterização e Separação Física de Placas de Circuito Impresso de Computadores Obsoletos	2015	Pesquisa bibliográfica	<ul style="list-style-type: none"> Reciclagem Processo de separação granulométrica Processo de separação magnética
Recuperação Da Fase Metálica Das Placas De Circuito Impresso	2014	Pesquisa exploratória qualitativa	<ul style="list-style-type: none"> Reciclagem
Lixo eletrônico: desenvolvimento de processo de reciclagem e caracterização química de placas de circuito impresso –	2018	Pesquisa científica	<ul style="list-style-type: none"> Reciclagem

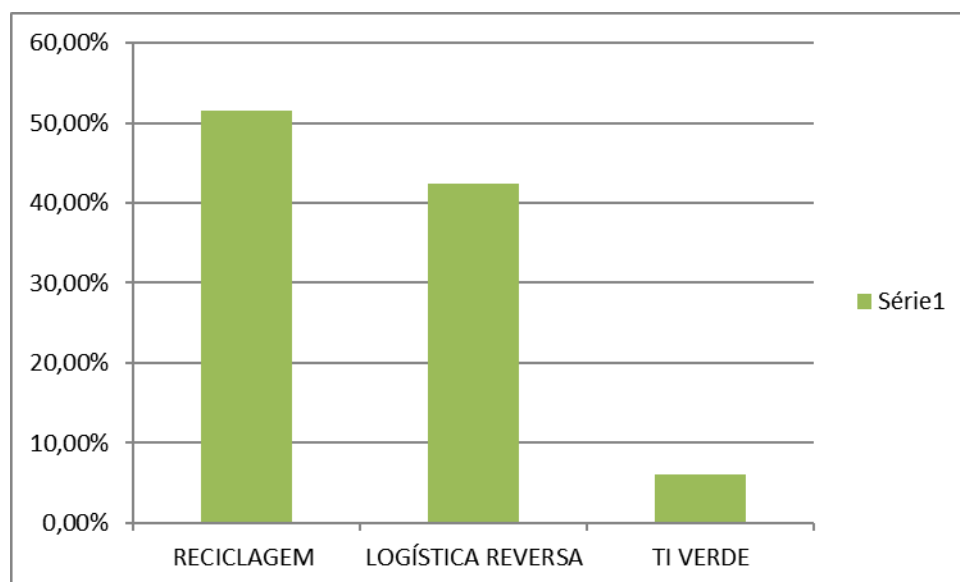
MOTHERBOARD			
Estudo da reciclagem das Blendas PC + ABS e PC + ABS + EPÓXI provenientes de sucatas eletrônicas	2010	Pesquisa científica	• Reciclagem mecânica
Processamento de placas de circuito impresso de equipamentos eletreletrônicos de pequeno porte	2013	Pesquisa científica	• Reciclagem
Caracterização e Beneficiamento Primário de Placas de Circuito Impresso (PCI) de Telefones Celulares	2015	Pesquisa científica	• Reciclagem
Usos, aplicações e benefícios da logística reversa nas indústrias no setor de equipamentos eletrônicos.	2012	Revisão bibliográfica Estudo de caso	• Logística reversa
Resíduos Eletroeletrônicos : Um Desafio Para o Desenvolvimento Sustentável e a Nova Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos	2011	Pesquisa descritiva Pesquisa bibliográfica	• Reaproveitamento • Reciclagem
Lixo eletrônico: o que fazer com os componentes eletrônicos?	2011	Pesquisa bibliográfica	• Reciclagem
Gestão de resíduos eletroeletrônicos: mapeamento da logística reversa de computadores e componentes no Brasil	2010	Pesquisa bibliográfica	• Logística reversa
Logística Reversa dos Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos: Análise do consumo e pós-consumo dos Computadores da Universidade Federal de Pernambuco	2015	Pesquisa bibliográfica	• Logística reversa
A logística reversa de resíduos eletroeletrônicos no Brasil e no mundo: o desafio da desarticulação dos atores	2015	Revisão de escopo	• Logística reversa
III-123- Diagnóstico de cinco anos de operação de uma alternativa de logística reversa de resíduos eletroeletrônicos- REEEs	2017	Estudo de caso	• Logística reversa
O Uso da Logística Reversa para Minimizar os Efeitos Causados pelo Lixo Eletrônico ao Meio Ambiente	2017	Estudo de caso Pesquisa qualitativa	• Logística reversa
Considerações sobre a destinação do Lixo Eletrônico	2016	Revisão de literatura	• Reciclagem
Recuperação do cobre de placas de circuito impresso esgotadas a partir de extração supercrítica	2014	Pesquisa bibliográfica	• Reciclagem
Os impactos e desafios no gerenciamento do resíduo eletroeletrônico		Revisão de literatura	• Logística reversa
A reciclagem em aparelhos Eletrônicos como fator da gestão	2016	Pesquisa bibliográfica	• Reciclagem

