

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS DE BLUMENAU - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

LALESCA MINATTO PAZZINI

**ECONOMIA CIRCULAR NO SETOR ELETROELETRÔNICO: AVALIAÇÃO
DA RECICLABILIDADE DOS MATERIAIS UTILIZADOS EM UM MOTOR
ELÉTRICO COM BASE NA NORMA EN 45555**

BLUMENAU

2020

LALESCA MINATTO PAZZINI

**ECONOMIA CIRCULAR NO SETOR ELETROELETRÔNICO: AVALIAÇÃO
DA RECICLABILIDADE DOS MATERIAIS UTILIZADOS EM UM MOTOR
ELÉTRICO COM BASE NA NORMA EN 45555**

Trabalho apresentado ao curso de graduação em Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Santa Catarina Campus Blumenau como parte dos requisitos para a obtenção do título de Engenheiro de Materiais.

Orientadora: Prof.^a Dra. Claudia Merlini

Coorientador: Dr. Eng. Vando Ferreira Lopes

BLUMENAU

2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Minatto Pazzini, Lalesca
ECONOMIA CIRCULAR NO SETOR ELETROELETRÔNICO: AVALIAÇÃO DA RECICLABILIDADE DOS MATERIAIS UTILIZADOS EM UM MOTOR ELÉTRICO COM BASE NA NORMA EN 45555 / Lalesca Minatto Pazzini ; orientadora, Cláudia Merlini, coorientador, Vando Ferreira Lopes, 2020.
69 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau,
Graduação em Engenharia de Materiais, Blumenau, 2020.

Inclui referências.

1. Engenharia de Materiais. 2. Economia Circular. 3. Reciclagem. 4. Sustentabilidade. I. Merlini, Cláudia. II. Ferreira Lopes, Vando. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Materiais. IV. Título.

LALESCA MINATTO PAZZINI

**ECONOMIA CIRCULAR NO SETOR ELETROELETRÔNICO: AVALIAÇÃO
DA RECICLABILIDADE DOS MATERIAIS UTILIZADOS EM UM MOTOR
ELÉTRICO COM BASE NA NORMA EN 45555**

Este trabalho de graduação foi julgado adequado para a obtenção do título de Engenheiro de Materiais e aprovado em sua forma final pela Comissão Examinadora e pelo Curso de Graduação em Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Santa Catarina.

Blumenau, 08 de dezembro de 2020.



Documento assinado digitalmente
Lalesca Minatto Pazzini
Data: 14/12/2020 13:03:42-0300
CPF: 089.280.659-17

Lalesca Minatto Pazzini
Acadêmica

Banca examinadora:



Documento assinado digitalmente
Claudia Merlini
Data: 14/12/2020 13:09:27-0300
CPF: 002.787.580-61

Prof.^a Dra. Claudia Merlini
Orientadora



Documento assinado digitalmente
Fabio Antonio Xavier
Data: 14/12/2020 20:05:14-0300
CPF: 933.591.289-15

Prof. Dr. Fabio Antonio Xavier
Examinador



Documento assinado digitalmente
Luciana Maccarini Schabbach
Data: 14/12/2020 14:15:29-0300
CPF: 823.635.799-68

Prof.^a Dra. Luciana Maccarini Schabbach
Examinadora

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal de Santa Catarina e a todos os professores que transmitiram seus conhecimentos a mim ao longo desses anos de graduação.

Em especial, agradeço à Prof. Dra. Claudia Merlini e ao Prof. Dr. Fabio Antonio Xavier por todo apoio prestado como meus orientadores de estágio, o qual foi base para a concepção deste trabalho.

Ao meu co-orientador Dr. Eng. Vando Ferreira Lopes. Toda sua atenção, paciência, dedicação e conhecimentos compartilhados foram indispensáveis para a construção deste trabalho. Muito obrigada!

A WEG Equipamentos Elétricos S.A. que tornou possível a concretização deste trabalho, meu supervisor de estágio Eribert Augusto Neves e meu colega Charles Belettini Hahn. O apoio e orientação dados a mim na reta final desta caminhada foram muito importante.

Por fim, agradeço à Deus, a todos meus amigos e familiares – Vocês são essenciais em minha vida.

RESUMO

A extração dos recursos naturais vem ocorrendo em uma velocidade tão rápida devido ao crescimento do consumo e da obsolescência de tecnologias que o meio ambiente se tornou incapaz de se regenerar. O resultado, mais cedo ou mais tarde, será a escassez desses recursos e a indisponibilidade de matéria-prima para a indústria. Surge então uma nova necessidade: a urgência na transição do atual modelo econômico linear para o modelo econômico circular. Na Economia Circular (EC) os fluxos de materiais são contínuos, os resíduos são transformados em matéria-prima e o sistema é regenerativo por princípio, o que significa que nada se perde e tudo se transforma. Dentro deste contexto, o presente trabalho abordará uma avaliação da reciclabilidade dos materiais utilizados em um motor elétrico WEG. A avaliação foi feita com base no indicador da norma EN 45555 – Métodos Gerais para avaliar a Reciclabilidade e Recuperabilidade de Produtos Relacionados à Energia (ErP), que aborda o *ecodesign* de produtos eletroeletrônicos – um dos modelos de negócios pautados na EC – trazendo a habilidade do produto em si em ser reciclado. O indicador tratado aqui correspondem ao cálculo de Taxa de Reciclabilidade (R_{cyc}), envolvendo parâmetros como a massa do material/peça, o número de materiais/peças e o chamado Fator de Reciclabilidade ($R_{cyc,k}$), determinado com base no rendimento dos processos avaliados ao fazer-se a seleção dos materiais (por exemplo, separar, classificar e reciclar ou recuperar os materiais e peças correspondentes). Com um conhecimento mais direcionado sobre os materiais e os elementos que constituem um motor elétrico, o objetivo é avaliar a capacidade deste produto ser reinserido numa cadeia produtiva para evitar o descarte de um componente ou material ainda funcional, e assim contribuir com a redução da exploração de matéria-prima. Com base nos resultados, constatou-se que aproximadamente 98% dos materiais que compõem um motor elétrico podem passar por processos de reciclagem. Isso evidencia o quão grande pode ser a contribuição em relação às questões que envolvem a sustentabilidade na reciclagem de um produto, como a redução da exploração de recursos naturais e o acúmulo de resíduos no planeta.

Palavras-chave: Economia Circular, Reciclagem, Sustentabilidade, Setor Eletroeletrônico.

ABSTRACT

The extraction of natural resources has been taking place at such a rapid pace due to the growth in consumption and the obsolescence of technologies that the environment has become unable to regenerate. The result, sooner or later, will be the scarcity of these resources and the unavailability of raw materials for the industry. Then a new need arises: the urgency in the transition from the current linear economic model to the circular economic model. In Circular Economy (EC) the material flows are continuous, the waste is transformed into raw material and the system is regenerative in principle, which means that nothing is lost and everything is transformed. Within this context, the present work will address an evaluation of the recyclability of the materials used in a WEG electric motor. The evaluation was made based on the indicators of the standard EN 45555 - General Methods to assess the Recyclability and Recoverability of Energy-Related Products (ErP), which addresses the ecodesign of electronic products – one of the business models based on EC - bringing the product's ability to be recycled. The indicators treated here correspond to the calculation of the Recyclability Rate (R_{cyc}), involving parameters such as the mass of the material / part, the number of materials / parts and the so-called Recyclability Factor ($R_{cyc,k}$), determined based on the performance of the evaluated processes when done the selection of materials (for example, separating, classifying and recycling or recovering the corresponding materials and parts). With a more focused knowledge about the materials and elements that make up an electric motor, the objective is to evaluate the ability of this product to be reinserted in a production chain, based on the indicators described in the standard, to avoid the disposal of a component or material still functional and thus contribute to reducing the exploitation of raw materials. Based on the results, it was found that approximately 98% of the materials that make up an electric motor can undergo recycling processes. This highlights how big the contribution can be in relation to issues involving sustainability when recycling a product, such as reducing the exploitation of natural resources and accumulating waste on the planet.

Keywords: Circular Economy, Recycling, Sustainability, Electrical and Electronics Sector.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo Econômico Linear	18
Figura 2 - Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)	22
Figura 3 - Selo de Signatário da WEG aos ODS	23
Figura 4 - Modelo Econômico Circular.....	26
Figura 5 - Ciclo Técnico e Biológico da Economia Circular	28
Figura 6 - "Círculos" da Economia Circular	30
Figura 7 - Vista explodida do motor elétrico WEG.....	45
Figura 8 - Diagrama de fluxo de um cenário de tratamento EoL para um motor elétrico	49
Figura 9 - Avaliação da eficiência dos processos ao longo da cadeia de tratamento EoL	50
Figura 10 - Gráfico ilustrativo do Peso (Kg) dos materiais do motor elétrico	54
Figura 11 - Gráfico ilustrativo do Peso (Kg) de material reciclável e não reciclável do motor elétrico.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Pesos dos componentes de um motor elétrico.....	51
--	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Práticas da Economia Circular	26
Quadro 2 - Princípios da Economia Circular.....	29
Quadro 3 - Principais materiais que compõem um motor elétrico e as respectivas localizações dos mesmos.....	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Abrelpe	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
Al	Alumínio
Cu	Cobre
EC	Economia Circular
EoL	<i>End of Life</i> – Fim de Vida
ErP	Produto Relacionado à Energia
FoFo	Ferro Fundido
OECD	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PP	Polipropileno
PSC	Produto Como Serviço
RoHS	Restrição de Substâncias Perigosas
EU	União Europeia

LISTA DE SÍMBOLOS

m_k	Massa do k-ésimo material / peça
m_{tot}	Massa total do produto
n	Número de peças / materiais
R_{cyc}	Taxa de Reciclabilidade
$R_{cyc,k}$	Fator de Reciclabilidade

Sumário

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVO.....	16
2.1 Objetivo Geral.....	16
2.1.2 Objetivos Específicos	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1 Economia Linear.....	17
3.2 Surgimento de ações para mudanças no modelo econômico.....	19
3.3 Economia Circular	25
3.4 Economia Circular no Setor de Equipamentos Eletroeletrônicos Do Brasil.....	33
3.5 Reciclagem.....	36
3.6 Uma Economia Circular Para Os Metais	37
3.7 Indicadores De Desenvolvimento Sustentável.....	39
4. METODOLOGIA	42
4.1 Materiais Utilizados.....	42
4.2 Cálculo Da Taxa De Reciclabilidade	45
4.2.1 Cenário de tratamento de EoL.....	45
4.2.2 Fator de Reciclabilidade (R_{cyc},k).....	46
4.2.3 Pesos dos materiais envolvidos na análise	47
4.2.4 Definição dos materiais recicláveis	47
4.2.5 Taxa de Reciclabilidade (R_{cyc}).....	47
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
5.1 Cenário de tratamento de EoL	49
5.2 Fator de Reciclabilidade (R_{cyc},k).....	50
5.3 Pesos dos materiais envolvidos na análise.....	51
5.4 Definição dos materiais recicláveis	54
5.5 Taxa de Reciclabilidade (R_{cyc})	55
6. CONCLUSÃO	59
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

1. INTRODUÇÃO

No século XVIII, a indústria alinhada com o surgimento da tecnologia fez surgir o início do processo de globalização, que no século XX trouxe uma forte integração entre culturas e mercados (GOMES, 2014). De acordo com Van Eijk e Joustra, 2017, como resultado desses eventos, o modelo de consumo econômico linear, o qual caracteriza-se pela manufatura de produtos a partir de matérias-primas naturais, sendo estes comercializados, consumidos e depois descartados, surge e ganha força. Porém, esse modelo de produção e consumo se tornaria insustentável em longo prazo, fazendo com que o acúmulo de resíduos superasse a capacidade restaurativa dos recursos naturais da Terra (HELENA, 2018). Segundo Leitão, 2015, o fato do sistema econômico estar inserido num sistema fechado como o Planeta Terra, faz com que recursos naturais e quantidade de resíduos que podem ser absorvidos limitem-se fisicamente (FARIA, 2018).

