



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

LIDIA FRISSO
SUZANA DAS NEVES SILVA

**ANÁLISE DOS ELEMENTOS MAIS SIGNIFICANTES PARA VIABILIDADE
AMBIENTAL DE UMA EMPRESA RECICLADORA DE PLACAS DE CIRCUITO
IMPRESSO: ESTUDO DE CASO NA REGIÃO METROPOLITANA DA GRANDE
VITÓRIA - ES**

VITÓRIA - ES
2020

LIDIA FRISSO
SUZANA DAS NEVES SILVA

**ANÁLISE DOS ELEMENTOS MAIS SIGNIFICANTES PARA VIABILIDADE
AMBIENTAL DE UMA EMPRESA RECICLADORA DE PLACAS DE CIRCUITO
IMPRESSO: ESTUDO DE CASO NA REGIÃO METROPOLITANA DA GRANDE
VITÓRIA - ES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Luciana Harue Yamane.

VITÓRIA - ES
2020

RESUMO

As Placas de Circuito Impresso (PCI) são as componentes que mais despertam interesse na reciclagem dos Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REE) por conta da presença de metais preciosos. Visto que os REE são o tipo de resíduo que tem maior crescimento no mundo e são Resíduos Classe I, torna-se fundamental a logística reversa das PCI. Este trabalho apresenta uma análise dos elementos mais significantes para implantação de uma empresa recicladora de PCI e, ademais, um estudo de caso na Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV), Espírito Santo. A pesquisa é baseada em critérios do licenciamento ambiental observados na legislação e aplicações em estudos sobre viabilidade ambiental. A análise foi feita dividindo os impactos em pouco ou muito significativos em cada relação impacto-atividade, além disso, também foram analisados os impactos que seriam minimizados com a implantação da empresa recicladora dentro de uma Central de Tratamento de Resíduos (CTR). No estudo de caso, analisou-se a área da RMGV, as metas estabelecidas no Acordo Setorial para o Espírito Santo, referente à implantação do Sistema de Logística Reversa dos Produtos Eletroeletrônicos, foi considerada ainda a biohidrometalurgia como rota de reciclagem para a recicladora. Por meio da Matriz de Leopold adaptada para esta pesquisa, verificou-se três impactos ambientais relevantes: *alterações na qualidade do solo*, *alterações na qualidade dos recursos hídricos* e *ocorrência de acidentes*. Considerando a estimativa de geração e coleta de REE, foi calculado o potencial econômico bruto da cadeia de logística reversa de PCI coletadas no Brasil, podendo alcançar até quase 4 trilhões de reais no ano de 2025. Foram pesquisadas, no estudo de caso, CTR existentes na RMGV para a implantação da empresa recicladora, visto que são locais que já cumprem a legislação vigente, possuem localização estratégica e tornam a logística reversa e o descarte de rejeitos funcionais. A partir desses resultados e considerando a inexistência de uma usina de reciclagem de REE no Brasil, a estimativa da quantidade de RE coletado pelo Sistema do Acordo Setorial mostra que haverá demanda de reciclagem de PCI para todos os estados, sendo atrativa sob o ponto de vista financeiro.

Palavras-chave: Resíduos Eletroeletrônicos. Reciclagem. Viabilidade Ambiental.

ABSTRACT

Printed Circuit Boards (PCB) are the components that interest the most in the recycling of Electronic Waste (E-waste) because of the presence of precious metals. Since e-waste is the type of waste that has the highest growth in the world and is Class I Waste, reverse logistics of PCBs is essential. This work presents an analysis of the most significant elements for the implementation of a PCB recycling company and, also, a case study in the Metropolitan Region of Grande Vitória (MRGV), Espírito Santo. The research is based on environmental licensing criteria observed in the legislation and applications in studies on environmental feasibility. The analysis was made by dividing the impacts into little or very significant in each impact-activity relationship, moreover, the impacts that would be minimized with the implementation of the recycling company within a Waste Treatment Center (WTC) were also analyzed. In the case study, the Metropolitan Region of Vitória area was analyzed, the goals established in the Sectoral Agreement for Espírito Santo, regarding the implementation of the Reverse Logistics System for Electro-electronic Products, and biohydrometallurgy was also considered as a recycling route for the recycler. Through the Leopold Matrix adapted for this research, three relevant environmental impacts were verified: changes in soil quality, changes in the quality of water resources and the occurrence of accidents. Through the estimation of generation and collection of e-waste, the gross economic potential of the reverse logistics chain of PCB collected in Brazil was calculated, reaching up to almost 4 trillion reais in the year 2025. In the case study, existing WTCs were researched in MRGV for the implementation of the recycling company, since they are locations that already comply with current legislation, have a strategic location and make reverse logistics and disposal of waste functional. From these results, we can conclude that considering the inexistence of an e-waste recycling plant in Brazil, the estimate of the amount of e-waste collected by the Sector Agreement System shows that there will be a demand for PCB recycling for all states, being attractive under the financial point of view.

Keywords: Electro-electronic waste. Recycling. Environmental Viability.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 OBJETIVOS	11
2.1 OBJETIVO GERAL	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1 LOGÍSTICA REVERSA DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS	12
3.2 EMPRESAS RECICLADORAS DE RESÍDUO ELETROELETRÔNICO NO BRASIL	19
3.2.1 RECICLAGEM DE PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO	23
3.2.2 ROTA DE RECICLAGEM PARA PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO	25
3.3 ESTUDOS DE VIABILIDADE AMBIENTAL (EVA)	27
3.3.1 LICENCIAMENTO AMBIENTAL	28
3.4 ESTUDOS DE VIABILIDADE AMBIENTAL DE EMPREENDIMENTOS VOLTADOS A RECICLAGEM	30
4 METODOLOGIA	34
4.1 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	34
4.1.1 IDENTIFICAÇÃO DE LOCAIS POTENCIAIS PARA IMPLANTAÇÃO DE UMA EMPRESA RECICLADORA DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO	34
4.1.2 LEVANTAMENTO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS RELEVANTES PARA A IMPLANTAÇÃO DE UMA EMPRESA RECICLADORA DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO	36
4.2 ESTUDO DE CASO: REGIÃO METROPOLITANA DA GRANDE VITÓRIA, ESPÍRITO SANTO	39
4.2.1 ÁREA DE ESTUDO	39
4.2.2 ETAPA 1 – ESTIMATIVA DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS COLETADOS NO ESPÍRITO SANTO CONFORME AS METAS DO ACORDO SETORIAL	41
4.2.3 ETAPA 2 – IDENTIFICAÇÃO DE LOCAIS POTENCIAIS PARA IMPLANTAÇÃO DE UMA EMPRESA RECICLADORA DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO NO ESPÍRITO SANTO	42
4.2.4 ETAPA 3 – DEFINIÇÃO DE UMA ROTA DE RECICLAGEM PARA PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO	43
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1 ANÁLISE DOS ELEMENTOS MAIS SIGNIFICANTES PARA VIABILIDADE AMBIENTAL DA IMPLANTAÇÃO DE UMA EMPRESA RECICLADORA DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO	45
5.2 ESTUDO DE CASO: REGIÃO METROPOLITANA DA GRANDE VITÓRIA, ESPÍRITO SANTO	54

5.2.1 ETAPA 1 – ESTIMATIVA DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS COLETADOS NO ESPÍRITO SANTO CONFORME AS METAS DO ACORDO SETORIAL	54
5.2.2 ETAPA 2 – IDENTIFICAÇÃO DE LOCAIS POTENCIAIS PARA IMPLANTAÇÃO DE UMA EMPRESA RECICLADORA DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO NA RMGV	60
6 CONCLUSÃO	66
REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

Os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REE) são a categoria de resíduos que tem o maior crescimento em todo o mundo (LIU *et al.*, 2020a) e, em 2021, estima-se que o planeta tenha uma geração de cerca de 52,2 milhões de toneladas métricas (NEEDHIDASAN, AGARWAL, 2020).

Conforme uma pesquisa realizada em 2018 pelo Centro de Tecnologia Mineral, por meio de um questionário online em todo o Brasil, cerca de 85% dos brasileiros mantêm RE em suas casas (CETEM, 2018). Segundo a fonte, o motivo desse elevado índice de retenção pode estar relacionado ao desconhecimento de onde ou como descartar, dificuldade no transporte do RE até o ponto de descarte, falta de conscientização da população, ou até mesmo desinteresse do consumidor, em que muitas vezes é mais cômodo manter o resíduo em casa do que pesquisar por uma recicladora ou algum tipo de informação relacionada.

A crescente geração de RE demanda uma complexa gestão e gerenciamento que, no Brasil, está contemplada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a qual compreende um agrupamento de instrumentos, metas, objetivos, ações, diretrizes e princípios, que foram empregados pelo governo federal visando a gestão integrada dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010). Dentre as determinações da PNRS está a implementação obrigatória de um sistema de Logística Reversa de RE sob a responsabilidade compartilhada de fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes (USHIZIMA, MARINS, JÚNIOR, 2014).

Segundo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, as etapas do sistema de Logística Reversa para produtos eletroeletrônicos são: a) descarte pelo consumidor dos produtos eletroeletrônicos, em pontos de entrega voluntária (PEV); b) recebimento e armazenamento adequado dos produtos eletroeletrônicos nos pontos de recebimento, para posterior destinação final ambientalmente adequada; c) transporte dos produtos eletroeletrônicos dos pontos de recebimento até os pontos de consolidação ou diretamente até a destinação final ambientalmente adequada; d) transporte dos produtos eletroeletrônicos dos pontos de consolidação até a destinação final ambientalmente adequada; e) destinação final ambientalmente

adequada por meio de reutilização, reciclagem, recuperação e/ou disposição final ambientalmente adequada de rejeitos (BRASIL, 2020a).

Assim, em outubro de 2019 foi assinado o Acordo Setorial (AS) para implantação e operacionalização do sistema de logística reversa de resíduos eletroeletrônicos de uso doméstico e seus componentes em atendimento a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Segundo o Ministério do Meio Ambiente, estima-se que nos próximos dez anos, o Acordo Setorial alcance 400 dos maiores municípios brasileiros e cinco mil pontos de coleta, atingindo cerca de 60% da população brasileira (MMA, 2019). Além do cumprimento legislativo, o AS garante aos cidadãos seus direitos naturais por meio da segurança jurídica às empresas, que engloba a destinação final adequada dos resíduos eletroeletrônicos (ABINEE, 2019).

A Lei nº 12.305/2010, que institui a PNRS, estabeleceu a ordem de prioridades das ações que devem ser empregadas para a adequada gestão e gerenciamento dos resíduos, sendo: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente correta dos rejeitos. Tal sequência atende o princípio internacionalmente conhecido como hierarquia de prioridade de gestão, em que indica que a reciclagem somente deve ser aplicada depois de todas as tentativas de processos anteriores (BISPO, SANTOS, DO NASCIMENTOS, 2019).

Dentre as opções de destinação final, a reciclagem dos resíduos eletroeletrônicos destaca-se pela minimização dos impactos ambientais ao evitar que sejam depositados em aterros sanitários, além da diminuição do uso de recursos naturais nos processos de manufatura e, quando não há informalidade na reciclagem, os danos à saúde causados aos recicladores também podem ser minimizados (CAETANO *et al.*, 2019).

Como um notável motivador econômico da reciclagem de RE, temos a presença de mais de 60 diferentes metais, incluindo cobre, ouro, prata, alumínio e ferro, encontrados principalmente em Placas de Circuito Impresso (PCI) (KUMAR, RAWAT, 2017). A reciclagem também se justifica pelo aspecto ambiental, visto que as PCI possuem metais preciosos que podem ser recuperados, bem como os metais pesados, que são prejudiciais para a saúde humana, o que torna tais recursos atrativos e, juntamente, contaminantes em potencial para o meio no qual são descartados (EPA, 2015).

De acordo com o Instituto Claro (2015), a reciclagem de uma tonelada de resíduo eletroeletrônico impede a emissão de três toneladas de gás carbônico equivalente (CO_{2eq}). Logo, além de evitar a contaminação de solos e do lençol freático, a reciclagem também ajuda no combate ao aquecimento global.

A prática de reciclagem de RE, além de ser um elemento formador de consciência ecológica, também pode ser uma alternativa geradora de emprego e renda para a comunidade envolvida na comercialização desse resíduo, promovendo melhorias em aspectos socioeconômicos da população geral (COSTA, 2018).

No entanto, apesar das questões ambientais, legais e econômicas favorecerem a reciclagem de RE, o Brasil ainda precisa estruturar a cadeia de reciclagem de resíduos eletroeletrônicos por meio da instalação de empresas recicladoras para promover de fato a recuperação dos materiais que compõe os RE, como metais, vidros, polímeros e plásticos, dentre outro.

Considerando toda a variedade dos resíduos eletroeletrônicos, temos em comum a presença das Placas de Circuito Impresso (PCI), componentes dos RE que possuem maior valor agregado, visto que possuem metais preciosos dentro da gama de seus materiais, além de sua toxicidade (GÁMEZ, 2019). Apesar disso, os tratamentos de reciclagem das PCI são dispendiosos e, no Brasil, não existem empresas que realizam esse tipo de tratamento.

O estado do Espírito Santo – situado no litoral do Sudeste brasileiro, próximo aos centros de produção e consumo do país – possui apenas empresas que realizam a manufatura reversa e enviam os materiais para recicladoras de outros estados ou países. Conforme o Governo do Estado do Espírito Santo, em um raio de 1200 quilômetros atinge-se 60% do PIB nacional, sendo um estado integrado ao mercado nacional e internacional em função das rodovias 262 e 101, e do Complexo Portuário do Espírito Santo que é, hoje, um dos mais importantes do país (SILVESTRE, CAMPOS, 2017). A principal vantagem logística de possuir uma localização estratégica é a redução de custos com o transporte, o que atrai potenciais investimentos em empresas focadas na reciclagem dos resíduos eletroeletrônicos.

Diante do exposto, identificou-se como lacuna de pesquisa a análise dos elementos ambientais mais importantes para instalação de uma empresa recicladora de PCI na

Região Metropolitana da Grande Vitória em função de sua localização estratégica, atendimento à legislação vigente e integração com o sistema de logística reversa de RE em implantação. Sabe-se que a viabilidade de um empreendimento é analisada sob a dimensão técnica, econômica e ambiental, porém o presente estudo focou no segmento ambiental.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do projeto é analisar os elementos mais significantes para implantação de uma empresa recicladora de placas de circuito impresso e realizar um estudo de caso na Região Metropolitana da Grande Vitória, Espírito Santo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar os impactos ambientais relacionados ao processo de reciclagem a ser adotado na empresa recicladora;
- Analisar os elementos ambientais mais relevantes da empresa recicladora tendo como referência os requisitos para o licenciamento ambiental;
- Identificar locais potenciais para implantação de uma empresa recicladora de placas de circuito impresso;
- Estimar a quantidade de resíduos eletroeletrônicos que será coletada pelo sistema de logística reversa no Espírito Santo de acordo com as metas estabelecidas no Acordo Setorial;
- Identificar locais potenciais para implantação de uma empresa recicladora de placas de circuito impresso na Região Metropolitana da Grande Vitória.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os resíduos eletroeletrônicos (RE) têm sido foco na discussão sobre sustentabilidade de recursos, principalmente devido à demanda crescente, o uso de recursos críticos e os desafios no gerenciamento. A geração de resíduos eletroeletrônicos cresce rapidamente em todo o mundo e, com a tendência atual, deve dobrar até 2045 (PARAJULY *et al.*, 2019).

Na maioria dos casos, o RE é exportado de países desenvolvidos para países subdesenvolvidos devido ao menor custo de disposição e/ou legislação menos rígida (DOAN, *et al.*, 2019). Para gerenciar o fluxo de RE, o sistema de logística reversa tem por objetivo reduzir impactos ambientais, atuando na redução dos resíduos que são gerados tanto no processo produtivo, quanto no pós-venda e no pós-consumo. Além de atuar na redução dos custos internos e dos desperdícios, isto é, quando há retorno do material que foi coletado, sucede-se uma redução dos custos com matéria-prima. Sob o mesmo ponto de vista, considera-se também os novos nichos de mercado, estes podem ser novos produtos que tenham como base os resíduos realimentados na cadeia produtiva, que, inclusive, facilitam o ciclo reverso do pós-consumo. (PEIXOTO *et al.*, 2019).

Os produtos eletroeletrônicos evoluíram para se tornarem complexos e presentes na vida cotidiana, isso implica riscos potenciais de perda de recursos e impactos negativos no meio ambiente e na saúde humana (PARAJULY *et al.*, 2020). O Sistema de Logística Reversa (SLR) é um instrumento que viabiliza a coleta e a restituição dos resíduos ou o descarte adequado e, assim, reduz o fluxo de RE. A logística reversa é parte integrante do processo de gerenciamento de RE e, para ser eficaz, deve ser administrada do ponto de consumo ao ponto de origem (BOTTANI, MONTANARI, RINALDI, 2019).

3.1 LOGÍSTICA REVERSA DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS

A gestão e o gerenciamento dos resíduos eletroeletrônicos no Brasil foram instituídos inicialmente pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), promulgada em 2010. Dentre os objetivos da PNRS, destaca-se o incentivo à indústria de reciclagem,

tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis (BRASIL, 2010).

A PNRS estabeleceu que um sistema de logística reversa obrigatória fosse implantado para os RE, dentre outros resíduos, incorporando o princípio da responsabilidade compartilhada (BRASIL, 2010). Porém, apenas em 2019 o Acordo Setorial foi assinado. Conforme a PNRS, em seu artigo 3º, acordo setorial é definido como o “ato de natureza contratual firmado entre o poder público e fabricantes, importadores, distribuidores ou comerciantes, tendo em vista a implantação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto” (BRASIL, 2010).

Dentro do Sistema de Logística Reversa (SLR), o elo entre o setor empresarial, o poder público e a sociedade são os Acordos Setoriais, os Termos de Compromisso e os Regulamentos. Por meio destes é realizada a regulamentação do SLR com os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) (COUTO, LANGE, 2017).

Tem-se como parte do Acordo Setorial de RE o setor público, representado pelo Ministério do Meio Ambiente e outras quatro associações, sendo: a Abinee (Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica); a ABRADISTI (Associação Brasileira de Distribuição de Produtos e Serviços de Tecnologia da Informação); a Assespro Nacional (Federação das Associações das Empresas Brasileiras de Tecnologia da Informação); e a Green Eletron - Gestora para Resíduos de Equipamentos Eletrônicos Nacional.

No Acordo Setorial, encontra-se um manual operacional com intuito de orientar o que diz respeito às técnicas para o manuseio, transporte e armazenamento dos RE, assim como boas práticas no processo de logística reversa. Este tem por objetivo auxiliar na orientação técnica sobre como ocorrerá a logística reversa em seus termos práticos, e apesar das diversas particularidades de determinados resíduos eletroeletrônicos, algumas destas etapas foram definidas para assessorar nesse processo.

A etapa inicial do manual operacional consiste no descarte dos resíduos eletroeletrônicos pelo consumidor em pontos de recebimento. Apesar dos potenciais impactos associados ao RE, a maioria dos consumidores ainda reluta em descartá-lo

(GILAL *et al.*, 2019). Segundo Gilal *et al.* (2019), 75% dos produtos eletroeletrônicos obsoletos são armazenados em casa, em vez de devolvidos aos produtores.

Considerando a influência dos consumidores no descarte adequado dos RE, vários países investem em sistemas que estudam comportamentos de parte da sociedade que podem auxiliar na melhoria da taxa formal de reciclagem e cultivo de hábitos ambientais de longo prazo, dessa forma, incentiva os consumidores e ajuda a melhorar o sistema de logística reversa dos RE (LIU *et al.*, 2020a). A teoria mais clássica é a Teoria do comportamento planejado (TCP) de Ajzen (1985), que tem sido amplamente utilizada na análise de comportamentos do consumidor e fatores de influência.

Prevista na fase 2 do Acordo, serão instalados os pontos de recebimento – locais determinados para receber e armazenar os RE temporariamente. Em 2021, pretende-se implantar 24 pontos de recebimento no país, sendo alcançados 13 Estados Brasileiros. Comparando com a Suíça, país que possui uma rede de coleta de RE estruturada, existem mais de 6 mil pontos de coleta, visto que a legislação vigente da Suíça impõe aos comerciantes de eletroeletrônico o recebimento dos produtos após o uso, gratuitamente. Desse modo, a facilidade de interação do consumidor com os pontos de coleta resulta no aumento da taxa de descarte e reciclagem (MENDES, 2017).

Como a primeira etapa da Logística Reversa é a Coleta, a participação dos consumidores é fundamental nesse sistema, uma vez que o consumidor é a origem do retorno dos produtos e a LR não possui início sem a cooperação destes (MENDES, 2017). Dessa forma, a consciência da população faz diferença no empenho do SLR, consciência essa que precisa ser formada por intermédio da informação sobre educação e responsabilidade ambiental, que é concedida por campanhas e veículos de comunicação, atingindo todas as classes sociais da população.

A segunda etapa do manual operacional é o transporte dos resíduos eletroeletrônicos, que necessitam ser coletados nos Pontos de Recebimento previamente definidos e transportados por profissionais capacitados e habilitados pelas entidades gestoras até o ponto de consolidação. Nesse procedimento, o transportador terá o dever de cumprir a legislação vigente para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos,

Resolução ANTT nº 5.848/19, e manter documentado o cumprimento das obrigações legais atribuídas a este.

Conforme a cláusula primeira do Acordo Setorial, os pontos de consolidação são definidos:

“XIV - Pontos de Consolidação: locais destinados ao recebimento, controle, acondicionamento e armazenamento temporário dos Produtos Eletroeletrônicos descartados pelos consumidores nos Pontos de Recebimento, sem descaracterização dos mesmos, até que eles sejam transferidos para a destinação final ambientalmente adequada;” (ACORDO SETORIAL, 2019, p.3).

