

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CÂMPUS EXPERIMENTAL DE SÃO JOÃO DA BOA VISTA
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELETRÔNICA E DE
TELECOMUNICAÇÕES

ANA LETÍCIA CORADI

APLICAÇÃO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA NO PROCESSO
PRODUTIVO DE UM *SMARTPHONE* E PROPOSTA DE PRÁTICAS DE
PRODUÇÃO MAIS LIMPA

SÃO JOÃO DA BOA VISTA

2020

ANA LETÍCIA CORADI

APLICAÇÃO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA NO PROCESSO
PRODUTIVO DE UM *SMARTPHONE* E PROPOSTA DE PRÁTICAS DE
PRODUÇÃO MAIS LIMPA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Estadual
Paulista “Júlio de Mesquita Filho” como
requisito para obtenção de título de
Bacharel em Engenharia Eletrônica e de
Telecomunicações.

Orientador: Prof. Dr. José Augusto de
Oliveira

SÃO JOÃO DA BOA VISTA

2020

C787a Coradi, Ana Letícia

Aplicação da avaliação do ciclo de vida no processo de um smartphone e proposta de práticas de produção mais limpa / Ana Letícia Coradi. -- São João da Boa Vista, 2020

31 p. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia de Telecomunicações) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Câmpus Experimental de São João da Boa Vista, São João da Boa Vista

Orientador: José Augusto de Oliveira

1. Aparelhos e materiais eletrônicos. 2. Ciclo de vida do produto. 3. Smartphones. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Câmpus Experimental de São João da Boa Vista. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CÂMPUS EXPERIMENTAL DE SÃO JOÃO DA BOA VISTA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELETRÔNICA E DE TELECOMUNICAÇÕES

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**APLICAÇÃO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA NO PROCESSO DE UM
SMARTPHONE E PROPOSTA DE PRÁTICAS DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA**

Aluna: Ana Letícia Coradi

Orientador: Prof. Dr. José Augusto de Oliveira

Banca Examinadora:

- José Augusto de Oliveira (Orientador)
- Mirian Paula dos Santos (Examinadora)
- Ivan Aritz Aldaya Garde (Examinador)

A ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no prontuário do aluno (Expediente nº 7/2020)
--

São João da Boa Vista, 05 de novembro de 2020

*“Tu te tornas eternamente responsável por
aquilo que te cativas” (Saint- Exupery).*

RESUMO

O *smartphone* é um produto com alta demanda no mercado consumidor e, portanto, é produzido em larga escala, com significativos potenciais de impactos ambientais ao longo de seu ciclo de vida. Evidencia-se uma lacuna significativa na literatura científica sobre os impactos ambientais decorrentes da produção de *smartphones*, bem como para a proposta de melhorias do desempenho ambiental de seus processos produtivos. Com os resultados da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), é possível identificar os *hotspots* dentre as principais fases do ciclo de vida do produto, e proporcionar um processo de tomada de decisão para o fechamento do ciclo de vida e para a proposta de estratégias de Produção mais Limpa (P+L). Desta forma foi avaliado o desempenho ambiental do processo produtivo de um *smartphone* produzido no Brasil e propostas melhorias para este desempenho por meio de práticas de produção mais limpa, através de três cenários. O cenário A se dá pela exclusão do manual impresso do produto. O cenário B consistiu na substituição do polímero Policarbonato/Acrilonitrilo – Butadieno - Estireno (PCB/ABS) do *case* do *smartphone*, pelos Acrilonitrilo – Butadieno – Estireno (ABS) e pelos polietilenos de alta densidade termoplástico (HDPE) normal e reciclado. O cenário C foi composto pela troca da matriz energética hidroelétrica pelas fontes de energia eólica e fotovoltaica. O cenário C apresentaram-se como as melhores opções para melhoria do desempenho ambiental do processo produtivo do *smartphone*.

Palavras Chaves: Smartphone, Avaliação do Ciclo de Vida, Produção Mais Limpa.

ABSTRACT

The smartphone is a product with high demand in the consumer market and is therefore produced on a large scale, with significant potential environmental impacts throughout its life cycle. There is a significant gap in the scientific literature on the environmental impacts resulting from the production of smartphones, as well as on the proposal of improvements in the environmental performance of its production processes. With the results of the Life Cycle Assessment (LCA), it is possible to identify hotspots among the main phases of the product life cycle, and provide a decision-making process for the closure of the life cycle and for the proposal of Cleaner Production strategies. In this way, the environmental performance of the production process of a smartphone produced in Brazil was evaluated and improvements proposed for this performance through cleaner production practices, through three scenarios. Scenario A is the exclusion of the printed manual of the product. Scenario B consisted of the replacement of the polymer Polycarbonate/Acrylonitrile - Butadiene - Styrene (PCB/ABS) from the smartphone case, by the normal and recycled Acrylonitrile - Butadiene - Styrene (ABS) and by the thermoplastic high density polyethylenes (HDPE). Scenario C was composed by the exchange of the hydroelectric energy matrix for wind and photovoltaic energy sources. Scenario C presented itself as the best options for improving the environmental performance of the smartphone production process.

Keywords: Smartphone, Life Cycle Assessment, Cleaner Production.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Níveis de aplicação da produção mais limpa..	13
Figura 2: Fluxo metodológico da pesquisa.....	17
Figura 3: Natureza iterativa da ACV.....	18
Figura 4: Macroprocesso e processos elementares da manufatura do smartphone	20
Figura 5: Consumo de recursos..	21
Figura 6: Consumo de recursos materiais.....	21
Figura 7: Consumo de substâncias valiosas	22
Figura 8: Emissões para o ar.	23
Figura 9: Emissões para água doce	24
Figura 10: Emissões de água salgada.	24
Figura 11: Emissões para o solo agrícola.	25
Figura 12: Emissões para o solo industrial.....	25
Figura 13: Impactos Ambientais – Cenário A.....	26
Figura 14: Impactos ambientais – Cenário B.	28
Figura 15: Impactos ambientais - Cenário C.....	29

LISTA DE ACRÔNIMOS

ABS – Acrilonitrilo – Butadieno – Estireno

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida

AE – Eutrofização Aquática

AICV – Avaliação do Inventário do Ciclo de Vida

AP – Potencial de Acidificação

CNTL - Centro Nacional de Tecnologias Limpas

DTIE – *Division of Technology Industry and Environment*

EDIP – *Environmental Development of Industrial Products*

EoL – *End-of-Life*

FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

Fe – Ferro

GWP – Potencial de Aquecimento Global

HDPE – Polietileno de alta densidade termoplástico

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICV – Inventário do Ciclo de Vida

ILCD – *International Reference Life Cycle Data System*

LR – Logística Reversa

Ni – Níquel

OD – Destruição do ozônio estratosférico

ONU – Organização das Nações Unidas

PAH – Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos

Pb – Chumbo

PCB/ABS - Policarbonato/Acrilonitrilo – Butadieno – Estireno

PO – Formação fotoquímica de ozônio

PWB – *Printed Wiring Board*

P+L – Produção mais Limpa

RBS – Revisão Bibliográfica Sistemática

REs – Resíduos Eletrônicos

TE – Eutrofização Terrestre

Th – Tório

U – Urânio

UNEP – *United Nations Environment Program*

SUMÁRIO

1. Introdução.....	11
1.1. Revisão bibliográfica	12
1.1.1. Produção mais limpa	12
1.1.2. Métodos de avaliação de impacto do ciclo de vida (aicv).....	13
1.1.3. Nível de avaliação de impacto.....	13
1.1.4. Fronteiras do sistema	14
1.2. Justificativa	14
1.3. Objetivos.....	15
1.4. Estrutura do trabalho.....	16
2. Método de pesquisa.....	17
3. Resultados e discussões.....	21
3.1. Cenário a: exclusão do manual de uso do smartphone impresso em papel	26
3.2. Cenário b: substituição dos polímeros do <i>case</i> do <i>smartphone</i>	27
3.3. Cenário c: substituição da matriz energética	28
4. Conclusão	30

1. INTRODUÇÃO

É mencionado em várias bibliografias, como Moreira (2000), Santos (2008) e principalmente Silva (2015), que a revolução das comunicações iniciada em 1970 no Brasil foi um marco no processo de organização do território nacional. Essa revolução impacta cada vez mais a economia nacional.

O setor de telecomunicações tem uma representatividade significativa na economia brasileira de acordo com balanço elaborado pela Associação Brasileira de Telecomunicações (TELEBRASIL, 2019), com 324,2 milhões de clientes, entre os serviços de telefonia fixa e móvel, banda larga e TV por assinatura. É um setor que emprega um total de 485,1 milhares de pessoas. Deve-se destacar que no ano de 2017 as contribuições públicas foram de 1,2 bilhões de reais.