Buscar uma alternativa aos problemas trazidos pela economia linear se faz necessário, pois ao mesmo tempo que se exige uma constante exploração de novos recursos para alimentar os processos de produção, há o descarte de resíduos ao final do ciclo de vida dos produtos, colocando em risco o padrão de consumo das gerações futuras. Ainda que uma pequena parte seja enviada para reciclagem, a maioria dos recursos é destinado para lixões, aterros, ou formas ainda mais precárias de tratamento seletivo (FARIA, 2018).

A Conferência do Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada pela ONU em 1992, levantou a problemática envolvendo questões sobre o consumo de recursos naturais e o modelo econômico linear insustentável. A partir disso, baseado na sustentabilidade, surge um novo modelo de desenvolvimento econômico, a economia circular (LEITÃO, 2015; FARIA 2018). Segundo a Fundação Ellen MacArthur (2017), a EC busca dissociar a atividade econômica do consumo de recursos finitos, eliminando resíduos do sistema por princípio.

O alto valor agregado do setor eletroeletrônico brasileiro, formado por diferentes segmentos como o de automação industrial, geração e distribuição de energia, materiais elétricos de instalação e componentes elétricos e eletrônicos, elenca-o como um dos grandes líderes de inovação na economia brasileira, podendo apresentar uma produção totalmente nacional ou ser dependente de alguns insumos importados (Ellen MacArthur

Foundation, 2017b). O desenvolvimento desse setor é sustentado por grandes incentivos econômicos que fazem com que o mesmo cresça linearmente, em contrapartida, a reutilização ou reprocessamento de resíduos causados por essas atividades no Brasil é de apenas 2% (FARIA, 2018).

Na visão da EC, entre outras medidas, um manuseio eficiente dos resíduos é fundamental. Um motor elétrico ao atingir seu fim de vida (EoL - *End of Life*) e se tornar um resíduo, pode ser preparado para ser reutilizado, reciclado e/ou recuperado. A reciclagem dos materiais que compõem este produto pode reduzir os impactos ambientais ao longo do ciclo de vida, incluindo a extração reduzida de recursos naturais, as emissões associadas à produção do material primário e da sua deposição final. A norma EN 45555 – *General Methods to assess the Recyclability and Recoverability of Energy Related Products (ErP)* - Métodos Gerais para avaliar a Reciclabilidade e Recuperabilidade de Produtos Relacionados à Energia (ErP) descreve uma metodologia para cálculo de um indicador que avalia a reciclabilidade de um ErP, ou seja, quantifica a capacidade de reciclar um produto, envolvendo uma combinação das características de design do produto, como estrutura, composição do material, tamanho e peso dos componentes, e as técnicas usadas para reciclar um determinado fluxo de resíduos. ErP significa qualquer bem que tenha impacto no consumo de energia durante o uso, que é colocado no mercado e/ou colocado em serviço.

Este trabalho foi desenvolvido paralelamente às atividades de estágio da autora, e tem como finalidade aplicar a metodologia descrita pela norma EN 45555 em um produto - um motor elétrico, avaliando, através do indicador quantitativo abordado pelo método, e dos conceitos da EC, a capacidade deste produto de ser reinserido numa cadeia produtiva, visando evitar o descarte de um componente ou material ainda funcional, sustentado na importância que isso acarreta para contribuir com a redução da exploração de matéria-prima e da redução de resíduos a gerir e depositar em aterros. Para isto, se faz necessário a fundamentação teórica sobre os impactos negativos que o modelo econômico linear trouxe ao longo dos anos, o surgimento das necessidades de mudança e da busca por novas tratativas que envolvem todo o ciclo de vida útil do produto.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

Aplicação de uma metodologia quantitativa baseada nos princípios da EC que demonstre o potencial de reciclagem de um motor elétrico visando a reinserção dos materiais que o compõem em novas cadeias produtivas.

2.1.2 Objetivos Específicos

- i. Salientar a importância de novos modelos de negócio sustentáveis, como a economia circular, frente ao sistema de consumo linear atual;
- ii. Definir um cenário genérico para tratamento em EoL de um motor elétrico;
- iii. Investigar um motor elétrico ao nível do material que o compõe, definindo materiais recicláveis e não-recicláveis;
- iv. Verificar a eficiência de processos avaliados em um cenário genérico de EoL;
- v. Destacar a relevância que os processos de reciclagem trazem na busca pela redução da extração de recursos naturais e na quantidade de resíduos a dispor em aterros.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Economia Linear

A sociedade passou por algumas alterações significativas ao longo do século XVIII com a chegada da Revolução Industrial, que trouxe grandes mudanças na indústria e no sistema de produção. O foco em produção e trabalho das antigas famílias tradicionais passou a ser substituído por consumo, e trouxe consigo a ideia de que o acúmulo de riqueza material tem um valor fundamental (GODECKE; NAIME; FIGUEIREDO, 2012). No início da década de 1990, após a Revolução Industrial, teve início a globalização, provocando uma abertura cultural entre os países e resultando em trocas interculturais e alteração nas culturas nativas, favorecendo a disseminação do consumo e do avanço tecnológico, conseqüentemente as distâncias se encurtaram, as fronteiras foram rompidas facilitando o comércio (GODECKE; NAIME; FIGUEIREDO, 2012; LIMA, 2010). O homem consumista tornou-se então consolidado ao longo dos séculos, e o ato de consumir passou a representar uma forma de afirmação social (SILVA; OLIVEIRA; SILVA, 2015). Segundo Lima, 2010, essas mudanças foram importantes para a evolução da sociedade, mas o ritmo intenso de produção, aliado ao consumo acelerado, acarretou na devastação ambiental, comprometendo a própria vida no planeta (HELENA, 2018).

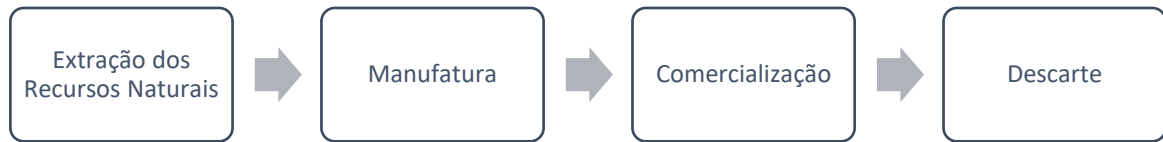
Ao passo que a população aumentou a necessidade sobre o ecossistema cresceu também. O uso descontrolado dos recursos naturais ocasionou grandes impactos no meio ambiente, por exemplo, “devastação de florestas, chuvas ácidas, desertificação, aquecimento global, atmosfera poluída pela emissão de partículas tóxicas, diminuição das calotas polares” (LIMA, 2010, p. 1686).

“A sociedade moderna rompeu os ciclos da natureza: por um lado, extraímos mais e mais matérias primas, por outro, fazemos crescer montanhas de lixo. E como todo esse rejeito não retorna ao ciclo natural, transformando-se em novas matérias-primas, pode tornar-se uma perigosa fonte de contaminação para o meio ambiente ou de doenças” (BRASÍLIA, 2005, p. 114).

Mas, afinal o que é esse modelo econômico “insustentável”? Conhecido também como tradicional, trata-se do atual modelo econômico linear, pautado na dinâmica de

retirar (extrair), transformar (produzir), consumir e descartar (Parlamento Europeu, 2015).

Figura 1 - Modelo Econômico Linear



Fonte: Parlamento Europeu (2015) [Adaptado pela autora]

Na economia linear empresas ganham dinheiro produzindo mercadorias em grandes volumes, com preços baratos e atraentes (STAHHEL, 2016; HELENA, 2018). Van Eijk e Joustra (2017, p.15, tradução livre) comentam sobre o modelo linear:

“Os últimos 150 anos de evolução industrial foram dominados por um modelo de produção e consumo descartável ou linear, no qual os produtos manufaturados a partir de matérias-primas são vendidos, utilizados e, depois, descartados como lixo. Esse modelo tem sido excepcionalmente bem-sucedido em fornecer ao consumidor produtos a preços acessíveis, além de prosperidade material a bilhões de pessoas. É inviável continuarmos com a atual economia de extração-transformação-descarte”.

Segundo a Fundação Ellen MacArthur (2016), apesar de todo o avanço tecnológico o sistema pautado apenas no descarte tende a apresentar perdas relativas em toda cadeia de valor, em função da disponibilidade limitada de recursos e a capacidade finita de o ambiente absorver os impactos derivados da atividade econômica. Os estudos desenvolvidos em 1971 por Georgescu-Roegen, um dos autores mais críticos à economia neoclássica, foram relevantes para romper a visão tradicional de sistemas e inserir as leis da termodinâmica na análise, justificando a irreversibilidade dos processos. Segundo Oliveira e Andrade (2012), o sistema econômico deve ser entendido como um sistema aberto, pois existem trocas de energia com outros sistemas (no caso, o planeta terra) (FARIA, 2018).

A soma desses fatores foi definida por Daly (2002) como “Transumo”, podendo-se compreender a primeira lei da Termodinâmica, também conhecida como a Lei da

Conservação de Energia. A explicação baseia-se que a energia total transferida será igual a variação da sua energia interna. Ou seja, apesar de retirar energia por parte do sistema econômico através da etapa de produção que modifica a qualidade da energia, tem-se que a quantidade final é igual à quantidade inicial. Assim, o que interessa na análise é a qualidade da energia ao final do processo (FARIA, 2018).

Oliveira e Andrade (2012) defendem que apesar de haver uma conservação da quantidade de energia, a segunda Lei da Termodinâmica, conhecida como Lei da Entropia, descreve que o universo possui uma tendência ao acúmulo de energia de alta entropia (complexa) e que não pode ser reutilizada para geração de trabalho. Dessa maneira, a limitação do sistema econômico passa a ser uma variável exógena, qual seja, o acúmulo de energia de alta entropia gerada através de processos irreversíveis, estabelece um limite às atividades humanas (FARIA, 2018).

A partir da grave situação ambiental, especificamente em 1962, o meio ambiente entrou em pauta com a publicação do livro Primavera Silenciosa, escrito pela escritora, bióloga e cientista norte americana Rachel Carson, o qual abordou o uso indiscriminado de agrotóxicos; foi a primeira publicação sobre o tema. Este tipo de preocupação impulsionou a sociedade a buscar soluções para evitar o esgotamento dos recursos naturais (LIMA, 2010).

3.2 Surgimento de ações para mudanças no modelo econômico

Durante a década de 1970 críticas ao conceito de desenvolvimento sustentável fizeram surgir discussões entre opositores e defensores de que haveria um *trade-off* irreconciliável entre preservação e crescimento econômico. Mas graças ao avanço conceitual representado pela ideia de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, ficou evidente que o atual modelo econômico – denominado ao longo deste capítulo como modelo linear – é insustentável do ponto de vista ecológico. O que era um problema, passa a ser solução. Por meio de um modelo de crescimento econômico preocupado com questões ambientais, seria possível encontrar alternativas sustentáveis de progresso material para a sociedade. Em meio a esforços para reduzir a insustentabilidade do atual

modelo, surgem propostas inovadoras que tem como objetivo pavimentar o longo caminho ao desenvolvimento sustentável (FARIA, 2018).