Segundo os critérios e procedimentos do transporte de RE: a) deverão ser manuseados com o devido cuidado para evitar quebra; b) deverão ser embalados ou armazenados para minimizar o risco de quebra; c) não é permitida a basculação dos coletores contendo produtos frágeis; d) não é permitida a trituração, prensagem ou compactação dos RE durante o transporte; e) poderão ser enviados diretamente para empresas de SLR se já se encontrarem separados; f) o transporte deverá ocorrer em veículo com carroceria fechada ou coberta (BRASIL, 2019a). Existem ainda cuidados específicos no transporte de determinados tipos de RE, como aqueles que contêm tubos com raios catódicos, as impressoras e similares e os equipamentos com sistema de refrigeração.

Na terceira etapa, temos o armazenamento dos resíduos eletroeletrônicos nos pontos de consolidação descrevendo quais são as atividades necessárias para um manejo otimizado do resíduo. Os requisitos básicos para as instalações que serão pontos de armazenamento são: a) deverá cumprir a Lei que institui a PNRS e manter um registro da realização de suas obrigações legais e normativas; b) o local deverá ser preferencialmente coberto e protegido contra intempéries; c) os pisos deverão ser impermeáveis para evitar infiltrações; d) os pontos de armazenamento deverão estar protegidos contra danos e extravios dos RE.

De acordo com o Anexo VI do Acordo Setorial, na etapa de triagem, os resíduos eletroeletrônicos serão separados por similaridade por meio da identificação e segregação por linha, tipo de produto e/ou tecnologia específica para destinação final, podendo ser realizada no ponto da consolidação ou em etapa posterior. Nessa etapa não haverá a manufatura reversa dos RE coletados.

O RE contém uma ampla variedade de metais valiosos, como ouro, prata, cobre e paládio, que podem ser recicladas. No entanto, também inclui substâncias perigosas na sua composição, como chumbo (Pb), cromo hexavalente (Cr(VI)) e mercúrio (Hg), além de retardantes de chama (SILVA, 2019a). De acordo com Caetano *et al.* (2019), as etapas de triagem e desmontagem são aquelas com um dos maiores índices de riscos identificados e classificados como significativos. Nesses procedimentos há maior manipulação dos resíduos pelos trabalhadores e uma maior utilização de ferramentas manuais e equipamentos. Ademais, é a etapa mais minuciosa do gerenciamento de RE, já que é necessário ter cautela na segregação de potenciais materiais para reciclagem. A segregação dos materiais é realizada por grupos, tais como: monitor, CPU, *notebook*, celulares, *tablets*, aparelhos de DVD, CD, cabos, entre outros (CAETANO *et al.*, 2019).

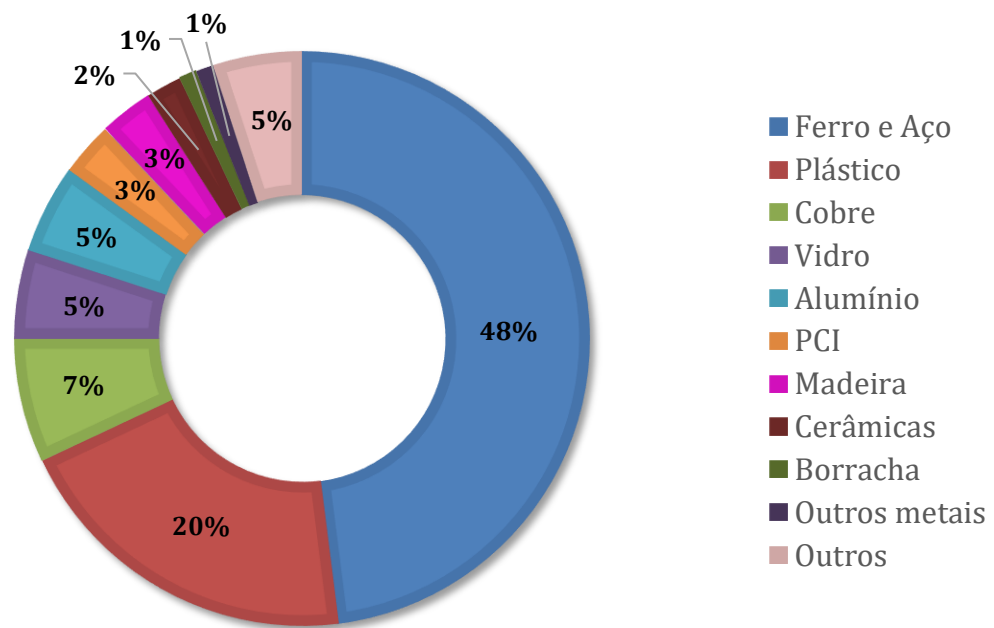
Na reciclagem, a triagem poderá ser realizada caso não tenha sido executada no ponto de consolidação/armazenamento, juntamente com a manufatura reversa. Conforme o manual operacional básico do Acordo, na manufatura reversa tem-se o manuseio dos RE a fim de separar seus principais componentes e/ou partes constituintes, sendo classificados de forma geral em polímeros, metais, materiais cerâmicos e componentes que necessitam de tratamento especial – pilhas, baterias, monitores de tubos de raios catódicos, placas de circuito impresso, peças contendo retardantes de chama, entre outros.

Em março de 2013 foi publicada a norma ABNT NBR 16.156/2013 – Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos – Requisitos para atividade de manufatura reversa, que estabelece requisitos para proteção ao meio ambiente e para o controle dos riscos de segurança e saúde no trabalho na atividade de manufatura reversa (ABNT, 2013). A norma traz como pilares a proteção ao meio ambiente, a proteção à saúde e segurança do trabalhador incluído nas atividades da cadeia reversa, a proteção dos dados de usuários que, provavelmente, estejam gravados nesses resíduos, assim como a proteção à marca do fabricante e a rastreabilidade.

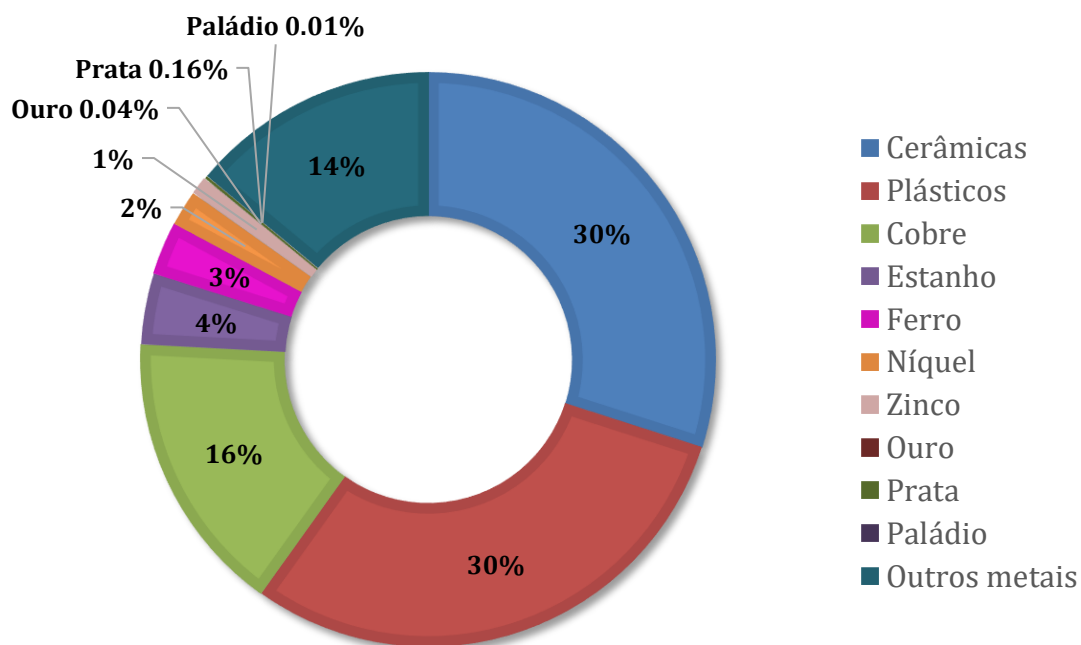
De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, o RE consiste em mais de mil substâncias divididas como perigosas e não perigosas (MMA *apud* Conselho Central de Controle da Poluição, 2008). Sendo assim, o valor desses materiais foi estimado em aproximadamente 53,4 bilhões de dólares (BALDÉ *et al.*, 2017) e, no mundo, continua a crescer a uma taxa de 3% a 5% a cada ano.

A Figura 1 indica de forma geral a composição do RE e a segmentação por meio da PCI, que representa cerca de 3% da composição total. A composição típica do RE inclui os metais básicos, como Fe, Al, Ni, Zn, Se, In, Ga, metais nobres como Cu, Pd, Au, Ag, metais tóxicos, como Hg, Be, Pb, As, Cd, Sb, plásticos, vidro e cerâmica (WANG *et al.*, 2018). Além disso, os polímeros que compõem os RE em geral são resinas à base de poli (acrilonitrila-butadieno-estireno) (ABS), poliestireno de alto impacto (HIPS), policarbonatos (PC) e misturas de óxido de polifenileno (PPO) (KAYA, 2019).

Figura 1 – Composição típica do (a) resíduo eletroeletrônico e (b) das placas de circuito impresso.



(a)



(b)

Fonte: Adaptado de Kaya, 2019.

Além dos materiais apresentados na Figura 1, alguns componentes devem receber tratamento específico em função da toxicidade, como é o caso de pilhas e baterias, que passam por processo separado de reciclagem, e dos monitores com Tubo de Raio Catódico (CRT), em função da presença de chumbo (OLIVEIRA, 2017).

Os RE também possuem materiais que normalmente não são reciclados, como papéis (adesivos, etiquetas, papel carbono, metalizados, parafinados e plastificados), plásticos (adesivos, espuma e isopor), vidros (espelhos e cerâmicas), borracha e até madeira (gabinetes de TV e aparelhos de som antigos), que em parte formam a composição das embalagens para transporte dos RE e, assim, com uma baixa participação na composição (RIBEIRO, 2019).

Por fim, as placas de circuito impresso (PCI) são os componentes que mais despertam interesse na reciclagem devido à presença de metais preciosos. A quantidade de cobre contida nas PCI pode chegar até 30% da sua composição, já a prata pode alcançar 0,03% (SOARES *et al.*, 2019). Logo, nota-se a relevância de aplicar os processos de extração dos metais contidos nas placas de circuito impresso, tanto por razões de natureza ambiental e de conservação de recursos quanto pelo seu elevado valor econômico.

A reciclagem de RE e/ou seus componentes pode ser realizada por meio da combinação de processos mecânicos, pirometalúrgicos, eletrometalúrgicos e/ou hidrometalúrgicos.

Em geral, o processo mecânico é usado como pré-tratamento e refere-se à separação mecânica dos materiais, incluindo métodos como moagem, separação eletrostática e magnética, classificação granulométrica, entre outros. Quanto ao pirometalúrgico, se dá pela separação térmica de materiais, sendo realizado com temperatura maior que 1200°C e técnicas como incineração, fusão e pirólise. O processo hidrometalúrgico concerne na lixiviação dos materiais de interesse entre as fases sólido/líquido por meio de um agente lixiviante (água régia, tiosulfato, tiouréia e cianeto) ou da ação de microrganismos (biolixiviação e biossorção) (KUMAR, HOLUSZKO, ESPINOSA, 2017; MOREIRA, 2019).

3.2 EMPRESAS RECICLADORAS DE RESÍDUO ELETROELETRÔNICO NO BRASIL

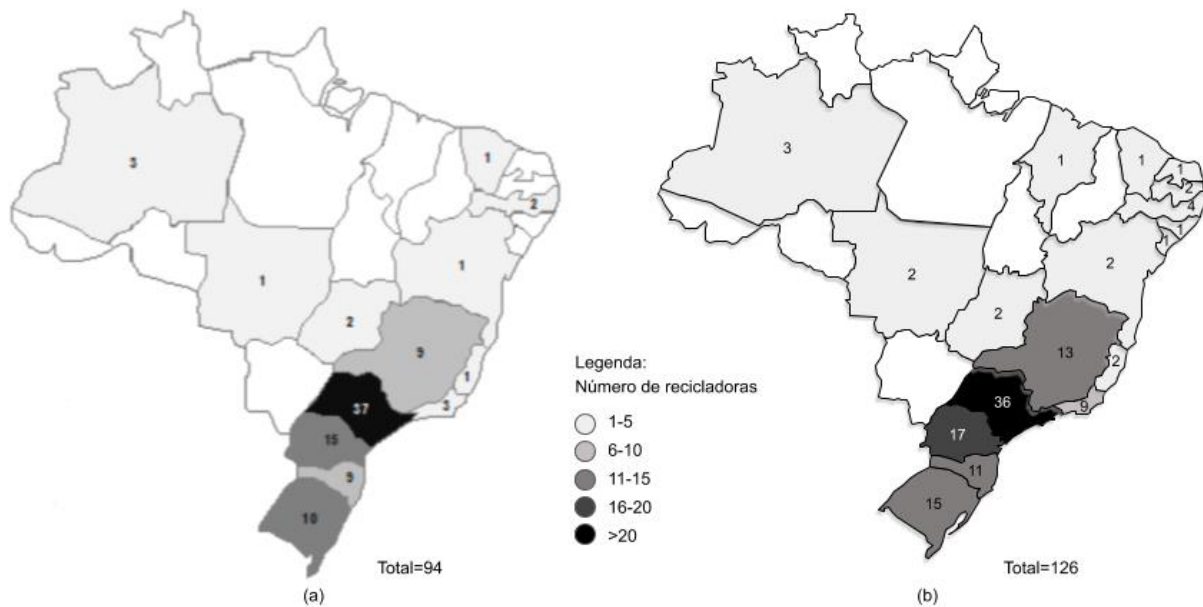
No Brasil, existem 126 unidades em operação trabalhando com o processamento de RE, distribuídas por 86 empresas diferentes espalhadas por todo o território brasileiro. Desse total, 36 unidades estão instaladas no estado de São Paulo. A maioria das empresas realiza a coleta dos RE, assim como a Manufatura Reversa e a descaracterização, e os rejeitos são destinados para aterros sanitários licenciados. Os materiais de valor agregado, depois de separados, como as placas de circuito impresso (PCI), são vendidas para usinas de reciclagem fora do país, pois no Brasil ainda não existem empresas recicladoras que extraíam os metais preciosos provenientes das PCI, por exemplo (MUNIZ *et al.*, 2017).

Geralmente, as empresas coletam RE de áreas como: informática (computador, *notebook*, *tablet*, impressora, *scanner*, *pendrives*, cartuchos de toner e tinta e periféricos), vídeo e som (televisor, aparelho de som, videocassete e câmera fotográfica), telecomunicação (celular, telefone s/fio e de mesa), eletrodomésticos e eletroportáteis (ventilador, ar condicionado, micro-ondas, ferro de passar, sanduicheira, cafeteira e liquidificador), inclusive pilhas, baterias e lâmpadas (AQUINO, 2019).

Concluído em 2012, o estudo Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos foi resultado de convênio firmado entre a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) e o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC). Entre suas fases, a primeira foi o levantamento de dados, que teve por objetivo entender o contexto dos RE no Brasil. Após a pesquisa, foi definido o modelo de logística reversa que seria aplicado e, a partir da modelagem, foi realizada a análise de viabilidade econômica.

Com base no mapeamento realizado pela ABDI em 2012, foi executado um mapeamento atualizado em 2018 com as empresas operantes no gerenciamento de RE no Brasil. A Figura 2 mostra o mapeamento de 2012 (a) e o atualizado em 2018 (b) a partir dos dados levantados na pesquisa.

Figura 2 – Mapeamento das empresas recicladoras de RE em 2012 (a) e em 2018 (b).



Fonte: (a) ABDI (2012) e (b) autoria própria (2018).

Conforme observado na Figura 2, houve aumento de empresas recicladoras de RE atuantes no Brasil no período de 2012 até 2018. Isso mostra que o mercado de reciclagem de RE vem crescendo desde a instituição da Política Nacional de Resíduos Sólidos devido aos seus objetivos e incentivos com relação à indústria da reciclagem. As regiões Sul e Sudeste destacam-se por possuir o maior número de empresas operantes que tratam os RE no Brasil, sendo o estado de São Paulo o que

mais dispõe de empresas desse tipo, diferentemente dos outros estados brasileiros onde pode-se observar poucas empresas recicladoras de RE, ou nenhuma, como é o caso de parte dos estados da região Norte.

Apesar de haver um aumento de aproximadamente 34% de unidades operantes no tratamento de RE no Brasil, ressalta-se novamente que o país ainda não possui empresas recicladoras que realizam a extração dos metais preciosos presentes nos RE. A reciclagem de RE no Brasil é constituída apenas pelo primeiro nível de tratamento (separação e desmantelamento manual) e, de forma restringida, pelo segundo nível de tratamento (algumas etapas de pré-processamento automatizadas), enquanto o terceiro nível (tratamento de metais) está geograficamente localizado em outros países, na maior parte dos casos, nos desenvolvidos, como Bélgica, Japão e Alemanha (MAZON, 2014).

Existe uma integração técnica e logística de tecnologias adequadas para diferentes fases do tratamento de RE que possibilitam a sua reciclagem completa. Disso vem que, apesar de algumas recicladoras possuírem processos semiautomáticos, como de de-gaseificação de CFCs e de corte e limpeza de cinescópio, como o estudo de STEP (2009) já havia constatado, o Brasil apresenta limites técnicos para o tratamento de materiais complexos. Para mais, os processos de separação e de desmantelamento manuais, apesar de garantir maior qualidade ao material final, são inábeis.

No caso das PCI, na prática, o que está sendo realizado é a coleta, a desmontagem e a separação das PCI, e, posteriormente, o envio para usinas de reciclagem estrangeiras para que os metais preciosos possam ser recuperados (RODRIGUES, *et. al.*, 2015). A recuperação dos metais preciosos não é realizada no Brasil, pois é necessário elevado investimento financeiro e uma quantidade considerável e constante de PCI para tornar o processo de reciclagem economicamente viável. Segundo Muniz *et al.* (2017), a parte mais complexa e dispendiosa dentre as diversas tecnologias e processos é a recuperação dos metais presentes nas PCI, porque demandam processos metalúrgicos com elevado consumo de energia. Portanto, no Brasil são realizados apenas os processos mecânicos, que requerem menor investimento inicial e utilizam apenas equipamentos como trituradores e separadores magnéticos. O Quadro 1 compila algumas empresas e seus processos respectivos,

em que atuam comercialmente na reciclagem de placas de circuito impresso no mundo.

Quadro 1 – Usinas de reciclagem de placas de circuito impresso no mundo.

NOME DA EMPRESA	PAÍS DE ORIGEM	TIPO DE PROCESSO APLICADO	FONTE BIBLIOGRÁFICA
Armetals	Estados Unidos	-	(MAZON, 2014)
Cimélia Reciclagem	Cingapura	(1) Separação de metais por densidade e eletrólise (2) Filtragem de dioxinas (3) Liquidificação (4) Decantação e desintoxicação (5) Refino de metais	(AZEVEDO, 2017; MAZON, 2014)
Hamaya	Japão	(1) Torrefação (2) Derretimento (3) Redução Mecânica (Fresagem e peneiramento) (4) Químico	(GIGANTE, 2016; MAZON, 2014)
Noranda	Canadá	-	(AZEVEDO, 2017)
Technology Conservation Group (TCG)	Estados Unidos	-	(MAZON, 2014)
Umicore	Bélgica	-	(GIGANTE, 2016; MAZON, 2014)
URT Recycling Technology	Alemanha	(1) Trituração (2) Separação (3) Eletrólise e hidrometalurgia (4) Pirólise	(MACHADO, 2015)
Elorec GmbH	Alemanha	-	(MACHADO, 2014)

Fonte: Autoria própria.

Cabe ressaltar que no Brasil nem todo RE, incluindo as PCI, são enviados para empresas recicladoras (tais como as apresentadas no Quadro 1, pois uma parte acaba sendo disposta em aterros sanitários por ser descartada junto aos resíduos domésticos. Com isso, os componentes de maior valor econômico são perdidos com a disposição dos RE em aterros sanitários ou evadidos para países que dispõem de tecnologias capazes de recuperar os metais preciosos, tais como Bélgica, Canadá e Cingapura (HSU, FROM, 2016).

Por fim, além das empresas brasileiras de reciclagem possuírem um déficit com relação a recuperação dos metais preciosos, observa-se que o número de empresas recicladoras pode ser insuficiente, pois vários estados não as possuem e, geralmente, no restante dos estados, as empresas de reciclagem estão localizadas nas capitais ou centros urbanos encarecendo o custo logístico, podendo inviabilizar financeiramente a reciclagem dependendo das distâncias a serem consideradas.

3.2.1 RECICLAGEM DE PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO

Os RE podem ser destinados a aterros, incinerados ou reciclados por vários tipos de tecnologias (HSU *et al.*, 2019). Comparado aos tratamentos diretos, a reciclagem é o mais favorável devido à consideração ambiental e econômica, dado o enriquecimento de materiais nas PCI. É considerado um recurso secundário, uma vez que a concentração de metais preciosos, resinas orgânicas ou polímeros na PCI é normalmente dez vezes maior que os resíduos não renováveis são (às vezes até cem vezes mais altos) (NING *et al.*, 2017). Portanto, a reciclagem não é simplesmente a redução de resíduos, mas a reutilização de recursos com melhor viabilidade econômica e menor impacto ambiental.

Segundo a Associação Brasileira da Indústria Eletroeletrônica (Abinee), o agrupamento dos equipamentos eletroeletrônicos se dá em quatro linhas: Linha Branca (equipamentos de cozinha, refrigerados e área de serviço); Linha Marrom (equipamentos de áudio e vídeo); Linha Verde (equipamentos de informática e telecomunicação) e Linha Azul (equipamentos portáteis e ferramentas elétricas). A Linha Verde possui vida útil curta (~ 2 - 5 anos), sendo os equipamentos de pequeno porte (~ 0,09 Kg - 30 Kg), os quais diversidade de componentes (ABDI, 2012).