A carga tributária brasileira tem um grande peso nos serviços, representando 44% da receita líquida, fazendo com o que Brasil seja o campeão de tributação entre os dez países com os maiores números de acessos de celular (TELEBRASIL, 2019).

O problema apresentado na evolução da tecnologia é o impacto causado pelo excesso da inovação, ou melhor, pelo excesso do descarte. O impacto ambiental não está inserido apenas no seu fim, mas durante todo o seu ciclo de vida. Especialistas preveem um crescimento de mais 17%, para 52,2 milhões de toneladas métricas, até 2021, segundo um estudo realizado pela Organização das Nações Unidas (ONU) (2019).

É indispensável a ênfase que se deve dar ao risco que os metais pesados presentes nos constituintes do *smartphone* causam a saúde humana e ao meio ambiente. Somente no Brasil são descartados de vinte a cinquenta milhões de toneladas de Resíduos Eletrônicos (REs), segundo Moraes, Rocha e Ewald (2016). Deve-se destacar que apenas a bateria deste produto é suficiente para poluir 600.000 litros de água.

De acordo com Soleimane e Govindan (2016), os produtos de fim de vida desempenham um papel vital, já que são coletados e os processos apropriados são então executados, como a reparação, desmontagem, remanufatura, reciclagem e eliminação de forma ambientalmente sensível.

Foi apontado por Bai, Wang e Zeng (2018), que fornecer serviços de reciclagem pode dar vantagens aos fornecedores de telefone no mercado competitivo, visto que os consumidores estão mais dispostos a comprar de vendedores que oferecem serviço de reciclagem. Agregando a esta informação, pode-se respaldar em Ylä-Mella, Keiski e Pongrácz (2015) a necessidade de garantir a participação dos usuários, dado que

fornecer informações atualizadas e aumentar a publicidade sobre as práticas predominantes é crucial.

Com os resultados da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), é possível identificar os *hotspots* dentre as principais fases do ciclo de vida do produto, e proporcionar um processo de tomada de decisão para o fechamento do ciclo de vida e para a proposta de estratégias de Produção mais Limpa (P+L) e/ou estratégias de logística reversa (LR), bem como estratégias de fim de vida do produto (*End of Life* – EoL). Em complemento, a Resolução 04/2010 (Brasil, 2010) menciona que a ACV pode subsidiar o processo de tomada de decisão na indústria e nas organizações governamentais ou não governamentais.

Como mencionado por Mersoni e Reichert (2017), a estrutura metodológica da ACV inclui o inventário do ciclo de vida (ICV), que tem a capacidade de estimar as cargas ambientais envolvidas em um sistema de gerenciamento de resíduos, como a construção do balanço de massa e energia a partir de entradas e da identificação de saídas, e a Avaliação do Inventário do Ciclo de Vida (AICV).

1.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

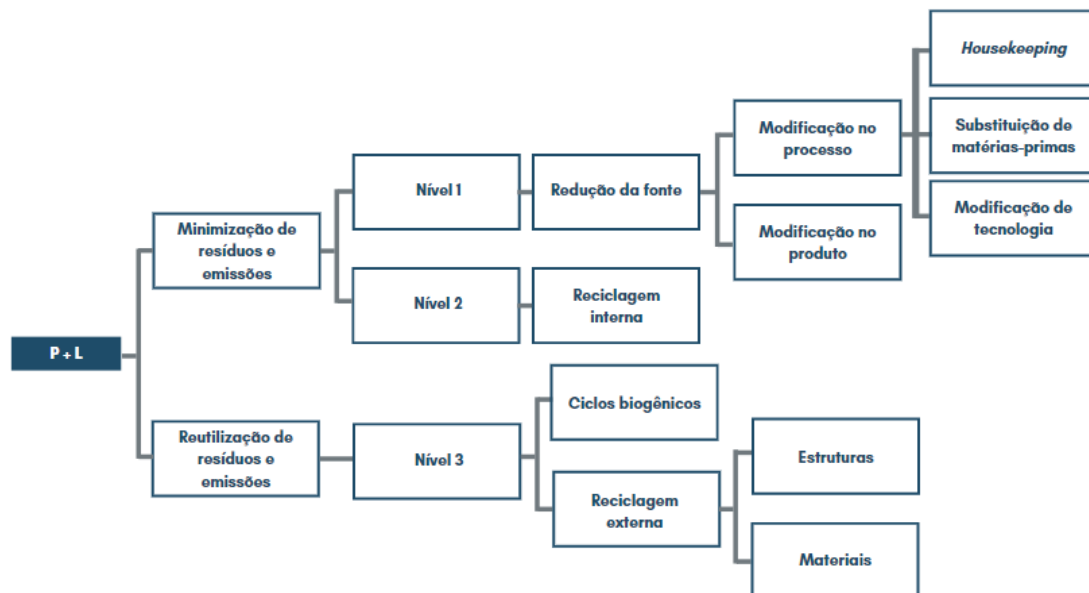
1.1.1. PRODUÇÃO MAIS LIMPA

Em 1989, a expressão “Produção Mais Limpa (P+L)” foi lançada pelo UNEP (*United Nations Environment Program*) e pela DTIE (*Division of Technology, Industry and Environment*) como sendo a aplicação contínua de uma estratégia integrada de prevenção ambiental a processos, produtos e serviços, visando o aumento da eficiência da produção e a redução dos riscos para o homem e o meio ambiente, todavia, é na década de noventa, logo após a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, que o Brasil começa a conhecer tal prática.

O Centro Nacional de Tecnologias Limpas (CNTL) apresenta as fases de implantação e as ações necessárias para operacionalização da P+L como mostra a figura 1. Esta é dividida em dois grupos, a redução e a minimização de resíduos e emissões, dentre quais está subdividido em três níveis. No nível 1 tem-se a redução da fonte, podendo modificar o produto ou o processo, essa ultima modificação se dá ou por técnicas de *housekeeping*, que consiste em mudanças nas condições operacionais, limpezas periódicas, alterações do *layout* físico, entre outros; ou por substituições de matérias-primas; ou ainda, a modificação de tecnologia. No nível 2, tem-se a reciclagem

interna, ou seja, dado que um resíduo não pode ser evitado, este deve preferencialmente ser reintegrado ao processo de produção da empresa. No nível 3 o processo de reciclagem se dá fora da empresa, ou seja, deve-se adotar medidas internas que viabilizem uma reciclagem externa dos resíduos (Werner, 2011; Oliveira, et al. 2019).

Figura 1: Níveis de aplicação da produção mais limpa. Fonte: CNTL/SENAI-RS apud BARBIERE, 2006.



1.1.2. NÍVEL DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO

Os níveis de avaliação de impactos podem ser divididos em três, *midpoint*, *endpoint* e combinado. O primeiro utiliza indicadores ao longo do mecanismo até o ponto final, o segundo considera tudo, até o fim, já o combinado considera a vantagem de ambas abordagens (Mendes, 2013).

1.1.3. MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO DO CICLO DE VIDA (AICV)

Dentre os métodos existentes para avaliação de impacto do ciclo de vida foi escolhido para essa pesquisa o EDIP 2003 que advém da versão EDIP 97. Segundo Mendes (2013) trata-se de um método *midpoint*, fundamento então para a escolha, já que esta pesquisa se baseia em um sistema de produto *gate-to-gate*, delimitando-se ao processo de manufatura. O maior problema na escolha por esse método é que os fatores de normalização são europeus, porém como não há normalizações deste tipo para América do Sul, essa se encaixa como a escolha mais próxima.

Essa versão contempla:

- Acidificação;
- Aquecimento global;
- Destruição do ozônio estratosférico (emissão de gases contendo cloro e bromo);
- Eutrofização aquática (processo de poluição da água, proveniente do acúmulo de nutrientes);
- Eutrofização terrestre (aumento da concentração de nutrientes); e
- Formação fotoquímica de ozônio (ativação quântica de uma molécula por um fóton com energia).

1.1.4. FRONTEIRAS DO SISTEMA

As fronteiras do sistema definem quais partes do ciclo de vida e quais processos pertencem ao sistema analisado, uma definição precisa das fronteiras do sistema é importante para assegurar que todos os processos sejam incluídos (Manual do Sistema ILCD, 2014).

Definir as fronteiras do sistema significa decidir quais fases do ciclo de vida serão incluídas e quais serão omitidas. Nesse caso, a escolha da fronteira se deu apenas na fase de produção do *smartphone*, sem considerar o que vem a jusante e a montante.

1.2. JUSTIFICATIVA

Atualmente apenas alguns países, principalmente de terceiro mundo, não adotam regulamentos de fechamento de ciclo para resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos e é dentro dessa lacuna que a pesquisa pretendeu introduzir conceitos que pudessem contribuir com um melhor entendimento do assunto, já que apenas 9,6% das pesquisas são sobre componentes eletrônicos, segundo Soleimane, e Govindan (2016).

