

## DEFINIÇÃO DE PRÁTICAS DE ECONOMIA CIRCULAR PARA TONER DE IMPRESSORAS A PARTIR DA ANÁLISE DO SEU CICLO DE VIDA

Gabriel Soares Lisauskas e Professora Maria Célia de Oliveira

**Apoio: PIVIC Mackenzie**

### RESUMO

Com o constante aprimoramento da tecnologia e da oferta de produtos que se beneficiam desta ferramenta, como os meios de transporte, eletrônicos, eletroeletrônicos, entre outros setores presentes em nosso dia, ficou evidente o aumento significativo da geração de resíduos tecnológicos por conta da obsolescência programada ou até mesmo pela facilidade econômica de adquirir um novo item tecnológico. Neste cenário, se vê assim a necessidade de entender e implementar soluções para reduzir esses resíduos de uma maneira ambiental, social e economicamente viável. Uma opção para realizar a análise deste problema é a análise do ciclo de vida e que foi utilizada neste trabalho, ela possui 4 fases, a primeira a definição do objetivo, limitações, metodologia e escopo do estudo. A segunda à análise de inventário que envolve a coleta de dados e procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto. Como terceira e quarta fase, a avaliação dos potenciais impactos e a interpretação deles. O modelo visa identificar possíveis gargalos em cada um dos estágios do ciclo de vida, desde a extração de matéria prima até o uso e disposição final do produto. Desta forma, foi possível observar que a redução de energia na fabricação e a incorporação de ferrita de Ni-Zn na composição do pó de toner deixaram de impactar uma média de 6% na saúde humana, no ecossistema e na utilização de recursos.

**Palavras-chave:** Análise do Ciclo de Vida (ACV). Economia Circular. Sustentabilidade.

### ABSTRACT

The constant improvement of technology and the products' offer that take benefit from this tool such as means of transport, electronic, electrical electronic among others in our daytime, it becomes evident that the increase of technological waste generation due to planned obsolescence or even the economical facility to buy a new technological item. With this in mind, this subject becomes important to understand and implement solutions to reduce this waste considering the ecological, social and economic aspects. One option to perform this study, and also, the one that we used in this article, is using the life cycle analysis which have 4 stages, first is the purpose definition, limitations, methodology and study's scope. Secondly, have the inventory analysis that involve the data collection and calculation procedures to quantify relevant entries and exits. As third and fourth phase, definition of assessment of potential impacts and interpretation of them. The model aims to analyze this problem is the life cycle that aim to identify bottlenecks in each life cycle's stage, from the stock extraction to usage

and production's final disposition. In this way, was possible to conclude that reducing the necessary energy to make a toner and adding ferrite Ni-Zn to the toner powder composition the process reduced average 6% of health human, ecosystem and resources impacts.

**Keywords:** Life cycle analysis (LCA). Circular Economy. Sustainability.

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo Azapagic e Perdan (2000), as indústrias e os seus sistemas de produção são importantes fontes de degradação ambiental e do esgotamento de recursos naturais. Ainda segundo os autores, este fator mostra a necessidade e urgência da implementação de métodos para a produção mais limpa.

Para as Nações Unidas (2001) um dos maiores desafios dos próximos anos será garantir que as futuras gerações possam ter uma vida sustentável, uma vez que as ações que tomamos agora podem tomar um rumo irreversível, como problemas climáticos, perda da biodiversidade e escassez de recursos mandatórios como água e comida. Essa pressão em nosso meio ambiente nos reforça a necessidade de desenvolver produtos e serviços mais sustentáveis, além medir os impactos que estamos causando.

Um método eficaz para realizar tal medição é a análise do ciclo de vida de um produto ou serviço. A Setac juntamente com a UNEP e a Life Cycle Initiative desenvolveram o guia global para indicadores de avaliação de impacto do ciclo de vida ou Global Guidance for Life Cycle Impact Assessment Indicators que identifica a melhor prática disponível nas mais diversas áreas como: Mudanças climáticas, impacto do uso da água, Impactos na saúde humana, e impactos do uso da terra na biodiversidade. Em outras palavras, a análise do ciclo de vida permite avaliar o impacto de todos os estágios do ciclo de vida de um produto ou serviço, auxiliando assim na hora da implementação de melhorias ou alternativas para os processos (COLTRO, 2007).

Segundo a norma NBR ISO 14040 criada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, em novembro de 2001 uma análise do ciclo de vida tem como estrutura a definição do objetivo e escopo deste produto ou serviço, a análise de inventário necessária para a realização deste bem e por último a avaliação de impacto. Todos esses pilares possuem também sua parte de interpretação de dados levando assim às aplicações diretas como melhorias no desenvolvimento de produtos, planejamento estratégico, elaboração de políticas públicas, marketing, entre outros.

Nota-se pelo contexto que este assunto é urgente, entretanto, no mundo que vivemos, se torna necessário alinhar também os interesses econômicos, ambientais e sociais (MOTTA, 2013). Sendo assim, é possível dizer que a análise do ciclo de vida tem como objetivo também as mudanças estruturais e processuais nas organizacionais (SILVA, L., VIEIRA, DELLAGNELO, 1998).