A reutilização de alguns componentes do RE pode ser alcançada apenas com a desmontagem. A trituração do material gera produtos para reciclagem, incineração e aterro sanitário. Assim, a cadeia de reciclagem dos resíduos eletroeletrônicos é classificada em quatro principais etapas subsequentes (KAYA, 2018; KAYA, 2019):

- a) Coleta e pré-classificação;
- b) Pré-tratamento: desmontagem, redução de tamanho e classificação granulométrica;
- c) Pré-processamento: separação e extração;
- d) Processamento final: purificação e refino.

O método de separação mecânica aproveita as vantagens das diferenças de densidade, magnetismo e eletrocondutividade dos RE e se tornou cada vez mais importante na reciclagem de PCI, embora seja considerada um processo de assistência técnica para as etapas seguintes de reciclagem (JANACOVA *et al.*, 2019).

Na pirometalurgia, as técnicas de reciclagem são conduzidas pela decomposição do RE na ausência de ar ou presença de atmosfera inerte. O objetivo desse processo se concentra na recuperação de recursos, que inclui a concentração de metais e outras matérias-primas da PCI, decompondo a fração não metálica em orgânicos de baixo peso molecular líquido ou gás formado (HAN *et al.*, 2019).

As técnicas de reciclagem de hidrometalurgia utilizam lixiviação de solventes e reciclagem da fração metálica (principalmente cobre e ouro) (MOOSAKAZEMI *et al.*, 2020). O processo biohidrometalúrgico é semelhante à hidrometalurgia, uma vez que ambos incorporam o processo de lixiviação. Contudo, em vez de adicionar reagentes de lixiviação, as técnicas de reciclagem da biohidrometalurgia normalmente utilizam os produtos químicos produzidos pelo próprio microrganismo, incluindo orgânicos/ácidos inorgânicos, cianeto ou íons sulfato, para o processo de lixiviação biológica. Após a lixiviação, em ambos os casos, os íons metálicos formam complexos ou precipitados e, portanto, são separados do caldo de cultura para uso direto ou refino adicional (KAYA, 2019; MOREIRA, 2019).

O processamento de reciclagem dos RE pode ser feito de várias formas, como citado pelos métodos de tratamento. Particularmente, à medida que as PCI possuem como destino os aterros sanitários, a disponibilidade de elementos facilmente mineráveis,

particularmente os metais, diminui, perturbando o material geral no ciclo (HSU *et al.*, 2019). Tendo em vista a heterogeneidade, toxicidade e o valor agregado da composição da PCI, a escassez de empresas recicladoras de PCI no Brasil e o nicho de produtos eletroeletrônicos com menor vida útil, neste trabalho consideramos a implementação de uma empresa de reciclagem que terá como foco as Placas de Circuito Impresso da Linha Verde.

3.2.2 ROTA DE RECICLAGEM PARA PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

A partir de estudos – citados a seguir – que demonstram a viabilidade técnica do processo escolhido, foi possível identificar rotas de reciclagem para placas de circuito impresso.

A pesquisa de Arshadi, Yaghmaei e Mousavi (2019), teve por objetivo encontrar a combinação ideal das PCI mais importantes para maximizar a recuperação de Cu, Ni e Fe usando *Acidithiobacillus ferrooxidans*. Foram explorados métodos como a mesa de agitação para obter uma amostra concentrada de RE, método *D-optimal*, adotado para encontrar a combinação ideal de RE e FTIR (Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier), que é um método de caracterização físico para análises qualitativas e determinações quantitativas de traços de elementos. O estudo alcançou taxas de recuperação de 100% de cobre, 54% de níquel e 100% de ferro.

Becci *et al.* (2020) analisaram um processo de biolixiviação em duas etapas, capaz de reduzir a toxicidade do metal no metabolismo das bactérias, usando a bactéria *A. ferrooxidans* e a *Leptospirillum ferrooxidans*. O processo usa o íon férrico gerado pela oxidação bacteriana para lixiviar o cobre e o zinco das PCI. O estudo alcançou 94% e 70% de recuperação para cobre e zinco, respectivamente. Por fim, o resultado experimental traz a avaliação da pegada de carbono que provou a vantagem ambiental, em comparação com o processo hidrometalúrgico.

Por fim, Priya e Hait (2020) utilizaram as bactérias *A. ferrooxidans* and *A. acidophilum* em experimentos com cepas puras e cepas mistas. A morfologia superficial das cepas brutas de PCI foi avaliada utilizando SEM (microscopia de varredura eletrônica) e EDS (espectroscopia de energia dispersiva). O conteúdo de Fe (II) foi medido colorimetricamente por espectroscopia utilizando o método fenantrolina. Além disso,

o conteúdo das substâncias poliméricas extracelulares (EPS, sigla em inglês) foi determinado em termos do conteúdo de seus principais constituintes por espectroscopia e o método de ácido fenol-sulfúrico. A maior taxa de recuperação é encontrada pela cepa mista com 96% de cobre, 94,5% de zinco, 75% de níquel e 74,5% de chumbo. A eficiência da recuperação por precipitação eletroquímica alcançada foi superior a 99% de todos os metais básicos sobreditos.

De maneira resumida, a rota de reciclagem envolve a desmontagem manual do RE para remoção das PCI, o tratamento mecânico (tratamento preliminar), seguidos das etapas de biolixiviação, lixiviação química e precipitação eletroquímica, conforme descrito a seguir.

Na desmontagem manual, os resíduos eletroeletrônicos descartados são inicialmente separados por tipo, já que a composição das PCI varia conforme o equipamento, por exemplo, *smartphones*, *tablets*, *desktops* e *notebooks* concentram mais metais preciosos. As PCI são removidas manualmente e o material restante é destinado às empresas de reciclagem específicas (polímeros, metais, vidro etc.) (BELLO *et al.*, 2015).

As PCI seguem para o processamento mecânico, também conhecido como tratamento preliminar, que começa pelo processo de cominuição em moinhos seguida da separação magnética, onde a fração metálica, concentrada principalmente por metais como ferro e níquel, é separada da fração não metálica (YAMANE, 2012).

Após o tratamento preliminar, a fração não metálica é submetida ao processo de biolixiviação. Nesse processo, a solubilização dos metais, em especial do cobre, é promovida a partir de agentes oxidantes produzidos por microrganismos, incluindo bactérias ou fungos (NING *et al.*, 2017), sendo conduzida à temperatura ambiente em agitadores orbitais (YAMANE, 2012). Ao final da biolixiviação, tem-se uma fração líquida (lixívia contendo íons metálicos de cobre e outros metais) e uma fração sólida (mistura de metais preciosos com outros metais e fibra de vidro).

A fração líquida segue para a precipitação eletroquímica, em que os íons metálicos dissolvidos são precipitados utilizando-se eletrodos (catodo e anodo) imersos dentro da solução e ligados a uma fonte elétrica. O principal metal recuperado é o cobre, enquanto a fração sólida, contendo os metais preciosos, passa por um processo de

lixiviação química e os íons metálicos solubilizados também são precipitados eletroquimicamente.

3.3 ESTUDOS DE VIABILIDADE AMBIENTAL (EVA)

Segundo o Estudo de Viabilidade Ambiental (EVA), realizado no ano de 2011, no caso de um empreendimento, o principal objetivo do EVA é assegurar a viabilidade ambiental do próprio. Isso se dá a partir da descrição e base do projeto e, para termos de comparação futura, é feita a análise da situação atual das áreas de influência. Essas áreas são passíveis dos impactos ambientais potenciais, resultantes da construção e/ou atividade do empreendimento, por isso é necessária sua identificação e avaliação. Assim, são consideradas práticas de gestão dos impactos causados, a fim de minimizar e/ou extinguir as mudanças negativas e fomentar as vantagens que serão causadas pela implantação do empreendimento (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2011).

Dessa maneira, o EVA de um empreendimento deve envolver a indicação, por parte do empreendedor, das melhores opções tecnológicas e locacionais para a obra ou atividade, consideradas as melhores técnicas disponíveis para analisar tais alternativas com relação aos impactos ambientais que serão provocados e considerada a concepção da sociedade compreendida.

O EVA compreende a fase preliminar e parte essencial de alguns processos de licenciamento ambiental e é tratado como fase preliminar ao EIA/RIMA de todo empreendimento que cause considerável impacto ambiental. As licenças ambientais estão estabelecidas no Decreto nº 99.274/90, que regulamenta a Lei nº 6.938/81, e detalhadas na Resolução CONAMA nº 237/97, sendo o EVA mencionado na Licença Prévia, em seu Artigo 8º:

*“I - Licença Prévia (LP) - concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação;”
(CONAMA, 1997, p.3)*

A LP estabelece as condições para a viabilidade ambiental do empreendimento ou atividade, após exame dos impactos ambientais por ele gerados, dos programas de redução e mitigação desses impactos negativos e de maximização dos impactos positivos, permitindo, assim, que o local ou trajeto escolhido como de maior viabilidade tenha seus estudos e projetos detalhados.

Em função da carência de empresas recicladoras de RE no Brasil, em especial de PCI, a presente pesquisa realizou uma análise dos elementos mais significantes para a viabilidade ambiental de uma empresa recicladora de PCI, com estudo de caso na Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV), ES. Para o levantamento dos critérios ambientais, tomou-se como base a legislação referente ao licenciamento ambiental.

3.3.1 LICENCIAMENTO AMBIENTAL

Segundo o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) (BRASIL, 2018), todo empreendimento/atividade com potencial poluidor ou que pode degradar o meio ambiente que será inserido possui uma obrigação legislativa prévia para sua instalação – o licenciamento ambiental. Essa exigência é compartilhada pelos Órgãos Estaduais e Municipais de Meio Ambiente e pelo IBAMA como partes integrantes do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA).

Na Resolução CONAMA 237/1997, em seu artigo 8º, encontram-se descritas as diretrizes do poder público para controle da expedição de licença ambiental, a qual é composta de três etapas distintas:

- Licença Prévia (LP) - concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condições a serem atendidas nas próximas fases da implementação.
- Licença de Instalação (LI) - autoriza a instalação do empreendimento ou atividade de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condições.

• Licença de Operação (LO) - autoriza a operação da atividade ou empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental e condições determinadas para a operação.

Nessa mesma Resolução do CONAMA, em seu artigo 10º, são descritos os procedimentos genéricos para obtenção de licença, como: documentos e estudos ambientais necessários para o início do processo de licenciamento, realização de vistorias técnicas do órgão ambiental, emissão de parecer técnico conclusivo, entre outros.

Um dos instrumentos associados ao Licenciamento Ambiental é a Avaliação de Impacto Ambiental (AIA), considerado como um instrumento de planejamento e prevenção ao dano ambiental pela PNMA (BRASIL, 1981). A AIA é um processo que objetiva a manutenção e preservação da qualidade ambiental, levando-se em consideração os interesses socioeconômicos, tendo o objetivo de identificar e avaliar os impactos negativos e positivos de um empreendimento, visando a adoção de medidas mitigadoras, com o propósito de evitá-los ou minimizá-los, e os positivos, visando maximizá-los (CARVALHO, 2019).

Os requisitos básicos para realização de uma AIA são divididos em três etapas: (1) identificação e previsão das alterações nos processos naturais; (2) avaliação da intensidade das alterações; (3) análise da reversibilidade das alterações.

A legislação brasileira relacionada ao Licenciamento Ambiental e a AIA são distribuídas em diversas leis e resoluções. O Quadro 2 mostra os principais diplomas legais de alcance nacional e estadual.

Quadro 2 – Legislação brasileira relacionada ao Licenciamento Ambiental.

LEGISLAÇÃO	DEFINIÇÃO/ COMPETÊNCIA
Constituição Federal de 1988	-
Lei Federal n.º 6.938/1981	Política Nacional do Meio Ambiente
Lei Complementar Federal n.º 140/2011	Regras de competência para processar o licenciamento ambiental
Lei Federal n.º 12.651/2012	Código Florestal
Resolução CONAMA n.º 237/1997	Estabelece quais atividades requerem o licenciamento ambiental, entre outras regras gerais

Resolução CONAMA n.º 001/1986	Estabelece as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para o uso e implementação da AIA
Resolução CONAMA n.º 009/1987	Estabelece os casos em que deve ser realizada audiência pública no licenciamento ambiental
Resolução CONAMA n.º 006/1986	Estabelece as formas de dar publicidade ao licenciamento ambiental
Instrução Normativa Federal 02/2012	Orienta a formulação e execução de projetos de educação ambiental fazendo parte das exigências nos processos de emissão de licenças ambientais de qualquer empreendimento no âmbito do licenciamento ambiental federal
Decreto Estadual n.º 4.039/2016	Atualiza as disposições sobre o Sistema de Licenciamento e Controle das Atividades Poluidoras ou Degradoras do Meio Ambiente - SILCAP, com aplicação obrigatória no Estado do Espírito Santo

Fonte: Autoria própria.

Ademais, no âmbito estadual, tem-se Instruções Normativas do IEMA, como a nº 12-N/2016, nº 14-N/2016 e a nº 1/2010, que estabelecem procedimentos relacionados ao licenciamento ambiental quanto aos impactos da atividade. No caso de produtos perigosos, deve-se realizar sua manipulação somente em área coberta, piso impermeabilizado e dotada de sistema de drenagem, tanto superficial quanto para drenagem dos líquidos que lixiviam dos resíduos sólidos no processo.

Por fim, a AIA oferece suporte para a análise das solicitações de licença ambiental nos casos de empreendimentos com potencial de causar significativo impacto ambiental (ALMEIDA, MONTAÑO, 2017). Por isso e por todos os pressupostos da legislação ambiental apresentados, é perceptível que a Avaliação de Impacto Ambiental é fortemente ligada ao Licenciamento Ambiental e há uma estreita relação entre eles, além de serem instrumentos de efetiva importância para a gestão e proteção ambiental.

3.4 ESTUDOS DE VIABILIDADE AMBIENTAL DE EMPREENDIMENTOS VOLTADOS A RECICLAGEM

A presente pesquisa visou o levantamento de estudos relevantes para implantação de uma empresa recicladora de PCI e utilizou como referencial metodológico a

legislação referente ao licenciamento ambiental e estudos de viabilidade ambiental de empreendimentos voltados à reciclagem.

Em função da lacuna de pesquisa e com a finalidade de conhecer estudos atrelados à temática desta pesquisa – Estudos de Viabilidade Ambiental de empreendimentos voltados à reciclagem – foi realizado um levantamento bibliográfico em plataformas digitais, como *Scielo*, *Science Direct*, *Scopus*, Google Acadêmico, Periódico CAPES, entre outros. Assim, foi possível identificar trabalhos que investigaram a viabilidade ambiental de empreendimentos voltados à reciclagem.

O Trabalho de Conclusão de Curso de Débora Menescal, intitulado *Análise de Viabilidade Ambiental para Implantação de uma Usina de Reciclagem de Resíduos da Construção e Demolição na Cidade de Mossoró-RN*, foi realizado no ano de 2019 e teve por objetivo geral realizar uma análise da viabilidade ambiental de implantação de uma usina de Resíduo da Construção e Demolição (RCD) na cidade de Mossoró-RN. A pesquisa se classifica como de caráter descritivo, em que a obtenção de dados referentes à geração de RCD no município foi realizada por meio de entrevistas em seis empresas privadas responsáveis pelo recolhimento de resíduos de construção civil e, para uma melhor análise da viabilidade ambiental, foi elaborado o EIA/RIMA do empreendimento. A fim de complementar, foram realizadas também análises em diversos bairros na cidade de Mossoró em relação à disposição dos RCD para correlacionar os impactos ambientais decorrente das ações da destinação final dos resíduos da construção civil. A autora relatou que, dentre todas as empresas entrevistadas, a maior parte não tem conhecimento sobre a Resolução nº307/2002 do CONAMA e sobre a Lei 12.305/2010, e as empresas que possuem ciência não cumprem as exigências estabelecidas. No âmbito relacionado à disposição dos RCD pela população, foi confirmado por registros fotográfico que por toda a cidade os RCD são dispostos inadequadamente. Por fim, a autora conclui que a Usina de Reciclagem de RCD teria como resultado um impacto positivo ao meio ambiente e à sociedade, mesmo que a implantação e operação da usina possa ocasionar impactos significativos ao meio ambiente (MENESCAL, 2019).

A pesquisa de autoria de Carolina Andrade, Raildo de Jesus e Jefferson Cruz analisou a viabilidade de implantação de uma Usina de Reciclagem de Pneus em Teixeira de Freitas - BA. O estudo realizou pesquisas bibliográficas sobre logística reversa dos

pneus e análises bibliográficas e documentais para conhecer os pontos de coleta de pneus em Teixeira de Freitas, buscando informações de origem e destinação atual dos pneus inservíveis por meio de algumas associações de reciclagem. No caso desse trabalho, a recicladora apenas iria triturar os pneus, sem passá-los por nenhum processo químico com potencial poluidor. Relacionando aos aspectos ambientais, a recicladora de pneus seria uma possibilidade de melhoria da logística reversa, contribuindo com a criação de objetivos e metas para redução e eliminação desses inservíveis. O estudo concluiu que a recicladora de pneus inservíveis pode ser considerada um empreendimento viável em termos ambientais, mostrando-se uma alternativa para a solução da problemática em relação a essa temática. Porém, com base nos resultados da pesquisa, notou-se um elevado custo de investimento inicial para a implantação da empresa e um longo prazo para retorno desse investimento (ANDRADE, JESUS, CRUZ, 2015).

A pesquisa feita por LIU *et al.* (2020b) analisou tanto a viabilidade ambiental quanto a econômica do processo de reciclagem hidrometalúrgico de PCI e baterias de íon de lítio de celulares usados. A metodologia da pesquisa foi dividida em quatro pontos: (1) reciclagem hidrometalúrgica em prática, incluindo os processos de pré-tratamento e a etapa de descarte final; (2) avaliação dos impactos ambientais associados ao processo hidrometalúrgico, em que segue a metodologia nas normas ISO 14040 e 14044 (Avaliação do Ciclo de Vida); (3) avaliação econômica com um modelo de despesas otimizado, considerando o retorno sobre o investimento (ROI) como um indicador econômico para a reciclagem; (4) estratégia de diminuição dos impactos ambientais relativos ao processo de tratamento e descarte da reciclagem. Como conclusão, os resultados mostraram que o processo hidrometalúrgico apresentou alta eficiência de recuperação, com a taxa de recuperação de ouro, paládio e cobre sendo superior a 90%. O retorno sobre o investimento (ROI) desse processo foi de até 29%, indicando que as empresas recicladoras podem alcançar a autossuficiência e, além disso, os benefícios ambientais totais foram mais significativos em comparação com o dano ambiental total liberado pelo processo hidrometalúrgico, representando um respeito ambiental significativo (LIU *et al.*, 2020b).

Por fim, temos a pesquisa de Geraldo Neto, Auro Correia e Adriano Schroeder, que teve como objetivo avaliar as vantagens econômicas e ambientais da adoção da logística reversa de RE para reciclagem e reaproveitamento de recicladoras no Brasil

e na Suíça. A metodologia se deu por meio de entrevista e observação dos gestores de transporte, fabricantes de RE e recicladoras. Além disso, utilizou-se a análise do retorno sobre o investimento (ROI) para a análise econômica e o fator de intensidade de massa (MIF), que torna possível medir o impacto ambiental em relação a materiais e consumo. Para comparação da vantagem econômica com o ganho ambiental, os índices foram calculados a partir de equações matemáticas. A pesquisa concluiu que a adoção da logística reversa de RE para reciclagem e reaproveitamento resultou na redução do impacto ambiental e ganhos econômicos para os fabricantes e recicladores, indicando um mercado promissor no Brasil. No entanto, o processo de reciclagem RE no país é descentralizado e, portanto, o desenvolvimento de uma rede de cooperação como um todo é complexo. Ademais, a recuperação de metais preciosos de PCI é um processo executado principalmente por empresas estrangeiras, pois os fabricantes e recicladores brasileiros ainda não aplicam essa tecnologia (NETO, CORREIA, SCHROEDER, 2017).

A partir das pesquisas sobre a viabilidade ambiental relacionadas a reciclagem supracitadas, delineou-se o procedimento experimental na metodologia, com base nos critérios adotados no licenciamento ambiental.

4 METODOLOGIA

4.1 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O procedimento experimental foi realizado conforme detalhado a seguir.

4.1.1 IDENTIFICAÇÃO DE LOCAIS POTENCIAIS PARA IMPLANTAÇÃO DE UMA EMPRESA RECICLADORA DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

Para a identificação de locais potenciais para instalação de uma empresa recicladora de PCI, destacou-se neste trabalho Centrais de Tratamento de Resíduos (CTR) já existentes que possuem áreas disponíveis, visto que estes locais cumprem com os requisitos técnicos e legais que facilitam alguns aspectos para a elaboração do projeto, implantação e operação de uma empresa recicladora.

De acordo com a NBR 10.157/1987 (ABNT, 1987),

“para assegurar o projeto, instalação e operação adequados de um aterro de resíduos perigosos são estabelecidas exigências relativas à localização, segregação e análise de resíduos, monitoramento, inspeção, fechamento da instalação e treinamento de pessoal.” (ABNT, 1987, p.3).

Nessa norma, identificou-se alguns parâmetros necessários para a localização ideal de um aterro de resíduos perigosos como: proteção de recursos hídricos subterrâneos e superficiais, topografia do local, disposição de resíduos líquidos, emissões gasosas, distância de núcleos populacionais, plano de emergência, entre outros (ABNT, 1987).

Para uma CTR estar em pleno funcionamento de suas atividades, entende-se que cumpre todos os requisitos previstos na legislação vigente. Logo, é possível admitir que a empresa em estudo poderia ser alocada dentro da área disponível de uma CTR, direcionando a identificação do local em potencial. Tal localização não exclui o fato de que a empresa em questão deve se ater a todas as exigências para sua implantação.