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) reapresentados pela TELECO (2019), o Brasil terminou setembro de 2017 com 241,1 milhões de celulares e densidade de 115,93 cel/100 habitantes, isso contribui tanto para o setor de telecomunicações e também para o setor econômico do país, já que a produção industrial do setor elétrico e eletrônico cresceu 5,9% em relação a setembro de 2016, de acordo com ABINNE (2017).

Com base em uma Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) realizada pela pesquisadora em um artigo anterior, são escassos os trabalhos dedicados à avaliação de

impactos ambientais durante as fases do ciclo de vida dos *smartphones* (CORADI, OLIVEIRA 2018).

Evidencia-se uma lacuna significativa na literatura científica sobre os impactos ambientais decorrentes da produção de *smartphones*, bem como para a proposta de melhorias do desempenho ambiental de seus processos produtivos. Esta lacuna por sua vez pôde contribuir para o processo de tomada de decisão do setor empresarial relacionado, já que poucos estudos se propuseram a demonstrar melhorias ambientais e econômicas. Há que se destacar a complexidade da cadeia produtiva de um *smartphone*, pois esta é composta por vários estágios e agentes intermediários. Segundo Bai, Wang e Zeng (2018), os resíduos dos telefones celulares obsoletos são mais complicados por possuírem tanto substâncias altamente perigosas quanto metais valiosos.

Desta forma, delimitou-se o escopo da pesquisa à etapa de manufatura. Assim, esta pesquisa pretendeu suprir esta lacuna científica e avançar na fronteira do conhecimento, de forma a contribuir, com uma análise cautelosa, para a melhoria do desempenho ambiental do processo produtivo de uma empresa de Telecomunicações brasileira.

1.3. OBJETIVOS

O objetivo da pesquisa foi avaliar o desempenho ambiental do processo produtivo de um *smartphone* produzido no Brasil e propor melhorias para este desempenho por meio de práticas de P+L.

- Coletar dados em campo para a realização do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) do processo produtivo do *smartphone*;
- Identificar na literatura o melhor método de Avaliação do Inventário do Ciclo de Vida (AICV) deste processo;
- Avaliar os impactos ambientais com um sistema de produto *gate to gate* do processo produtivo de um *smartphone*.
- Projetar cenários com melhorias ambientais neste processo;
- Analisar a viabilidade técnica das práticas de P+L propostas;
- Apresentar as propostas para a empresa produtora do *smartphone*;
- Consolidar as práticas em formato de diretrizes para empresas do setor de produção de *smartphones*.

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

O Trabalho de Conclusão de Curso está estruturado em quatro capítulos, sendo eles apresentados na ordem que permite melhor entendimento do tema proposto desde os conhecimentos básicos como teóricos de funcionamento do produto e etapas da avaliação.

- Primeiro capítulo: apresenta o tema abordado sua importância, justificativa e objetivo.
- Segundo Capítulo: apresenta o método de pesquisa.
- Terceiro Capítulo: apresenta os resultados e discussões.
- Quarto Capítulo: apresenta as conclusões.

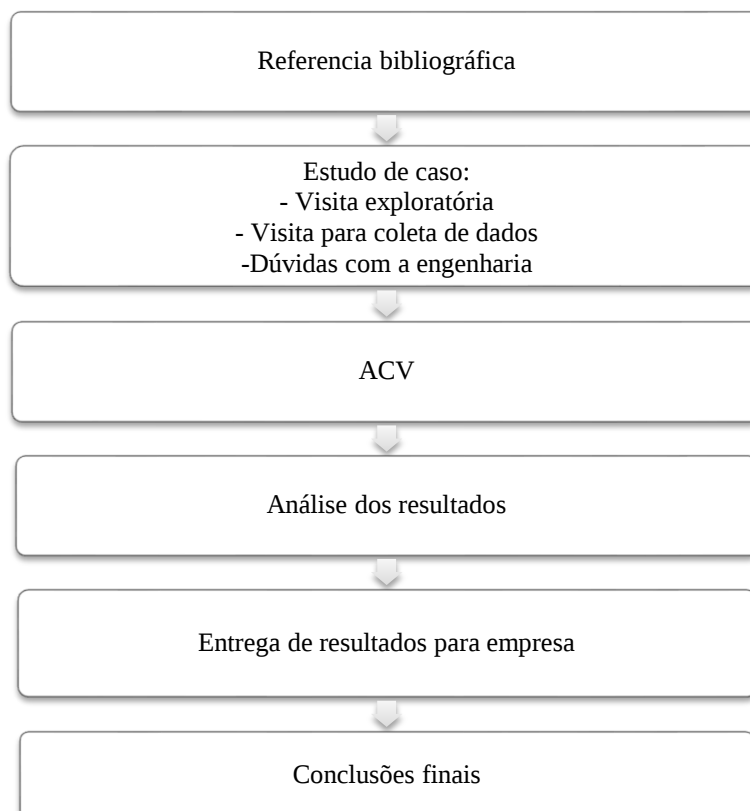
2. MÉTODO DE PESQUISA

Inicialmente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre a técnica ACV e também sobre a estratégia produtiva P+L, além das normas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006 que apresentam requisitos e orientações para a ACV.

Como objeto de pesquisa foi adotado um *smartphone* de uma empresa de Telecomunicações localizada no Brasil. A unidade funcional para a ACV foi 1 (um) aparelho *smartphone* desde o processo de entrada até a saída da etapa de manufatura. O *software* utilizado foi o *GaBi Education*, adquirido pelo campus.

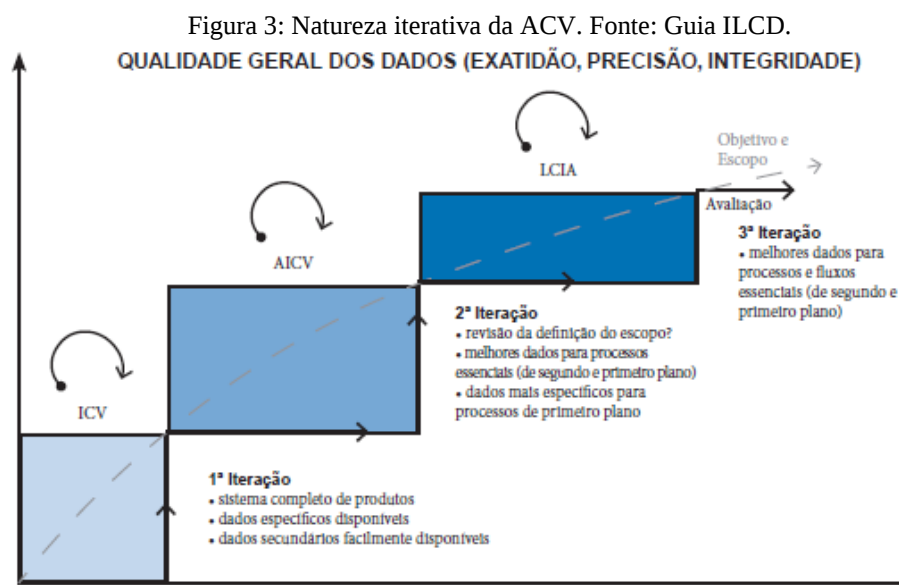
Foram realizadas algumas reuniões com a empresa para a realização de uma pesquisa mais abrangente fomentada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), sob coordenação do orientador desta presente proposta. A empresa assinou o termo de confidencialidade com a universidade onde foi realizada esta pesquisa e se prontificou a ceder todos os dados necessários para este estudo. A Figura 1 apresenta o fluxo metodológico desta pesquisa.

Figura 2: Fluxo metodológico da pesquisa. Fonte: Autora.



De acordo com o guia ILCD são necessários alguns passos para realização de ACV, já que as ACVs são iterativas, como mostra a Figura 3. Inicialmente é necessário uma base importante para elaboração correta e eficiente do relatório, por esse motivo foi

dado tanto enfoque na revisão bibliográfica tanto deste trabalho como de outro, realizado em nível de iniciação científica (Coradi, 2020). Definiu-se também o objetivo do estudo, e o escopo. Com esses dados pôde-se identificar as lacunas presentes no estudo, como limitações. Subsequentemente identificando as categorias de impacto incluídas e os métodos utilizados. Com os dados coletados foi montado um primeiro modelo de sistema, para ajudar a identificar os processos, parâmetros, fluxos elementares, entre outros.