O estudo da economia circular a partir da análise do ciclo de vida contribui para discussões acadêmicas voltadas para este tema, além de oferecer melhorias ou alternativas para a eliminação de resíduos, inserindo-os novamente na linha de produção

incentivando um crescimento econômico e desenvolvimento sustentável (COSENZA, DE ANDRADE, DE ASSUNÇÃO, 2020).

Segundo o estudo feito por Santos e Lima (2017), devido à alta taxa de óxido de ferro no composto do pó de toner e um tamanho de 6 $\mu$ m, o descarte irregular no meio ambiente poderia acarretar grandes problemas para o local e para a saúde humana. Sendo assim, foi sugerido a incorporação deste pó à ferrita de Ni-Zn como uma solução alternativa quanto ao destino inadequado dos toners de impressora, ao mesmo tempo, este processo tem a capacidade de reduzir o tempo e o custo de fabricação da ferrita.

Para Huang e Sartori (2012), após estudos sobre a remanufatura de cartuchos de toner de impressora, foi possível concluir que essa prática imposta pela economia circular realmente reduz a quantidade de matéria prima direta e indireta e não possui um custo muito elevado para colocar em prática. Além disso, com a remanufatura, reduz a quantidade de toners de impressora nos lixos ou descartados em lugares inadequados.

Segundo Silva (2010) a implementação da logística reversa gera benefícios ao meio ambiente, principalmente na diminuição do desperdício e economia de energia, além de ganhos econômicos com a comercialização das carcaças de alta qualidade e baixo custo de aquisição. Traduzindo em uma redução de impactos ambientais e a obtenção de vantagem econômico-financeira com a adoção da logística reversa pelas organizações.

Desta forma, o problema de pesquisa deste projeto foi definido da seguinte forma: Quais modelos de Análise de Ciclo de Vida (ACV) podem ser aplicados para toners e quais práticas de economia circular podem ser consideradas para este produto? Para responder a esta questão de pesquisa, foram definidos os seguintes objetivos:

O objetivo geral do trabalho é analisar o ciclo de vida de um toner de impressora, considerando desde a matéria prima até o seu descarte, considerando práticas de economia circular.

Os objetivos específicos decorrentes do objetivo geral, são:

1. Avaliar o processo de análise do ciclo de vida de toners de impressoras;
2. Definir e analisar as alternativas sustentáveis para os materiais identificados durante o desenvolvimento prático do projeto. Discutir as práticas de economia circular para o toner de impressora considerando os pilares econômicos, sociais e ambientais;

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

A avaliação do ciclo de vida (ACV) é um modelo que permite avaliar o impacto ambiental associado a um produto ou serviço durante seu ciclo de vida, permitindo identificar possíveis gargalos em cada um dos estágios do ciclo de vida, desde sua extração até o uso e disposição final do produto. Além disso, é possível avaliar a implementação de melhorias ou alternativas para produtos, processos ou serviços (COLTRO, 2007)

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2001) um estudo de ACV é dividido em quatro partes. Na primeira fase, definição do objetivo e escopo, se é definido as funções e fronteiras do sistema de produto, a unidade funcional, procedimentos de alocação, tipos de impacto e metodologia de avaliação de impacto e interpretação subsequente a ser usada, requisitos dos dados, suposições, limitações e requisitos da qualidade dos dados iniciais. Na segunda fase, análise de inventário, envolve a coleta de dados e procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto. Estas entradas e saídas podem incluir o uso de recursos e liberações no ar, na água e no solo associados com o sistema. Estes dados também constituem a entrada para a avaliação do impacto do ciclo de vida. Na medida em que os dados são coletados e é conhecido mais sobre o sistema, podem ser identificados novos requisitos ou limitações para os dados que requeiram uma mudança nos procedimentos de coleta de dados, de forma que os objetivos do estudo ainda sejam alcançados. Na terceira fase, avaliação de impacto, é dirigida à avaliação da significância de impactos ambientais potenciais, usando os resultados da análise de inventário do ciclo de vida. Em geral, este processo envolve a associação de dados de inventário com impactos ambientais específicos e a tentativa de compreender estes impactos. A fase de avaliação de impacto pode incluir, entre outros, elementos como:

- Correlação de dados de inventário por categorias de impacto (classificação);
- Modelagem dos dados de inventário dentro das categorias de impacto (caracterização);
- Possível agregação dos resultados em casos muito específicos e somente quando significativos (ponderação).

Na última parte, interpretação, na qual as constatações da análise do inventário e da avaliação de impacto são combinadas, de forma consistente, com o objetivo e o escopo definidos, visando alcançar conclusões e recomendações. As constatações desta interpretação podem tomar a forma de conclusões e recomendações para os tomadores de decisão, de forma consistente com o objetivo e o escopo do estudo.

No estudo de Análise do Ciclo de Vida e Logística Reversa por Motta (2013) é possível concluir que na fase do pós-consumo, a logística reversa é a forma correta de se trabalhar os resíduos gerados, diminuindo assim os impactos e trazendo benefícios como diminuição da poluição do solo, água e ar, melhorias na qualidade de limpeza da cidade e da qualidade de vida da população, trazendo ainda o benefício da utilização de matérias-primas obtidas pela logística reversa, inserindo-as novamente na linha de produção. Alcançando assim, a proposta de “cradle to cradle”, com uma reutilização dos resíduos em novos processos produtivos.