No Brasil, um dos métodos possíveis e convencionais de descarte do RE é o aterro sanitário (MANÉO *et al.*, 2019), ou seja, os RE que seriam tratados pela usina recicladora chegam em locais que possuem/são um aterro sanitário, como por

exemplo, uma Central de Tratamento de Resíduos. Considerando a implantação de uma empresa recicladora dentro de uma CTR, tem-se como vantagem a chegada da matéria prima até o local. Ademais, nota-se que haveria uma diminuição dos custos com o transporte dos rejeitos gerados pela usina recicladora, sendo que estes serão descartados dentro da própria CTR.

De acordo com Papadopoulos *et al.*, os veículos movidos a diesel são considerados como dominantes na contribuição da poluição atmosférica e, conseqüentemente, na saúde da população (PAPADOPOULOS *et. al.*, 2020). Com o menor uso do transporte rodoviário para a destinação dos rejeitos gerados, diminui-se também os gases emitidos e os custos relacionados a este transporte, assim como o trânsito rodoviário.

Outra vantagem dessa localização é que uma CTR já possui ao menos uma distância mínima indicada pelos órgãos reguladores, entre a empresa e a população afetada pelos impactos causados, que traz saúde e segurança das comunidades do entorno. Entende-se, portanto, que a implantação da empresa recicladora dentro da área de uma CTR causa a redução de impactos ambientais e de gastos financeiros (ABNT, 1987).

Desse modo, para uma cidade/localidade que não possua uma Central de Tratamento de Resíduos, será mais custoso a implantação de uma empresa recicladora de RE, pois precisará cumprir todas as exigências legais com relação ao empreendimento, salvo as demais vantagens supracitadas. Diante do exposto, a indicação para locais que não possuem CTR é realizar uma pesquisa da presença de CTR nas comunidades mais próximas e, assim, analisar o custo-benefício da distância e cumprimentos a serem realizados.

Neste trabalho, considera-se os elementos ambientais mais significantes para implantação de uma empresa recicladora de RE, porém ainda existem o âmbito econômico e técnico, que não fazem parte do escopo. Desse modo, pode haver exemplos de localidades com a ausência de uma CTR, mas com necessidade de investimento para tal ou que possuem empresas recicladoras de outros materiais em curta distância, com uma infraestrutura e mão de obra técnica em determinada parte. Conseqüentemente, a análise do local ideal para a implantação de uma empresa

recicladora de RE, precisa considerar não somente a viabilidade ambiental, mas também a técnica, econômica, social, entre outras.

Assim sendo, o objetivo dessa etapa foi orientar um local propício para implantação de uma empresa recicladora de placas de circuito impresso.

4.1.2 LEVANTAMENTO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS RELEVANTES PARA A IMPLANTAÇÃO DE UMA EMPRESA RECICLADORA DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

Nessa etapa, os impactos relacionados ao processo de reciclagem e a instalação da empresa recicladora pertinentes à avaliação de impacto ambiental foram levantados a partir de revisão bibliográfica. O conjunto de impactos considerados foi resultado da junção do Manual para Elaboração de Estudos Ambientais da CETESB com os impactos contidos no livro de Sánchez, Avaliação de Impacto Ambiental - Conceito e Métodos (CETESB, 2014; SÁNCHEZ, 2013).

Diferente de muitos empreendimentos, uma empresa de reciclagem de RE não possui referências de impactos pré-definidos para avaliação, por conta da escassez desse ramo de atuação. Assim, fez-se a junção de empreendimentos de diversas áreas, elaborando uma lista de impactos prováveis ao estudo proposto, sendo expostos na Quadro 3.

Quadro 3 – Lista de impactos potenciais selecionados para as etapas de planejamento, implantação e operação.

Impactos na Etapa de Planejamento	Impactos na Etapa de Implantação	Impactos na Etapa de Implantação/Operação	Impactos na Etapa de Operação
<ul style="list-style-type: none"> Geração de expectativa na população. 	<ul style="list-style-type: none"> Interferências em recursos hídricos; Geração de resíduos de demolição; Perda de cobertura vegetal; Interferências em áreas protegidas; Interferências sobre o patrimônio cultural e natural. 	<ul style="list-style-type: none"> Desencadeamento e intensificação de processos de dinâmica superficial; Interferências em áreas contaminadas; Impactos sobre a fauna; Interferências em infraestruturas e serviços públicos; 	<ul style="list-style-type: none"> Alterações na qualidade dos recursos hídricos; Alterações na qualidade do solo; Alterações nos níveis de ruído; Alterações na qualidade do ar; Riscos à saúde pública; Ocorrência de acidentes;

		<ul style="list-style-type: none"> • Impactos na infraestrutura viária e no tráfego; • Aumento da renda. 	<ul style="list-style-type: none"> • Odor; • Impacto visual.
--	--	--	--

Fonte: Adaptado de CETESB (2014) e SÁNCHEZ (2013).

Para elaboração da listagem final dos impactos da empresa recicladora, complementou-se utilizando Sánchez (2013), no qual foi possível avaliar e selecionar as principais atividades dos seguintes empreendimentos: mineração, aterro de resíduos, barragem e empreendimento rodoviário. Logo, conclui-se o conjunto de impactos ambientais que foram analisados.

Para a avaliação dos impactos, adaptou-se o método das matrizes de interação que tem por objetivo relacionar a ação/atividade com o fator, sendo eficiente na identificação de impactos diretos. O método tem como vantagens o baixo custo e a facilidade, abordando dados quantitativos e qualitativos e podendo ser adaptado para várias propostas. Em contrapartida, tem como desvantagem a falta dos fatores: constatação dos efeitos indiretos e probabilidade de ocorrência dos impactos (GEBLER, LONGHI, 2018).

Elaborada em 1971, a Matriz de Leopold é fundada em uma lista de 100 ações/atividades com potencial de impacto ambiental e 88 fatores ambientais, sendo uma das matrizes mais aplicadas mundialmente (LEOPOLD *et al.*, 1971; FINUCCI, 2010). Não necessariamente uma matriz necessita atribuir valores numéricos para cada impacto, na realidade, a matriz é composta de duas listas que são ordenadas na forma de linhas e colunas. Com base nisso, é possível analisar se o impacto em foco é negativo ou positivo. Como esse método pode ser aplicado em diferentes projetos, o resultado da significância de cada impacto é relativo (HIGUCHI, 2019).

Baseado na matriz original de Leopold (1971), no conhecimento de algumas matrizes adaptadas por Sánchez e impactos abordados pela CETESB (2014), foi elaborada uma matriz adaptada que retratasse, da forma mais equivalente possível, a relação entre as ações de um empreendimento de reciclagem de RE e os impactos causados por ela, sejam eles positivos ou negativos. Dessa forma, a elaboração da matriz adaptada sucedeu-se em quatro macro etapas. Inicialmente foram apontados os impactos potenciais e as atividades e serviços que pudessem ser relacionados pelas

ações da empresa recicladora, isto em relação às etapas de planejamento, implantação e operação.

Na segunda etapa, cruzou-se cada impacto com, no mínimo, uma atividade/serviço e essa célula associada recebeu a classificação de muito ou pouco significativo, representada na tabela por meio de símbolos. Em seguida, foi atribuído um valor aos títulos de muito significativos e aos pouco significativos, sendo os valores 3 e 2, respectivamente. Com um número designado, pode-se realizar a soma de cada linha dos impactos, em que o valor total foi atribuído à significância. Portanto, os impactos mais relevantes serão os que obtiveram maiores valores totais, ou seja, a maior significância.

A última etapa partiu da consideração de que a empresa recicladora seja implantada em uma área anexa a uma CTR, dado que a magnitude de alguns impactos pode ser avaliada como menos significativos, caso a locação do empreendimento se dê dentro dessa localização vantajosa, por isso, foi feita uma nova análise partindo dessa consideração. Assim, além da célula marcada com um símbolo, a minimização dos impactos pela localização da empresa foi destacada na planilha com a célula preenchida no seu plano de fundo. Para um total de significância também com os impactos minimizados, atribui-se o valor de -1 para essas células.

Conseqüentemente, tem-se dois resultados de significância para cada impacto, um considerando a implantação da empresa recicladora dentro da CTR e outro tendo em conta a implantação em uma área comum. Portanto, a avaliação dos impactos ambientais e sua abrangência com a implantação da empresa recicladora considerou os procedimentos legais, institucionais e técnico-científicos, que teve por objetivo a caracterização e identificação dos impactos potenciais na instalação futura da empresa recicladora em uma área anexa a CTR para prever a importância desses impactos.

Na última coluna, "Significância", esta é referente aos resultados obtidos relativos à análise de toda a matriz. Na coluna "Símbolos", somou-se cada símbolo por linha de impacto, sendo a soma das linhas da coluna "Símbolos" atribuída a coluna "Total/Sem CTR". A coluna "Com CTR" é a consideração da empresa recicladora estar dentro de um CTR, seu total é menor ou igual ao Total/Sem CTR pois é somado -1 nas relações impacto-atividade minimizados por esse fator.

Após as somas e a análise dos resultados, foi realizada uma classificação da significância dos impactos de uma empresa implantada em um local fora de uma CTR por meio da escala descrita no Quadro 4, em que é possível agrupar os impactos em três tipos de relevância:

Quadro 4 – Classificação da significância dos impactos.

Relevância	Escala
Baixa	<9
Média	9-15
Alta	>15

Fonte: Autoria própria.

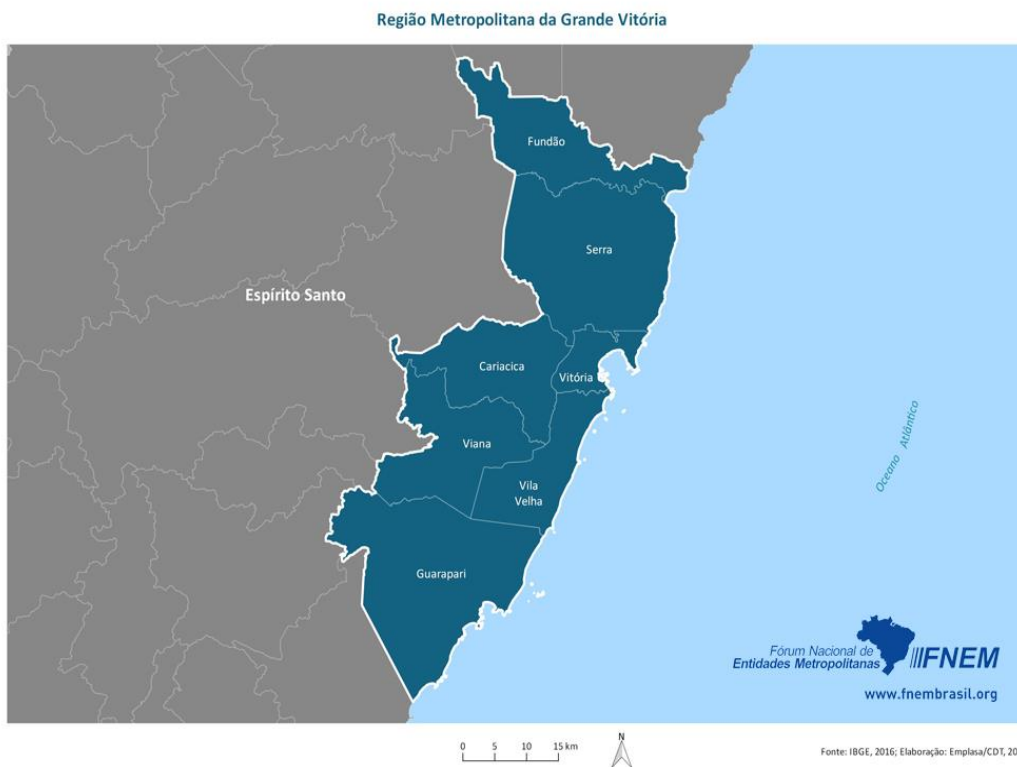
4.2 ESTUDO DE CASO: REGIÃO METROPOLITANA DA GRANDE VITÓRIA, ESPÍRITO SANTO

O estudo de caso da Região Metropolitana da Grande Vitória, Espírito Santo, foi realizado em 3 etapas, juntamente com a caracterização da área de estudo, conforme detalhado a seguir.

4.2.1 ÁREA DE ESTUDO

Por meio da Lei Complementar Estadual nº. 58/1995, foi criada a Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV), com área de 2.331 km² (Figura 3) e composta por sete municípios (Cariacica, Fundão, Guarapari, Serra, Viana, Vila Velha e Vitória). De acordo com as estimativas do IBGE, com data de referência em 15 de novembro de 2020, a RMGV possui estimados 2.006.486 habitantes.

Figura 3 – Mapa ilustrativo da Região Metropolitana da Grande Vitória.



Fonte: IBGE, 2016; Elaboração Emplasa/CDT, 2018.

Vitória é a capital do estado do Espírito Santo e a população é de aproximadamente 370 mil habitantes e, segundo o portal Cidade Brasil, é a segunda capital com maior Produto Interno Bruto (PIB) per capita do país. Consta-se que Vitória/ES está entre as cinco melhores cidades para se viver, com Índice de Desenvolvimento Humano Médio (IDHM) de 0,845 (IBGE, 2010), onde a escala 1 é a maior. Vitória/ES possui área de 98.194 km², com 80 bairros e distância média entre seus vizinhos Vila Velha e Serra de 4 km.

A área em estudo dispõe de uma localização considerada satisfatória no quesito que tange infraestrutura e posição geográfica diante do contexto regional do país. Conta com uma estrutura rodoferroviária de extensão máxima até a capital mineira, Belo Horizonte, e uma ampla infraestrutura portuária, onde é adicionada a circunstância da possibilidade de realizar diversas conexões com portos marítimos de outras regiões do Brasil e do exterior. Outra forma de chegar na RMGV é pelo Aeroporto Eurico de Aguiar Salles, onde são realizadas viagens nacionais, internacionais e voos de carga (SILVESTRE, CAMPOS, 2020).

No âmbito da infraestrutura rodoviária, cabe citar as duas principais rodovias que passam na RMGV. A rodovia federal BR-101, conecta a região em estudo com o estado Rio de Janeiro e Bahia, oferecendo acesso ao Nordeste e Sul brasileiro. A segunda é a BR 262, também rodovia federal, situada em sentido Leste-Oeste, concedendo o acesso à Belo Horizonte e conseqüentemente, à região Centro-Oeste do país (SILVESTRE, CAMPOS, 2020).

Considerando uma conjuntura estratégica, Vitória encontra-se em uma localização favorável em relação às principais capitais do país. Assim, foram realizadas medições por meio do aplicativo Google Maps para encontrar as distâncias reais e obteve-se como resultado que a cidade de Vitória (ES) está situada há menos de mil e duzentos quilômetros de distância das quatro capitais mais importantes do Brasil – em distâncias rodoviárias. Localizando-se a 942 km de distância de São Paulo (SP), 524 km de distância do Rio de Janeiro (RJ), 527 km de Belo Horizonte (MG), e a 1.167 km da capital da Bahia, Salvador.

4.2.2 ETAPA 1 – ESTIMATIVA DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS COLETADOS NO ESPÍRITO SANTO CONFORME AS METAS DO ACORDO SETORIAL

A estimativa da quantidade de resíduos eletroeletrônicos coletados no Espírito Santo por meio do sistema de logística reversa foi calculada a partir da projeção das metas estabelecidas no Acordo Setorial (BRASIL, 2019a) com os dados de estimativa de geração reportados em 2019 no Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Espírito Santo - PERS-ES (SEAMA, 2019). O Quadro 5 é uma adaptação do Anexo VII do Acordo Setorial, que relaciona a meta percentual de RE a ser coletada e destinada a cada ano no Brasil e o número de cidades que serão atendidas pelo Sistema no Estado do Espírito Santo.

Quadro 5 – Meta percentual de RE a ser coletado e destinado e número de cidades atendidas pelo Sistema no Espírito Santo por ano.

Ano	Percentual de RE a ser coletado/destinado no Brasil	Número de cidades atendidas no ES
1 - 2021	1%	1
2 - 2022	3%	3

3 - 2023	6%	6
4 - 2024	12%	8
5 - 2025	17%	10

Fonte: Adaptado de Brasil, 2019a.

A partir da estimativa da quantidade de RE coletada anualmente, calculou-se a estimativa da quantidade de PCI que potencialmente pode ser reciclada. Para isso, adotou-se como referência Kaya (2019), que mostra a composição geral do equipamento eletroeletrônico e da PCI. No entanto, a composição das PCI varia assim como a porcentagem de cobre contido que pode variar de 6 a 31%, por exemplo (KAYA, 2019). Isso ocorre pela diferença do tipo de aparelho, fabricante e/ou data de fabricação. De acordo com Kaya (2019), a porcentagem representada de PCI nos computadores e celulares é cerca de 18,8% e 21,3%, respectivamente. Sendo considerados todos os tipos de RE, o valor médio de PCI representa 9% (KAYA, 2019).

Assim como sua composição, o valor econômico de cada tipo de PCI é diferente. Kaya (2019) indicou três graus de valor econômico que são definidos conforme a quantidade de ouro contida nas PCI: baixo ($Au < 100$ ppm), médio ($100 < Au < 400$ ppm) e alto ($Au > 400$ ppm). A linha verde, que é o foco deste trabalho, se encaixa no grau alto, onde os preços variam de 8.000 a 25.000 euros por tonelada (KAYA, 2019).

O objetivo dessa etapa foi determinar o potencial econômico proveniente da reciclagem das PCI, tendo como referência os dados supracitados.

4.2.3 ETAPA 2 – IDENTIFICAÇÃO DE LOCAIS POTENCIAIS PARA IMPLANTAÇÃO DE UMA EMPRESA RECICLADORA DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO NO ESPÍRITO SANTO

Para a identificação de locais potenciais para instalação de uma empresa recicladora de PCI na RMGV, investigou-se nesse trabalho Centrais de Tratamento de Resíduos (CTR) já existentes que possuem áreas disponíveis, visto que esses locais cumprem os requisitos técnicos e legais para elaboração do projeto, implantação e operação de uma empresa.

O Espírito Santo possui as subseqüentes CTR: (a) CTR Marca Ambiental; (b) CTRVV - Central de Tratamento de Resíduos Vila Velha; (c) a filial da CTRVV, localizada no município de Guarapari; (d) CGRI Vitória Ambiental localizada na Serra; (e) CTRCI - Central de Tratamento de Resíduos de Cachoeiro de Itapemirim; (f) o aterro sanitário da empresa Ambitec Engenharia Ltda, situado em Aracruz; (g) a empresa Linhares Ambiental Ltda; (h) Centro de Tratamento e Disposição Adequada de Resíduos Sólidos Urbanos de Colatina - CTR Colatina – onde (a), (b), (c) e (d) são localizadas na RMGV, pertencentes ao municípios de Cariacica, Vila Velha, Guarapari e Serra, respectivamente.

Com o objetivo de conhecer o potencial desses locais para instalação de uma empresa recicladora foi realizado um encontro no formato de entrevista por meio da plataforma Google Meet com a CTR Marca Ambiental, a maior e pioneira empresa do Espírito Santo na área de tratamento de resíduos. A entrevista foi realizada no dia 23 de junho de 2020, com os especialistas Bruno Locateli e Lucas Antônio Silveira Silva, funcionários da CTR Marca Ambiental, em que foi abordado o uso da área sobre as células fechadas, as vantagens da instalação de empresas dentro da CTR e a relação da Marca Ambiental com as empresas parceiras existentes e novas possibilidades de implementação. Além disso, a CTR Marca Ambiental mostra-se receptiva à novos projetos em seu espaço.

As associações de catadores existentes são outro benefício que pode ser aproveitado, visto que seus serviços prestados podem ser aplicados na fase inicial da reciclagem de PCI. O trabalho preliminar consiste na desmontagem manual do RE e remoção das PCI, que são o foco deste trabalho. A parceria com as associações de catadores existentes poderia facilitar a cadeia de processo da reciclagem e valorizar o trabalho exercido pelos catadores.

Portanto, o objetivo desta etapa foi definir o local apto para implantação de uma empresa recicladora de placas de circuito impresso na RMGV-ES.

4.2.4 ETAPA 3 – DEFINIÇÃO DE UMA ROTA DE RECICLAGEM PARA PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

Uma rota biohidrometalúrgica, tida como alternativa e menos dispendiosa, foi considerada no presente trabalho, sendo a combinação de processos mecânicos para o tratamento preliminar das PCI, biolixiviação para recuperação de cobre, lixiviação química para recuperação de metais preciosos e precipitação eletroquímica para recuperação de metais. Considerou-se uma rota alternativa de reciclagem envolvendo a biolixiviação, em comparação aos métodos tradicionalmente aplicados (pirometalúrgicos), devido ao menor custo de investimento, simplicidade das instalações, menor impacto ambiental e menor consumo de energia (ANNAMALAI, GURUMURTHY, 2019).

As principais desvantagens da biolixiviação são o tempo do processo e a compatibilidade de fatores. O processo de recuperação de cobre por meio da biolixiviação, que pode levar até 15 dias, pode ser causada pela ausência do ambiente de crescimento microbiano propício e parâmetros ou fatores otimizados que regem o processo. Os fatores da biolixiviação incluem fatores bióticos, como o tipo de cultura microbiana e sua concentração e fatores abióticos como pH, temperatura, aeração e concentração de nutrientes. Ademais, é necessária uma execução especializada para controle desses parâmetros, escolha do tipo de microrganismo e manipulação laboratorial do processo (ARYA, KUMAR, 2020; MOREIRA, 2019; HAIT, PRIYA, 2017).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISE DOS ELEMENTOS MAIS SIGNIFICANTES PARA VIABILIDADE AMBIENTAL DA IMPLANTAÇÃO DE UMA EMPRESA RECICLADORA DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

A partir da seleção dos impactos ambientais e das atividades de uma empresa de reciclagem de PCI, adaptou-se a matriz de Leopold para esta pesquisa e fez-se a análise apresentada no Quadro 6.