No contexto globalizado e competitivo da atualidade, levando-se em conta os aspectos ambientais, sociais e econômicos envolvidos, torna-se crucial a necessidade de inovar. Sendo assim, lançar um novo produto no mercado, instalar um novo processo em uma empresa ou criar uma nova componente industrial faz com que surja a necessidade de uma avaliação e atualização dos impactos ambientais associados, realizado por meio do Sistema de Gestão Ambiental – SGA (Cagnin, 2000).

A ISO - *International Standard Organization* (Organização Internacional de Normalização) formulou normas internacionais que favoreceram a mudança do modelo de crescimento econômico ilimitado e simultaneamente atenderam às pressões por elevar as preocupações acerca da qualidade ambiental, por meio de iniciativas voltadas ao desenvolvimento sustentável, criando em 1993 o Comitê Técnico (TC) 207 para a elaboração das normas da série ISO 14001 (Cagnin, 2000).

Em 1996, a norma ISO 14001 que compreendeu especificações normativas acordadas internacionalmente, foi publicada. A mesma estabeleceu critérios de gestão ambiental em conjunto com um sistema de gerenciamento voltado à viabilidade de uma produção ecologicamente correta e na sustentabilidade dos recursos naturais (Maimon, 1999; Valle, 1996; D’Avignon, 1996; Scherer, 1998). A norma em questão possui adesão voluntária, contendo os requisitos para a implantação do SGA em uma empresa, podendo ser aplicada a qualquer tipo de organização. Implantar um Sistema de Gestão Ambiental baseado na ISO 14001 passa uma visão de inovação para a empresa, sendo o mesmo um processo exigente de mudança comportamental e organizacional. Para garantir o sucesso de um SGA o desafio é adequá-lo à cultura da empresa, considerando os objetivos cobijados pela mudança pretendida (Cagnin, 2000).

Em 1992 a Conferência Rio92 deu origem “Agenda 21”, um plano de ação em defesa da conservação do meio ambiente (GODECKE; NAIME; FIGUEIREDO, 2012). Este plano continha um programa detalhado para afastar o mundo do modelo econômico insustentável, direcionando atividades para a proteção e renovação dos recursos ambientais (ONU, 2018; HELENA, 2018). Na tentativa de diminuir o desgaste dos

recursos naturais e conscientizar a população, a Agenda 21 criou a Política dos 3R's (HELENA, 2018). (Atualmente existe um número maior de R's - 7 R's, embora trabalhar com os 3 titulados naquela época ainda seja um grande desafio):

- Reduzir: consumir menos produtos e preferir aqueles que ofereçam menor potencial de geração de resíduos e tenham maior durabilidade;
- Reutilizar: utilizar novamente embalagens; e
- Reciclar: produzir matéria-prima a partir da transformação de materiais descartados para outros produtos por meio de processos industriais ou artesanais.

Diversas questões sobre o destino do planeta passaram a ser reconhecidas. Em 2015, diversas questões sobre o destino do planeta começaram a ser reconhecidas através do lançamento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) pela Organização das Nações Unidas (ONU) - Uma iniciativa voluntária que propõe uma ação mundial coordenada entre a sociedade como um todo, setor privado, governos, sociedade civil, entre outros, a fim de alcançar os ODS. Composto por 17 objetivos e 169 metas interconectadas, os ODS devem ser atingidos até 2030 para tornar o mundo um lugar melhor, impactando tanto as pessoas, erradicando a pobreza, quanto no Planeta, protegendo os recursos naturais (ONU, 2018; WEG, S.A., 2020). Neste contexto, a Política dos 3R'S foi reafirmada conforme citado no Objetivo 12: “Até 2030, reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso” (ONU, 2018).

Figura 2 - Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)



Fonte: ONU, 2018.

Os ODS se tornaram uma parte essencial para guiar empresas responsáveis e profissionais de sustentabilidade, e dependem da contribuição e engajamento efetivo de todos – líderes dos países, indivíduos e setor privado. As empresas podem capitalizar os ODS de diferentes maneiras (CIRCULAR ECOLOGY, 2020):

- Identificando futuras oportunidades de negócios;
- Aprimorando o valor da sustentabilidade corporativa;
- Fortalecendo as relações com as partes interessadas e acompanhando o ritmo da evolução das políticas;
- Usando uma linguagem comum e um objetivo compartilhado.

A WEG, como forma de reafirmar seu compromisso com a sustentabilidade, tornou-se signatária dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. A adesão também fortalece o posicionamento e engajamento da WEG frente aos desafios e oportunidades no que diz respeito ao desenvolvimento sustentável (WEG, S.A., 2020).

Figura 3 - Selo de Signatário da WEG aos ODS



Fonte: WEG, S.A., 2019.

Abaixo, um exemplo de como empresas podem atuar em cada fase da cadeia de valor para impactar alguns dos ODS (CIRCULAR ECOLOGY, 2020):

ODS 6 da ONU - Água Limpa e Saneamento

- Priorizar a eficiência da água nas operações, instalando tecnologias de melhores práticas para a conservação da água, em particular em áreas com escassez de água;
- Reduzir a probabilidade de contaminação das águas subterrâneas, tratando e processando todos os resíduos com precaução excepcional, de acordo com as diretrizes locais e federais;
- Investir em projetos ou infraestrutura de água e saneamento em regiões mal atendidas.

ODS 7 da ONU - Energia limpa e acessível

- Comprometer-se a suprir 100% das necessidades operacionais de eletricidade de fontes renováveis;

- Reduzir a demanda interna de transporte, priorizando as telecomunicações e incentivando modos menos intensivos em energia, como viagens de trem sobre viagens aéreas e aéreas;
- Investir em P&D relacionado a serviços de energia sustentável, trazendo novas tecnologias ao mercado rapidamente.

ODS 12 da ONU - Consumo e Produção Responsáveis

Caso a população global atinja 9,6 bilhões em 2050 como previsto, poderá ser necessário o equivalente a quase três planetas para fornecer os recursos naturais necessários para sustentar os estilos de vida atuais. As empresas podem então estar contribuindo com o ODS 12 da seguinte forma:

- Implementar ferramentas de análise de portfólio de produtos para entender a pegada ambiental e social dos produtos no estilo de vida e na produção;
- Ativar o consumo sustentável, desenvolvendo soluções inovadoras, pode reduzir a necessidade de energia no uso e educar os consumidores sobre esses benefícios;
- Reduzir significativamente o desperdício e garantir que qualquer desperdício inevitável seja utilizado ao máximo (CIRCULAR ECOLOGY, 2020).

Um estudo realizado pela *United Nations Environment Programme* (UNEP, 2011 p. 11), estimou a incompatibilidade entre a disponibilidade de recursos naturais e os níveis de produção e consumo para o futuro. Atualmente, de acordo com o *World Wide Fund for Nature* (WWF, 2012), o Planeta Terra leva em torno de 1,5 anos para regenerar o que é utilizado a cada ano. No entanto, o problema tende a se agravar. Estudos realizados pela WWF (2012) mostraram que até 2050 a Terra terá mais de 9 bilhões de pessoas, sendo ainda que até 2030 apenas a classe média tenha mais de 5 bilhões de indivíduos, representando um salto nos níveis de consumo e, conseqüentemente, de poluição (Ellen MacArthur Foundation, 2012). Uma parcela da população reconheceu a importância de se preocupar com a geração dos resíduos e a depreciação da natureza. A partir disso, a busca por soluções para uma produção mais limpa começou a surgir, e uma alternativa econômica sustentável baseada em minimizar os desgastes ambientais passou a tomar forma – a Economia Circular.

3.3 Economia Circular

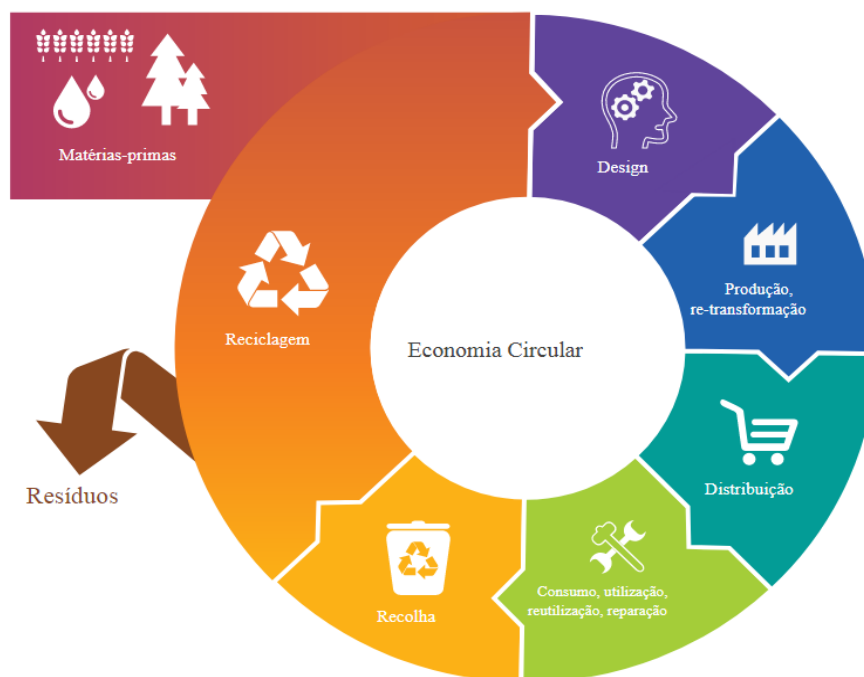
A Economia Circular se difere do modelo linear (fabricar – usar – dispor), pois procura valorizar os produtos, e os materiais que os compõem (RIBEIRO; KRUGLIANSKAS, 2015). As possibilidades do modelo econômico circular são muito amplas, principalmente por estar surgindo em um momento de decaída do modelo econômico linear, enquanto que a sociedade não apenas precisa de uma solução, como também tem demonstrado aumento no interesse em práticas sustentáveis.

A EC busca dar um novo significado ao que antes era considerado um “lixo”. O “lixo” do modelo linear retorna como matéria-prima para outro processo no modelo econômico circular, tal que o fluxo dos materiais possa ser mantido continuamente numa cadeia produtiva fechada (LEITÃO, 2015).

“A economia circular é uma alternativa atraente que busca redefinir a noção de crescimento, com foco em benefícios para toda a sociedade. Isto envolve dissociar a atividade econômica do consumo de recursos finitos, e eliminar resíduos do sistema por princípio. Apoiada por uma transição para fontes de energia renovável, o modelo circular constrói capital econômico, natural e social. Ele se baseia em três princípios: eliminar resíduos e poluição por princípio, manter produtos e materiais em ciclos de uso e regenerar sistemas naturais”. (Ellen MacArthur Foundation, 2017)

As atividades que são realizadas no modelo econômico linear ainda existem no modelo econômico circular, com exceção do descarte. No modelo circular do Parlamento Europeu (Figura 4) o descarte é reinserido na cadeia produtiva através da reciclagem, mas existem diversas práticas, Quadro 1, para promover a circularidade de acordo com Ellen MacArthur Foundation (2017).