estratégica nas empresas			Estudo de caso	
Logística Reversa do Lixo eletrônico: Uma visão global dos avanços ocorridos e uma comparação com a situação brasileira	2019	Revisão de literatura		• Logística reversa
Logística reversa de equipamentos eletroeletrônicos: Uma análise do sistema no Brasil	2019	Pesquisa qualitativa		• Logística reversa
A logística reversa e a reciclagem de componentes eletrônicos como opções sustentáveis: análise de um projeto no estado de Mato Grosso	2018	Pesquisa qualitativa		• Logística reversa

Fonte: O autor (2020).

Através da análise dos dados apresentados na Tabela 1, foi possível estabelecer quais as formas de reaproveitamento mais citadas pela literatura, sendo os dados apresentados no gráfico 1.

Gráfico 1. Formas de reaproveitamento das placas dos circuitos impressos mais prevalentes na literatura pesquisada.



Fonte: O autor (2020).

Conforme visualizado na tabela 1 e gráfico 1, a reciclagem é a principal forma de reaproveitamento dos resíduos eletrônicos, sendo apontada por diversos autores como a mais indicada na gestão de resíduos. Através da pesquisa realizada foi possível perceber que os trabalhos buscam: soluções para o reaproveitamento e recuperação de placas de

circuito impresso, maneiras de remover componentes que estão soldados sem prejudicar quem está manuseando as sucatas e desenvolvimento de projetos em escolas para reaproveitamento destas sucatas.

As publicações científicas consultadas também frisam a importância da coleta seletiva para separar o que é material reaproveitável, o que é material tóxico que não pode ser descartado de qualquer maneira e a importância crucial da reciclagem, pois a sucata pode ser triturada e usada com diversas finalidades, por exemplo, na construção civil como composto de argamassa (FERRARI, 2018). Também foi observado que um dos principais problemas relacionados ao consumismo de aparelhos eletroeletrônicos é o lixo, mais especificamente, o seu descarte (COSTA SOUZA; GARCIA, 2014).

Os principais problemas que podem ser causados pelo lixo eletrônico nos aterros sanitários são o vazamento do mercúrio que irá se infiltrar no solo e causar danos ambientais e à população. Este vazamento é resultante da destruição de equipamentos eletrônicos, como, por exemplo, interruptor de circuito eletrônico. O mesmo pode ocorrer com o cádmio que além de se infiltrar no solo pode contaminar os depósitos fluviais. Já o chumbo, presente no vidro cônico dos tubos de raios catódicos, mistura-se a águas ácidas comumente nos aterros sanitários (VALENTIM; MALAGOLLI; FREIRE, 2016).

A falta de uma destinação correta, planejada e bem executada do lixo influencia na geração de impactos ambientais negativos, como a poluição do espaço de um modo geral e a ocorrência de problemas de saúde, devido ao contato da população com componentes químicos existentes na fabricação destes equipamentos (COSTA SOUZA; GARCIA, 2014).

O fato é que, independente da escolha, as sucatas eletrônicas podem ser economicamente utilizadas, ao invés de serem descartadas em aterros sanitários ou ainda diretamente no solo, causando graves problemas ambientais, por meio da contaminação de seus constituintes metálicos. Muitos desses metais são os denominados metais pesados, que podem agravar os impactos ambientais ao sofrerem os processos de lixiviação, quando dispostos inapropriadamente no solo, atingindo as águas superficiais ou percolando e alcançando as águas subterrâneas (CARVALHO, 2016).

Segundo PORTO et al., (2018), com a Tecnologia da Informação Verde (TI Verde), é possível combater as práticas de descarte indevido e tornar a rotina das empresas ecologicamente correta, orientando as entidades a estabelecendo ações

preventivas e corretivas, primando pela sustentabilidade. As assistências técnicas em equipamentos eletroeletrônicos, neste caso, são vistas como sendo participantes do ciclo da logística reversa e parte interessada no uso da TI Verde.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verificou-se que coleta seletiva, reciclagem, logística reversa e TI Verde dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, mais precisamente as placas de circuito impresso, são as principais formas de reaproveitamento citadas na literatura para diminuição dos impactos ambientais e sociais e a possibilidade de ganhos econômicos.