Os impactos são agrupados referente a primeira coluna da matriz, onde tem-se as etapas de implantação da empresa recicladora. Cada impacto foi relacionado com uma ou mais atividades e serviços, preenchendo as células de relação no meio da matriz. Os símbolos foram usados para avaliar os impactos, sendo o “círculo” a representação dos impactos muito significativos e o “X” os impactos pouco representativos. Também foi realizada a análise dos impactos considerando uma empresa recicladora implantada dentro de uma CTR, onde as relações impacto-atividade que foram minimizadas estão com o preenchimento das células na cor cinza. Cada representação supracitada recebeu um valor para que pudesse ser feita a soma final: o impacto muito significativo recebeu o valor 3, o pouco significativo recebeu o valor 2 e os minimizados pela implantação da empresa dentro da CTR receberam o valor de -1.

Quadro 6 – Matriz de Leopold adaptada para avaliação dos impactos ambientais de uma empresa recicladora de PCI.

Etapa	Impacto	Atividades e Serviços													Significância							
		Divulgação do empreendimento	Implantação do canteiro de obras	Deslocamento de máquinas	Escavação para preparação do terreno	Geração de empregos	Remoção da vegetação	Implantação de cortina vegetal	Construção da infraestrutura da empresa	Transporte de RE/insumos	Disposição de RE	Desmontagem de RE	Processo mecânico	Processo de biolixiviação	Precipitação eletroquímica	Disposição de rejeitos	Geração de efluentes	Manutenção dos tanques	Símbolos	TOTAL		
		●	×																	S/ CTR	C/ CTR	
Planejamento	Geração de expectativa na população	●				●													6	0	6	6
	Interferências em recursos hídricos				×		●	×	×										3	6	9	5
Implantação	Geração de resíduos de demolição	●					●		●										6	0	6	6
	Perda de cobertura vegetal				×		●		×										3	4	7	4
	Interferências em áreas protegidas				×		●	×	×										3	6	9	6
	Interferências sobre o patrimônio cultural e natural				×	●	●	×	×										6	2	8	7
	Desencadeamento e intensificação de processos de dinâmica superficial	×	×	●			●	×	×	●									9	6	15	13
Implantação/ Operação	Interferências em áreas contaminadas	×					×	×	×										0	6	6	3
	Impactos sobre a fauna			×			●	●	×	×					●				9	6	15	11
	Interferências em infraestruturas e serviços públicos	×	×						●										3	4	7	6
	Impactos na infraestrutura viária e no tráfego	×	●						●										6	2	8	9
	Aumento da renda					●													3	0	3	3
Operação	Alterações na qualidade dos recursos hídricos									×			●	●	●	●	×		12	4	16	14
	Alterações na qualidade do solo									×			●	●	●	●	×		12	4	16	14
	Alterações nos níveis de ruído								●		×	●							6	2	8	7
	Alterações na qualidade do ar								●		×	●		●					9	2	11	9
	Consumo de energia elétrica											×	●		●		×		6	4	10	10
	Ocorrência de acidentes								●		×	×	●	●	●	×	×		15	6	21	18
	Odor													●	●	●	●		9	0	9	6
	Impacto Visual								×						×				0	4	4	2

LEGENDA:	Valor atribuído	Representação	Relevância	Escala
	3	● Muito significativo	Baixa	<9
	2	× Pouco significativo	Média	9-15
	-1	■ Minimização do impacto pela implantação da empresa dentro da CTR	Alta	>15

Fonte: Autoria própria

Assim, 20 impactos e 17 serviços/atividades foram listados para análise, gerando 340 interações na matriz adaptada. Do total de impactos, 10 foram impactos de baixa relevância, 7 os de média relevância e 3 os de alta relevância.

Os impactos de relevância baixa foram: *geração de expectativa na população, geração de resíduos de demolição, perda de cobertura vegetal, interferências sobre o patrimônio cultural e natural, interferências em áreas contaminadas, interferências em infraestruturas e serviços públicos, impactos na infraestrutura viária e no tráfego, aumento da renda, alterações nos níveis de ruído e impacto visual.*

Muitos desses impactos tiveram suas interações impacto-atividade minimizadas pela implantação da empresa recicladora dentro de uma CTR, como por exemplo nos impactos *perda da cobertura vegetal, interferências sobre o patrimônio cultural e natural, interferências em áreas contaminadas e impacto visual* em que se admite que a CTR já está implementada em um local que cumpre previamente todos esses requisitos.

Os impactos *geração de expectativa na população e aumento na renda* são considerados positivos, pois na fase de divulgação da implementação da empresa têm-se a possibilidade de novos empregos, os serviços prestados pela recicladora e as possíveis vendas relacionadas ao funcionamento da empresa de reciclagem. No momento em que a empresa já está operando, muitos *stakeholders* são envolvidos em todo o processo, aumentando a renda da comunidade. Por exemplo, na contratação da construção da infraestrutura da empresa, compra de terceiros dos insumos envolvidos no processo de reciclagem, no contrato de novos colaboradores, entre outros.

Os impactos de média relevância são *desencadeamento e intensificação de processos de dinâmica superficial, interferências em recursos hídricos, interferências em áreas protegidas, impactos sobre a fauna, alterações na qualidade do ar, consumo de energia elétrica e odor*. Destes, interferências em recursos hídricos e odor são impactos que tiveram todas as suas relações impacto-atividade minimizadas pela implantação da empresa dentro de uma CTR. Isso se dá pelo licenciamento ambiental já realizado previamente pela própria CTR, e que englobam os recursos hídricos nela

localizados, e o distanciamento entre a CTR e a população, minimizando o efeito do impacto odor para a comunidade.

Mesmo com a reciclagem formal de RE, a alteração da qualidade do ar é um fator que não é minimizado como a alteração dos recursos hídricos, por exemplo. No processo mecânico da reciclagem de RE é gerado o material particulado que pode ser aerotransportado contendo retardantes de chama e metais pesados (GRAVEL *et al.*, 2019). Gravel *et al.* (2019) propõem como medida de remediação uma melhor ventilação e aspiração perto das mesas de trabalho e máquinas geradoras de poeira para reduzir os níveis de material particulado. De qualquer forma, o processo pirometalúrgico gera mais emissões de gases e poeira, além do maior consumo de energia elétrica, quando comparado ao processo biohidrometalúrgico (FOMCHENKO, MURAVYOV, 2018).

Um estudo de caso realizado por Wu *et al.* (2019) evidenciou um impacto sobre a fauna em uma reserva natural localizada perto de um local de reciclagem de RE na China, em que se relatou o encontro de concentração de contaminação de metais pesados em martim-pescador, ave comum na região. Sendo esse um exemplo de alerta ecológico relacionado a fauna nos entornos de empresas recicladoras de RE (WU *et al.*, 2019).

Por fim, os impactos de alta relevância são *alterações na qualidade dos recursos hídricos, alterações na qualidade do solo e ocorrência de acidentes.*

Como todo o ecossistema está conectado, a ocorrência de um acidente dentro do processo de reciclagem do RE, um resíduo com alta periculosidade, pode causar alterações na qualidade do solo e da água. Fluxos biogeoquímicos ambientais são impulsionados por processos como deposição na atmosfera (seca/úmida), lixiviação, adsorção, complexação (pela qual metais pesados e produtos secundários podem ser formados), absorção pela planta, degradação (química/biológica) e volatilização (LI *et al.*, 2020). Além disso, o destino ambiental dos poluentes depende das propriedades físico-químicas, geomorfológicas e pedológicas do ambiente (LI *et al.*, 2020). A reciclagem informal é um fator que potencializa todos os efeitos supracitados, pois utiliza de técnicas primitivas de reciclagem de RE sem nenhuma segurança, seja para quem realiza tal prática, seja para o meio que será afetado pelos poluentes gerados (KIM *et al.*, 2020).

Conforme a planilha elaborada, *Ocorrência de acidentes* foi o impacto mais significativo dessa pesquisa, sendo justificado pelo fato de o RE ser um resíduo perigoso, assim, um mínimo acidente pode conferir alta gravidade.

Para diminuição do risco/ocorrência de acidentes ambientais no processo de reciclagem de RE, são necessárias medidas preventivas para identificar e gerenciar os riscos ocupacionais. Dentre as medidas administrativas, tem-se: estruturação de riscos, escolha de potenciais cenários, execução de simulados relacionados aos cenários identificados e exposição de situações emergenciais (CAETANO et al., 2019). Porém, também são necessárias ações práticas como prescritas no Grupo 5 da NR 9 que trata de riscos de acidentes, onde o seu inverso são as medidas mitigatórias: arranjo físico adequado, máquinas e equipamentos devidamente protegidos, ferramentas adequadas e em perfeito estado, iluminação adequada do local de trabalho, eletricidade regularizada, medidas mitigatórias para incêndios e explosões como adequação de extintor de incêndio, armazenamento adequado dos insumos e RE, dentre outras situações que podem contribuir para diminuição da ocorrência de acidentes.

Além disso, a precaução nas atividades e serviços da reciclagem de RE para a mitigação de riscos ambientais está diretamente relacionada com o trabalhador. De acordo com o último Anuário Estatístico de Acidentes de Trabalho (AEAT, 2017), em 2017 ocorreram 549.405 acidentes de trabalho típicos, de trajeto e/ou doenças do trabalho no Brasil, considerando todas as atividades econômicas, segundo a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE).

Segundo a Norma Regulamentadora de Segurança e Saúde no Trabalho, NR 9, que determina o PPRA – Plano de Prevenção de Riscos Ambientais, existem 5 grupos de riscos: Grupo 1 - Riscos Físicos, como ruídos e vibrações provenientes das máquinas de processo mecânico de reciclagem; Grupo 2 - Riscos Químicos, como exposição a gases e substâncias tóxicas contidas no RE; Grupo 3 - Riscos Biológicos, como vírus e bactérias usadas no processo de biometalúrgico; Grupo 4 - Riscos ergonômicos, como a postura inadequada e levantamento e transporte manual de peso no processo manual de desmontagem do RE (NR 9). Também se tem a NR 6, que estabelece diretrizes e orientações quanto ao uso de equipamentos de proteção individual (EPI), como abafadores de ruídos ou protetores auriculares, luvas e mangotes, óculos e

viseiras, entre outros, que são obrigatórios e evitam consequências graves caso o funcionário sofra algum tipo de acidente em seu posto de trabalho (NR 6).

Ademais, temos a parte de transporte de RE e rejeitos do processo de reciclagem, que necessita cumprir com a Resolução ANTT nº 5.848/19 supracitada, que inclui a autorização e licenças de transporte de produtos perigosos, licenças ambientais, habilitação e capacitação do motorista, sinalização de veículo, entre outros (BRASIL, 2019b). Um desafio é que durante o processo de biolixiviação, utiliza-se como catalisadores íons metálicos que são considerados tóxicos e, portanto, o transporte, armazenamento e descarte seguro são considerados preocupantes no que tange aos impactos negativos que podem ser causados ao meio ambiente (PATHAK et al., 2017).

As *alterações na qualidade do solo* também foram classificadas como um impacto ambiental de significância alta. O solo tem a capacidade de armazenar os poluentes que nele se depositam, sendo fortemente influenciado por diferentes atividades antrópicas e poluentes gerados como, por exemplo, a queima de resíduo. As raízes das plantas podem absorver facilmente substâncias tóxicas, especialmente metais pesados, que existem abundantemente no RE (LI, ACHAL, 2020). Quando não há proteção adequada, a disposição de resíduos no solo gera contaminação direta, afetando também as pessoas expostas a estes poluentes, seja por ingestão de nutrientes do solo, pela inalação de partículas ou por compostos liberados e ingestão de animais que se alimentam dos solos poluídos. Os solos contaminados podem atuar como uma fonte contínua de poluentes para a atmosfera. Ademais, as diretrizes disponíveis para o nível de poluentes orgânicos e inorgânicos permitidos vão depender da utilidade planejada ao solo (MOECKEL et. al., 2020).

Como forma de exemplificação dos prejuízos que podem ser causados ao solo, cita-se os seguintes estudos de caso. O primeiro estudo de caso é sobre os solos de uma favela em Bangalore, Índia, no local onde há a reciclagem de resíduos eletroeletrônicos. As análises realizadas no solo do lugar obtiveram resultados de até 2850mg/kg de chumbo; 39mg/kg de cádmio; 4,6mg/kg de índio; 180mg/kg de antimônio; 957mg/kg de estanho e 49mg/kg mercúrio (NGOC et al., 2009). Um estudo equivalente foi realizado na China por Wu et al. (2019) estimando a concentração de metais no solo próximo a um local abandonado de reciclagem de resíduos eletrônicos.

As concentrações de metais pesados no local de queimada dos resíduos foram muito maiores do que as das amostras do campo de arroz e do córrego, que estavam fortemente contaminados com Cd, Zn, Pb, Ni e Ba (WU *et al.*, 2019).

Tendo que os metais pesados encontrados no resíduo eletroeletrônico não são biodegradáveis, sua larga escala de produção e consumo tendem a intensificar os riscos de exposição ao ambiente e contaminação do solo, como resultados de estudos anteriores que revelam a permanência de metais pesados nas regiões de reciclagem de resíduo eletrônico três décadas após a proibição deste trabalho informal.

Por último, temos o impacto *Alterações na qualidade dos recursos hídricos*, considerado com alta relevância, que é totalmente ligado à qualidade do solo. Através dos processos de lixiviação e difusão de efluentes, os contaminantes de RE podem infiltrar-se em sistemas aquáticos (tanto águas subterrâneas quanto águas superficiais), isso acontece nos locais de descarte e/ou processamento de RE de forma inadequada, com a biota aquática também sendo contaminada (DU *et al.*, 2020).

No ambiente aquático, os metais pesados tendem a se adsorver aos sedimentos, mas podem ser liberados dos sedimentos e remobilizados nas correntes de água quando o sedimento é perturbado ou a química da água é alterada (WU *et al.*, 2015). A remobilização de metais pesados é indesejável, visto que podem ser transportados pelas correntes de água, possivelmente causando contaminação em locais fontes. Além da taxa de fluxo da corrente de água, a dispersão de metais pesados também depende da sua mobilidade, como a proporção de fração solúvel em ácido (WU *et al.*, 2016).

A exposição a metais pesados por meio da água também é uma ameaça à saúde para populações em países menos desenvolvidos que possuem instalações de tratamento de água insuficientes – isso quanto existem. Os riscos da exposição a esses metais para os moradores podem ser insignificantes por causa da baixa concentração na água potável, porém a ingestão de água subterrânea representa um risco potencialmente significativo (ZHENG *et al.*, 2013).

Segundo Du *et al.* (2020), a diversidade de metais pesados contidos nos sedimentos do recurso hídrico analisado indica que o RE foi a causa da contaminação. Como exemplo, os elementos Cu, Pb e Zn usados para produção das PCI foram encontrados em larga escala, onde os fios de cobre são a principal fonte de Cu, Ag, Sb e Sn, comumente usados em soldas nas PCI (DU *et al.*, 2020).

Zheng *et al.* (2013) concluíram que o risco (cancerígeno e não cancerígeno) da exposição oral é muito maior do que o risco de inalação e contato dérmico derivados dos processos feitos com o RE. As concentrações de metais nas águas subterrâneas do presente estudo foram várias ordens de magnitude maiores do que áreas comuns no Sul da China, indicando uma influência substancial da reciclagem de RE nas águas subterrâneas nessa área (ZHENG *et al.*, 2013). A fauna aquática também sofre com a contaminação dos recursos hídricos, Sun *et al.* (2018) reportaram expressivos resultados relacionados à contaminação hídrica, tais como: carpas de um rio em estudo possuem potencial de bioacumulação de éteres difenílicos polibromados (PBDE), chegando a concentração de 766 ng/g em seu peso fresco; um teste sobre as cobras aquáticas, o principal predador aquático do ecossistema estudado, revela que apresentam em sua composição cerca de 16.512 ng/g de PCI, em base de peso molhado.

Como exemplo de uma medida mitigadora para a contaminação dos recursos hídricos, encontram-se as plantas aquáticas que podem ser usadas como o recurso natural para mobilizar os metais pesados liberados do sedimento contaminado devido à sua capacidade de absorção (BAI *et al.*, 2018). Um candidato ideal para a fitorremediação deve possuir crescimento rápido, ser tolerante a metais pesados e capaz de absorver com eficiência uma variedade de metais pesados, de modo que possa atuar como uma barreira natural para evitar a dispersão desses metais (OBINNA, EBERE, 2019). Assim como nos recursos hídricos, a biorremediação tem sido considerada uma solução econômica e ecologicamente apropriada para a remediação dos solos contaminados com metais pesados. Um estudo realizado na China explorou o potencial de utilizar uma combinação com a bactéria N12 inoculada no crescimento das plantas e atividades microbianas do solo, tendo como resultado a remoção de metais pesados que se encontravam no solo. A eficiência desse processo de fitorremediação do solo vai depender principalmente da seleção e combinação apropriada das plantas e micróbios (LI *et al.*, 2020).

Os três impactos de alta significância supracitados podem ser minimizados quando a empresa recicladora se localiza dentro de uma CTR nas atividades de *disposição de rejeitos* e *geração de efluentes*, onde a logística local do aterro diminui os gastos e riscos desses processos.

Em suma, as medidas mitigatórias para as alterações causadas no solo e na água são a prevenção de acidentes e a realização do processo formal de reciclagem de PCI atendendo de forma criteriosa todos os requisitos técnicos de controle do processo e cumprindo-se toda a legislação vigente para o funcionamento da empresa recicladora.

Portanto, cabe ressaltar que a contaminação ambiental em torno da reciclagem dos RE é resultado de atividades ilegais relacionadas ao descarte desses resíduos e/ou ocorrência de acidentes no processo, que podem levar a exposição direta e indireta do solo, do ar e da água, conseqüentemente afetando a qualidade da saúde da população, da fauna e da flora (LI, ACHAL, 2020).

É importante destacar que nesta pesquisa foi realizada a análise dos elementos mais significantes para a viabilidade ambiental. Sendo assim, para trabalhos futuros, recomenda-se a análise de viabilidade de outros aspectos relevantes, tais como econômica, técnica, social e cultural para a implementação de uma empresa recicladora de PCI.

Por fim, a principal contribuição do trabalho é oferecer uma análise dos principais elementos ambientais que influenciam na viabilidade ambiental de empresas recicladoras de PCI, que ainda não existem no Brasil, mas que em função do sistema de logística reversa atualmente em fase de implantação, ocorrerá conseqüente demanda dessas empresas a fim de aproveitar o potencial de extração de metais dessa fonte secundária em detrimento do aterramento, que gera custos e desperdiça recursos minerais. Cabe ressaltar que tanto a matriz adaptada quanto a análise apresentada servem de base para estudos de implantação de empresas recicladoras em qualquer cidade brasileira, tendo ou não CTR. A seguir, partindo da matriz elaborada e dos parâmetros discutidos é apresentado um estudo de caso visando a implantação de uma empresa recicladora na RMGV.

5.2 ESTUDO DE CASO: REGIÃO METROPOLITANA DA GRANDE VITÓRIA, ESPÍRITO SANTO

5.2.1 ETAPA 1 – ESTIMATIVA DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS COLETADOS NO ESPÍRITO SANTO CONFORME AS METAS DO ACORDO SETORIAL

A Fase 2 do Acordo Setorial, com início previsto em 2021, compreende metas de coleta de RE por meio da divulgação e implementação do Sistema de Logística Reversa, qualificação de mão de obra para apoio e instalação de pontos de recebimento e/ou consolidação. A implementação da segunda fase é apresentada por um cronograma que relaciona o número de municípios atendidos por estado em cada ano do processo, totalizando 400 municípios. Como podemos ver no Quadro 7, ao final do Ano 5, que é o ano de 2025, a previsão é que 10 municípios do Espírito Santo serão atendidos pelo Sistema, sendo eles: Serra, Vila Velha, Cariacica, Vitória, Cachoeiro de Itapemirim, Linhares, São Mateus, Guarapari, Colatina e Aracruz.

Quadro 7 – Municípios atendidos pelo Sistema de Logística Reversa no Espírito Santo por ano.

Ano	Número de municípios atendidos no ES	Municípios alvo do Sistema de Logística Reversa no ES
1 - 2021	1	Serra
2 - 2022	3	Serra, Vila Velha e Cariacica
3 - 2023	6	Serra, Vila Velha, Cariacica, Vitória, Cachoeiro de Itapemirim e Linhares
4 - 2024	8	Serra, Vila Velha, Cariacica, Vitória, Cachoeiro de Itapemirim, Linhares, São Mateus e Guarapari
5 - 2025	10	Serra, Vila Velha, Cariacica, Vitória, Cachoeiro de Itapemirim, Linhares, São Mateus, Guarapari, Colatina e Aracruz

Fonte: Adaptado de Acordo Setorial, 2019.

Por infortúnio, a maior parte da Fase 1 do Acordo Setorial se passa ao longo do ano de 2020, em que se transcorre um cenário completamente atípico que afetou e, ainda afeta, profundamente o percurso econômico em todo o mundo, a pandemia do vírus Covid-19. A Nota Informativa sobre os efeitos dos impactos econômicos do Coronavírus expõe que essa crise causou mudanças estruturais, em que os modelos

tradicionais, fundados nos anos anteriores, não são qualificados para estimar e projetar o PIB, devido à quebra estrutural no processo econômico. Dessa forma, é preciso estimar o PIB em indicadores e cenários de alterações estruturais (BRASIL, 2020b).