Ao elaborar o estudo de caso, foi obtido, através de dados fornecidos pela empresa um fluxograma do processo de manufatura, representado na Figura 4. Para melhor desenvolvimento, esse fluxograma foi subdividido em 4 (quatro) partes, sendo elas:

1. *Printed wiring board (PWB);*
2. *Test & underfill;*
3. *Final assembly; e*
4. *Packing.*

Cada um destes processos é composto por subprocessos, considerados como os processos elementares da manufatura do *smarthpone* (ISO 14040, 2009).

No processo PWB tem-se impressão da placa de circuito impresso e a inserção dos componentes. O segundo processo, essa mesma placa é testada e ajustada com o *underfil*, que é responsável por acoplar o chip ao substrato. No processo de *Final Assembly*, são inseridas outras partes do aparelho, como a *case* e a tela, além da

realização de alguns testes. No último subprocesso, o *smartphone* finalizado e embalado.

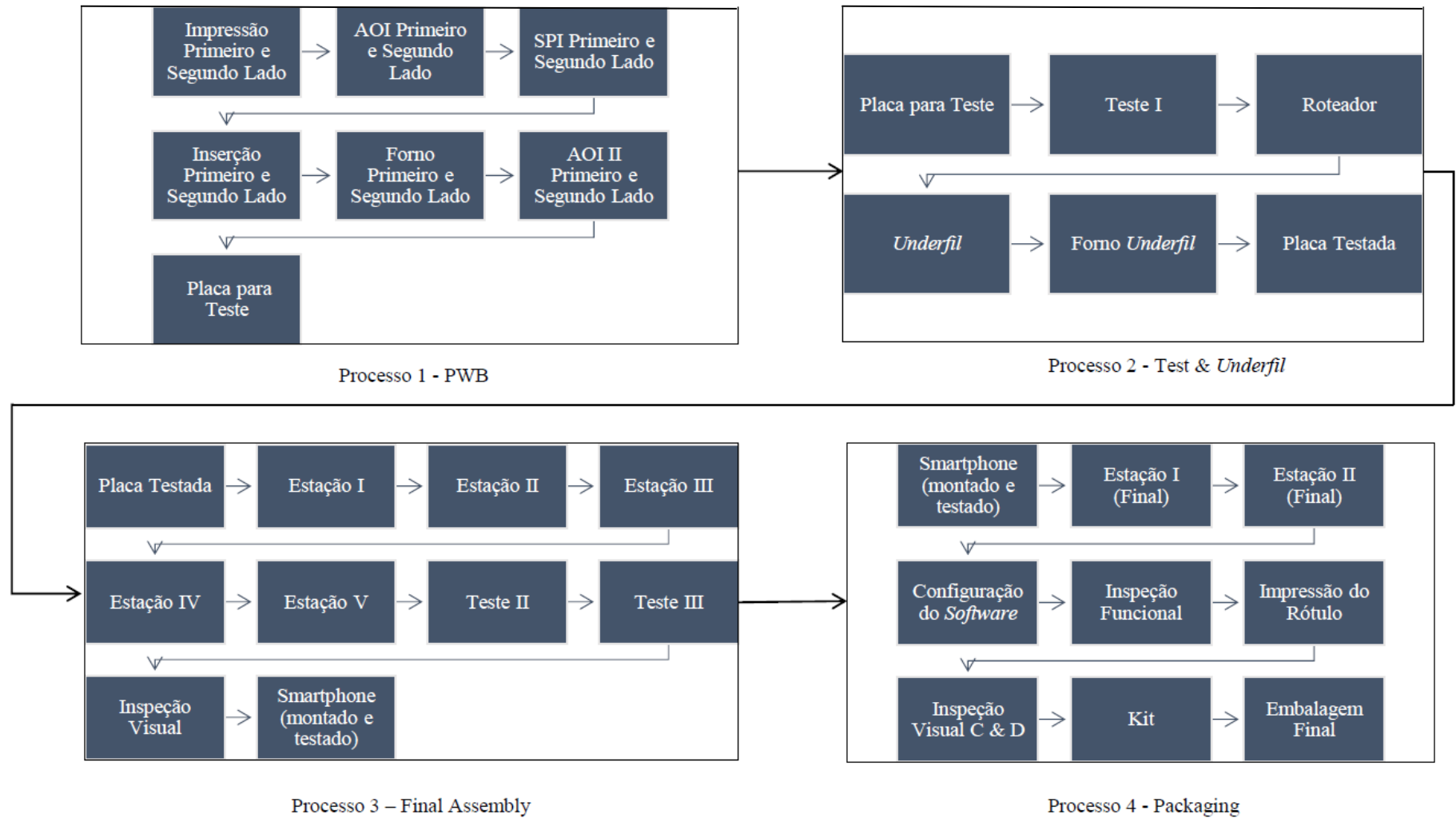
Deve-se destacar que a unidade funcional é a qualificação das funções identificadas no produto, ou seja, uma medida de desempenho. No caso dessa pesquisa a unidade funcional é a produção de um *smartphone*. Tendo como fluxo de referência o próprio *smartphone*.

A potência consumida pelos equipamentos e o tempo de execução de cada processo foram coletados e, desta forma, utilizando a Equação 1, foi possível fazer o cálculo de energia consumida,

$$P = \frac{E}{\Delta t} \quad (1)$$

em que P é a potência em *watts* [W], E a energia em quilowatts por hora [kWh], e Δt o tempo em horas [h].

Figura 4: Macroprocesso e processos elementares da manufatura do smartphone. Fonte: Autora.



3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao analisar os recursos utilizados na produção, pode-se identificar que este é subdividido em recursos energéticos e materiais e como apresentado pela Figura 5, pode-se perceber que os recursos materiais são bem mais significativos, podendo ser novamente agrupados em elementos não renováveis, recursos não renováveis e recursos renováveis, como apresentado pela Figura 6. Deve-se destacar que todos os dados obtidos são dados através do *software* GaBi Education.

Figura 5: Consumo de recursos. Fonte: Autora.

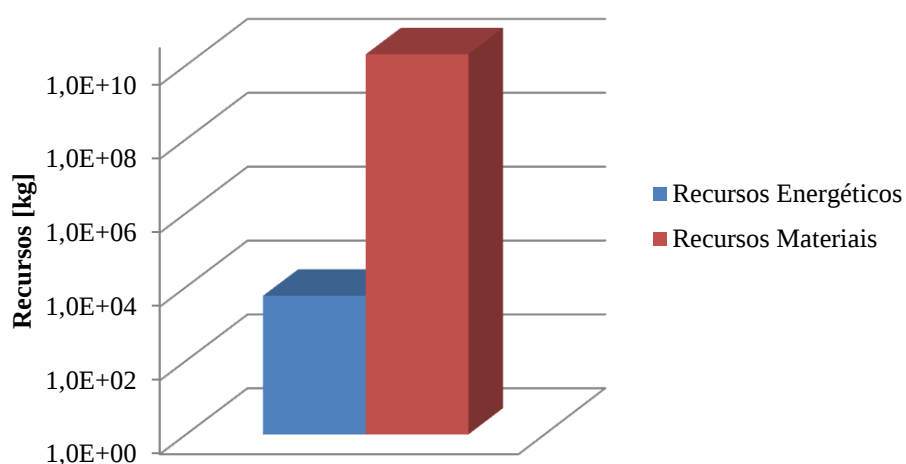
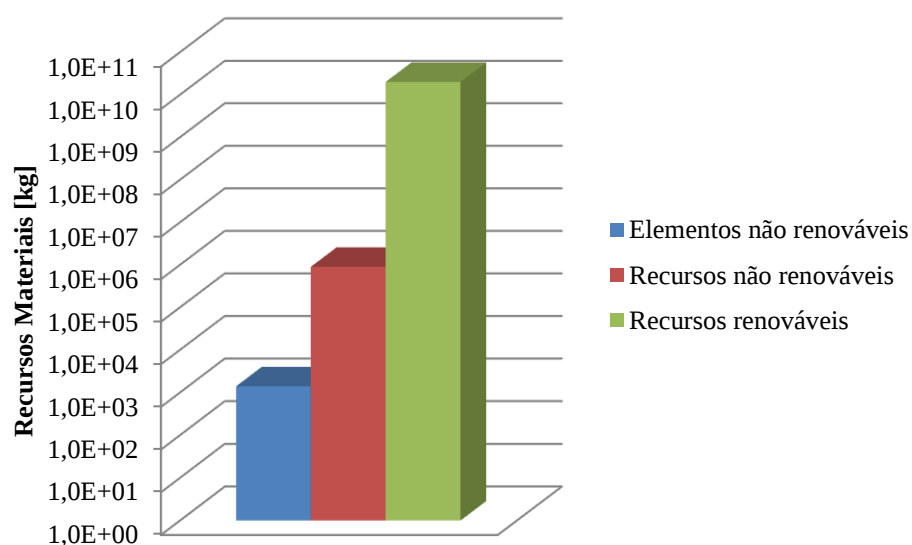