Figura 4 - Modelo Econômico Circular



Fonte: Parlamento Europeu (2015)

Quadro 1 - Práticas da Economia Circular

Regenerar	<ul style="list-style-type: none"> ● Mudar para energia e materiais renováveis ● Recuperar, reter e restaurar a saúde dos ecossistemas ● Devolver recursos biológicos recuperados à biosfera
Compartilhar	<ul style="list-style-type: none"> ● Compartilhar ativos (p.ex. automóveis, sala, eletrodomésticos) ● Reutilizar/usar produtos de segunda mão ● Prolongar a vida dos produtos por meio de manutenção, atualização
Aprimorar	<ul style="list-style-type: none"> ● Aumentar o desempenho/eficiência do produto ● Remover resíduos na produção e na cadeia de suprimentos
Ciclar	<ul style="list-style-type: none"> ● Remanufaturar produtos ou componentes ● Reciclar materiais ● Usar digestão anaeróbica ● Extrair substâncias bioquímicas dos resíduos orgânicos
Virtualizar	<ul style="list-style-type: none"> ● Desmaterializar diretamente (p.ex. livros, CDs, DVDs, viagens) ● Desmaterializar indiretamente (p. ex. compras online)
Trocar	<ul style="list-style-type: none"> ● Aplicar novas tecnologias (p.ex.: impressão 3D) ● Optar por novos produtos/serviços (p.ex. transporte multimodal)

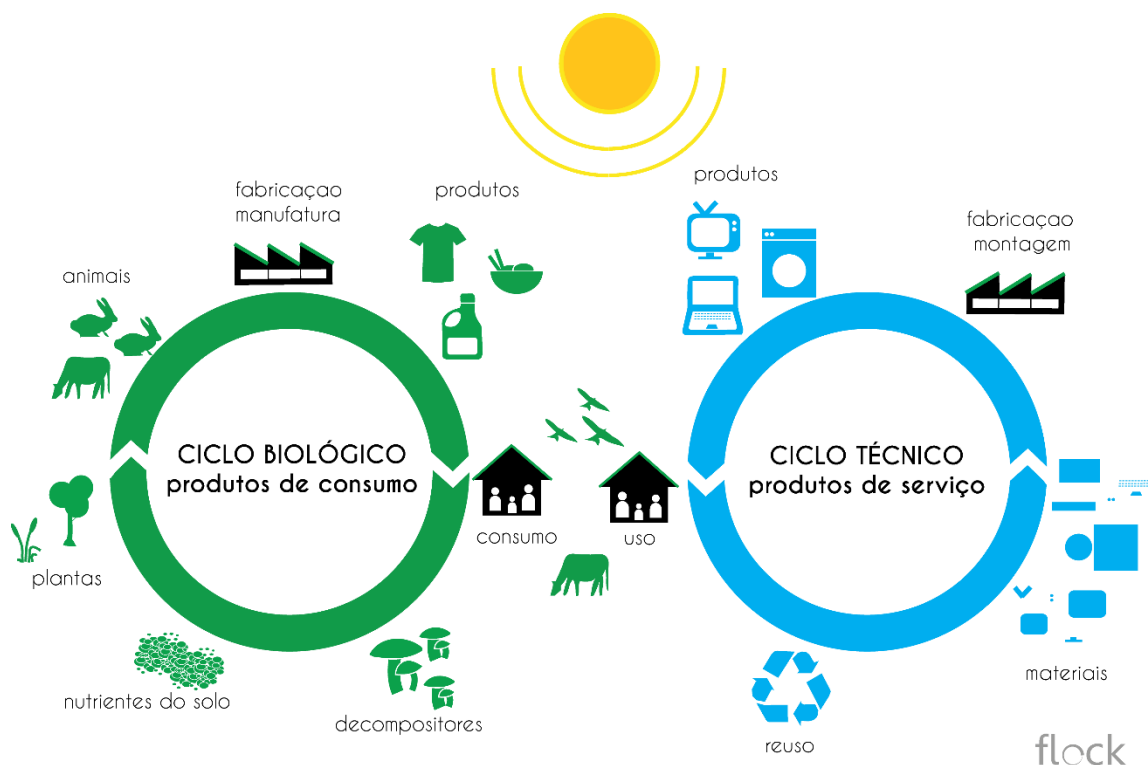
Fonte: Adaptado de Ellen MacArthur Foundation (2017)

A partir da década de 1990, com a publicação do trabalho “*Cradle to cradle*” de William McDonough e Michael Braungart, o conceito de EC começou a ganhar atenção. Posteriormente, em 2012, a fundação Ellen MacArthur Foundation publicaria seu primeiro relatório, intitulado “Em direção a uma Economia Circular”, o qual atrelava o tema a uma economia restaurativa e regenerativa por princípios, visando o aumento do ciclo de vida dos produtos e conseqüentemente seu tempo de uso (FARIA, 2018).

Segundo Ellen MacArthur Foundation (2012), o modelo econômico circular apoia-se em três princípios:

- **Primeiro princípio:** refere-se à proteção e desenvolvimento do capital natural (estoque de bens e fluxos de serviços oriundos dos ecossistemas naturais da Terra), buscando o controle dos recursos finitos e manejo do uso de recursos renováveis. A Figura 5 resume o modelo circular dando atenção para a distinção entre grupos de materiais biológicos, aqueles que são pensados para reinserção na natureza, e os materiais técnicos, que exigem maiores investimentos para serem recuperados (AZEVEDO, 2015; FARIA, 2018)

Figura 5 - Ciclo Técnico e Biológico da Economia Circular



Fonte: Ideia Circular (2017)

- **Segundo princípio:** refere-se ao rendimento dos recursos partindo de uma circulação de produtos e materiais, com intuito de que seu uso seja intensificado. Prolongar o tempo de vida dos produtos requer alterações na sua forma. A forma como são projetados os componentes de um produto, ou seja, a etapa de *design*, pode definir o seu destino final, seja de reciclagem, recuperação ou descarte. Além disso, o compartilhamento contribui com a redução da quantidade de recursos utilizados e maximiza a utilidade do bem (Ellen MacArthur Foundation, 2012; FARIA, 2018).
- **Terceiro princípio:** baseia-se em manter a efetividade do sistema, resolvendo de forma imediata as externalidades negativas, reduzindo os danos causados pelo consumo, englobando áreas que vão desde a alimentação até a mobilidade, por exemplo (FARIA, 2018).

O Quadro 2 apresenta os princípios da EC de forma resumida.

Quadro 2 - Princípios da Economia Circular

Princípio	Significado
Preservar e aumentar o capital natural	<ul style="list-style-type: none">● Escolher tecnologias e processos que utilizam recursos renováveis, sempre que possível.● Controlar estoques finitos e equilibrar o fluxo de recursos naturais.
Manter produtos e materiais em uso	<ul style="list-style-type: none">● Fazer produtos, componentes e materiais de alta qualidade a fim de aumentar a vida útil.● Projetar produtos para serem reinseridos na cadeia produtiva futuramente.
Fomentar a eficácia do sistema	<ul style="list-style-type: none">● Reduzir os danos nos produtos e serviços que são essenciais aos seres humanos (alimentação, saúde, educação, etc.).

Fonte: Adaptado de Ellen MacArthur Foundation (2017)

Segundo Benyus (2002), é preciso um olhar mais atento para as formas que a natureza lida com seus problemas. A adoção de modelos que se assemelham aos processos naturais, a partir de uma visão sistêmica, pode ser decisivo no prolongamento da vida humana. Também conhecido como *biomimética*, o termo se refere ao processo de imitação de modelos naturais, visando a solução de problemas humanos de forma sustentável (FARIA, 2018).

Azevedo (2015) diz que a *biomimética* conecta-se com a visão de que a natureza é sempre inovadora, isto é, sempre que novos problemas surgem encontra-se uma maneira de solucioná-los. Benyus (2002) indica que essa teoria leva em consideração a natureza como um modelo econômico, e que esse modelo busca se aproximar do meio ambiente, se inspirando no funcionamento da própria Natureza, repensando práticas da atual sociedade econômica (LEITÃO, 2015; VAN EIJK, JOUSTRA, 2017; FARIA, 2018).

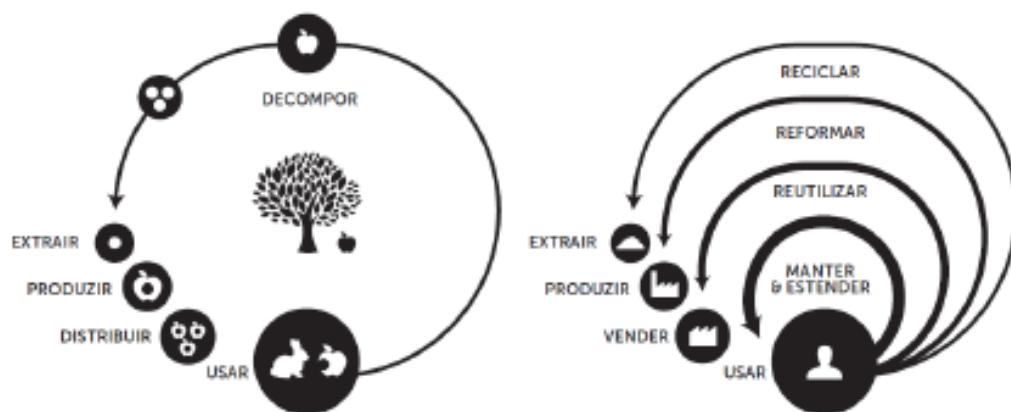
A abordagem de sustentabilidade, segundo Dyllick e Hockerts (2002), possui foco em reduzir impactos negativos ao mesmo tempo que busca aumentar a eficiência na aplicação de recursos, prevalecendo a ideia de que o modelo de produção linear pode continuar,

desde que sua velocidade seja reduzida, o que evidentemente apenas adia o problema para gerações futuras (FARIA, 2018).

É comum pensar que o modelo econômico circular nasce a partir da fase de descarte do produto, mas o processo começa antes mesmo de sua concepção. Devido a eliminação da geração de resíduos ao final da produção, materiais que não podem ser reciclados e/ou reutilizados são eliminados da concepção do projeto, dando lugar a materiais que podem ser reinseridos na natureza sem causar danos e ainda gerar benefícios ao solo (Ellen MacArthur Foundation, 2012).

O conceito de EC carrega também a questão do “tamanho dos círculos”. Cada tamanho possui suas particularidades, e o ponto de partida é a busca pela conservação da integridade dos produtos, evitando alterações que demandem aplicação de novos materiais e energia. Os círculos menores possuem grande valor para a estratégia, enquanto círculos mais longos maximizam a quantidade de ciclos e o tempo de cada um. Isso diz respeito basicamente à reutilização do produto por várias vezes, aumentando o seu tempo de vida útil. Estender o consumo de um produto gera à economia de novos produtos, que seriam consumidos nesse período, além de toda mão-de-obra e energia que são poupados. A Figura 6 ilustra os ciclos dessa discussão (FIRJAN, 2017; FARIA, 2018).

Figura 6 - "Círculos" da Economia Circular



Fonte: Firjan (2017)

Outro ponto interessante é que a EC não se limita em trazer apenas benefícios ao meio ambiente, mas também em gerar novos empregos e novos modelos de negócios (VAN

EIJK E JOUSTRA, 2017). O modelo econômico circular propicia muitas melhorias para o mundo, como cita Leitão (2015, p. 159) (HELENA, 2018):

“Esta nova forma de pensar as cadeias produtivas traz benefícios tanto operacionais como estratégicos, em ambos os níveis, micro e macroeconômico, incalculáveis oportunidades de inovação e design, ao nível de produtos, processos e modelos de negócio, criação de empregos e estimula o crescimento econômico inteligente, sustentável e integrador, com efeitos positivos sobre a saúde econômica, ecológica e social, rejeitando a ideia de que o crescimento é prejudicial para o ambiente.”.