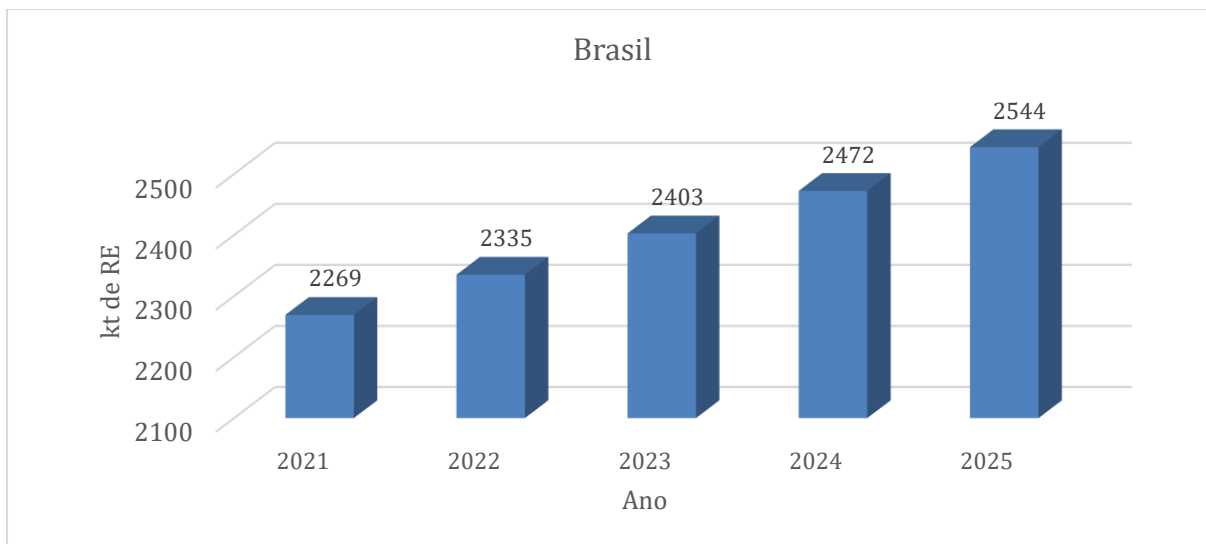
Assim como todo o mundo, o Brasil sofreu os efeitos da crise financeira, tendo queda no PIB de 1,5% no primeiro trimestre de 2020. Entre o ano de 2020 e 2029, a expectativa é de que a economia brasileira reaqueça seu crescimento em cerca de 2,9%, em média (BRASIL, 2019c). Dado que existe uma relação entre o crescimento da economia, nível de consumo e geração de resíduos, o relatório *The Global E-waste Monitor 2020* traz o dado de 2.143 toneladas de RE gerados no Brasil no ano de 2019, posicionando o Brasil na colocação de quinto país que mais produz RE (FORTI *et al.*, 2020).

Na Figura 4 (a), apresenta-se a estimativa de geração de RE no Brasil até o ano de 2025 utilizando os dados supracitados: o peso de RE gerado no ano-base de 2019, de acordo com o *The Global E-waste Monitor 2020*, e a taxa de crescimento da economia do país, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

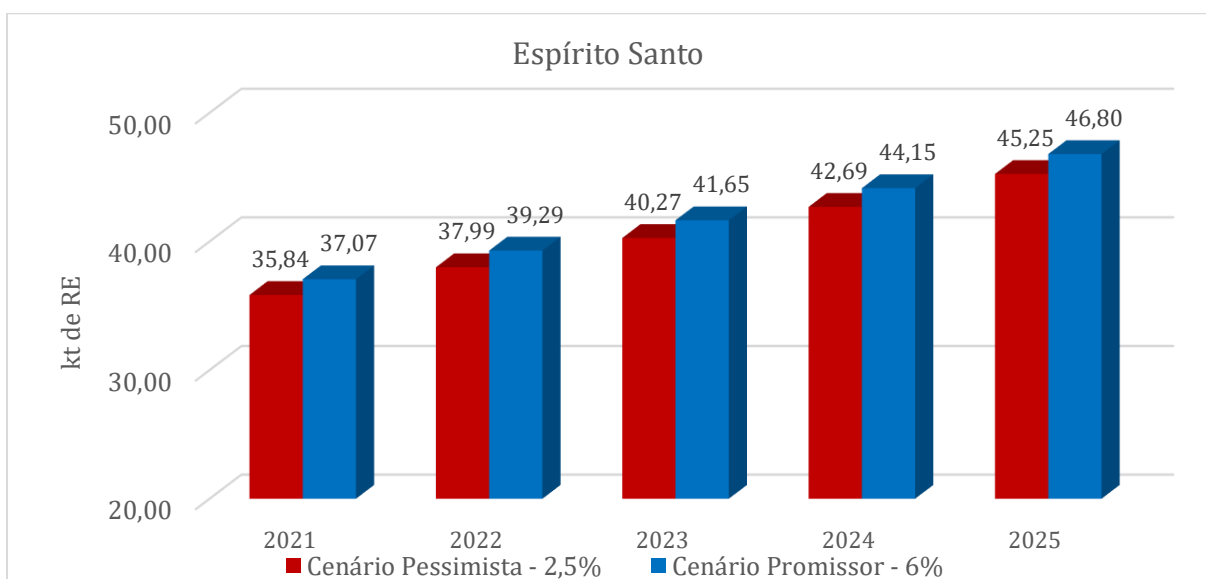
Já no cenário Estadual, o Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Espírito Santo – PERS - ES realizou a projeção da geração dos Resíduos Eletroeletrônicos do Espírito Santo até o ano 2040. O PERS-ES considerou três cenários: o cenário promissor, com taxa média anual de crescimento do PIB de 6% a.a., o cenário conservador, em torno de 4,5% a.a., e o cenário pessimista, cerca de 2,5% a.a. (PERS-ES, 2019). Considerando os efeitos negativos do cenário atual da pandemia do coronavírus para os próximos anos e que o PER-ES considerou em sua abordagem apenas o cenário promissor, a Figura 4 (b) ilustra a estimativa de geração de RE no Espírito Santo nos cenários promissor e pessimista.

O resultado do detalhamento da projeção de equipamentos eletroeletrônicos no Brasil e no Espírito Santo é apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Estimativa de geração de Resíduos Eletroeletrônicos do (a) Brasil e (b) do Espírito Santo.



(a)



(b)

Fonte: Autoria própria.

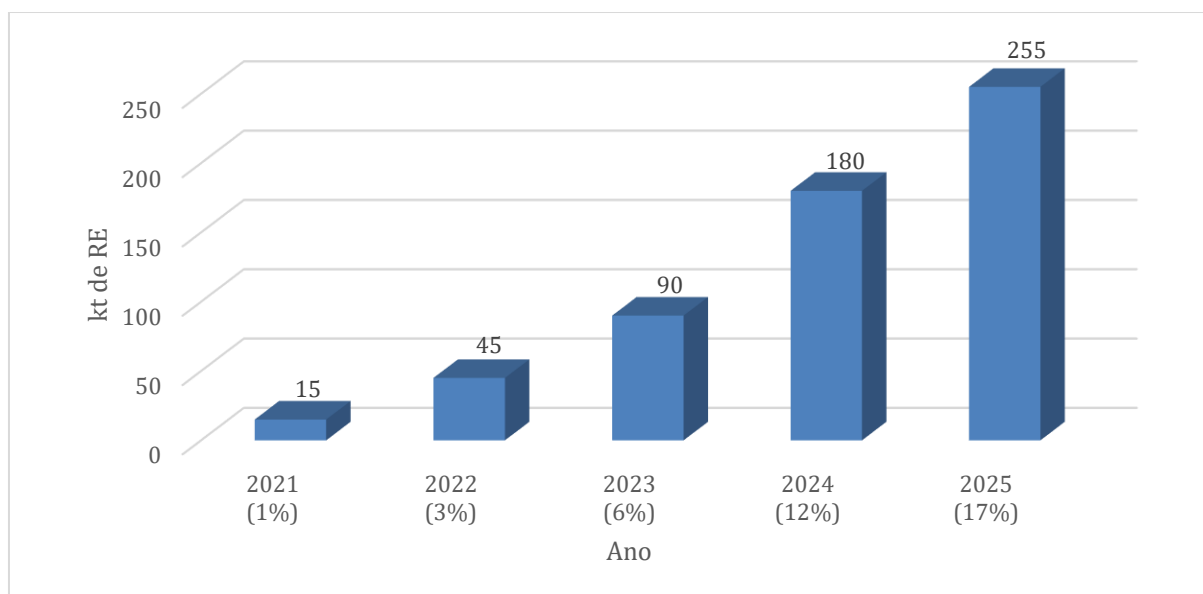
Na Figura 4, observa-se que a estimativa de geração de RE para o Brasil no ano de 2025 é de 2.544 quilotoneladas e para o Espírito Santo é cerca de 45,25 e 46,80 quilotoneladas, cenário pessimista e promissor, respectivamente. Portanto, temos que o Espírito Santo equivale a cerca de 1,7% da geração de RE do Brasil, isso no cenário pessimista. Como mostrado no Quadro 7, 10 cidades serão atendidas pelo Sistema no Espírito Santo, diferente de São Paulo, por exemplo, com 95 cidades atendidas. Esse cálculo feito pelo Acordo levou em conta o número de habitantes por estado/cidade, sendo que o Espírito Santo ficou em 13º estado com mais cidades atendidas. Portanto, corresponder a 1,7% do percentual do Brasil é congruente com

o número de habitantes e, logo, com a quantidade de geração de RE estimada, visto que possuem 12 estados com maior prioridade e preferência.

De acordo com o Decreto nº 10.240/2020, a meta de RE coletado e destinado do Acordo é referente ao ano-base de 2018, sendo feita a atualização periódica das estimativas de acordo com os diferentes anos-base (BRASIL, 2020c). O decreto ainda ressalta que no quinto ano da sua implantação, 2025, deverá ser coletado e destinado 17% dos RE, equivalente a cerca de 255 mil toneladas de resíduos (DIANNI, 2020). A meta foi calculada baseando-se na quantidade dos produtos eletroeletrônicos comercializados no mercado interno de uso doméstico.

A estimativa da quantidade de RE coletado e destinado por ano no Brasil (Figura 5) foi calculada de acordo com a taxa percentual de crescimento do Acordo Setorial, que varia de 1% a 17%.

Figura 5 – Estimativa em peso de Resíduos Eletroeletrônicos coletados e destinados pelo Acordo Setorial.



Fonte: Autoria própria.

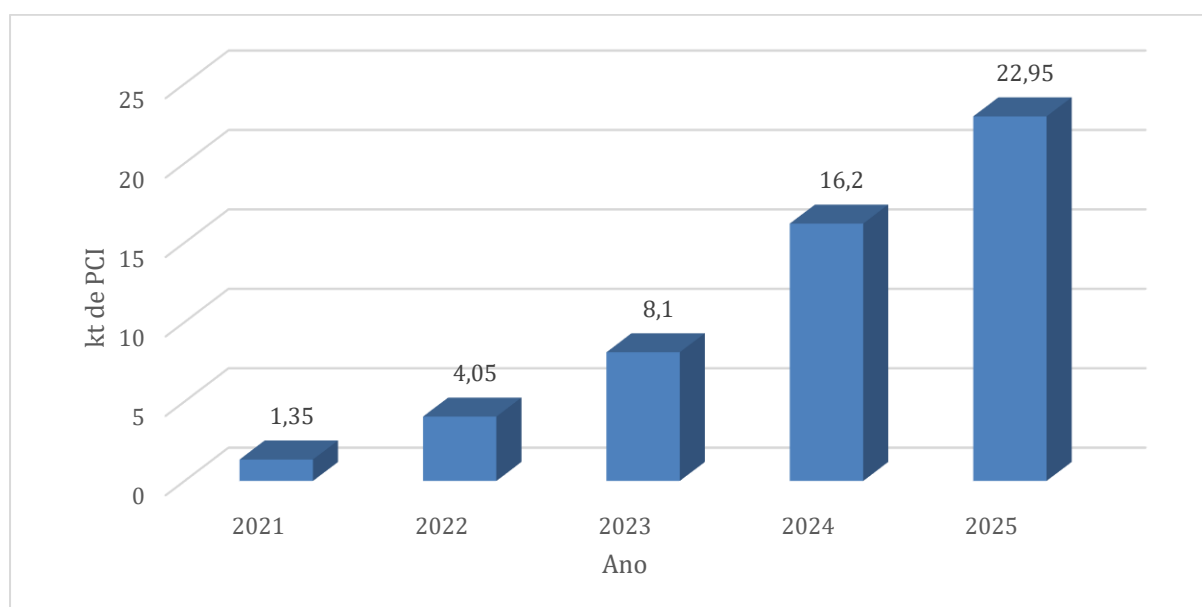
De acordo com *E-waste Monitor 2020*, para o ano de referência 2019, 85% do RE gerado na Europa, deve ser coletado por um estado membro da União Europeia, o que indica que a coleta e a reciclagem devem aumentar ainda mais para atender a demanda (FORTI *et al.*, 2020). Apesar de ser apenas o início da implementação de uma legislação sobre coleta e destinação de RE no Brasil, a quantidade estimada observada na Figura 5 é consideravelmente pequena se comparada à Figura 4 (a),

que mostra a estimativa de geração de RE no Brasil. As metas do Acordo Setorial ainda são embrionárias, mesmo o Brasil sendo um país em desenvolvimento, já que possui uma população de 211,8 milhões de habitantes (IBGE, 2020) e é um dos 5 maiores produtores de RE do mundo. Portanto, deve-se tomar como referências legislativa, educacional e social, sistemas supracitados como o do continente europeu, ajustando ao Brasil uma meta factível.

Além das metas do Acordo Setorial serem inexpressivas em relação a outros países, ainda existe o fator pandemia com início no ano de 2020. A Fase 1 da implementação do Acordo teve início em sua publicação no ano de 2019 e o fim previsto para dezembro de 2020, sendo fundamental ações voltadas para instituição do mecanismo financeiro, adesão dos fabricantes e comerciantes, apoio do Ministério do Meio Ambiental, entre outras. Dessa forma, o cenário atual torna provável que a Fase 1 seja prejudicada em sua realização, podendo afetar a Fase 2, que ainda sofrerá os efeitos da pandemia.

Com as estimativas de RE coletados e destinados, mostrados na Figura 5, foi calculada a estimativa das PCI coletadas e destinadas pelo acordo setorial conforme apresentado na Figura 6. Esse cálculo foi realizado por meio da representatividade das PCI dentro do RE, em que Kaya (2019) considera um valor médio de 9%, sendo adotado neste trabalho.

Figura 6 – Estimativa em peso de PCI coletadas e destinadas pelo Acordo Setorial.

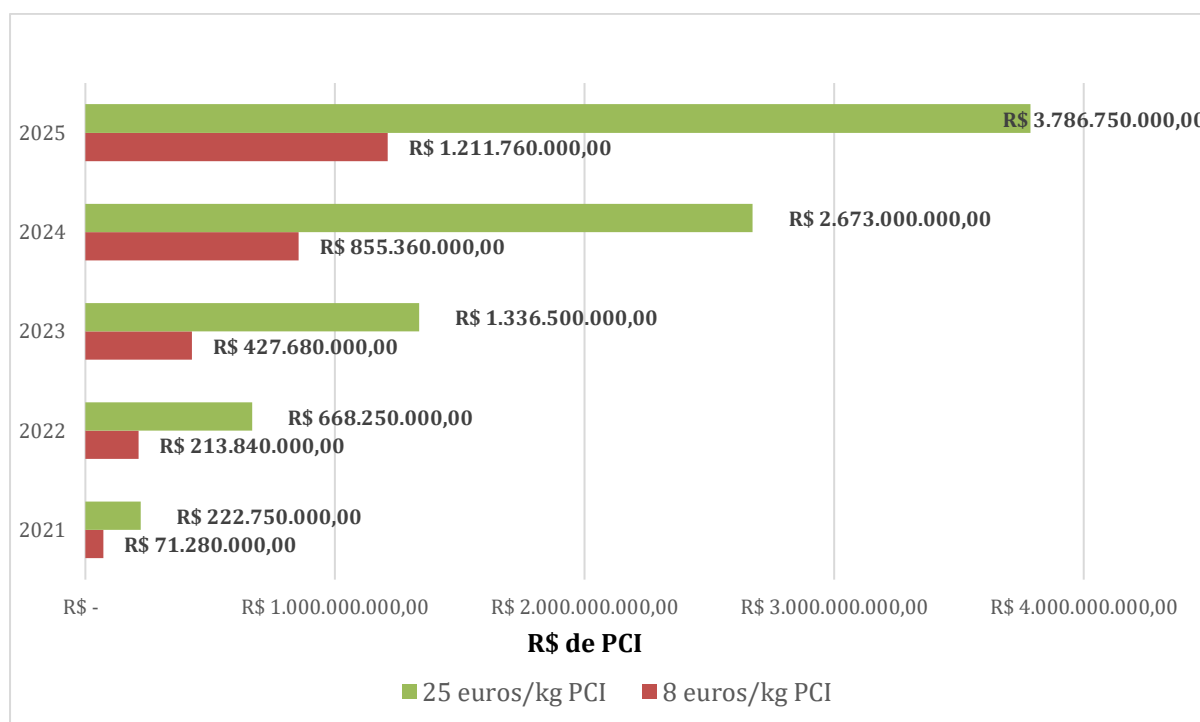


Fonte: Autoria própria.

Os valores descritos na Figura 6 denotam inicialmente o peso de 1,35 quilotoneladas de PCI coletadas no primeiro ano de vigência do Acordo Setorial, expandindo em relação às porcentagens estipuladas até atingir o marco de 22,95 quilotoneladas no final do ano de 2025.

Portanto, obtendo a estimativa em peso das PCI coletadas e destinadas, estima-se o valor econômico. A Figura 7 mostra a variação da consideração feita por Kaya (2019), onde as PCI consideradas de alto teor de metais variam de 8 a 25 euros por quilotonelada, sendo transformado para real brasileiro. O valor considerado para a conversão foi de 1 Euro igual a 6,60 Real brasileiro, cotação realizada em novembro de 2020.

Figura 7 – Estimativa do valor de PCI coletadas e destinadas pelo Acordo Setorial.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 7 mostra o potencial econômico bruto da cadeia de logística reversa de PCI coletadas no Brasil, podendo alcançar quase 4 trilhões de reais no ano de 2025, para a estimativa de 8 euros/kg de PCI. Contudo, não foi realizada na presente pesquisa a análise do retorno do investimento, que é calculado com base nos valores de potencial econômico demonstrados na Figura 6, no custo total da implementação da empresa, entre outros. Isso se dá por conta do foco desse trabalho ser a viabilidade ambiental, sendo necessária uma análise específica para cada tipo de viabilidade do

projeto, mas para se ter uma ideia, Neto, Correia e Schroeder (2017) concluíram em estudo de caso com foco na viabilidade econômica de RE, um ganho econômico líquido de US \$1.908.070,00 com um retorno sobre o investimento de 49% ao ano (NETO, CORREIA, SCHROEDER, 2017).

Assim como a estimativa de valor atribuído ao peso de certa quantidade da PCI, Kaya (2019) também classifica em relação a quantidade de ouro contida na mesma. A PCI considerada de alto teor de metais, estima a quantidade de ouro superior a 400ppm (KAYA, 2019). De acordo com France Presse, a cotação do ouro se valorizou mais que 27% desde o início de 2020 e que apenas o aumento da reciclagem permitiu que a oferta de produção aumentasse de 1 para 3% (PRESSE, 2020). Desse modo, além do valor bruto de metais como ouro, prata e paládio contidos na PCI demonstrarem o potencial econômico, a reciclagem de RE é necessária do ponto de vista da conservação de recursos naturais escassos.

5.2.2 ETAPA 2 – IDENTIFICAÇÃO DE LOCAIS POTENCIAIS PARA IMPLANTAÇÃO DE UMA EMPRESA RECICLADORA DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO NA RMGV

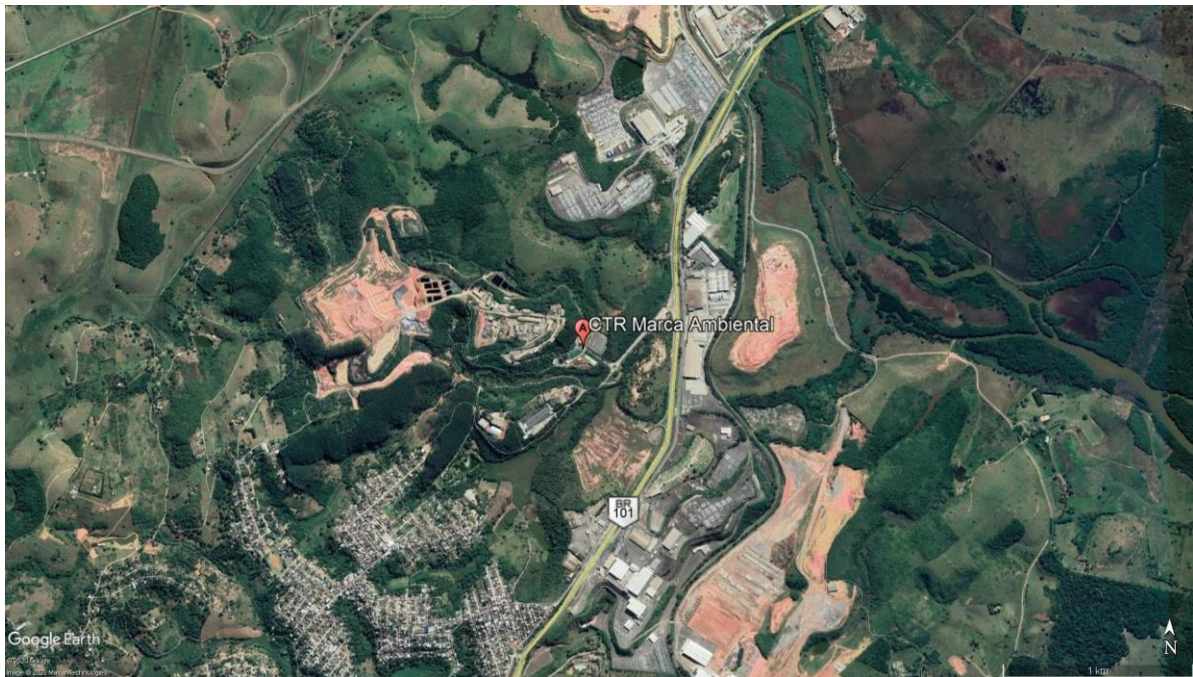
Conforme visto na análise dos elementos mais significantes para viabilidade ambiental da implantação de uma empresa recicladora de placas de circuito impresso, a escolha de uma CTR existente é vantajosa em relação aos potenciais impactos ambientais, portanto, no estudo de caso partiu-se desta premissa. Na Região Metropolitana da Grande Vitória identificou-se quatro CTR: a CTR Marca Ambiental, a CTRVV - Central de Tratamento de Resíduos Vila Velha, a filial da CTRVV e a CGRI Vitória Ambiental.