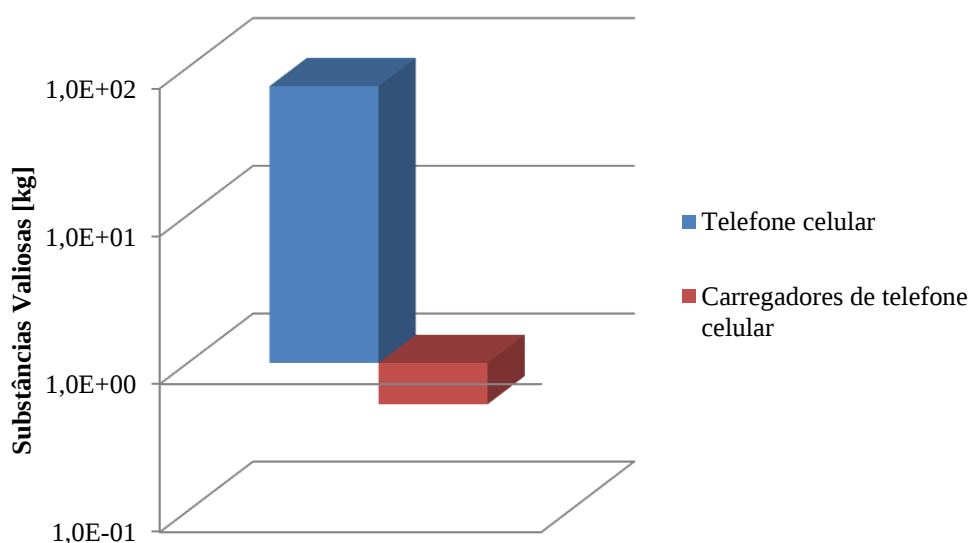
Figura 6: Consumo de recursos materiais. Fonte: Autora.



Os elementos não renováveis são: antimônio, cádmio, cálcio, cério, cromo, cobalto, cobre, disprosio, rbio, eurpio, gadolínio, ouro, hlmio, irídio, ferro, chumbo, lutécio, magnésio, manganês, mercúrio, molibdênio, neodímio, níquel, ósmio, paládio, fósforo, platina, praseodímio, ródio, rutênio, samário, silício, prata, estrôncio, enxofre, tântalo, túlio, tilio, titânio, vanádio, itérbio, ítrio, zinco e zircônio. Já os recursos não renováveis são: anidrita (rocha), sulfato de bário, basalto, bauxita, bentonita, bórax, cloreto de cálcio, argila, colemanita, dolomita, feldspato (silicatos de alumínio), ferro manganês, fluorita, granito, grafite, gesso (gesso natural), barita (BaSO_4), ilmenita (minério de titânio), rocha inerte, caulim, calcário (carbonato de cálcio), magnésio (carbonato de magnésio), lixiviação de cloreto de magnésio (40%), minério de manganês, agregado natural, pedra-pomes natural, olivina, fonólito, minério de fosfato, sal de potássio bruto (sal duro, 10% K_2O), cloreto de potássio, pirita, quartzo, xisto, ardósia, cloreto de sódio (sal-gema), nitrato de sódio, sulfato de sódio, solo, pedra das montanhas, enxofre (colado), talco, minério de estanho (0,01%) e minério de titânio. E os recursos renováveis são: água, ar, dióxido de carbono, floresta (primária), nitrogênio e oxigênio.

Além dos recursos, outros pontos foram diagnosticados, assim como as substâncias valiosas presentes no *smartphone*. Essas substâncias foram encontradas nos componentes eletrônicos apresentados na Figura 7.

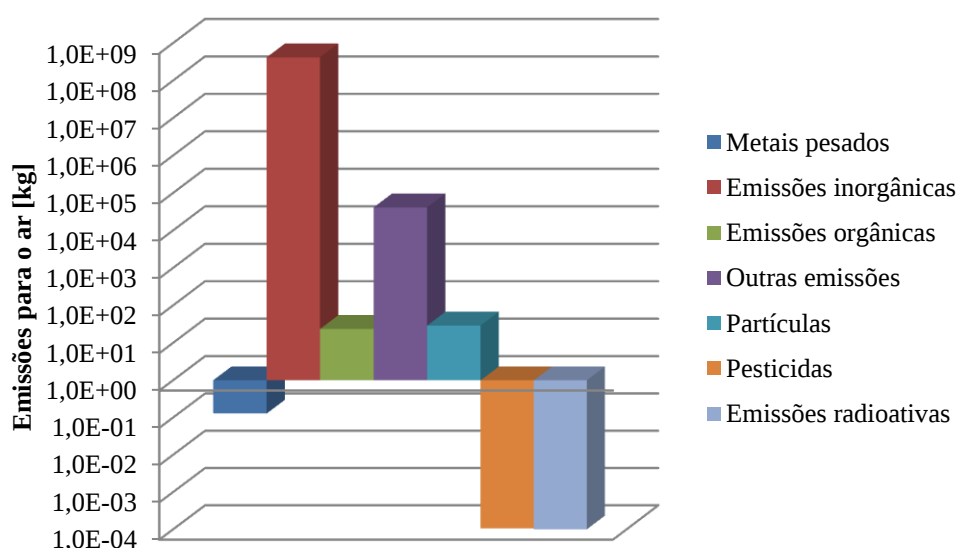
Figura 7: Consumo de substâncias valiosas. Fonte: Autora.



O gráfico de emissões para o ar foi fragmentado em metais pesados, emissões inorgânicas e orgânicas, outras emissões, partículas, pesticidas e radioativas; como

apresentado na Figura 8. Dentro dos metais pesados os não identificados possuem maior representatividade, seguidos do ferro (Fe), em contrapartida o níquel (Ni) é o menos representativo. Ao se focar nas emissões inorgânicas pode-se destacar que o vapor de água é mais significativo em relação as demais emissões inorgânicas, tendo um valor de 416513724,9 kg. Já as emissões orgânicas, foram divididas em metano (CH₄) e compostos orgânicos voláteis não metânicos, subdivididos em hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH) e halocarbonetos, e hidrocarbonetos ; ao comparar os três maiores grupos dessa emissão pode-se destacar o metano. Dentro de outras emissões, destaca-se a exaustão. Na subcategoria de partículas a poeira >PM10 é aproximadamente 39 vezes mais impactante que PM10. Os pesticidas mais encontrados na emissão do ar são mancozebe e trifluralina. Nas emissões radioativas apenas dois elementos são encontrados, o tório (Th) 230 e o urânio (U).

Figura 8: Emissões para o ar. Fonte: Autora.



As emissões para água são divididas em água doce e água salgada, porém ambas são subdivididas em medidas analíticas, metais pesados, emissões inorgânicas, orgânicas, outras, partículas e radioativas. Contudo, há grande diferença em ambas as emissões, apresentadas nas Figuras 9 e 10. Nas medidas analíticas a demanda de oxigênio químico é aproximadamente 232 vezes maior na água doce do que na água salgada. Nos metais pesados o ferro é o maior impactante na água doce, porém o menor na água salgada. A presença de substâncias na emissão inorgânica na água doce é maior que a da salgada, sendo que ambas possuem o cloreto como maior impactante. Assim como na emissão orgânica para o ar, a emissão orgânica para água é dividida em

halocarbonetos, e hidrocarbonetos e tanto na água doce quanto na água salgada o impacto dos hidrocarbonetos é maior comparado ao de halocarbonetos. Nas emissões de partículas, a água salgada possui apenas como fator impactante os sólidos, já a água doce possui os metais, dióxido de silício, os sólidos e a perda de solo por erosão na água. Outra singularidade nas emissões para água é que apenas a água doce recebe impactantes radioativos.

Figura 9: Emissões para água doce. Fonte: Autora.