O modelo circular vem se tornando cada dia mais uma oportunidade para empresas em função do surgimento de um público cada vez mais preocupado e interessado com questões envolvendo o meio ambiente, o que possibilita a expansão de mercados a serem explorados de forma criativa. Em adição, para o modelo tenha sucesso, é necessário avaliar o papel dos consumidores. Segundo Firjan (2017), o perfil dos consumidores atualmente tem mudado drasticamente, exigindo inovações, personalização e competências. Eles tendem a se beneficiar da melhora na qualidade de serviços e produtos ao mesmo tempo que aproveitam uma redução nos preços. Atualmente os consumidores têm preferência por produtos que não degradam o ambiente, porém tal informação tem sido utilizada para o bem, aumentando a venda de produtos sustentáveis, mas também para o mal, através da promoção de produtos que se dizem sustentáveis, mas na verdade adotam poucas ou nenhuma medida em prol do meio ambiente. Aqui se faz necessário a honestidade por parte do produtor em afirmar a real procedência dos materiais utilizados (McDonough e Braungart, 2010).

Os formuladores de políticas também têm se mostrado bastante abertos ao novo modelo. De acordo com a Ellen MacArthur Foundation (2012), atualmente os acordos ambientais e legislações estão presente em quase todos os países, buscando minimizar os impactos causados pelo atual modelo linear, sendo que na maioria dos casos as legislações vêm acompanhadas de tributos, taxas e impostos, visando controlar a degradação ambiental a partir de instrumentos de mercado. De certa forma, essas atitudes provocam custos e restrições as empresas. A tendência de aumento dessas barreiras se constitui um problema ao prolongamento do modelo linear (FARIA, 2018).

Iniciativas em relação à EC tem surgido com mais frequência. Em 2017 a Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN, 2017) publicou um relatório apresentando o conceito de EC, as possibilidades para o setor industrial e suas aplicações, compartilhando experiências europeias recentes. Em 2015, a *Commission of the European Union* - Comissão da União Europeia (UE) lançou algumas iniciativas intituladas *Closing the Loop* (Fechando o Círculo), cujo objetivo foi o de chamar a atenção para a necessidade de se avançar rumo à universalização da economia circular a partir de aumentos de competitividade, geração de empregos e crescimento sustentável. No início de 2020 mais um passo foi dado em direção à uma EC para a UE, com a publicação do *New Action Plan* (Novo Plano de Ação), que visa acelerar a implementação de ações para tornar produtos sustentáveis a nível de norma na UE, com foco nos setores com potencial de circularidade alto – eletrônicos, baterias, veículos, embalagens, etc. (European Commission, 2015, 2020).

Leitão (2015) aposta na ideia de que as empresas podem obter uma maximização do valor econômico dos produtos, abrindo grandes oportunidades de *design*, modelos de negócios e geração de emprego a partir de um mercado inteligente. Assim, é possível desvincular o conceito de crescimento econômico com a degradação ambiental. Os desafios ainda são grandes, uma vez que o conceito é bem formulado, mas ainda muito restrito quando levado ao cenário empresarial, isso porque, exige uma visão multidisciplinar que vai desde as análises econômicas até os componentes químicos dos materiais empregados (LEITÃO, 2015).

As possibilidades trazidas pela EC são bastante amplas, e os desafios também são. Mudar um paradigma é uma atividade conturbada e não linear, mas ampliando as formas de acesso à informação é possível catalisar esse movimento e garantir sua sustentabilidade frente a toda população. Em adição, autoridades governamentais devem se manter ativas em todo o processo, assim como está ocorrendo em países europeus, participando desde questões de conscientização até auxílio ao financiamento (LEITÃO, 2015).

A compreensão por parte da sociedade sobre a EC se faz muito importante para que esses benefícios venham a acontecer. Trata-se de uma estratégia para romper os paradigmas de projetar, produzir e consumir, que foram implementados na Revolução

Industrial (VAN EIJK E JOUSTRA, 2017). Estratégias de informação e comunicação são necessárias na busca de conscientização por parte dos fabricantes e do público sobre suas responsabilidades pelos produtos durante toda a sua vida útil (STAHEL, 2016, tradução livre). A EC é sinônimo de desenvolvimento, que resulta em benefícios para o meio ambiente, economia e sociedade (HELENA, 2018).

3.4 Economia Circular no Setor de Equipamentos Eletroeletrônicos Do Brasil

Através da análise da produção nacional, levando em consideração tanto os fatores de impacto socioambiental como as atividades diretamente relevantes na geração de riqueza, o setor de equipamentos eletroeletrônicos, segundo a Ellen MacArthur Foundation (2017a), destaca-se devido a sua característica de alto valor agregado, o colocando como um dos líderes de inovação na economia brasileira.

O setor de eletroeletrônicos é formado por diferentes segmentos, como o de automação industrial, geração e distribuição de energia, materiais elétricos de instalação e componentes elétricos e eletrônicos, podendo apresentar uma produção totalmente nacional ou ser dependente de alguns insumos importados. O desenvolvimento desse setor é sustentado por grandes incentivos econômicos que fazem com que o mesmo cresça linearmente. Em contrapartida, a reutilização ou reprocessamento de resíduos causados por essas atividades no Brasil é de apenas 2% (Ellen MacArthur Foundation, 2017b; FARIA, 2018).

Como consequência dos sérios problemas causados pelos resíduos provenientes das atividades produtivas, em agosto de 2010 o governo brasileiro sancionou uma lei que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). O principal instrumento dessa política aparece como o Plano Nacional de Resíduos Sólidos que visa contemplar as seguintes funções (FARIA, 2018):

“I - diagnóstico da situação atual dos resíduos sólidos; II - proposição de cenários, incluindo tendências internacionais e macroeconômicas; III - metas de redução, reutilização, reciclagem, entre outras, com vistas a reduzir a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada; IV - metas para o aproveitamento energético dos gases gerados nas unidades de disposição final de

resíduos sólidos; V - metas para a eliminação e recuperação de lixões, associadas à inclusão social e à emancipação econômica de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis; VI - programas, projetos e ações para o atendimento das metas previstas; VII - normas e condicionantes técnicas para o acesso a recursos da União, para a obtenção de seu aval ou para o acesso a recursos administrados, direta ou indiretamente, por entidade federal, quando destinados a ações e programas de interesse dos resíduos sólidos; VIII - medidas para incentivar e viabilizar a gestão regionalizada dos resíduos sólidos; IX - diretrizes para o planejamento e demais atividades de gestão de resíduos sólidos das regiões integradas de desenvolvimento instituídas por lei complementar, bem como para as áreas de especial interesse turístico; X - normas e diretrizes para a disposição final de rejeitos e, quando couber, de resíduos; XI - meios a serem utilizados para o controle e a fiscalização, no âmbito nacional, de sua implementação e operacionalização, assegurado o controle social.”(BRASIL, 2010, p. 7).

Á necessidade de preservação ambiental já faz parte da consciência do sistema produtivo brasileiro. No caso do setor de eletroeletrônicos, já pode-se verificar diversos esforços nesse sentido. Um exemplo são as instituições de certificações como a RoHS (*Restriction of Hazardous Substances*) - Restrição de Substâncias Perigosas, que impõe através de uma diretiva de mercado, restrições em relação aos níveis de substâncias perigosas em produtos eletroeletrônicos. (CIRCULAR ECONOMY 100, 2017b).

A *Sinctronics* é um bom exemplo de empresa do setor eletroeletrônico que aplica práticas circulares. De acordo com a Circular Economy 100 (2017b), esta companhia combina inovações em TI com P&D para o desenvolvimento e infraestrutura e tecnologia. A partir da coleta de resíduos eletrônicos pós consumo, transforma-se os mesmos em matérias-primas e componentes para novos produtos. Nesse contexto, a empresa busca a substituir a utilização de materiais sem comprometer seu desempenho (FARIA, 2018).

As oportunidades de negócios que surgem no setor eletroeletrônico vão em direção ao aumento da capacidade instalada das indústrias, proporcionando um mercado de remontagem, com partes e componentes secundários. É importante destacar à superação

da obsolescência prematura dos produtos, desenvolvendo-os para que sejam duráveis e passíveis de desmontagem e reuso, configurando um modelo de Produtos Como Serviço (PSC). Uma outra questão importante a ser tratada neste setor produtivo diz respeito à busca por uma integração informal, visando uma colaboração multissetorial – a *simbiose industrial*. Além de destravar maiores volumes de materiais que saem do sistema, essa colaboração entre empresas também promove um processo de inclusão social (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2016).

O processo de superação e substituição de modelos lineares passa por questões genéricas que se mostram importantes, como a necessidade de que as empresas desenvolvam uma consciência de que um modelo econômico circular faz sentido economicamente e garante a sobrevivência das empresas. Questões específicas também têm relevância significativa, como a questão do *design* e desempenho do produto reciclado, o qual tem um peso tão importante quanto o desenvolvimento de tecnologias de reciclagem, uma vez que são esses fatores que vão se relacionar com o mercado, definindo a aceitação, ou não, do produto pelo público (BUARQUE, 2002).

Em termos econômicos, segundo pesquisa feita pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE (2020), é possível estimar que no Brasil a EC poderia gerar uma economia em torno de R\$ 14 bilhões anuais, em resíduos recicláveis e não aproveitados. Os dados mostraram que apenas 4% dos resíduos são reciclados e somente 20% dos municípios brasileiros são atendidos pela coleta seletiva. A burocracia, a falta de comunicação geral entre os interessados e o despreparo de parte do setor público dificulta a adoção no ritmo desejado das políticas voltadas à economia circular (ABRALPE, 2010).

3.5 Reciclagem

As definições para reciclagem, em termos como reutilização, transformação e recuperação são diversas e frequentemente usadas, e nenhuma delas se apresenta erroneamente. Apesar da reciclagem ser apenas um dos processos dentro da EC, é de absoluta importância, pois permite transformar o desperdício em materiais ou produtos de potencial utilidade. O processo de reciclar permite uma considerável redução do uso de matérias-primas, geração de poluição e emissão de gases, sendo imprescindível na gestão de resíduos moderna. (LAURINDO, 2016). Duston (1993 apud CALDERONI, 1999, p. 52), define a reciclagem da seguinte forma:

“Reciclagem é um processo através do qual qualquer produto ou material que tenha servido para os propósitos a que se destinavam e que tenha sido separado do lixo é reintroduzido no processo produtivo e transformado em um novo produto, seja igual ou semelhante ao anterior, seja assumindo características diversas das iniciais.”

Calderoni (1999) afirma que o ato de não reciclar acarreta em altos custos ambientais, danos à saúde pública, e compromete a própria viabilidade planetária. Além dos danos à natureza, há também uma justificativa para a reciclagem em termos econômicos: “Não reciclar significa perder bilhões” (CALDERONI, 1999; LAURINDO, 2016).

A discussão acerca da relação entre economia e reciclagem de resíduos eletroeletrônicos feita por DELMONT em 2007 enfatiza que, a reciclagem em áreas urbanas pode ser uma alternativa mitigadora de grandes problemas advindas do padrão de consumo à curto prazo. O autor destaca ainda que o benefício econômico pode ser mais significativo na economia brasileira conforme o padrão de consumo atual (DELMONT, 2007; MARRA *et al.*, 2017).