Uma CTR apta para a implantação da empresa recicladora de PCI, necessita ter área disponível, uma localização estratégica e ser adepta a parcerias, compartilhando objetivos em comum. Considerando que a filial da CTR Vila Velha é situada em Guarapari, distante da capital cerca de 58 km, a análise foi feita somente para a sua Sede, que é localizada no município vizinho da capital do Estado.

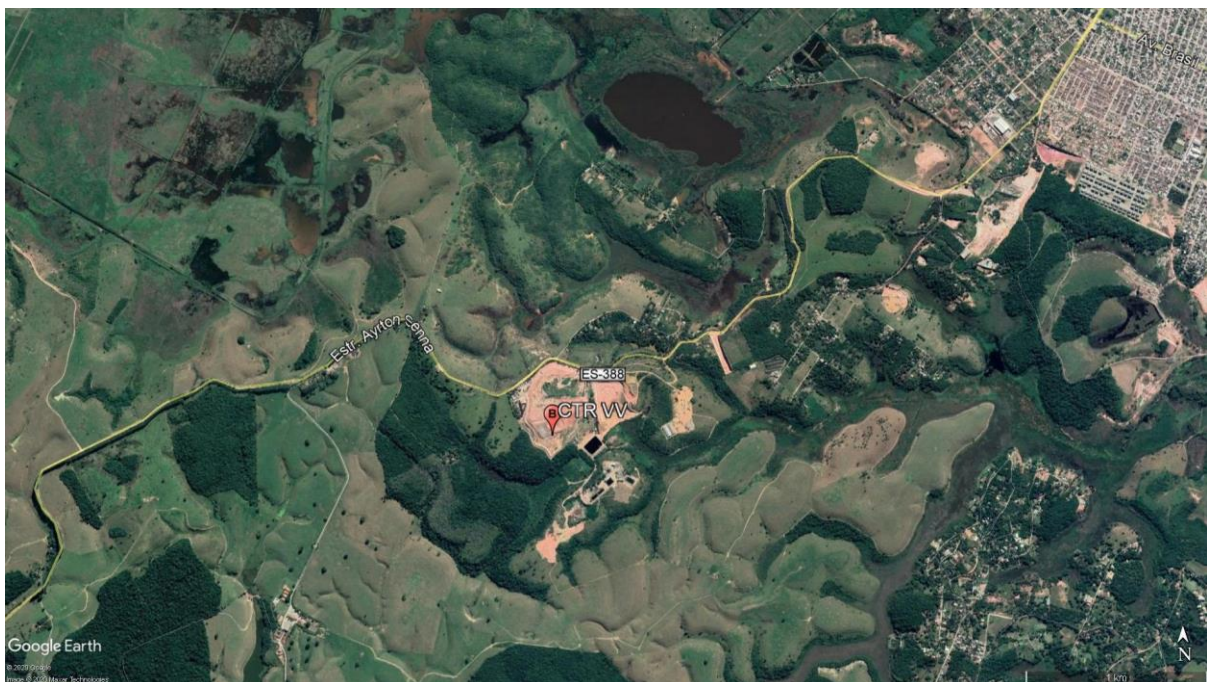
Analisou-se a localização das CTR Vila Velha, CTR Marca Ambiental e CGRI Vitória Ambiental e, por meio do Google Earth ©, a Figura 7 apresenta em (a) a localização

da CTR Marca Ambiental, em (b) a localização da CTR Vila Velha, (c) a localização da CGRI Vitória Ambiental e em (d) a localização de ambas as CTR em relação ao Porto e Aeroporto de Vitória - ES.

Figura 8 – Localização da (a) CTR Marca Ambiental, (b) CTR Vila Velha, (c) CGRI Vitória Ambiental e (d) Localização das CTR dentro da RMGV.



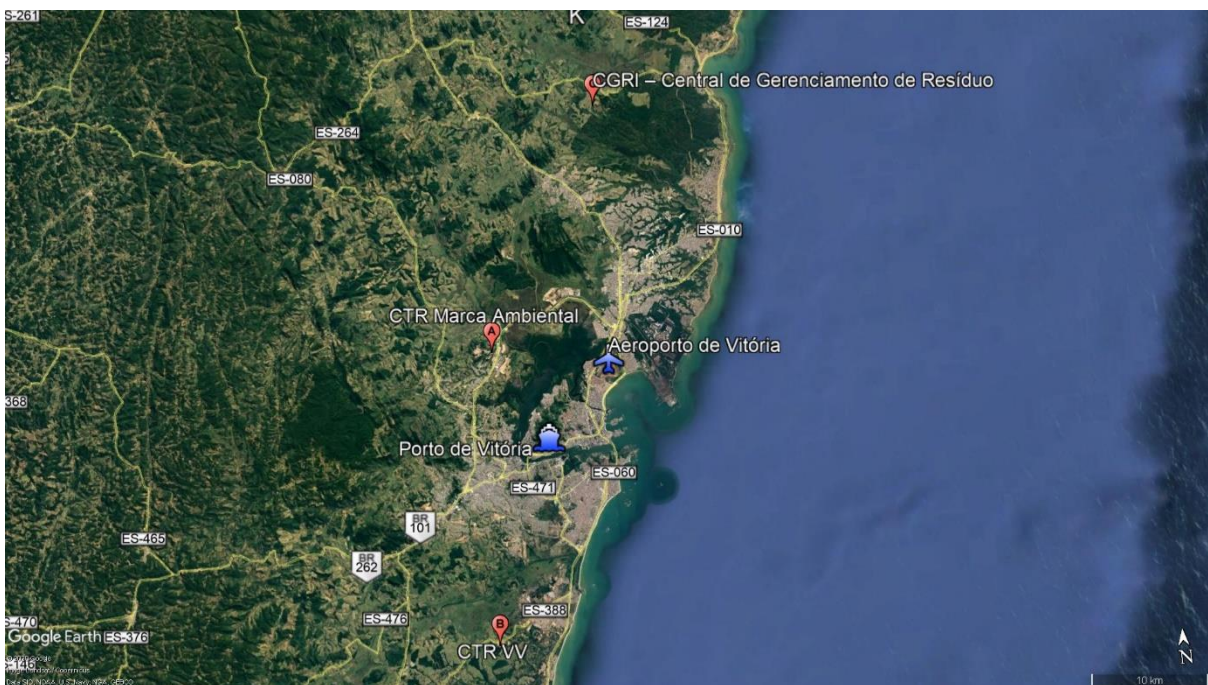
(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: Google Earth.

A CTR Marca Ambiental está localizada na rodovia BR-101, a qual tem seu início no estado do Rio Grande do Norte e fim no Rio Grande do Sul, conectando 12 estados por meio do litoral brasileiro. O acesso às principais rodovias é um dos principais fatores que influenciam na escolha das localizações (PEREIRA *et al.*, 2019), sendo uma vantagem a Marca ser situada na própria rodovia relevante a nível nacional. Além

disso, a distância da Marca Ambiental até o Porto e Aeroporto de Vitória é cerca de 28 e 17 km, respectivamente.

Já a CTR Vila Velha está instalada na rodovia ES-388. A rodovia estadual possui extensão de apenas 38 km e cruza a rodovia BR-101 na altura do município de Guarapari. Portanto, a CTRVV também possui facilidade no acesso de uma das rodovias mais importantes do país. A distância da CTRVV ao Aeroporto de Vitória, em sua rota mais rápida, é de 30 km, porém, essa rota atravessa os centros populacionais de Vila Velha e Vitória, tornando possível que a rota secundária, com extensão de 54 km, seja feita em torno do mesmo tempo de percurso. Ademais, a distância da CTRVV ao Porto de Vitória é por volta de 27 km.

Por fim, a CGRI Vitória Ambiental está situada na rodovia ES-351, onde possui uma saída para a rodovia estadual ES-264 e outra para a rodovia BR-101. A ES-264 tem extensão de 204 km e passa pelos municípios de Afonso Cláudio, Santa Maria de Jetibá e Santa Leopoldina. A rota entre a CGRI e o Aeroporto de Vitória é cerca de 27 km via BR-101, atravessando os núcleos populosos da Serra, já até o Porto de Vitória, é de 39 km, também pela BR-101.

Na Figura 8, pode-se constatar visualmente que, em termos de maior distanciamento de comunidades vizinhas, em primeiro lugar temos a CRGI Vitória Ambiental, secundamente a CTRVV, e, por fim, a Marca Ambiental. O Google Earth permite observar que existem casas a partir de 300 metros de distância das CTRVV e Marca Ambiental, aproximadamente. Contudo, a distância entre a CTRVV e um bairro populoso como Nova Rosa da Penha, onde se localiza a Marca, é por volta de 1.800 metros. A CRGI Vitória Ambiental se localiza em Putiri, área rural do município da Serra, onde o conglomerado de casas mais próximo fica cerca de 3.000 metros de distância da empresa.

Neto, Correia e Schroeder (2017) concluem que as vantagens econômicas e ambientais estão fortemente relacionadas à localização ideal de empresas recicladoras de RE, sendo tema da área de pesquisa de vários países que usam tais resultados em decisões governamentais (NETO, CORREIA, SCHROEDER, 2017).

Portanto, em questão de localização estratégica, a Marca Ambiental é melhor situada em função do Porto e Aeroporto de Vitória, porém a CTRVV e a CRGI Vitória

Ambiental possuem vantagem no quesito proximidade com vias de acesso. Para melhor aplicação das informações obtidas, foi realizada uma entrevista com os funcionários da Marca Ambiental, descrita a seguir.

Inicialmente, cogitou-se a utilização de áreas que estão em desuso sobre as células fechadas do aterro para implantação da empresa de reciclagem. Contudo, a resposta da entrevista feita com a CTR Marca foi que existe restrição para empresas que utilizam maquinários pesados, pois o solo sob as células fechadas possui baixa estabilização, sendo utilizado o coeficiente de solo mangue para o cálculo de projetos de construções. Apontaram ainda que, mesmo com o recalçamento do solo para fundação, pode ocorrer um rebaixamento de até 5 cm por ano devido ao adensamento do solo, causando desnivelamento e até rachaduras do pavimento.

Os profissionais explicaram que devido ao fato de ser uma fundação dispendiosa e um trabalho de projeto específico para essas construções, o baixo custo de aquisição da área pode tornar-se irrelevante com o gasto extra na construção de uma célula fechada. Afirmaram que o custo de aquisição dessas áreas é menor quando comparado a lotes convencionais, apesar disso o custo pode não ser uma vantagem, sendo dependente das particularidades do projeto. À vista disso, concluíram que a real vantagem é ter o empreendimento localizado no interior da Central de Tratamento de Resíduos e não necessariamente sobre uma célula fechada, pois um fator importante seria o baixo custo logístico com descarte dos rejeitos gerados na empresa recicladora.

A entrevista foi encerrada expondo a abertura da Marca à novos empreendimentos e parcerias dentro da CTR. A Marca realiza uma avaliação do projeto da empresa interessada em implementar seu empreendimento dentro da CTR e, caso seja vantajoso, realizam um convite para a futura empresa parceira. De acordo Oliveira *et al.* (2014) existem duas incubadoras implantadas na empresa, a BioMarca e a Marca Recicla (OLIVEIRA, SOUZA, DO NASCIMENTO, 2014). Também se toma como destaque a informação dada de que existem áreas disponíveis e amplas na CTR Marca Ambiental.

Como já mencionado, Vitória é uma capital com facilidade na dinâmica do transporte e vizinha dos estados com os maiores números de cidades atendidas pelo Sistema, São Paulo e Rio de Janeiro. Portanto, dado que ainda não existe uma usina de

reciclagem de RE no Brasil, a empresa recicladora estudada neste trabalho pode atender a demanda de outros estados, aumentando a sua lucratividade e incentivando o crescimento desse ramo de negócio. Logo, possui vantagem na obtenção de sua matéria prima que é o RE.

6 CONCLUSÃO

Na análise dos elementos ambientais mais significantes para implantação de uma empresa recicladora de placas de circuito impresso verificou-se por meio da matriz de Leopold (adaptada para esta pesquisa) três impactos ambientais considerados significantes, que são: alterações na qualidade do solo, alterações na qualidade dos recursos hídricos e ocorrência de acidentes.

No levantamento dos impactos ambientais relacionados ao processo de reciclagem a ser adotado na empresa recicladora de PCI, constatou-se, como ainda não existem empresas atuando no Brasil, a necessidade de complementar o Manual para Elaboração de Estudos Ambientais da CETESB com a literatura, em que em ambos existem informações relacionadas a empreendimentos como mineração, aterro de resíduos, barragem e empreendimento rodoviário, bem como adaptar a Matriz de Leopold a fim de se adequar às características da empresa recicladora de PCI.

Na análise dos elementos ambientais mais relevantes da empresa recicladora tendo como referência os requisitos para o licenciamento ambiental, considerou-se um processo biohidrometalúrgico e os respectivos impactos potenciais nas etapas de planejamento, implantação e operação, sendo que dos 20 impactos identificados, apenas 3 foram impactos de alta relevância, os quais podem ser mitigados por meio da realização do processo formal de reciclagem de PCI atendendo de forma criteriosa todos os requisitos técnicos de controle do processo para evitar acidentes.

Dentre os locais potenciais para implantação de uma empresa recicladora de placas de circuito impresso, conclui-se que uma localização vantajosa sob o aspecto ambiental é uma área disponível de uma Central de Tratamento de Resíduos, colaborando assim, com o gerenciamento dos efluentes e rejeitos gerados. Analisou-se que os impactos ambientais causados pela empresa recicladora são minimizados por estar instalada dentro de uma CTR. Percebeu-se também que, para regiões em que não possuem uma CRT existente, é vantajoso buscar comunidades próximas para implantação da empresa recicladora, visto que o custo-benefício é maior do que a implantação em um local comum.

Ao estimar a quantidade de resíduos eletroeletrônicos que será coletada pelo sistema de logística reversa no Espírito Santo, de acordo com as metas estabelecidas a partir

da Fase 2 do Acordo Setorial prevista para 2021, e considerando ainda a inexistência de usinas recicladoras de RE no Brasil, infere-se que haverá demanda de reciclagem de PCI para todos os estados, sendo atrativa sob o ponto de vista financeiro a implantação de uma empresa recicladora de PCI, levando em conta o potencial econômico da recuperação de metais de interesse.

No estudo de caso da Região Metropolitana da Grande Vitória, foram levantados três locais potenciais para instalação da empresa recicladora de PCI, a CTR Vila Velha, a CTR Marca Ambiental e a CGRI Vitória Ambiental. A Marca traz o aspecto positivo de áreas disponíveis e ser aberta a parcerias e tanto a CGRI Vitória Ambiental quanto a CTRVV possuem uma distância maior de grandes conglomerados. Sendo que, a RMGV possui uma localização estratégica em relação às capitais com maiores PIB do Brasil.

REFERÊNCIAS

ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos: análise de viabilidade técnica e econômica.** Distrito Federal, 2012. Disponível em: <http://www.abdi.com.br/Estudo/Logistica%20reversa%20de%20residuos_.pdf>. Acesso em: 15 out. 2020.

ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. **A indústria elétrica e eletrônica impulsionando a economia verde e a sustentabilidade,** 2019. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/noticias/com129.htm>> Acesso em: 15 maio 2020.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2004). **NBR 10.006:** Solubilização de Resíduos - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1987). **NBR 10.157:** Aterros de resíduos perigosos - Critérios para projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1987.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2013). **NBR 16.156:** Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos - Requisitos para atividade de manufatura reversa. Rio de Janeiro, 2013.

AEAT – **Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho.** (2017). Ministério da Fazenda v. 1 (2009), Brasília: MF, 2017. 996 p. Anual. ISSN 1676-9694.

AJZEN, I. (1985). **From intentions to actions: A theory of planned behavior.** Springer, Berlin, Heidelberg. p. 11-39.

ALMEIDA, M. R. R., MONTAÑO, M. (2017). **Efetividade dos sistemas de avaliação de impacto ambiental nos estados de São Paulo e Minas Gerais.** Ambiente & Sociedade, v. 20, n. 2, p. 77-104.

ANDRADE, C. I. A. R., JESUS, R. M., CRUZ, J. O. (2015). **Análise da viabilidade de implantação de uma usina de reciclagem de pneus em Teixeira de Freitas - BA.** Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento, v. 4, n. 1, p. 107-127.

ANNAMALAI, M., GURUMURTHY, K. (2019). **Enhanced bioleaching of copper from circuit boards of computer waste by *Acidithiobacillus ferrooxidans*.** Environmental Chemistry Letters, v. 17, n. 4, p. 1873-1879.

AQUINO, I. R. B. (2019). **Proposição de um modelo matemático para localização de pontos de coleta de resíduos elétricos e eletroeletrônicos na cidade de Caruaru - PE.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

ARSHADI, M., YAGHMAEI, S., MOUSAVI, S. M. (2019). **Optimal electronic waste combination for maximal recovery of Cu-Ni-Fe by *Acidithiobacillus ferrooxidans*.** Journal of Cleaner Production, v. 240, p. 118077.

ARYA, S., KUMAR, S. (2020). **Bioleaching: urban mining option to curb the menace of E-waste challenge**. *Bioengineered*, v. 11, n. 1, p. 640-660.

AZEVEDO, L. P. (2017). **Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos pós consumo: visão da sustentabilidade**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Ouro Preto. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais.

BAI, L., LIU, X. L., HU, J., LI, J., WANG, Z. L., HAN, G., LI, S. L., & LIU, C. Q. (2018). **Heavy metal accumulation in common aquatic plants in rivers and lakes in the Taihu Basin**. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 15, n. 12, p. 2857.

BALDÉ, C. P., FORTI, V., GRAY, V., KUEHR, R., & STEGMANN, P. (2017). **The global e-waste monitor 2017: Quantities, flows and resources**. United Nations University, International Telecommunication Union, and International Solid Waste Association.

BECCI, A., AMATO, A., FONTI, V., KARAJ, D., & BEOLCHINI, F. (2020). **An innovative biotechnology for metal recovery from printed circuit boards**. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 153, p. 104549.

BISPO, L. M., SANTOS, M. S. T., DO NASCIMENTO, J. F. (2019). **O Uso da Prospecção como Ferramenta na Busca de Tecnologias de Gerenciamento de Resíduos Sólidos no Brasil**. *Cadernos de Prospecção – Salvador*, v. 12, n. 2, p. 439-449.

BOTTANI, E., MONTANARI, R., RINALDI, M. (2019). **Simulation and performance improvement of a reverse logistics system for waste electrical and electronic equipment: a case study in Italy**. *International Journal of Simulation and Process Modelling*, v. 14, n. 3, p. 308-323.

BRASIL. (1981). **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Diário Oficial da União Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm>. Acesso em: 15 out. 2020.

BRASIL. (1997). **Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997**. Diário Oficial da União Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 1997. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/cecav/images/download/CONAMA%20237_191297.pdf>. Acesso em: 15 out. 2020.

BRASIL. (1999). **Resolução CONAMA nº 257, de 30 de junho de 1999**. Diário Oficial da União Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 1999. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/_arquivos/36_09102008040356.pdf>. Acesso em: 20 out. 2020.

BRASIL. (2010). **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 – Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Diário Oficial da União Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 25 mar. 2020.

BRASIL. (2018). **Instrução Normativa nº 19, de 20 de agosto de 2018**. Diário Oficial da União Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 2018. Disponível em: <https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/38404564/do1-2018-08-27-instrucao-normativa-n-19-de-20-de-agosto-de-2018-384042100>. Acesso em: 15 mai. 2020.

BRASIL. (2019a). **Acordo Setorial para Implantação de Sistema de Logística Reversa de Produtos Eletroeletrônicos de uso doméstico e seus componentes**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <http://consultaspublicas.mma.gov.br/eletroeletronicos/wp-content/uploads/2019/07/Consulta_PublicaEEE2030.07.2019.pdf>. Acesso em: 8 out. 2020.

BRASIL. (2019b). **Resolução nº 5.848, de 25 de junho de 2019**. Diário Oficial da União Federativa do Brasil, Ministério da Infraestrutura/Agência Nacional de Transportes Terrestres/Diretoria Colegiada. Edição: 121. Seção: 1. pg. 86. Disponível em: <<http://consultaspublicas.mma.gov.br/planares/wp-content/uploads/2020/07/Plano-Nacional-de-Res%C3%ADduos-S%C3%B3lidos-Consulta-P%C3%ABblica.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2020.

BRASIL. (2019c). **Nota Técnica DEA 017/2019: Cenário econômico para os próximos dez anos (2020-2029)**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-440/NT%20Cen%C3%A1rio%20Econ%C3%B4mico%2010%20anos%202029%20V.F.pdf>. Acesso em: 20 out. 2020.

BRASIL. (2020a). **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <<http://consultaspublicas.mma.gov.br/planares/wp-content/uploads/2020/07/Plano-Nacional-de-Res%C3%ADduos-S%C3%B3lidos-Consulta-P%C3%ABblica.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2020.

BRASIL. (2020b). **Nota informativa: Impactos Econômicos da COVID-19**. Disponível em: <<https://www.gov.br/economia/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/notas-informativas/2020/nota-impactos-economicos-da-covid-19.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2020.

BRASIL. (2020c). **Decreto nº 10.240, de 12 de fevereiro de 2020**. Diário Oficial da União Federativa do Brasil, Edição: 31. Seção: 1. pg: 1. Disponível em: <http://consultaspublicas.mma.gov.br/eletroeletronicos/wp-content/uploads/2019/07/Consulta_PublicaEEE2030.07.2019.pdf>. Acesso em: 10 out. 2020.