Economia circular é baseada nos princípios de repensar o jeito que utilizamos os bens, como os descartamos e na regeneração de sistemas naturais, ou seja, é uma nova maneira para fazer e usar as coisas dentro dos limites do nosso planeta (MACARTHUR, 2015).

Para a Ellen MacArthur Foundation (2019) a economia circular é dividida em dois âmbitos, Gestão de Recursos Renováveis e Gestão de Inventário. O ciclo começa com os recursos renováveis e finitos como peça fundamental da criação de bens e serviços. Na parte da Gestão de Recursos, é apontado como a extração de matéria prima, digestão anaeróbica, regeneração de recursos devem voltar para o início da cadeia de produção de peças após o consumo feito pelo usuário final. Para a Gestão de inventário, se tem alternativas para cada etapa do processo, como compartilhamento do produto entre usuários, redistribuição feita pelo provedor de serviço, remanufatura feita pela responsável da confecção do produto e por último, a reciclagem feita pelo produtor de peças. Essas etapas da biosfera e tecnosfera são fundamentais para que os recursos se mantenham na linha de produção e minimizem os impactos no meio ambiente.

Para Cosenza, Andrade e Assunção (2020), no artigo Economia circular como alternativa para o crescimento sustentável brasileiro: análise da Política Nacional de Resíduos Sólidos, a economia circular veio para ir contra a insustentável economia linear propondo mudanças comportamentais no jeito de consumir e usar recursos naturais, ou seja, mudar o jeito que usamos nossa matéria prima, prolongando não só a longevidade do material, mas também permitindo que a economia e a evolução humana cresçam de uma maneira sustentável.

Para Fabio, Sergio e Luís (2019) no estudo dos princípios de economia circular para o desenvolvimento de produtos em arranjos produtivos locais, um dos maiores desafios é referente às Micro, Pequenas e Médias Empresas, por falta de conhecimento e dificuldade de gerir os recursos. Diante desta dificuldade, é apontado por eles a economia circular como oportunidade de mudança nessas empresas, pois ela propõe a inserção dos

produtos, materiais e recursos na linha de produção novamente, propiciando novas formas de inovação e desenvolvimento local, além de desenvolver produtos mais colaborativos e eficientes.

Modelos de produção e consumo sustentável minimizam problemas mundiais, entre eles as mudanças climáticas, tendo em conta as necessidades urgentes e imediatas de países em desenvolvimento (United Nations Framework Convention on Climate Change [UNFCCC], 2015).

O cartucho de toner é um dispositivo armazenador do pó utilizado para a realização de impressões. Este pó é composto por uma mistura de carbono com polímeros como resina plástica, poliéster, óxidos e sílica (SANTOS e LIMA, 2017). Os metais identificados podem acarretar problemas respiratórios e danos ambientais, além de doenças como alergias, bronquite, asma e até câncer, sendo comparado com o amianto (HUANG; SARTORI, 2012).

Segundo o estudo feito por Santos e Lima (2017), devido à alta taxa de óxido de ferro no composto do pó de toner e um tamanho de  $6\mu\text{m}$ , o descarte irregular no meio ambiente poderia acarretar grandes problemas para o local e para a saúde humana. Sendo assim, foi sugerido a incorporação deste pó à ferrita de Ni-Zn como uma solução alternativa quanto ao destino inadequado dos toners de impressora, ao mesmo tempo, este processo tem a capacidade de reduzir o tempo e o custo de fabricação da ferrita.

Para Huang e Sartori (2012), após estudos sobre a remanufatura de cartuchos de toner de impressora, foi possível concluir que essa prática imposta pela economia circular realmente reduz a quantidade de matéria prima direta e indireta e não possui um custo muito elevado para colocar em prática. Além disso, com a remanufatura, reduz a quantidade de toners de impressora nos lixos ou descartados em lugares inadequados.

Segundo Silva (2010) a implementação da logística reversa gera benefícios ao meio ambiente, principalmente na diminuição do desperdício e economia de energia, além de ganhos econômicos com a comercialização das carcaças de alta qualidade e baixo custo de aquisição. Traduzindo em uma redução de impactos ambientais e a obtenção de vantagem econômico-financeira com a adoção da logística reversa pelas organizações.

## **2.1 Aplicações da ACV em outros produtos de tecnologia**

Na esfera da economia tradicional, se é seguido o fluxo de produção, distribuição e consumo, entretanto é claro que este modelo não contemplava o lixo eletrônico, também

conhecido como e-lixo, uma vez que o descarte indevido destes materiais vindo sendo cada vez mais comuns nos últimos anos.

A partir de informações divulgadas pela Universidade das Nações Unidas (ONU) e pela União Internacional de Telecomunicações, estima-se que 44,7 milhões de toneladas de objetos eletrônicos foram descartados em 2016, representando um crescimento de 8% desde 2014, sendo um volume de lixo suficiente para formar uma linha de Nova York até Bangkok, de ida e volta (DW BRASIL, 2017). Desse total contabilizado, apenas 20% do lixo eletrônico é reciclado, o equivalente a 9 milhões de toneladas, sendo a Suécia, Suíça e Noruega os países que mais se preocupam com a reciclagem, chegando a cerca de 70% a totalidade de dejetos eletrônicos reciclados (AGUIAR, 2017).