Segundo MARRA *et al.*, (2017), o potencial econômico da reciclagem dos constituintes dos equipamentos eletroeletrônicos demonstra que para os resíduos classificados como plásticos (33%) a reciclagem geraria um potencial de arrecadação no valor aproximado de R\$ 494.554.500,00. Já o vidro (31%) possui um potencial de arrecadação em torno de R\$ 68.649.500,00. Já o metal, que representa 14% do total, apresenta um potencial de arrecadação de R\$ 31.003.000,00. Por fim, a reciclagem do cobre arrecadaria, aproximadamente, R\$ 1.472.900.000,00. O Brasil apresenta um grande

potencial de arrecadação com a reciclagem de resíduos eletroeletrônicos, ultrapassando dois bilhões de reais anualmente.

Porém, são poucos os trabalhos desenvolvidos que tratam da reciclagem como um contexto econômico, os quais podem demonstrar e ressaltar a importância da reciclagem para as questões socioambientais e para economia que essa atividade pode gerar para o Brasil. É de fundamental importância destacar ainda, que além do gerenciamento de resíduos eletroeletrônicos outros benefícios diretos no cenário ambiental, social e movimentação do setor econômico podem ser incluídos proporcionados pela reutilização de matérias primas e correta destinação dos demais componentes destes produtos. Ainda neste contexto, há a necessidade de que haja mais estudos que proporcionem aos gestores públicos dados numéricos em relação ao potencial de reciclagem de resíduos eletroeletrônicos para o setor econômico (Marra *et al.*, 2017).

3.6 Uma Economia Circular Para Os Metais

Ao contrário de outras matérias-primas, como combustíveis fósseis ou alimentos, os metais não perdem suas propriedades intrínsecas durante a reciclagem, podendo ser usados e reutilizados várias vezes, mantendo sua qualidade e funcionalidade. (WELLMER, F.W.; HAGELÜKEN, C., 2015).

A demanda por matérias-primas aumentará juntamente, bem como o aumento da população global. Isso criou dois grandes desafios: garantir o acesso econômico e sustentável às matérias-primas e aumentar a eficiência dos recursos. A reciclagem fornece uma maneira altamente eficiente de reintroduzir materiais valiosos de volta à economia e, ao fazê-lo, enfrentar os principais desafios estratégicos, enquanto reduz os impactos ambientais e a intensidade energética do suprimento de materiais. A reciclagem de metais tem benefícios significativos, conforme resumido abaixo (HAGELÜKEN, C., 2014):

- Substituição de matérias-primas primárias;
- Reduzir os impactos ambientais e de CO₂ da produção de matérias-primas secundárias em comparação com as matérias-primas. A reciclagem economiza até 20 vezes a energia necessária para produzir metais e reduz o impacto na água, no ar, no solo e na biosfera;

- Redução da dependência de materiais importados e fornecimento seguro de materiais valiosos, alguns dos quais são materiais críticos;
- Evitar o aterro e a incineração de metais, que não são apenas uma perda de matérias-primas valiosas, mas também geram impactos ao meio ambiente.

A demanda por metais é crescente, porém não pode ser atendida apenas com a reciclagem. O fornecimento primário, através da mineração, e secundário, através da reciclagem, permanecerá complementar no futuro. Devido à natureza permanente dos metais e à longa vida útil de alguns produtos, os quais podem permanecer em estoque por muitos anos, cria-se um estoque antropogênico significativo, fazendo surgir uma potencial mina urbana futura. Configurar uma EC significa que, no final da vida útil desses produtos, sempre e onde isso acontecer, eles precisam ser reciclados de maneira eficiente e adequada (WELLMER, F.W.)

O objetivo de uma EC é bastante claro: um círculo só será fechado se os materiais encontrarem seu caminho para os ciclos de vida de novos produtos. De acordo com a “hierarquia” de resíduos, a prioridade deve ser a de manter materiais e produtos na economia o maior tempo possível, através da prevenção e reutilização de resíduos. Entretanto, os produtos acabarão chegando ao fim da sua vida útil, devendo ser assegurado que sejam encaminhados para reciclagem, tratamento e prevenção de resíduos e uso das melhores tecnologias de reciclagem disponíveis.

Existem vários desafios que precisam ser enfrentados. A coleta de aparelhos em fim de vida ou fluxos de resíduos é um pré-requisito necessário para permitir a reciclagem. O próximo passo é garantir que produtos e materiais sejam tratados em processos de alta qualidade ao longo de toda cadeia produtiva.

3.7 Indicadores De Desenvolvimento Sustentável

Partindo do pressuposto de que haja um consenso acerca do conceito de desenvolvimento sustentável e de sua importância, surge a necessidade de que sejam elaboradas ferramentas que possibilitem mensurar a sustentabilidade, os chamados indicadores de sustentabilidade. Antes de qualquer coisa, é necessário compreender melhor o significado dos indicadores de uma maneira geral.

Segundo Hammond *et al.*, 1995, indicador tem origem do Latim *indicare*, que significa apontar, descobrir, estimar, anunciar. Os indicadores atuam como formas de comunicação e informação acerca do progresso em direção a uma determinada meta, por exemplo, o desenvolvimento sustentável, mas também podem ser compreendidos como um recurso perceptível de uma tendência ou fenômeno que não seja imediatamente detectável (Hammond *et al.*, 1995; BELLEN, 2005).

A OECD - *Organization for Economic Cooperation and Development* - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico, afirma que um indicador deve ser entendido como um parâmetro, ou valor derivado de parâmetros, os quais fornecem informações sobre o estado de um fenômeno (OECD, 1993; BELLEN, 2005).

McQueen e Noak (1988) definem um indicador como uma medida que trata informações relevantes de um fenômeno particular, semelhante ao conceito de Holling (Holling, *et al.*, 1978) de que um indicador é uma medida do comportamento de um sistema em termos de atributos expressivos e perceptíveis (BELLEN, 2005).

Os indicadores mais desejados de acordo com Gallopin (1996) são aqueles que resumam ou simplifiquem as informações relevantes, fazendo com que certos fenômenos que ocorrem na realidade se tornem mais aparentes, aspecto este que é importante na gestão ambiental. Segundo Bellen (2005), nesta área se faz necessário especificamente que se quantifiquem, se meçam e se comuniquem ações relevantes.

As funções dos indicadores, segundo Tunstall (1994) são:

- Avaliar condições e tendências
- Comparar lugares e situações
- Avaliar condições e tendências em relação às metas e aos objetivos

- Prover informações de advertência
- Antecipar futuras condições e tendências

Fonte: Adaptado de Bellen, 2005.

O principal objetivo de um indicador é quantificar e agregar informações de uma maneira que sua significância fique mais aparente. Indicadores são formas de simplificar as informações sobre fenômenos complexos, podendo ser tanto quantitativos como qualitativos. Os mesmos buscam uma melhora nos processos de comunicação, podendo ser tanto quantitativos como qualitativos, e ainda adotar diferentes significados. Alguns termos normalmente utilizados são normas, padrão, meta e objetivo, dentre outros. No contexto dos indicadores de desenvolvimento sustentável pode-se afirmar que os conceitos de padrão e norma são similares. Eles se referem fundamentalmente a valores estabelecidos ou desejados pelas autoridades governamentais ou obtidos por um consenso social. Estes indicadores são utilizados dentro de um senso normativo, como um valor técnico de referência (BELLEN, 2005; DEBALI, 2009).

Segundo Meadows (1998), o uso de indicadores é uma maneira intuitiva de monitorar sistemas complexos que a sociedade considera importantes. O mesmo autor utiliza a analogia do termômetro que tem como finalidade medir a temperatura do paciente, e mesmo não medindo um sistema específico do corpo humano, transmite uma informação sobre a sua saúde.

Os indicadores podem ser considerados, de fato, um modelo da realidade, mas não podem ser considerados como a própria realidade. Entretanto, devem ser analiticamente legítimos e construídos dentro de uma metodologia de mensuração coerente. Segundo Hardi e Barg (1997), indicadores são pedaços de informações que apontam para características dos sistemas, realçando o que está acontecendo no mesmo.

Indicadores podem ser ferramentas de mudança, de aprendizado e de propaganda. Sua presença afeta o comportamento das pessoas. A sociedade mede o que valoriza e aprende a valorizar aquilo que mede. (BELLEN 2005, p. 45).

Índices de sustentabilidade são indicadores que condensam informações obtidas pela agregação de dados. Para Gallopin (1996) existe a necessidade de identificar as

interligações entre os diversos aspectos relacionados ao conceito do desenvolvimento sustentável. A partir da identificação destas conexões devem-se procurar soluções integradas para problemas que estão relacionados. Existe a necessidade de identificar vínculos entre as variáveis para que se possa entender o sistema como um todo. Dentro destes princípios, Bellen (2005) sugere que os sistemas de indicadores de desenvolvimento sustentável devem seguir alguns requisitos universais:

- Os valores dos indicadores devem ser mensuráveis (ou observáveis);
- Deve existir disponibilidade dos dados;
- A metodologia para a coleta e o processamento dos dados, bem como para a construção dos indicadores, deve ser limpa, transparente e padronizada;
- Os meios para construir e monitorar os indicadores devem estar disponíveis, incluindo capacidade financeira, humana e técnica;
- Os indicadores ou grupo de indicadores devem ser financeiramente viáveis;
- Deve existir aceitação política dos indicadores no nível adequado; indicadores não legitimados pelos tomadores de decisão são incapazes de influenciar as decisões.

Fonte: Bellen, 2005.

Há ainda a necessidade de que os indicadores relacionados à avaliação de sustentabilidade sejam realistas, representando diretamente as propriedades do sistema como um todo. O auxílio para os tomadores de decisão é o objetivo principal da mensuração, utilizando a avaliação de desempenho em relação aos objetivos estabelecidos, fornecendo bases para o planejamento de futuras ações (BELLEN, 2005).

4. METODOLOGIA

Esta seção irá abordar detalhadamente a metodologia utilizada para a realização deste trabalho, com base no método para avaliação da taxa de reciclabilidade descrito pela norma EN 45555, bem como informações sobre o produto e os materiais que compõem o mesmo. Este trabalho foi desenvolvido paralelamente às atividades de estágio da autora, como uma contribuição e complemento às atividades realizadas. Sendo assim, os dados quantitativos utilizados neste trabalho foram obtidos com base em arquivos internos da empresa (lista técnica dos motores), consultados anteriormente pela autora e citados neste trabalho para fins de obtenção de resultados.

4.1 Materiais Utilizados

Os materiais avaliados por esse trabalho fazem parte de um motor elétrico fabricado pela WEG Equipamentos Elétricos S.A., situada em Jaraguá do Sul – SC. O modelo W22 é composto pelos seguintes materiais:

- Aço silício para fabricação dos estatores e rotores;
- Alumínio (Al) para fabricação da gaiola dos rotores;
- Ferro fundido (FoFo) para fabricação de carcaça, tampas e caixa de ligação;
- Aço carbono utilizado em parafusos, arruelas, porcas e rolamentos;
- Cobre (Cu) para fabricação dos fios;
- Materiais poliméricos como poliéster, polipropileno (PP) e borracha, utilizados em componentes diversos;
- Vernizes, resinas e tinta para pintura final.

A Quadro 3 detalha os principais materiais que compõem o motor elétrico avaliado, e em conjunto com o indicativo da Figura 7, onde os mesmos estão alocados neste motor.