CAETANO, M. O., LEON, L. G. D., PADILHA, D. W., & GOMES, L. P. (2019). **Análises de risco na operação de usinas de reciclagem de resíduos eletroeletrônicos (REEE)**. Gestão & Produção, v. 26, n. 2.

CARVALHO, D. L. (2019). **Educação ambiental na avaliação de impacto ambiental: análise dos programas de educação ambiental no âmbito do licenciamento ambiental federal de hidrelétricas**.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. (2014). **Manual Para Elaboração de Estudos Ambientais com AIA**. São Paulo, 2014.

COUTO, M. C. L., LANGE, L. C. (2017). **Análise dos sistemas de logística reversa no Brasil**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 22, n. 5, p. 889-898.

DIANNI, C. **Brasil tem até 2025 para criar 5 mil pontos de coleta de lixo eletrônico**. Disponível em: <<http://www.epa.ie/#&panel1-1>> Acesso em: 20 de maio de 2020.

DOAN, L. T. T., AMER, Y., LEE, S., PHUC., P. N. K. (2019). **Strategies for E-Waste Management: A Literature Review**. World Academy of Science, Engineering and Technology. International Journal of Energy and Environmental Engineering. Vol:13, No:3, 2019. doi.org/10.5281/zenodo.2643622.

DU, Y., WU, Q., KONG, D., SHI, Y., HUANG, X., LUO, D., CHEN, Z., XIAO, T., LEUNG, J.Y.S. (2020). **Accumulation and translocation of heavy metals in water hyacinth: Maximising the use of green resources to remediate sites impacted by e-waste recycling activities**. *Ecological Indicators*, v. 115, p. 106384.

EPA – Environmental Protection Agency USA. Unpublished laboratory data of the Environmental Research Laboratory. **Ambient Water Quality Criteria for Dichlorobenzene**, US-EPA Technical Report 440/5-80-040a, Washington, D.C., USA, 2015. Disponível em: <<http://www.epa.ie/#&panel1-1>> Acesso em: 25 de novembro de 2019.

FINUCCI, M. (2010). **Metodologias utilizadas na avaliação do impacto ambiental para a liberação comercial do plantio de transgênicos**. 230f. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Saúde Pública, Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo. São Paulo-SP.

FOMCHENKO, N. V., & MURAVYOV, M. I. (2018). **Two-step biohydrometallurgical technology of copper-zinc concentrate processing as an opportunity to reduce negative impacts on the environment**. *Journal of Environmental Management*, 226, 270–277.

FORTI V., BALDÉ C.P., KUEHR R., BEL G. (2020). **The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential**. United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) – co-hosted SCYCLE Programme, International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Rotterdam.

GÁMEZ, S., GARCÉS, K., DE LA TORRE, E., & GUEVARA, A. (2019). **Precious metals recovery from waste printed circuit boards using thiosulfate leaching and ion exchange resin**. *Hydrometallurgy*. doi:10.1016/j.hydromet.2019.03.004

GEBLER, L., LONGHI, A. (2018). **Aplicação da matriz de Leopold para avaliação expedita de impacto ambiental na produção de morangos: um estudo de caso em Ipê (RS)**. 2018. *Ambiência Guarapuava (PR)* v. 14, n. 3, p. 709-727.

GIGANTE, L. C. (2016). **Políticas de regulação e inovação: Reciclagem de Resíduos Eletroeletrônicos**. Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

GILAL, F. G., CHANDANI, K. C., GILAL, R. G., GILAL, N. G., GILAL, W. G., CHANNA, N. A. (2019). **Towards a new model for green consumer behaviour: A self-determination theory perspective**, *Sustainable Development*. v. 18, n. 1, p. 12-24.

GRAVEL, S., LAVOUÉ, J., BAKHIYI, B., DIAMOND, M. L., JANTUNEN, L. M., LAVOIE, J., ROBERGE, B., VERNER, M., ZAYED, J., LABRÈCHE, F. (2019). **Halogenated flame retardants and organophosphate esters in the air of electronic waste recycling facilities: Evidence of high concentrations and multiple exposures**. *Environment International*. v. 128, p. 244-253.

HAN, C., SON, S. H., LEE, M. S., & KIM, Y. H. (2019). **Study on the Pyrometallurgical Process for Recovery of Valuable Metal in the Sludge Originated from PCB Manufacturing Process**. *Journal of the Korean Institute of Resources Recycling*. v. 28, n. 6, p. 87-95.

HIGUCHI, T. A. B. (2019). **A evolução da avaliação dos impactos ambientais no Brasil e no mundo**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

HSU, L. M., FROM, D. A. (2016). **O Correto destino do Lixo Eletrônico no Brasil**. *Vitrine Prod. Acad.*, Curitiba, v. 4, nº 2, p. 89-170.

HSU, E., BARMAK, K., WEST, A. C., PARK, A. A. (2019). **Advancements in the treatment and processing of electronic waste with sustainability: a review of metal extraction and recovery technologies**. In: *Green Chemistry Journal*, Issue 5, 2019. <https://doi.org/10.1039/C8GC03688H>.

INSTITUTO CLARO. Lixo eletrônico - qual o melhor destino para ele? **Cartilha Claro Recicla**, São Paulo, 2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010). **Resultados do Censo de 2010**. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/resultados.html>> Acesso em: 30 de novembro de 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2020). **IBGE divulga estimativa da população dos municípios para 2020**. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/28668-ibge-divulga-estimativa-da-populacao-dos-municipios-para-2020#:~:text=IBGE%20divulga%20estimativa%20da%20popula%C3%A7%C3%A3o%20dos%20munic%C3%ADpios%20para%202020,-Editoria%3A%20Estat%C3%ADsticas%20Sociais&text=O%20IBGE%20divulga%20hoje%20as,77%25%20em%20rela%C3%A7%C3%A3o%20a%202019>> Acesso em: 20 de outubro de 2020.

JANACOVA, D., PITEL, J., VASEK, V., MOKREJS, P., VITECKOVA, M., DRGA, R., & KRENEK, J. (2019). **Simulation of printed circuit boards recycling process**. In: MATEC Web of Conferences. EDP Sciences, 2019. p. 01040.

KAYA, M. (2018). **Waste printed circuit board (WPCB) recycling technology: disassembly and desoldering approach**. Reference module in materials science and materials engineering/Encyclopedia of renewable and sustainable materials volume. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.11246-9>.

KAYA, M. (2019). **Electronic Waste and Printed Circuit Board Recycling Technologies**. The Minerals, Metals & Materials Series. Springer.

KUMAR, A., HOLUSZKO, M., ESPINOSA, D. C. R. (2017). **E-waste: An overview on generation, collection, legislation and recycling practices**. Resources, Conservation and Recycling, v. 122, p. 32-42.

KUMAR, S., RAWAT, S. (2017). **Future e-Waste: Standardisation for reliable assessment**. Government Information Quarterly, v. 35, n. 4, p. S33-S42.

LEOPOLD, L. B. (1971). **A procedure for evaluating environmental impact**. Washington. DC, Geological Survey Circular, v. 645.

LI, N., LIU R., CHEN, J., WANG, J., HOU, L., ZHOUA, Y. (2020). **Enhanced phytoremediation of PAHs and cadmium contaminated soils by a Mycobacterium**. Science of the Total Environment 754, 141198.

LI, W., ACHAL, V. (2020). **Environmental and health impacts due to e-waste disposal in China – A review**. Science of The Total Environment, 139745. doi: 10.1016/j.scitotenv. 2020.139745.

LIU, X., WANG, Q., WEI, H. H., CHI, H. L., MA, Y., & JIAN, I. Y. (2020a). **Psychological and Demographic Factors Affecting Household Energy-Saving Intentions: A TPB-Based Study in Northwest China**. Sustainability, v. 12, n. 3, p. 836.

LIU, J., XU, H., ZHANG, L., & LIU, C. T. (2020b). **Economic and environmental feasibility of hydrometallurgical process for recycling waste mobile phones**. Waste Management, v. 111, p. 41-50.

MACHADO, G. B. (2014). **Usina de Reciclagem de Resíduos de equipamentos Eletroeletrônicos de Frankfurt**. Portal Resíduos Sólidos, 26 de fevereiro de 2014. Seção Usinas. Disponível em: <<https://portalresiduossolidos.com/usina-de-reciclagem-de-residuos-de-equipamentos-eletroeletronicos-de-frankfurt/>>. Acesso em: 30 de outubro de 2019.

MACHADO, G. B. (2015). **Usinas de Reciclagem de Resíduos Eletroeletrônicos**. Portal Resíduos Sólidos, 28 de fevereiro de 2015. Seção Core. Disponível em: <<https://portalresiduossolidos.com/usinas-de-reciclagem-de-residuos-eletroeletronicos/>>. Acesso em: 05 de novembro de 2019.

MANÉO, F. P., CONCEIÇÃO, A. C. S., DE OLIVEIRA, T. F., GUIMARÃES, C. C., & MACEDO, L. (2019). III-254 - **Simulação do potencial de contaminação por metais**

na disposição de celulares em aterros sanitários. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - 30º Congresso ABES 2019.

MAZON, M. T. (2014). **Inserção brasileira na cadeia global de reciclagem de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE).** Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

MENDES, M. R. M. (2017). **Análise de experiências internacionais com a Logística Reversa de Eletroeletrônicos: Comparação com a realidade brasileira e recomendações.** Dissertação (mestrado) - Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo. CDU 658: 504.06.

MENESCAL, D. L. P. E. (2019). **Análise de Viabilidade Ambiental para Implantação de uma Usina de Reciclagem da Construção e Demolição em Mossoró-RN.** Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Ministério do Meio Ambiente celebra Acordo Setorial de Eletroeletrônicos.** (2019). Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/informma/item/15652-minist%C3%A9rio-do-meio-ambiente-celebra-acordo-setorial-de-eletroeletr%C3%B4nicos.html>> Acesso em: 02 jun. 2020.

MOECKEL, C. B., KNUT, N., THERESE, S., ALHAJI, J., KEVIN, S. (2020). **Soil pollution at a major West African E-waste recycling site: Contamination pathways and implications for potential mitigation strategies.** Environment international. 137. 105563. DOI: 10.1016/j.envint.2020.105563.

MOOSAKAZEMI, F., GHASSA, S., SOLTANI, F., MOHAMMADI, M. R. T. (2020). **Regeneration of Sn-Pb solder from waste printed circuit boards: A hydrometallurgical approach to treating waste with waste.** Journal of Hazardous Materials. v. 385, p. 121589.

MOREIRA, I. (2019). **Determinação da influência de componentes de Placas de Circuito Impresso de tablets no crescimento de Acidithiobacillus Ferrooxidans-LR.** Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável da Universidade Federal do Espírito Santo.

MUNIZ, A. F., SILVA, H. W., JUNIOR, F. G., SIMAS, R. (2017). **Valorização de Resíduos: Recuperação de Metais de Placa de Circuitos Eletrônicos.** Revista Engenho, v.13.

NEEDHIDASAN, S., AGARWAL, S. G. (2020). **A review on properties evaluation of bituminous addition with E-waste plastic powder.** Materials Today: Proceedings 22. 1218–1222. DOI: 10.1016/j.matpr.2019.12.127.

NETO, O. C. G., CORREIA, C. J. A., SCHROEDER, M. A. (2017). **Economic and environmental assessment of recycling and reuse of electronic waste: Multiple case studies in Brazil and Switzerland.** Resources, Conservation & Recycling 127, 42–5.

NGOC, N., AGUSA, T., RAMU, K., PHUC, N., TU, C., MURATA, S. (2009). **Chemosphere contamination by trace elements at e-waste recycling sites in Bangalore, India.** Chemosphere 76 (1), 9–15.

NING, C., LIN, C. S. K., HUI, D. C. W., & MCKAY, G. (2017). **Waste Printed Circuit Board (PCB) Recycling Techniques.** Top Curr Chem (Z) 375, 43.

NORMA REGULAMENTADORA 6 (NR 6). **Equipamento de Proteção Individual.** Disponível em: <
<http://www.normaslegais.com.br/legislacao/trabalhista/nr/nr6.htm#:~:text=NORMA%20REGULAMENTADORA%206&text=6.1%20Para%20os%20fins%20de,e%20a%20sa%C3%BAde%20no%20trabalho>> Acesso em 18 de outubro de 2020.

NORMA REGULAMENTADORA 9 (NR 9). **Programa de prevenção de riscos ambientais.** Disponível em: <
https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-09-atualizada-2019.pdf> Acesso em 18 de outubro de 2020.

OBINNA, B. I., EBERE, E. C. (2019). **A review: Water pollution by heavy metal and organic pollutants: Brief review of sources, effects and progress on remediation with aquatic plants.** Analytical Methods in Environmental Chemistry Journal, 2(03), pp. 5-38. doi: 10.24200/amecj. v2.i03.66.

OLIVEIRA, J. V., DE SOUZA, M. T., DO NASCIMENTO, N. R. S. (2014). **Estudo de caso das incubadoras que atuam no espaço físico da central de tratamento de resíduos Marca Ambiental.** Trabalho de Conclusão de Curso, Senai – Vitória, 2014.

OLIVEIRA, J. D. (2017). **Resíduos Eletroeletrônicos enviados para galpões recicláveis da cidade do Recife.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Recife.

OLIVEIRA, L. S. S. (2019). **Recuperação de Prata de Células Fotovoltaicas Por Meio de Lixiviação Ácida, Precipitação Química e Precipitação Eletroquímica.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Espírito Santo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, Vitória.

PAPADOPOULOS, G., NTZIACHRISTOS, L., TZIOURTZIOUMIS, C., KERAMYDAS, C., LO, T., NG, K., WONG, H. A., WONG, K. C. (2020). **Real-world gaseous and particulate emissions from Euro IV to VI medium duty diesel trucks.** Science of The Total Environment. Volume 731, 20 August 2020, 139137.

PARAJULY, K, FITZPATRICK, C., MULDOON, O., KUEHR, R. (2020). **Behavioral change for the circular economy: A review with focus on electronic waste management in the EU.** Resources, Conservation and Recycling: X. DOI: 10.1016/j.rcrx.2020.100035.

PARAJULY K., KUEHR, R., AWASTHI, A. K., FITZPATRICK, C., LEPAWSKY, J., SMITH, E., WIDMER, R., ZENG, X. (2019). **Future E-waste Scenarios.** StEP (Bonn), UNU ViE-SCYCLE (Bonn) & UNEP IETC (Osaka).

PATHAK, A., MORRISON, L., HEALY, G. M. (2017). **Catalytic potential of selected metal ions for bioleaching, and potential techno economic and environmental issues: A critical review.** A critical review, Bioresource Technology.

PEIXOTO, B. L. C., SOUZA, I. G. S., FERREIRA, K. N. S., FARIAS, N. M. D. O., DANTAS, N. V., & CARVALHO, R. S. S. (2019). **A logística reversa no Brasil: responsabilidade ambiental e a perspectiva econômica.** Anais do XI SIMPROD.

PEREIRA, N. de S., DE SOUZA, F. J. S., DAVID, C. C., & FARIAS JÚNIOR, L. R. (2019). **Análise estratégica de localização de empresas: UM ESTUDO DE CASO SOBRE PERSPECTIVAS DE MULTICRITÉRIOS: estudo de caso em uma empresa transportadora de cargas.** Brazilian Journal of Production Engineering, 5(5),100-116.

PERS-ES. **Política Estadual de Resíduos Sólidos do Espírito Santo.** (2019). Disponível em: <<https://seama.es.gov.br/Media/seama/Documentos/Parte%201%20-%20APRESENTA%C3%87%C3%83O%20E%20INTRODU%C3%87%C3%83O.pdf>> Acesso em: 07 de julho de 2020.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. **Estudo de Viabilidade Ambiental (EVA) Volume I Caracterização do Empreendimento.** Secretaria Municipal de Desenvolvimento Econômico e do Trabalho, Vila Maria – São Paulo – SP. (2011). N° Referência 20565.10-3000-E-1504. PRESSE, 2020. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/2020/07/28/cotacao-do-ouro-bate-novo-recorde-historico.ghtml>> Acesso em: 22 out. 2020.

PRIYA, A., HAIT, S. (2017). **Comparative assessment of metallurgical recovery of metals from electronic waste with special emphasis on bioleaching.** Environmental Science and Pollution Research, v. 24, n. 8, p. 6989-7008.

PRIYA, A., HAIT, S. (2020). **Biometallurgical recovery of metals from waste printed circuit boards using pure and mixed strains of *Acidithiobacillus ferrooxidans* and *Acidiphilium acidophilum*.** Process Safety and Environmental Protection, v. 143, p. 262-272.

KIM, S. S., XU, X., ZHANG, Y., ZHENG, X., LIU, R., DIETRICH, K. N., REPONEN, T., XIE, C., SUCHAREW, H., HUO, X. & CHEN, A. (2020). **Birth outcomes associated with maternal exposure to metals from informal electronic waste recycling in Guiyu, China.** Environment International, 137, 105580.

RIBEIRO, A. A. (2019). **A coleta seletiva: recapturando valores de materiais recicláveis e reduzindo o descarte de rejeitos no meio ambiente de uma cidade mineira.** Monografia (graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Sociais Aplicadas. Departamento de Ciências Econômicas e Gerenciais, 2019.

RODRIGUES, A. C., GUNTHER, W. M. R., BOSCOV, M. E. G. (2015). **Estimativa da geração de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos de origem domiciliar: proposição de método e aplicação ao município de São Paulo, São Paulo, Brasil.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 20, n. 3, p. 437-447.

SÁNCHEZ, L. E. (2013). **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos.

SEAMA. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Governo do Estado do Espírito Santo. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Espírito Santo (PERS-ES)**, 2019. Disponível em <[https://seama.es.gov.br/Media/seama/Documentos/Plano%20Estadual%20de%20Res%20C3%ADduos%20S%20C3%B3lidos%20\(PERS\)%20-%20VERS%20C3%83O%20COMPLETA.pdf](https://seama.es.gov.br/Media/seama/Documentos/Plano%20Estadual%20de%20Res%20C3%ADduos%20S%20C3%B3lidos%20(PERS)%20-%20VERS%20C3%83O%20COMPLETA.pdf)> Acesso em: 19 ago. 2020.

SILVA, E. C. S. (2019a). **Placas de circuito impresso: levantamento da composição**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

SILVA, P. (2019b). **Parcerias Empresariais na Indústria Portuguesa de Mobiliário: um diagnóstico preliminar**. ISCAP – Instituto Superior de Contabilidade e Administração. Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting ISSN: 2183-3826, v. 5, n. 9.

SILVESTRE, H. A., CAMPOS, M. M. (2017). **Complexo Portuário da Grande Vitória (ES) e Plano de Desenvolvimento e Zoneamento Portuário: um debate recente**. Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades, v. 5, n. 32.

SILVESTRE, H. A., CAMPOS, M. M. (2020). **Porto e impactos no território: o sistema portuário da Grande Vitória (ES)**. arq. urb, v. 28, p. 136-152.

SOARES, A. C., COSTA, A. B. S., SALVADOR, F. F., & DE SOUZA, R. C. (2019). **Avaliação do processo de extração do cobre e prata contidos em placas de circuito impresso via lixiviação ácida e recuperação por oxirredução**. *Evaluation of the copper and silver extraction process in printed circuit boards via acid lixiviation and oxirreduction recovery*. Brazilian Journal of Development, v. 5, n. 10, p. 19184-19192.

SUN, R., LUO, X., LI, Q. X., WANG, T., ZHENG, X., PENG, P., & MAI, B. (2018). **Legacy and emerging organohalogenated contaminants in wild edible aquatic organisms: implications for bioaccumulation and human exposure**. Science of the Total Environment, v. 616, p. 38-45.

USHIZIMA, M. M., MARINS, F. A. S., MUNIZ J., J. (2014). **Política Nacional de Resíduos Sólidos: cenário da legislação brasileira com foco nos resíduos eletroeletrônicos**. XI Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia: Gestão do Conhecimento para a Sociedade, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho-Unesp.

WANG, J., WANG, Y., ZHANG, S., & ZHANG, M. (2018). **Effects of fund policy incorporating Extended Producer Responsibility for WEEE dismantling industry in China**. Resour. Conserv. Recycl. 130, 44–50.

WU, Q., LEUNG, J. Y. S., GENG, X., CHEN, S., HUANG, X., LI, H., HUANG, Z., ZHU, L., CHEN, J., LU, Y. (2015). **Heavy metal contamination of soil and water in the**

vicinity of an abandoned e-waste recycling site: implications for dissemination of heavy metals. *Science of the Total Environment*, v. 506, p. 217-225.

WU, Q., LEUNG, J. Y. S., TAM, N. F. Y., PENG, Y., GUO, P., ZHOU, S., LI, Q., GENG, X., MIAO, S. (2016). **Contamination and distribution of heavy metals, polybrominated diphenyl ethers and alternative halogenated flame retardants in a pristine mangrove.** *Marine Pollution Bulletin*, v. 103, n. 1-2, p. 344-348.

WU, J., PENG, Y., ZHI, H. CHEN, X., WU, S. TAO, L., ZENG, Y., LUO, X., MAI, B. (2019). **Contamination of organohalogen chemicals and hepatic steatosis in common kingfisher (*Alcedo atthis*) breeding at a nature reserve near e-waste recycling sites in South China.** *Science of The Total Environment*, v. 659, p. 561-567.

YAMANE, L. H. (2012). **Recuperação de Metais de Placas de Circuito Impresso de computadores obsoletos através do processo biohidrometalúrgico.** Tese de Doutorado em Engenharia. Universidade de São Paulo.

ZHENG, J., CHEN, K., YAN, X., CHEN, S., HU, G., PENG, X., YUAN, J., MAI, B., YANG, Z. (2013). **Heavy metals in food, house dust, and water from an e-waste recycling area in South China and the potential risk to human health.** *Ecotoxicology and environmental safety*, v. 96, p. 205-212.