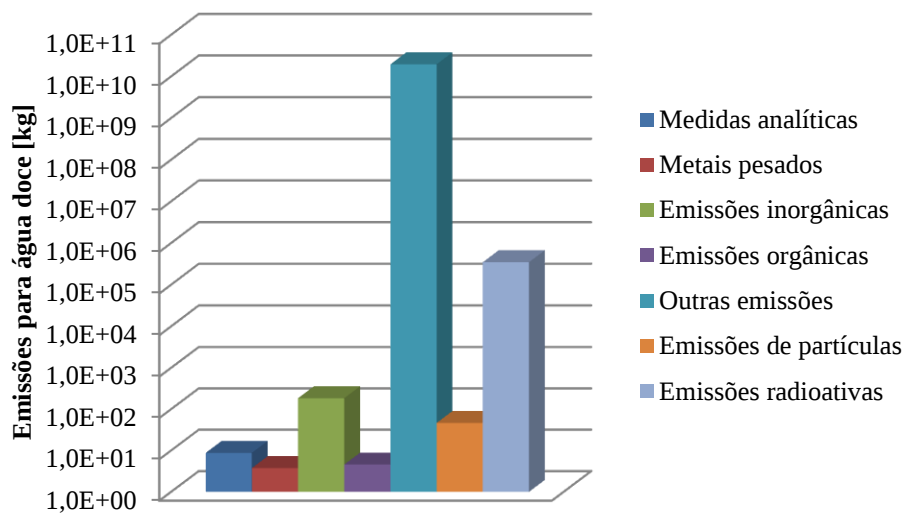
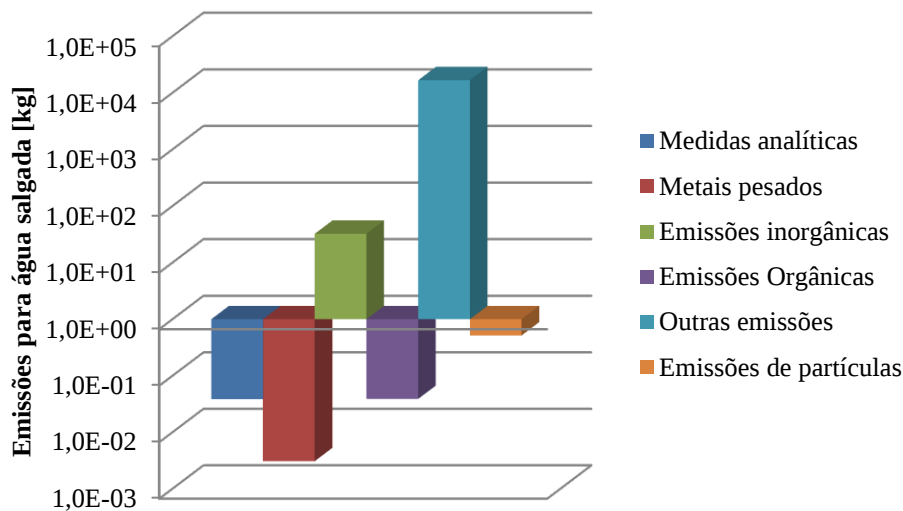


Figura 10: Emissões de água salgada. Fonte: Autora.



As emissões para solo são divididas em solo agrícola e industrial, como mostram as Figuras 11 e 12, respectivamente. As emissões do solo agrícola são divididas em metais pesados e emissões inorgânicas, onde o chumbo (Pb) é o maior impactante dentre os metais pesados e o alumínio das emissões inorgânicas. Assim como nas

emissões do solo agrícola, as emissões do solo industrial também possuem sua divisão os metais pesados e as emissões inorgânicas, com o acréscimo das emissões orgânicas; como metal pesado o ferro se destaca, o cloreto nas emissões inorgânicas e o ácido acético nas emissões orgânicas.

Figura 11: Emissões para o solo agrícola. Fonte: Autora.

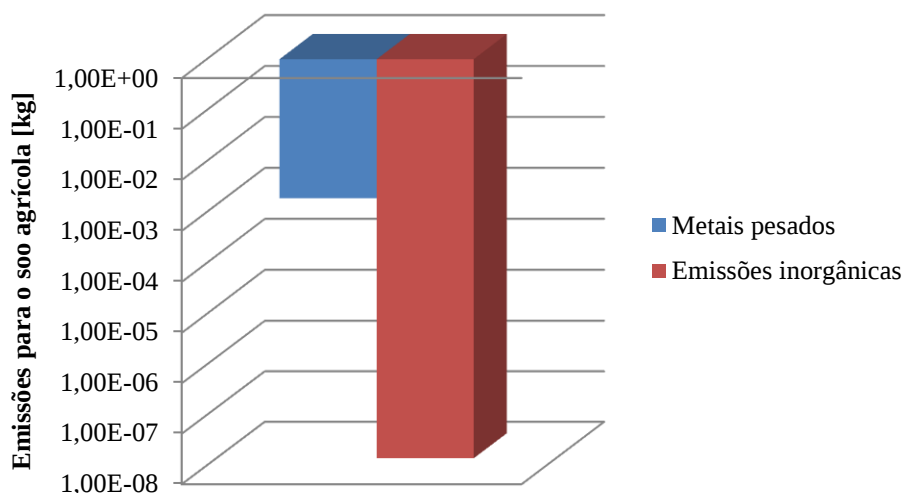
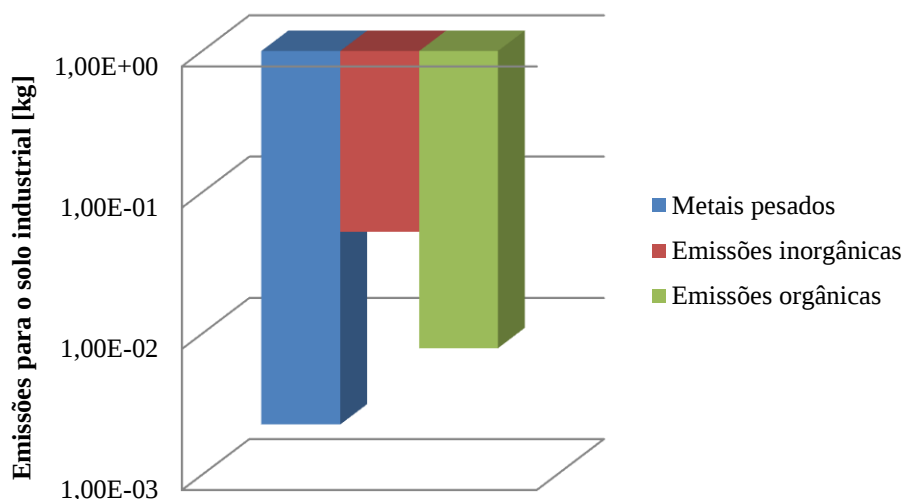


Figura 12: Emissões para o solo industrial. Fonte: Autora.



Ao analisar os impactos ambientais do processo atual, é possível perceber que os potenciais de aquecimento global, com exceção do potencial de aquecimento global pela mudança de uso da terra, são os maiores impactantes ambientais e o potencial de depleção da camada de ozônio o menor dentre eles.

Após fazer a análise dos consumos e emissões na produção do *smartphone* foram propostas melhorias para este desempenho por meio de práticas de P+L. Como

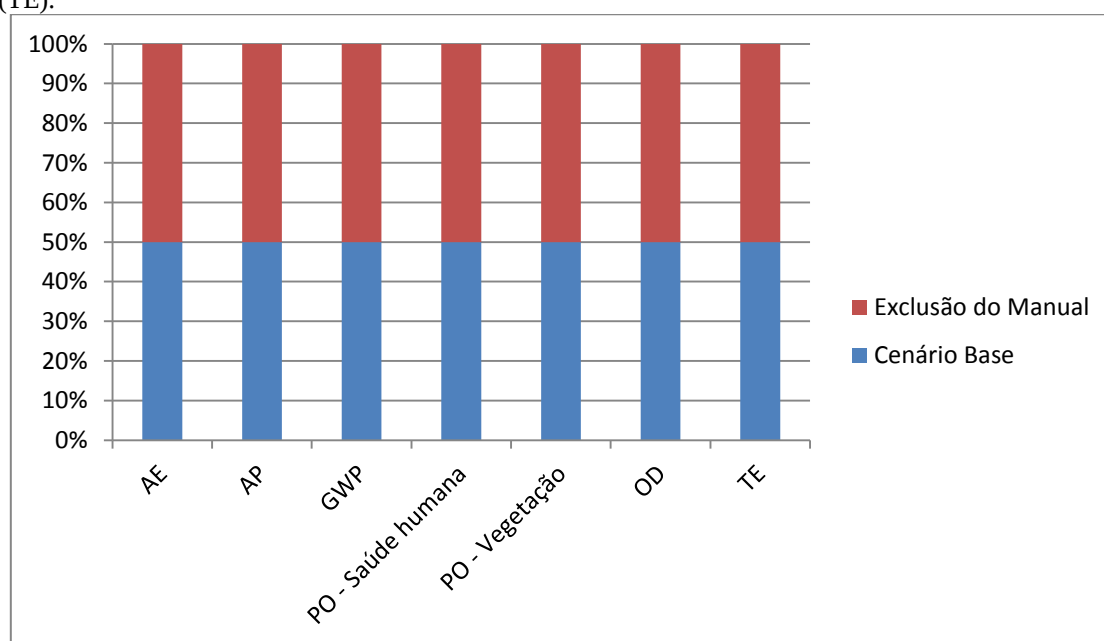
descrito na seção 1.1.1, a P+L é dividida em três fases, e nesta pesquisa o foco se dá no primeiro nível.