Diante da velocidade com que a sociedade vem se desenvolvendo e aumentando o padrão de consumo é de extrema importância a conscientização e implantação de ações mais eficazes no cumprimento de leis e decretos ambientais para mitigação desta problemática.

CONFLITOS DE INTERESSE

Os autores declaram que não existem conflitos de interesse.

REFERÊNCIAS

1. CALGARO, C. O.; SCHLEMMER, D. F.; SILVA, M. D. C. R. Da; MAZIERO, E. V.; TANABE, E. H.; BERTUOL, D. A. Recuperação do cobre de placas de circuito impresso esgotadas a partir de extração supercrítica. **XX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUIMICA**, [s. l.], 2014.
2. CARDOSO, A. L.; SILVA, L. R. Da; PASTORELLO, B. de S.; MATTHIESEN, R. C. Pense Verde : O portal do lixo eletrônico. **I CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA INSTITUTO SUSTENTAR - 2010 Anuário de Produção de Iniciação Científica Discente**, [s. l.], v. 13, n. 21, p. 459–477,

- 2010.
3. CARVALHO, K. A. De. TI Verde: Reaproveitamento de Lixo Eletrônico em Benefício da Educação. **Encontro de Tecnologia da Informação de União da Vitória - Entec (ANAIS)**, [s. l.], p. 39–47, 2016.
 4. COSTA SOUZA, V. T.; GARCIA, R. Reutilização do lixo eletrônico e sua contribuição na Robótica Educativa. [s. l.], 2014.
 5. DEL GROSSI, A. C. Destinação dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE) Em Londrina - PR. **II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, [s. l.], n. 1, p. 1–11, 2011. Disponível em:
<<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2011/III-014.pdf>>
 6. FERRARI, J. R. Reaproveitamento de resíduos de placas de circuito impresso na produção de argamassas. **Instituto Federal do Espírito Santo**, [s. l.], 2018.
 7. FERREIRA, D. D. C.; DA SILVA, J. B.; GALDINO, J. C. D. S. Reciclagem do e-lixo (ou lixo eletro-eletrônico). **V Connepi-2010**, [s. l.], n. 1, 2010. Disponível em:
<<http://connepi.ifal.edu.br/ocs/index.php/connepi/CONNAPI2010/paper/view/1191>>
 8. MUNIZ, A. F.; SILVA, H. W. Da; JUNIOR, F. G.; SIMAS, R. Valorização de resíduos: recuperação de metais de placas de circuitos eletrônicos. **REVISTA ENGENHO - UNIANCHIETA**, [s. l.], v. 13, p. 65–79, 2017.
 9. PORTO, W. S.; SOUZA, J. A. De; CAMPOS, K. S.; FREITAS, M. assuero L. De. Gestão do descarte de resíduos eletroeletrônicos com foco na TI verde. **AOS, Brazil**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 47–68, 2018.
 10. ROQUE, V.; PALETTA, M. A. Usos, aplicações e benefícios da logística reversa nas indústrias no setor de equipamentos eletrônicos. **REVISTA ENGENHO - UNIANCHIETA**, [s. l.], v. 5, p. 53–66, 2012.
 11. SANTOS, I. B. Dos; ECKERT, A.; DOMINGUES, J. B.; MECCA, M. S. O uso da logística reversa para minimizar os efeitos causados pelo lixo eletrônico ao meio ambiente. **Mostra de Iniciação Científica, Pós-graduação, Pesquisa e Extensão**, [s. l.], v. 6, n. 2017, p. 1–15, 2017.
 12. SOUZA, D. F. De; SILVA, L. R.; NAGAI, N. P.; DESIDÉRIO, P. H. M. A logística reversa e a reciclagem de componentes eletrônicos como opções

sustentáveis: análise de um projeto no estado de Mato Grosso. **Revista Estudo & Debate**, [s. l.], v. 25, n. 2, p. 27–40, 2018.

13. VALENTIM, G. H.; MALAGOLLI, G. A.; FREIRE, J. E. A reciclagem em aparelhos eletrônicos como fator da gestão estratégica nas empresas. **Revista Interface Tecnológica da FATEC Taquaritinga**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 40–52, 2016.