Atualmente, existem políticas públicas que visam reduzir os impactos ambientais causados a partir dos processos produtivos ou da gestão dos resíduos, entretanto essas medidas não têm como objetivo principal tratar a causa raiz, mas sim minimizar os impactos ambientais, locais ou regionais, não dando a devida atenção as fases de uso e pós-consumo dos produtos. A Lei nº 12.305/10, instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (“PNRS”) e reconhece os resíduos como materiais que podem ser reutilizados e reciclados, além da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos. No Brasil são poucas as empresas que praticam o reaproveitamento dos lixos eletrônicos, exemplo de uma delas é a pioneira Oxil que garante a correta destinação de eletroeletrônicos. Além de descaracterizar totalmente os materiais e proporcionar um reaproveitamento de mais de 90% de materiais eletroeletrônicos (OXIL, 2017).

De uma maneira geral, podemos analisar que os países responsáveis pelo descarte dos resíduos eletrônicos mais impactantes e prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana são os países em desenvolvimento, muito devido as regulações internas que não contemplam tais aspectos trabalhistas.

Após um estudo feito por Kobal, Santos, Soares e Lázaro (2013) sobre a cadeia de suprimento verde e logística reversa - os desafios com os resíduos eletroeletrônicos, constatou-se que hoje ainda não existe uma cadeia de suprimentos verde completa no setor de eletroeletrônicos no Brasil e foi confirmado a carência de fontes acadêmicas e dificuldades na obtenção dos dados para a pesquisa Oliveira, Gomes e Afonso (2010).

Foram relatados como principais desafios deste setor, a informalidade, a falta de fiscalização, o alto custo da logística reversa, a necessidade de maiores campanhas de educação ambiental aliada a fiscalização e principalmente a falta de incentivos fiscais para estimular o crescimento e fortalecimento do setor de e-lixo, desde pequenos a grandes empreendedores.

Araújo (2013) realizou um estudo de caso que analisa dois cenários da gestão de resíduos de computadores desktop em final de vida útil é utilizado para validação do modelo como uma representação acurada da realidade, o primeiro representava a situação atual do país com o tratamento de resíduos eletroeletrônicos e o segundo explorava as possibilidades recomendadas pela hierarquia de gestão de resíduos da Política Nacional de Resíduos Sólidos, utilizando alternativas tecnológicas em cada uma das etapas da hierarquia: prevenção da geração, reuso, reciclagem de materiais, tratamento, e finalmente disposição em aterro dos rejeitos que não puderam ser aproveitados nas etapas anteriores da hierarquia. Foi comprovado uma redução de 27,1% dos impactos ambientais em relação ao primeiro cenário, distribuída nas várias etapas da hierarquia de gestão de resíduos.

### **3. METODOLOGIA**

O método de pesquisa definido para este estudo é experimental, pois deseja-se realizar a análise de ciclo de vida de um toner de impressora. Para isso, foram definidas as seguintes etapas:

- Estudo da bibliografia referente aos temas: análise de ciclo de vida, economia circular, toners de impressora e alternativas já existentes. Para realizar esta etapa, pretende-se realizar uma busca, por meio de palavras-chave que representem estes temas. Esta busca deve ser realizada essencialmente no portal de periódicos da Capes.
- Desenvolvimento de um experimento para Análise do ciclo de vida de um toner de impressora da marca BROTHER. Esse experimento será realizado no laboratório de Produção da Universidade Presbiteriana Mackenzie. O experimento será realizado com base na NBR ISO 14040 e em quatro fases. Na primeira fase, definição do objetivo e escopo, se é definido o propósito do estudo e sua amplitude, envolvendo decisões importantes sobre as fronteiras e a unidade funcional. Na segunda fase, análise de inventário, se é levantado informações sobre o produto que são relevantes. Na terceira fase, avaliação de impacto, é feito um estudo sobre os impactos que os materiais identificados no inventário podem causar no meio ambiente. Na última parte, interpretação, é interpretado os dados obtidos nas três outras fases de acordo com os objetivos do estudo.

- Revisão dos dados com a professora orientadora, visando verificar a validade e pertinência dos dados coletados e da análise do ciclo de vida do toner;
- Análise dos dados resultantes do experimento e discussão dos resultados com base no referencial bibliográfico resultante da primeira etapa deste método de pesquisa. principal a economia circular a partir da análise do ciclo de vida do toner;

#### **4. RESULTADO E DISCUSSÃO**

##### **4.1.1 Definição do objetivo, do escopo e inventário do experimento:**

Objetivo:

- Avaliar o processo de análise do ciclo de vida de toners de impressoras;
- Definir e analisar as alternativas sustentáveis para os materiais identificados durante o desenvolvimento prático do projeto. Discutir as práticas de economia circular para o toner de impressora considerando os pilares econômicos, sociais e ambientais;

Definição do escopo:

- Estimativa da geração do resíduo do toner e comparação com a fabricação atual do produto com as sugestões de melhorias propostas, através do método Endpoint (H) 1.13/ World ReCiPe H/A para análise em rede, avaliação de danos e do índice de pontuação única (Pt);

Elaboração do inventário:

Foi realizado um experimento prático nas instalações da Universidade Presbiteriana Mackenzie visando conhecer os componentes presentes em um toner e comparar com os componentes apresentados na biblioteca importada do SimaPro, Ecoinvent 3, onde tinha um modulo de toner preto e branco cadastrado e constituído das peças tabeladas a seguir. Os dados observados no sistema trazem certa semelhança com o que foi visto em laboratório, uma vez que não possuímos a caixa original do toner.