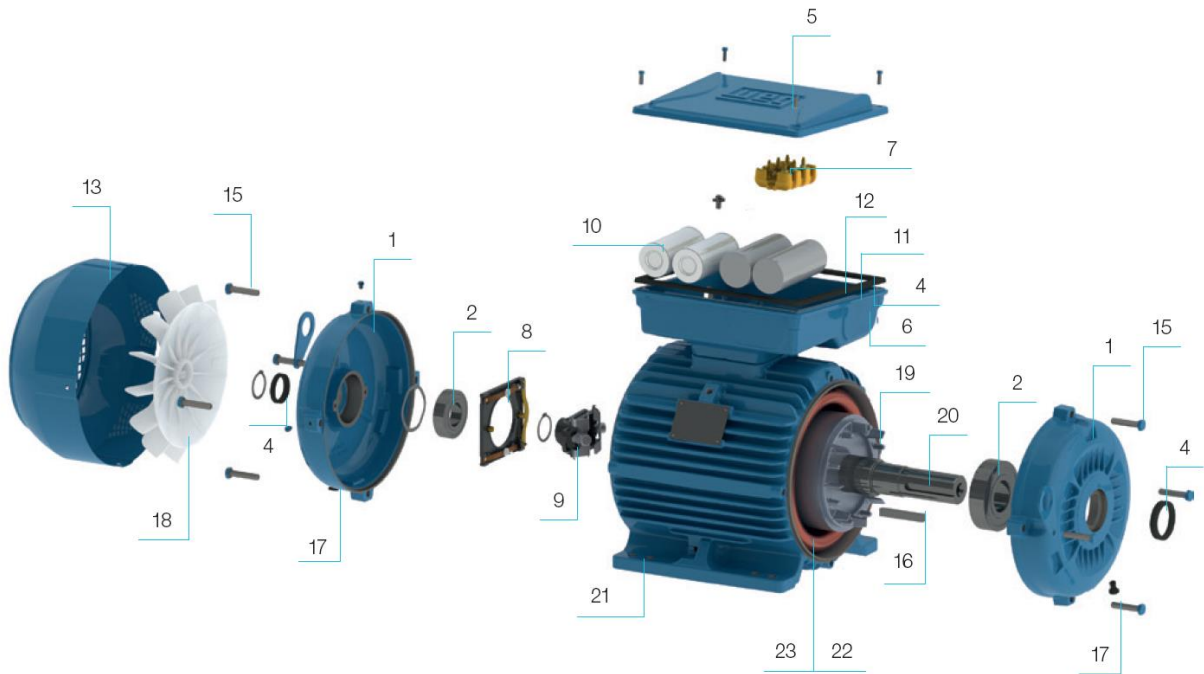
Quadro 3 - Principais materiais que compõem um motor elétrico e as respectivas localizações dos mesmos

Material	Componentes	Onde está?
FoFo	Carcaça, tampas e caixa de ligação	1
		5
		14
	Ventilador	18
	Quadro Armação	21
Aço	Tampa	13
	Tampa	14
	Caixa de terminais	6
	Ventilador	18
	Rolamento	2
	Núcleo Estator	22
	Caixa de terminais	6
	Tampas	5
	Bloco terminal	7
	Interruptor estacionário	8
	Chave centrífuga	9
	Conector terminais	12
	Tampas	13
	Tampa	14
	Parafusos	15
	Chave	16
Plug	17	
Eixo	20	

Material	Componentes	Onde está?
Al	Gaiola do rotor	19
	Tampas	5
	Caixa de terminais	6
	Ventilador	18
	Quadro - Armação	21
Cu	Fios	23
	Terminais	11
PP	Componentes diversos	8
		6
		9
		10
		12
		13
		14
		17
		18
		23
Borracha	Componentes diversos	2
		4

Fonte: Elaborado pela Autora.

Figura 7 - Vista explodida do motor elétrico WEG modelo W22.



Fonte: Arquivo interno WEG

4.2 Cálculo Da Taxa De Reciclabilidade

Para fechar o ciclo da EC, entre outras medidas, um manuseio eficiente dos materiais é fundamental. A reciclagem de materiais pode diminuir os impactos ambientais ao longo do ciclo de vida, incluindo a redução da extração de recursos naturais e das emissões associadas a produção de material primário. Para julgar o potencial de reciclagem de um produto em termos de quão fácil é reciclar materiais, ou em que grau um produto pode ser reciclado, os conceitos de reciclabilidade são introduzidos (EN 45555, 2019).

4.2.1 Cenário de tratamento de EoL

Quando um ErP atinge seu fim de vida útil e se torna um desperdício, o mesmo pode ser preparado para ser reciclado. Para a avaliação da reciclabilidade a norma EN 45555 traz à necessidade de que o ErP, neste caso o motor elétrico, seja submetido a um cenário de tratamento de EoL. Um cenário de tratamento de EoL é uma descrição da

combinação e sequência de processos e etapas necessárias para o tratamento de fim de vida útil de um produto. As operações de tratamento podem incluir (EN 45555, 2019):

- Operações para mitigar riscos e remover peças para tratamento seletivo;
- Operações de separação de materiais, que podem ser alcançadas através de várias técnicas, como separação mecânica de materiais, química ou térmica;
- Operações de reciclagem.

O cenário EoL deve ser avaliado até o ponto em que os materiais estejam aptos a serem reciclados em novos produtos, materiais ou substâncias, seja para o propósito original ou para outros fins. Despoluição e tratamento seletivo dos materiais do ErP em EoL são pré-requisitos para operações de reciclagem. Deve-se levar em conta o seguinte (EN 45555, 2019):

- Avaliar a capacidade de acessar e remover as peças que requerem tratamento seletivo, levando em conta a capacidade de acessar parafusos, colas, encaixes, separar e classificar materiais compatíveis com os processos de reciclagem.
- Avaliar a capacidade de acessar e remover peças de plástico (que contenham certos retardadores de chama, por exemplo) que reduzem a capacidade de reciclagem.
- Identificar substâncias regulamentadas que devem ser removidas durante a despoluição;

4.2.2 Fator de Reciclabilidade ($R_{cyc,k}$)

Outro parâmetro necessário para calcular a taxa de reciclagem trazida pela norma EN 45555 é o chamado Fator de Reciclagem ($R_{cyc,k}$), devendo este ser um valor compreendido entre 0 e 1, obtido através da multiplicação dos valores de rendimento dos processos de toda a cadeia de tratamento no cenário EoL, levando em consideração ainda alguns critérios estabelecidos nas características do produto de acordo com algumas diretrizes horizontais. Em particular, devem ser aplicadas as seguintes regras estabelecidas pela norma EN 45555:

- Quando alguma substância impede a reciclagem do fluxo de material, $R_{cyc,k}$ deve ser 0.

- Quando as técnicas de união não permitem a separação de combinações de peças ou materiais em fluxos de materiais recicláveis, $R_{cyc,k}$ deve ser 0.
- Quando as combinações de revestimento e materiais são intrinsicamente conectadas, incompatíveis com o fluxo de materiais de reciclagem, $R_{cyc,k}$ deve ser 0.

4.2.3 Pesos dos materiais envolvidos na análise

É necessário que se conheça o peso dos materiais que compõem do produto estudado. Os dados quantitativos utilizados neste trabalho para efetuar o cálculo da taxa de reciclabilidade de um motor elétrico foram obtidos com base em arquivos e relatórios internos da empresa (lista técnica dos motores), consultados ao longo do período de estágio da autora, e citados neste trabalho para fins de obtenção de resultados. Este trabalho foi desenvolvido paralelamente às atividades de estágio da autora, como uma contribuição e complemento às atividades realizadas.

4.2.4 Definição dos materiais recicláveis

A autora definiu, com base em conhecimentos adquiridos ao longo da graduação sobre as propriedades e características dos materiais analisados, quais destes poderiam passar por processos de reciclagem afim de serem reintroduzidos em novos produtos/materiais.

4.2.5 Taxa de Reciclabilidade (R_{cyc})

De posse de todos parâmetros e informações citados anteriormente, a autora calculou, utilizando a fórmula trazida pela norma EN 45555, a taxa de reciclabilidade do motor elétrico em estudo.

A Taxa de Reciclabilidade (R_{cyc}) de um ErP deve ser calculada como porcentagem em massa (fração de massa em porcentagem) usando Equação 2:

$$R_{cyc} = \frac{\sum_{k=1}^n (m_k * R_{cyc,k})}{m_{tot}} * 100 \% \quad (2)$$

Onde:

R_{cyc} é a taxa reciclabilidade do produto;

n é o número de peças / materiais;

m_k é a massa do k-ésimo material / peça;

$R_{cyc,k}$ é o fator de reciclabilidade da peça / material;

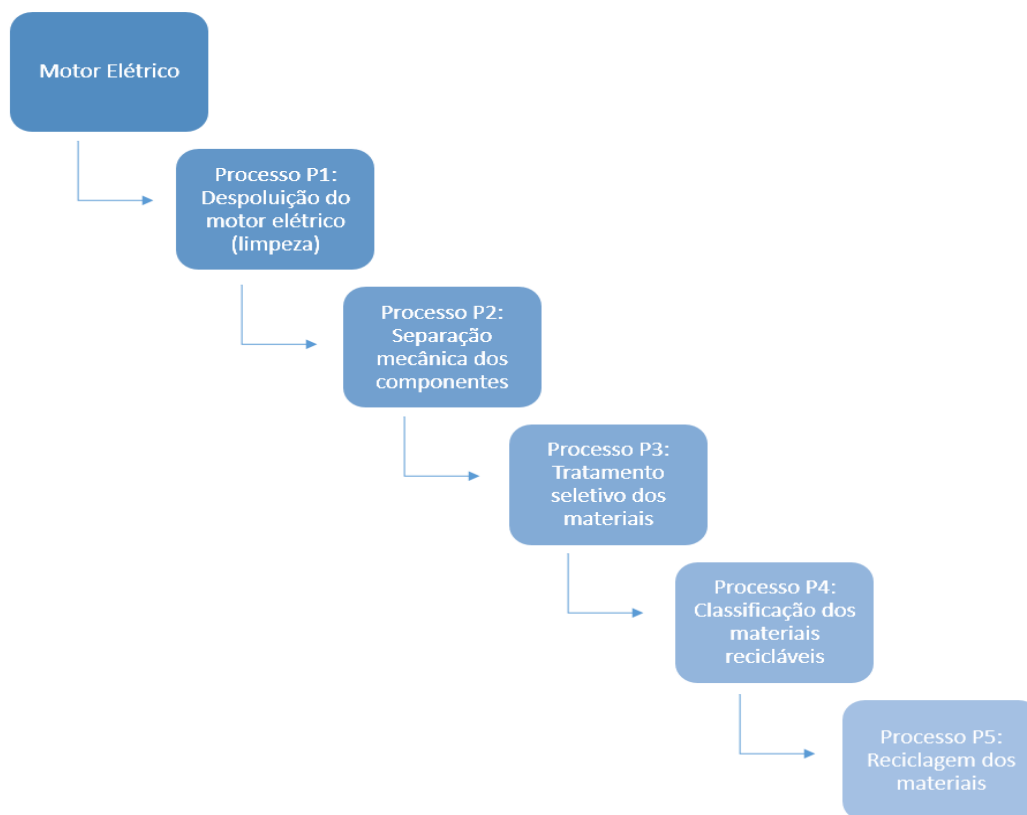
m_{tot} é a massa do produto completo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Cenário de tratamento de EoL

Com base na estrutura do produto e no conteúdo do material a autora especificou um cenário genérico de tratamento em fim de vida para um motor elétrico com base nas especificações trazidas pela norma EN 45555. Iniciando pela limpeza do motor elétrico (Processo P1), afim de que sejam eliminadas impurezas como poeira advindas do uso, o uso de água é adequado, evitando que sejam utilizados qualquer tipo de produto químico que possa acabar como efluentes na natureza. Posteriormente, deve-se realizar a separação mecânica dos componentes e dos grandes grupos de materiais (polímeros, metais, etc.). Esta separação pode ser feita manualmente, com o auxílio de ferramentas e equipamentos de segurança adequados. A Figura 8 indica o diagrama e a composição dos processos (P1, P2, P3 e P4).