3.1. CENÁRIO A: EXCLUSÃO DO MANUAL DE USO DO SMARTPHONE IMPRESSO EM PAPEL

Conforme indica a Figura 4, no nível 1 de P+L há um conjunto de tecnologias a serem empregadas visando a redução na fonte causadora de impactos ambientais. Neste caso, optou-se por uma modificação no produto, excluindo-se o manual impresso em papel por um manual digital somente no produto.

Como uma proposta de P+L, foi exclusão total do manual impresso, dessa forma há uma busca por redução nos impactos, mas se for analisado o gráfico da Figura 13 pode-se notar que a diferença é irrelevante, devido aos impactos causados por outros materiais na produção do *smartphone*.

Figura 13: Impactos Ambientais – Cenário A. Acrônimos: eutrofização aquática (AE); potencial de acidificação (AP); potencial de aquecimento global (GWP), formação fotoquímica de ozônio, com impacto na saúde humana e materiais (PO – Saúde Humana); formação fotoquímica de ozônio, com impacto na vegetação (PO – Vegetação); destruição do ozônio estratosférico (OD); eutrofização terrestre (TE).



Comparando os *hotspots* do processo de manufatura do *smartphone* com os impactos ambientais, observou-se que o papel, apesar de possuir um grande impacto ambiental, quando comparado acompanhado ao *smartphone* pôde-se concluir que seus impactos ambientais, relativamente aos demais impactos que os processos de manufatura do *smartphone* causam, são irrelevantes.

3.2. CENÁRIO B: SUBSTITUIÇÃO DOS POLÍMEROS DO CASE DO SMARTPHONE

Ainda no nível 1 de redução na fonte, conforme apresenta a Figura 4, a substituição de matéria-prima tem um papel importante para a prevenção de impactos ambientais. Como o sistema de produto foi *gate-to-gate*, não foram planejadas propostas mais ambiciosas no projeto do produto, limitando-se a propostas de melhorias ambientais periféricas. Desta forma, foram simulados cenários com a substituição do polímero do *case* do *smartphone*. Inicialmente o plástico utilizado era o Policarbonato/Acrilonitrilo – Butadieno – Estireno (PCB/ABS), e de acordo com algumas literaturas optou-se por fazer sua troca por Acrilonitrilo – Butadieno – Estireno (ABS), assim como pelo polietileno de alta densidade termoplástico (HDPE) normal e reciclado.

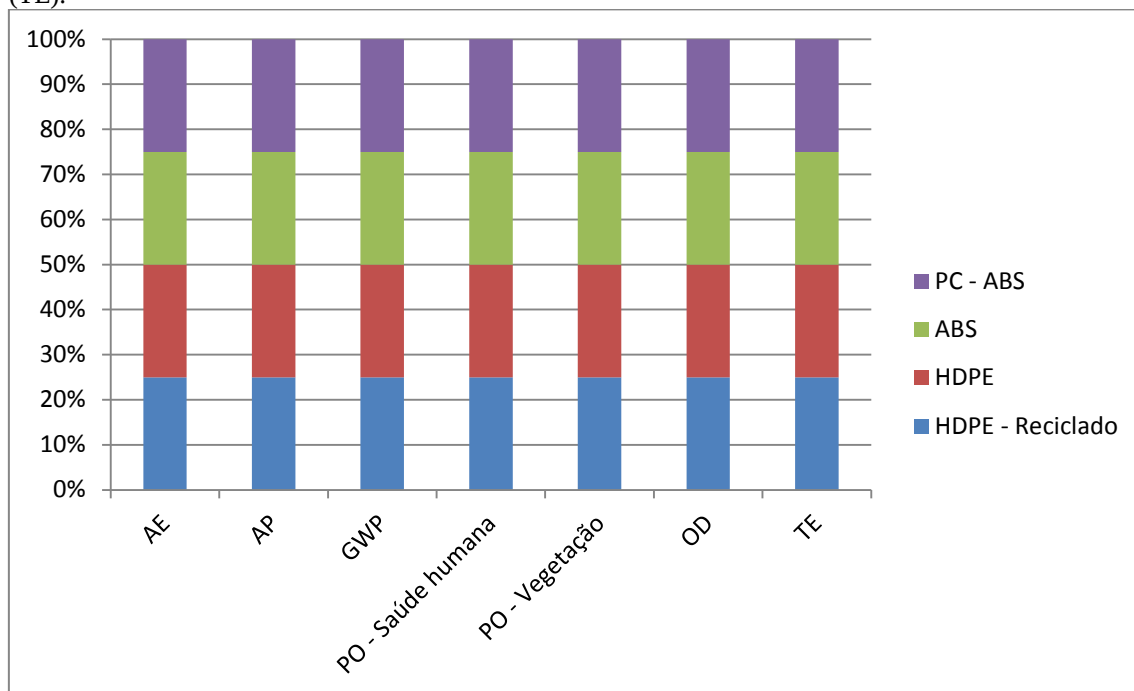
Os polímeros podem ser obtidos por meio de diferentes processos e podem ser empregados em atividades industriais na forma de *pellets* do material virgem, assim como em misturas mais complexas com outros polímeros ou materiais. A utilização de materiais poliméricos para a produção de componentes que substituem outros materiais em produtos de bem de consumo, tem aumentado consideravelmente na última década. (Lacerda, 2017)

O Brasil, segundo dados do Banco Mundial (BM, 2018), é o quarto maior produtor de lixo plástico no mundo, com 11,3 milhões de toneladas, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, China e Índia. De acordo com a Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST, 2019) 1,8% desse plástico é destinado à produção de eletrônicos.

Quanto ao tipo de plástico, segundo a Thais Castro (2019), no país nota-se predominância do consumo do polietileno, encontrado nas formas de polietileno de baixa densidade, polietileno de baixa densidade linear, e polietileno de alta densidade.

Apesar do gráfico da Figura 14 mostrar que independente do polímero o impacto ambiental foi o mesmo, estudos analisados por Ita-Nagy (2020) sugerem que alguns casos, resultados diferentes foram obtidos durante a avaliação, portanto, as comparações devem ser feitas com cautela, considerando que abordagens estocásticas, bem como melhores estoques e os métodos de avaliação tenderão a fornecer resultados ambientais em um futuro próximo.

Figura 14: Impactos ambientais – Cenário B. Acrônimos: eutrofização aquática (AE); potencial de acidificação (AP); potencial de aquecimento global (GWP), formação fotoquímica de ozônio, com impacto na saúde humana e materiais (PO – Saúde Humana); formação fotoquímica de ozônio, com impacto na vegetação (PO – Vegetação); destruição do ozônio estratosférico (OD); eutrofização terrestre (TE).



3.3. CENÁRIO C: SUBSTITUIÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA

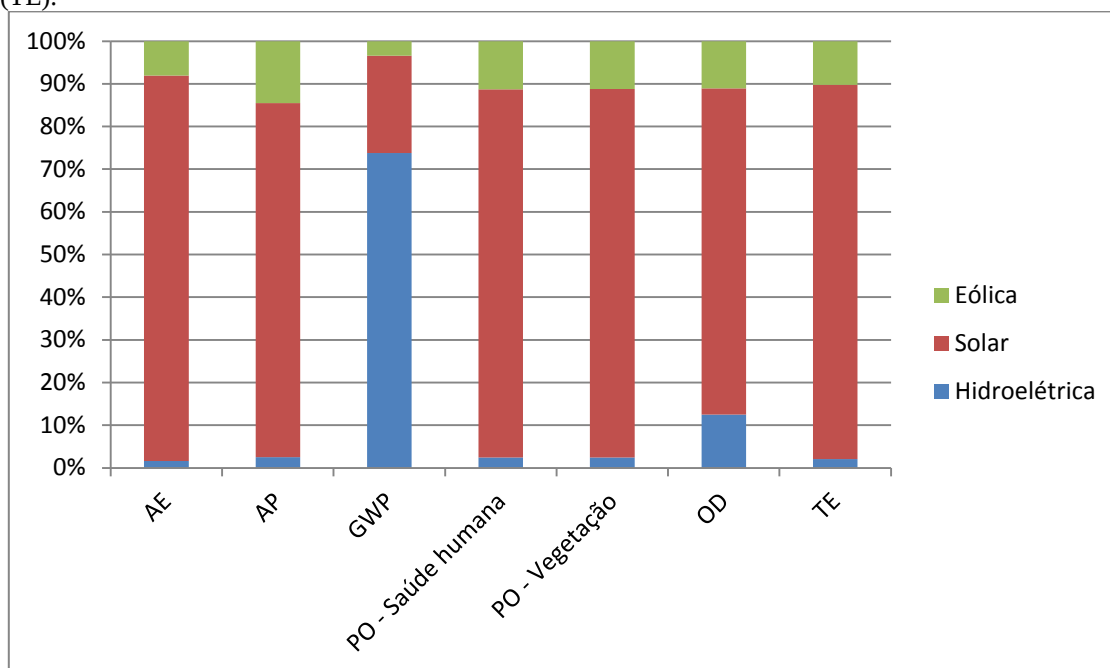
Por meio da Figura 15, é possível observar como cada matriz energética contribuiu para os impactos ambientais.