Componente	Peso	Unidade
Derivados do plástico	0,52	Kg
Derivados do ferro	0,56	Kg
Papelão	0,49	Kg
Alumínio	0,34	Kg
Pó de toner	0,26	Kg
Fibra de vidro	0,05	Kg

Fonte: SimaPro

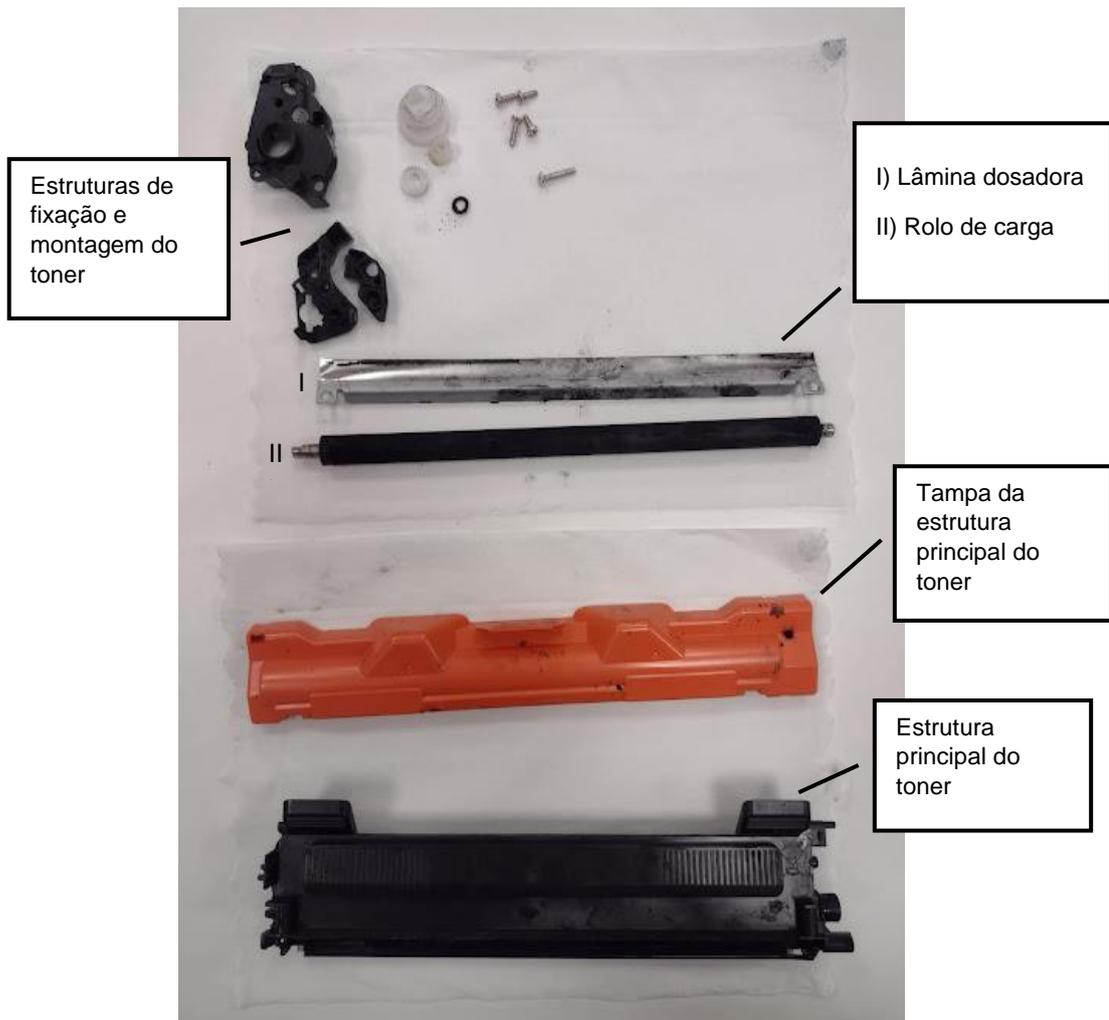


Figura 1 - Experimento prático de desmontagem do Toner

Analisando em rede o modulo de toner, temos que como processos finais de fabricação o alumínio, pó de toner e a eletricidade para fabricação, conforme imagem a seguir:

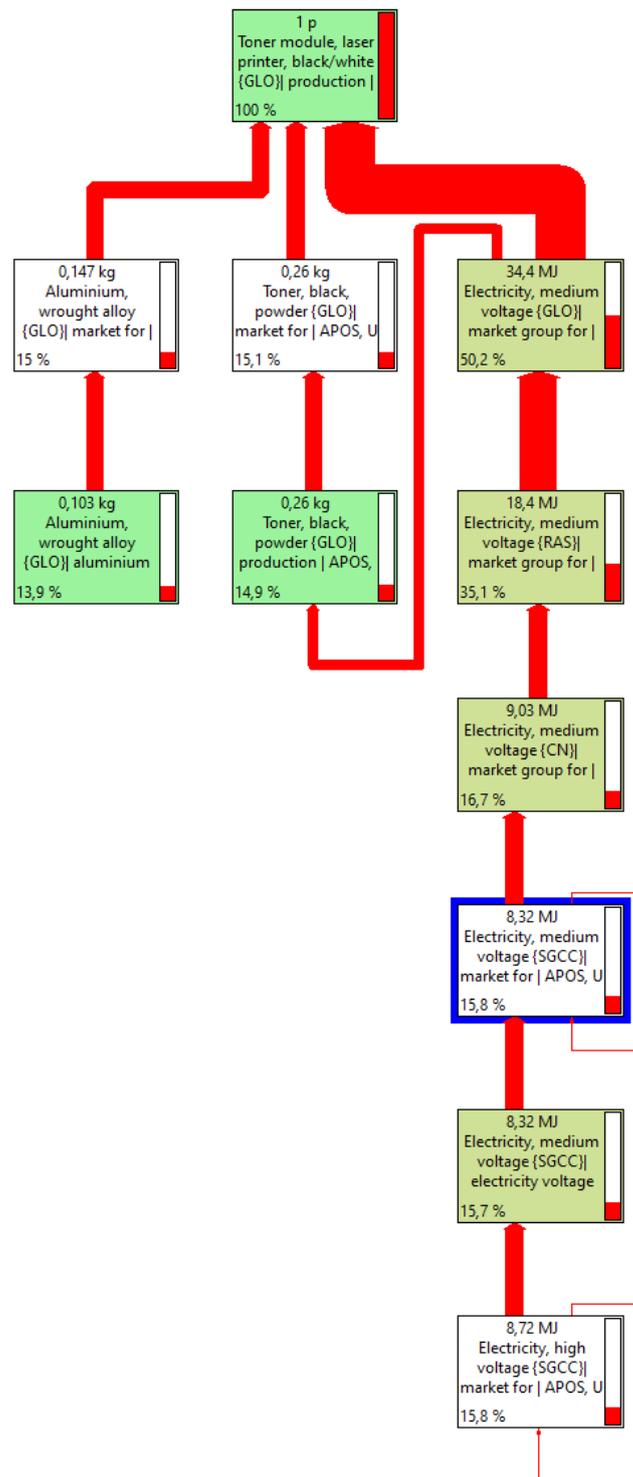


Figura 2 - Análise em rede do módulo de toner

#### 4.1.2 Avaliação do impacto do experimento:

Nesta parte se é calculada os impactos causados através dos modelos sociais, econômicos e ambientais com base no que foi definido no objetivo e escopo.

Juntamente com o módulo de toner carregado no sistema, simulamos mais 3 cenários para efeitos de comparação e possíveis sugestões de melhoria no ciclo de vida deste produto. São eles I) Módulo de toner do sistema com programa de redução na energia usada para confecção em 10% (De 7931 kWh para 7137 kWh), II) Módulo de toner do sistema acrescentando a ferrita Ni-Zn ao pó do toner conforme visto na introdução teórica visando uma melhora ambiental no fim de vida do produto e por fim III) Módulo de toner com redução energética na produção e acréscimo da ferrita Ni-Zn, obtivemos os dados abaixo distribuídos nos tópicos de saúde humana, ecossistema e recursos:

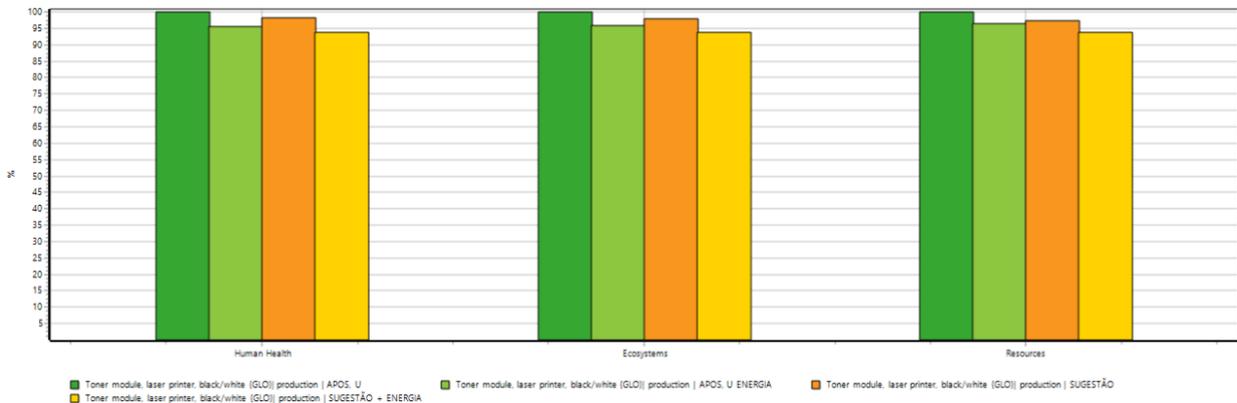


Figura 3 - Avaliação de danos entre os modelos apresentados

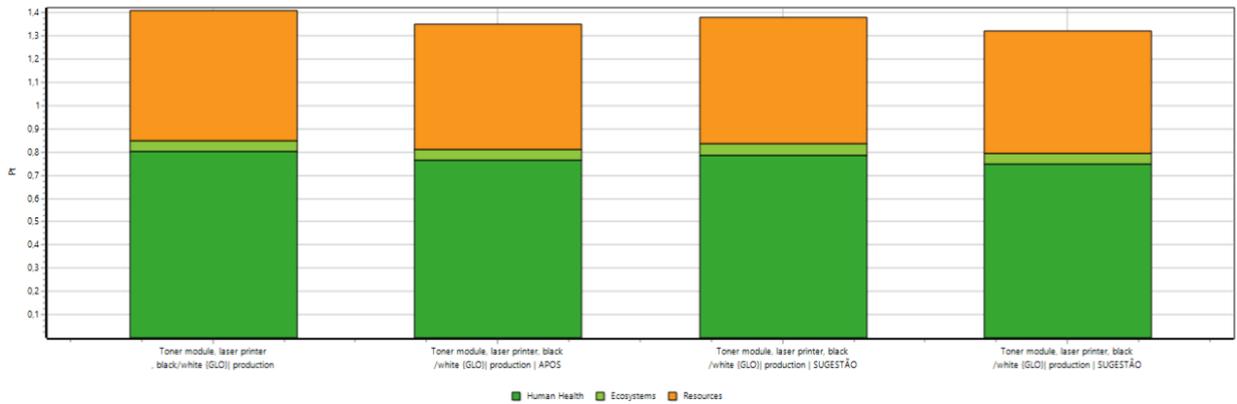


Figura 4 - Pontuação única entre os modelos apresentados

Categoria	Unidade	Modulo de Toner I	Modulo de Toner II	Modulo de Toner III	Modulo de Toner IV
Saúde humana	Pt	0,8010	0,7640	0,7870	0,7500
Ecossistema	Pt	0,0486	0,0466	0,0477	0,0456
Recursos:	Pt	0,5600	0,5400	0,5450	0,5250
Total	Pt	1,4096	1,3506	1,3797	1,3206

Tabela 1 - Pontuação única entre os modelos apresentados

### 4.1.3 Interpretação do experimento:

Por último, temos a interpretação dos dados obtidos nas seções anteriores e a tomada de decisão baseado em nosso objetivo definido, ponderando os impactos sociais, ambientais e econômicos.

Analisando os gráficos antes apresentados, temos quatro cenários de possíveis melhorias do modelo atual de fabricação do toner de impressora e um resultado baseado em uma pontuação única, sendo o menor resultado melhor para o ciclo de vida desta sugestão.

No pilar social, temos a saúde humana constantemente colocada em pauta, uma vez que o pó de toner pode ser considerado maléfico para a saúde humana (HUANG; SARTORI, 2012). Ao aplicarmos o cenário (I) que consiste na adoção de uma política de redução de energia em 10% para fabricação deste toner, já temos uma redução de 5% em impactos gerados na saúde humana, sem nenhuma alteração na composição dos materiais utilizados. Se utilizarmos o cenário (II) adicionando a ferrita de Ni-Zn visando minimizar os impactos causados pelo descarte inadequado dos toners de impressora, temos uma queda de aproximadamente 2% e por último a interpretação do cenário (IV) que seria uma redução da energia somada ao acréscimo da ferrita Ni-ZN temos pouco mais de 6% de redução na saúde humana, de uma maneira relativamente fácil e sem mudanças disruptivas nos processos de fabricações atuais.

No pilar ambiental, temos a preservação do ecossistema como foco e a redução proposta no cenário (I) já traz reduções significativas e quando combinadas com a sugestão (II) traz maiores benefícios nos pós vida do toner que nem sempre é encaminhado de maneira correta ao destino e pode vir a causar resíduos indesejados e posteriormente o acúmulo deles.

Por último no pilar econômico, a disponibilidade de recursos é algo limitado (Nações Unidas, 2001) e deve ser usado de maneira inteligente, reduzindo sempre que possível. Assim como no tópico anterior temos o cenário (IV) sendo o que temos menor pontuação quando comparado aos outros cenários, com 0,05250 de pontuação única, que significa 6% a menos recursos do cenário atual mesmo com a adição da ferrita Ni-Zn à sua composição do pó de toner.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme dito no começo deste trabalho, tínhamos como objetivo avaliar o processo de análise de ciclo de vida de toners de impressora e definir alternativas sustentáveis para os materiais identificados durante o desenvolvimento prático do projeto.

Ao longo do estudo foi possível analisar o processo de análise do ciclo de vida de toners de impressoras e definir alternativas sustentáveis considerando os pilares econômicos, sociais e ambientais. Foi observado principalmente a redução de impacto causado por essas alternativas e posto em pauta que sempre é possível melhorar um processo já existente. Com isso, com a utilização do software SimaPro foi possível comprovar que a redução de energia utilizada no processo de fabricação e a incorporação da ferrita Ni-Zn ao pó de toner reduziram em média 6% os impactos causados no ecossistema, saúde humana e na quantidade de recursos utilizada.

Por fim, utilizamos a análise de ciclo de vida para entender que podemos melhorar a fabricação do produto logo no início da cadeia na parte da montagem e no fim de vida com a incorporação de materiais que minimizam a agressão ao meio ambiente. Para futuros estudos, se é sugerido focar mais na questão da remanufatura e logística reversa dos toners para as empresas visando a reciclagem, uma vez que foi encontrado dificuldades para obtenção dessas informações.

## 6. REFERÊNCIAS

AZAPAGIC, A., PERDAN, S. Indicators of Sustainable Development for Industry: A General Framework, *Trans IChemE*, Vol 78, Part B, 2000, p. 243 – 261.

Oliveira, Fábio Ribeiro de, Sergio Luiz Braga França, and Luís Alberto Duncan Rangel. "Princípios de economia circular para o desenvolvimento de produtos em arranjos produtivos locais." *Interações (Campo Grande)* 20.4 (2019): 1179- 1193.

COLTRO, Leda, et al. "Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão." *Campinas: Cetea/Ital* 1 (2007).

Motta, Wladimir Henriques. "Análise do ciclo de vida e logística reversa." *X SEGeT* (2013).

Machado-da-Silva, Clóvis L., Marcelo Milano Falcão Vieira, and Eloise HL Dellagnelo. "Ciclo de vida, controle e tecnologia: um modelo para análise das organizações." *Organizações & Sociedade* 5.11 (1998): 77-104.

Cosenza, José Paulo, Eurídice Mamede De Andrade, and G. M. De Assunção. A circular economy as an alternative for Brazil's sustainable growth: Analysis of the national solid waste policy [Economia circular como alternativa para o crescimento sustentável brasileiro: Análise da política nacional de resíduos sólidos]. No. ART-2020-118343. 2020.

Huang, Thiago Thomas, and Vinicius Campanha Sartori. "Estudo sobre remanufatura de cartuchos de toner de impressora de duas faculdades da UNICAMP." *Revista Ciências do Ambiente On-Line* 8.2 (2012).

Santos, Suênia, and Ulisandra Ribeiro de Lima. "Estudo sobre a introdução do pó de toner na ferrita de Ni-Zn." *Expotec* (2017).

Bloem, Jaap, et al. "The fourth industrial revolution: Things to tighten the link between IT and OT." *Sogeti VINT2014* (2014).

UNEP; SETAC; LIFE CYCLE INITIATIVE. *Global Guidance For Life Cycle Impact Assessment Indicators Volume 1*. United Nations Environment Programme, 2016, 166

UNEP; SETAC; LIFE CYCLE INITIATIVE. *Global Guidance For Life Cycle Impact Assessment Indicators Volume 2*. United Nations Environment Programme, 2019, 202

WHAT IS THE CIRCULAR ECONOMY?. Ellen MacArthur Foundation, 2017. Disponível em :<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/what-is-the-circular-economy> . Acesso em: 22/04/2021

Silva, Pedro Marcos Fraga. "Logística reversa como ferramenta para diminuição dos impactos ambientais: o condicionamento de carcaças dos cartuchos usados de toner." (2010).

Araújo, Marcelo Guimarães. "Modelo de avaliação do ciclo de vida para a gestão de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos no Brasil." *Rio de Janeiro* 217 (2013).

Bezerra, Raísa Prota Lins, Wagner José de Aguiar, and Soraya Giovanetti El-Deir. "Resíduos sólidos: gestão em indústrias e novas tecnologias." (2017).

do O Catao, Marconi. "THE GROWING RISING OF THE WASTE OF ELECTRO-ELECTRONIC EQUIPMENT: THE CITY IN SEARCH OF THE SOCIO-ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SUITABLE FOR THE FINAL DESTINATION OF E-WASTE/O CRESCENTE AUMENTO DOS RESÍDUOS ORIUNDOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRONICOS: A CIDADE EM BUSCA DA GESTÃO SOCIOAMBIENTAL ADEQUADA PARA O DESTINO FINAL DO E-LIXO." *Direito da Cidade* 11.3 (2019): 175-198.

Ushizima, Mariana Monteiro, Fernando Augusto Silva Marins, and Jorge Muniz Jr. "Política Nacional de Resíduos Sólidos: cenário da legislação brasileira com foco nos resíduos eletroeletrônicos." Proceedings of the XI Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia: Gestão do Conhecimento para a Sociedade, Rio de Janeiro, Brazil (2014): 22-24. de Campos Kobal, Ariella Burali, et al. "Cadeia de suprimento verde e logística reversa-os desafios com os resíduos eletroeletrônicos." Produto & Produção 14.1 (2013).

OLIVEIRA, R.S.; GOMES, E.S.; AFONSO, J.C. O Lixo Eletroeletrônico: Uma Abordagem para o Ensino Fundamental e Médio. Revista Química Nova na Escola. v. 32, n.4, nov.,2010.

Araújo, Marcelo Guimarães. "Modelo de avaliação do ciclo de vida para a gestão de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos no Brasil." Rio de Janeiro 217 (2013).

**Contatos:** [gabriel.lisaukas1712@gmail.com](mailto:gabriel.lisaukas1712@gmail.com), [mariacelia.oliveira@mackenzie.br](mailto:mariacelia.oliveira@mackenzie.br)