Se for analisar a eutrofização aquática (AE) o impacto ambiental da energia hidroelétrica é menor comparado com as outras matrizes, isso também se dá no potencial de acidificação (AP) e em ambas as formações fotoquímicas de ozônio (PO).

Comparada às outras matrizes energéticas, a energia eólica se destaca no impacto de aquecimento global (GWP) e destruição do ozônio estratosférico (OD).

Apesar de, no gráfico a energia solar não possuir os melhores impactos ambientais comparada com as outras matrizes energéticas, deve-se levar em consideração que ao analisar o aquecimento global (GWP) a atual matriz energética possui uma diferença de 1,75E+06 de dióxido de carbono.

Figura 15: Impactos ambientais - Cenário C. Acrônimos: eutrofização aquática (AE); potencial de acidificação (AP); potencial de aquecimento global (GWP), formação fotoquímica de ozônio, com impacto na saúde humana e materiais (PO – Saúde Humana); formação fotoquímica de ozônio, com impacto na vegetação (PO – Vegetação); destruição do ozônio estratosférico (OD); eutrofização terrestre (TE).



4. CONCLUSÃO

Nessa pesquisa foi avaliado inicialmente o desempenho ambiental do processo produtivo de um *smartphone* sendo duas variações de matrizes energéticas, a exclusão de todo papel utilizado para a impressão do manual, já que este pode ser dispensado se considerado que virá no *software* do *smartphone*, e a substituição dos polímeros utilizados.

Ao analisar os impactos ambientais causados com as diferentes matrizes energéticas (hídrica, solar e eólica), é possível notar que em todas as categorias de impacto a energia eólica possui menor impacto, e a atual matriz energética é a que mais causa impactos ambientais na produção do *smartphone*. Diferente do esperado, ao excluir o papel para manual, os impactos ambientais não são alterados significativamente, pois os impactos ambientais causados pelo manual de papel são relativamente irrelevantes aos demais impactos do processo de manufatura. Mas deve-se levar em conta que isso se dá para produção de apenas um aparelho.

Como prática de P+L esse estudo sugere a mudança da matriz energética utilizada na produção e o descarte total do uso de papel para impressão do manual, podendo reduzir significativamente os impactos ambientais, mesmo que comparado ao impacto ambiental total do *smartphone* o impacto ambiental do papel seja considerado proporcionalmente irrelevante, como descrito acima, sua retirada tem seu impacto positivo para produção.

Dessa forma, esse trabalho tem uma grande contribuição não só para a análise dos impactos ambientais do *smartphone*, mas também para eletrônicos em geral. Para próximos trabalhos sugere-se aumentar o sistema de fronteira e analisar mais minuciosamente todos os processos do ciclo de vida inteiro do *smartphone* e propor melhorias para o desempenho ambiental em várias fases deste ciclo, visando avanços mais robustos para a sustentabilidade ambiental e não apenas a produção. Deve-se destacar que sem a contribuição da empresa com os dados, não seria possível realizar a análise, já que há uma grande lacuna de estudos nessa área.

REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO (ABIPLAST). A Indústria de Transformação e Reciclagem de Plástico no Brasil. Disponível em <http://www.abiplast.org.br/publicacoes/preview2019/>. Acesso em 09 de novembro de 2020.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA (ABINEE). Indústria Eletroeletrônica. Setembro 2017. Disponível em <http://www.abinee.org.br/abinee/decon/decon80.htm>. Acesso em 29 de abril de 2019.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TELECOMUNICAÇÕES (TELEBRASIL). Febratel reforça posicionamento do setor de serviços contrário ao aumento do PIS/Cofins. Junho de 2018. Disponível em http://www.telebrasil.org.br/component/docman/doc_download/1871-04-09-2018-o-desempenho-do-setor-de-telecom-series-temporais-1t18?Itemid=. Acesso em 5 de maio de 2019.
- [4] BAI, H.; WANG, J.; ZENG, A. Z. Exploring Chinese Consumers' Attitude and Behavior toward Smartphone Recycling. *Journal of Cleaner Production*, v. 188, p. 227-236, 2018.
- [5] BARBIERI, J. C. Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos. São Paulo: Saraiva, 2006.
- [6] CASTRO, T. H. M. Os bioplásticos: impactos ambientais e perspectivas de mercado. Rio de Janeiro, 2019
- [7] CARABAÑO, R., HERNANDO, S.M., RUIZ, D., BEDOYA, C., 2017. Life Cycle Assessment (LCA) of building materials for the evaluation of building sustainability: the case of thermal insulation materials. **Revista de la Construcción**, v.16, n.1, p. 22-32, 2017.
- [8] CNTL - Centro Nacional de Tecnologias Limpas – SENAI. Disponível em: <<https://www.senairs.org.br/es/tags/cntl>>. Acesso em 04 de novembro de 2020.
- [9] CORADI, A. L. OLIVEIRA, J. A. Revisão bibliográfica na aplicação integrada da avaliação do ciclo de vida e da logística reversa em smartphones. In: VI Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida – GCV. 2018

- [10] GAMA, D., MORAES, V.M., ROCHA, T.B., EWALD, M.R., 2014. Life cycle assessment of cell phones in Brazil based on two reverse logistics scenarios. *Production*, v. 24, n. 4, p. 735-741.
- [11] ITA-NAGY, D.; VÁZQUEZ-ROWE, I.; KAHNAT, R.; CHINGA-CARRASCO, G.; QUISPE, I. Review environmental life cycle impacts of biobased polymers: current trends and methodological challenges. Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2020.
- KHOR, K. S., UDIN, Z. M., 2012. Impact of Reverse Logistics Product Disposition towards Business Performance in Malaysian E&E Companies. **J. Supply Chain Cust. Relatsh. Manag**, 2012.
- [12] LACERDA, L. M.; NUNES, A. O.; PAIVA, J. M. F.; MORIS, V. A. S. Avaliação dos impactos ambientais de um processo industrial utilizando com matéria-prima policarbonatos virgem e reciclado. *Eng. Sanit. Ambient.* v.24 n.6. 2019
- [13] MANUAL DO SISTEMA ILCD. Guia Geral para Avaliações do Ciclo de Vida. Brasília – DF, 2014.
- [14] MENDES, N. C. Métodos e modelos de caracterização para a Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: análise e subsídios para aplicação no Brasil. 2013
- [15] MERSONI, C., REICHERT, G. A. Comparação de cenários de tratamento de resíduos sólidos urbanos por meio da técnica da Avaliação do Ciclo de Vida: o caso do município de Garibaldi. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.22, n.5, p.863-875. 2017.
- [16] MOREIRA, R. Os períodos técnicos e o paradigma do espaço do trabalho. **Ciência geográfica**, Bauru: AGB, ano VI, v.2, 2000.
- NNOROM, I. C., OHAKWE, J., OSIBANJO, O. Survey of willingness of residents to participate in electronic waste recycling in Nigeria – A case study of mobile phone recycling. *Journal of Cleaner Production*, v.17, n.18, p.1629-1637. 2009.
- [17] ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Lixo eletrônico representa ‘crescente risco’ ao meio ambiente e à saúde humana, diz relatório da ONU. 2019. Disponível em <https://nacoesunidas.org/lixo-eletronico-representa-crescente-risco-ao-meio-ambiente-e-a-saude-humana-diz-relatorio-da-onu/>. Acesso 14/08/2019.
- [18] SANTOS, M. A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção. 4. ed. São Paulo, 2008.

- [19] SILVA, P. F. J. Geografia das telecomunicações no Brasil. 1. ed. São Paulo, 2015.
- [20] SOLEIMANE, H., GOVINDAN, K., 2016. A review of reverse logistics and closed-loop supply chains: a Journal of clear production focus.
- [21] SORIANO, F. R., OPRIME, P. C., LIZARELLI, F. L., 2017. Impact analysis of critical success factors on the benefits from statistical process control implementation.
- [22] TELECO. **Estatísticas de celulares no brasil**. 01 Novembro 2017. Disponível em <http://www.teleco.com.br/ncel.asp>. Acesso em 27 de abril de 2019.
- [23] WERNER, E. M., BACARJI, A. G., HALL, R. J. Produção mais limpa: conceitos e definições metodológicas. INGEPRO – Inovação, Gestão e Produção, vol. 03, nº 02. Fevereiro de 2011.