Figura 8 - Diagrama de fluxo de um cenário de tratamento EoL para um motor elétrico

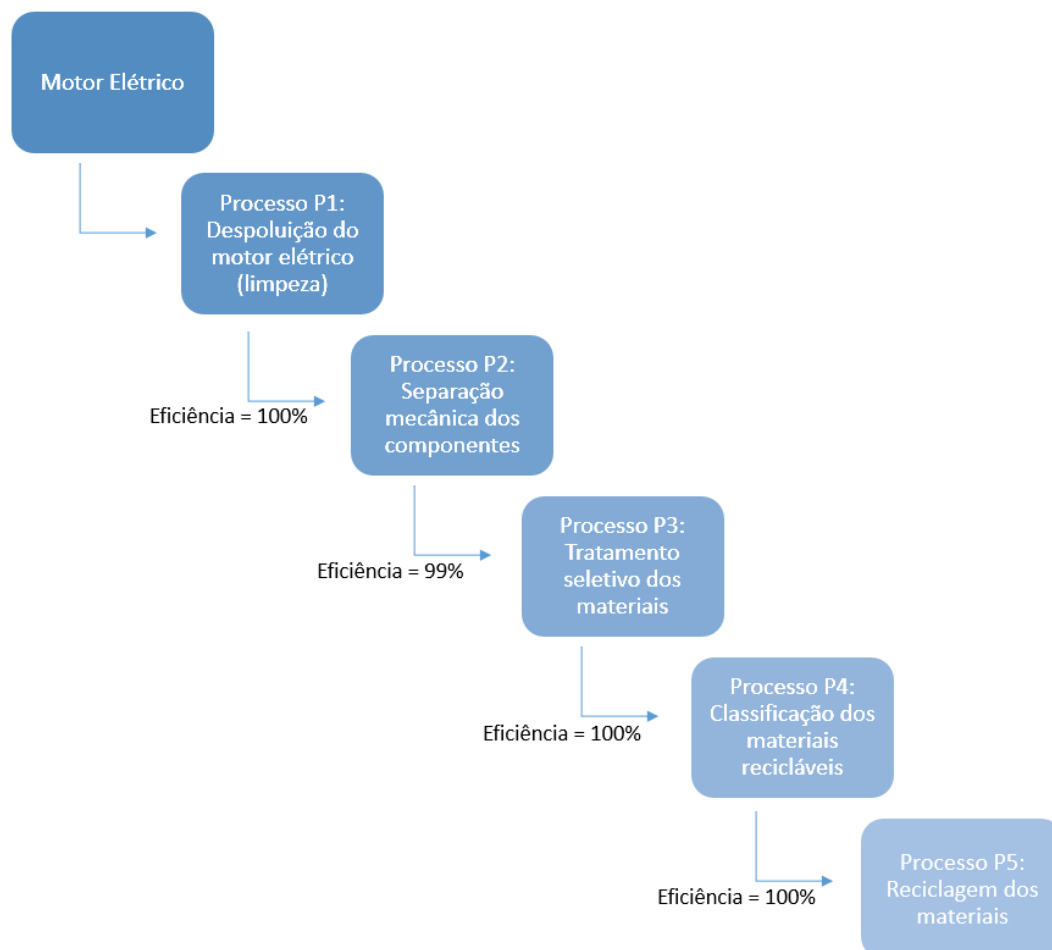


Fonte: Elaborado pela Autora

5.2 Fator de Reciclabilidade ($R_{cyc,k}$)

Utilizando o diagrama do cenário de tratamento *EoL* elaborado anteriormente, calculou-se o fator de reciclabilidade multiplicando os rendimentos dos processos avaliados. Os valores de rendimentos foram definidos com base nos critérios trazidos pela norma, alinhados ao conhecimento sobre os processos envolvidos, tendo observado e estudado os mesmos ao longo da graduação em Engenharia de Materiais, e durante o período de estágio na empresa, bem como tendo conhecimento sobre as propriedades dos materiais envolvidos na análise e suas respectivas capacidades químicas e mecânicas. A Figura 9 indica os valores elencados para a eficiência dos processos.

Figura 9 - Avaliação da eficiência dos processos ao longo da cadeia de tratamento *EoL*



Fonte: Elaborado pela Autora

Assim, o valor para $R_{cyc,k}$ do processo de avaliação da reciclabilidade de um motor elétrico foi encontrado com base no disposto pela norma EN 45555, através da multiplicação dos valores de rendimento estabelecidos pela autora para todos os processos envolvidos na análise. Desta forma, $R_{cyc,k}$ foi calculado conforme a Equação 1, descrita pela EN 45555:

$$R_{cyc,k} = \%P1/100 * \%P2/100 * \%P3/100 * \%P4/100 \quad (1)$$

$$R_{cyc,k} = 1 * 0,99 * 1 * 1$$

$$R_{cyc,k} = 0,99$$

5.3 Pesos dos materiais envolvidos na análise

A Tabela 1 traz detalhadamente os dados de peso (Kg) de todos os materiais envolvidos no estudo. Um relatório adicional (arquivo interno da empresa) trouxe dados sobre o peso médio em triplicata de cada componente/material. A média desses valores será o dado utilizado para os cálculos. A Tabela 1 aponta os valores obtidos.

Tabela 1 - Pesos dos componentes de um motor elétrico

Componente	Material	QCM*	Peso 1 (Kg)	Peso 2 (Kg)	Peso 3 (Kg)	Peso médio in-loco (Kg)
Carcaça	FoFo	1	24,500	24,800	24,900	24,733
Tampa 1	FoFo	1	6,100	6,100	6,100	6,100
Tampa 2	FoFo	1	0,374	0,361	0,378	0,371
Tampa 3	FoFo	1	5,900	5,900	5,900	5,900
Tampa 4	FoFo	1	5,900	6,000	6,000	5,967
Caixa ligação 1	FoFo	1	2,500	2,500	2,500	2,500
Caixa ligação 2	FoFo	1	0,200	0,200	0,200	0,200
Parafuso A	AÇO CARBONO	1	0,171	0,161	0,168	0,167
Parafuso B	AÇO CARBONO	1	0,014	0,014	0,014	0,014
Chaveta	AÇO CARBONO	1	0,059	0,059	0,059	0,059
Rolamento A	AÇO CARBONO	1	0,823	0,823	0,823	0,823

Componente	Material	QCM*	Peso 1 (Kg)	Peso 2 (Kg)	Peso 3 (Kg)	Peso médio in-loco (Kg)
Parafuso C	AÇO CARBONO	4	0,018	0,018	0,018	0,072
Parafuso D	AÇO CARBONO	2	0,020	0,020	0,020	0,040
Parafuso E	AÇO CARBONO	4	0,018	0,018	0,018	0,072
Arruela	AÇO CARBONO	1	0,005	0,005	0,005	0,005
Parafuso F	AÇO CARBONO	3	0,010	0,013	0,010	0,033
Parafuso G	AÇO CARBONO	4	0,010	0,010	0,010	0,040
Parafuso H	AÇO CARBONO	4	0,009	0,009	0,009	0,036
Parafuso I	AÇO CARBONO	1	0,014	0,014	0,014	0,014
Parafuso J	AÇO CARBONO	6	0,004	0,004	0,004	0,024
Porca	AÇO CARBONO	6	0,003	0,003	0,003	0,018
Estator	AÇO SILÍCIO	1	30,160	30,340	30,040	30,180
Gaiola rotor	ALUMÍNO	1	34,000	34,300	34,500	34,267
Resina	RESINA	1	0,060	0,080	0,080	0,073
Verniz 1	VERNIZ	1	0,022	0,022	0,022	0,022
Verniz 2	VERNIZ	1	0,030	0,030	0,030	0,030
Tinta	TINTA	1	0,450	0,450	0,450	0,450
Vergalhão 1	COBRE	1	4,174	4,174	4,174	4,174
Vergalhão 2	COBRE	1	2,433	2,433	2,433	2,433
Vergalhão 3	COBRE	12	0,001	0,001	0,001	0,012
Vergalhão 4	COBRE	6	0,0075	0,0075	0,0075	0,045
Vergalhão 5	COBRE	6	0,0085	0,0085	0,0085	0,051
Fita isolante 1	POLIESTER	4	0,012	0,012	0,012	0,048
Fita isolante 2	POLIESTER	48	0,003	0,003	0,003	0,144
Fita isolante 3	POLIESTER	48	0,001	0,001	0,001	0,048
Fita isolante 4	POLIESTER	24	0,001	0,001	0,001	0,027
Fita isolante 5	POLIESTER	12	0,001	0,001	0,001	0,009
Fita isolante 6	POLIESTER	12	0,001	0,001	0,001	0,012

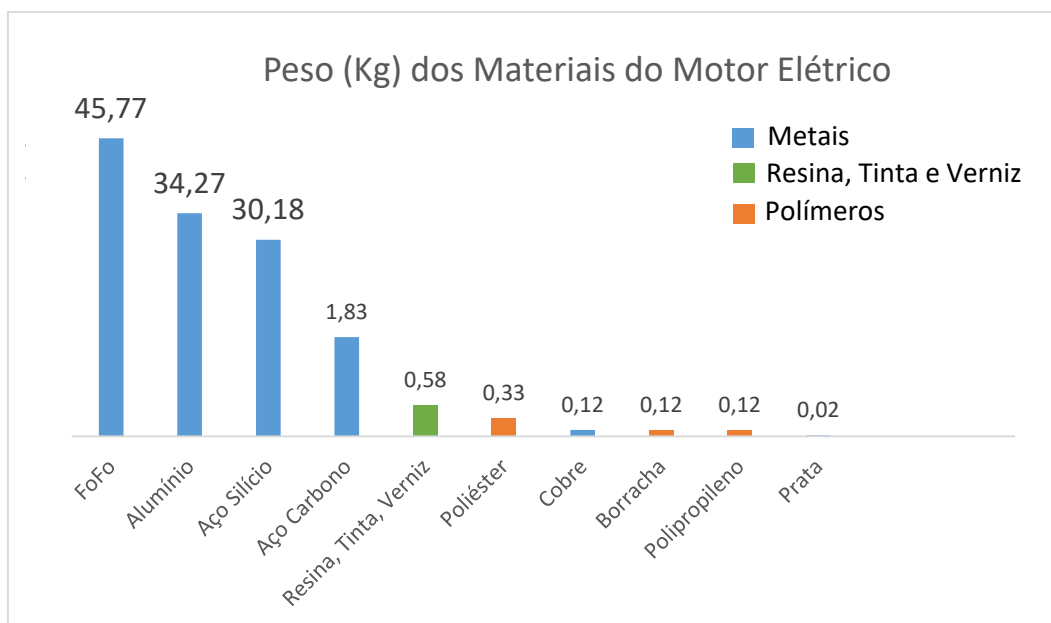
Componente	Material	QCM*	Peso 1 (Kg)	Peso 2 (Kg)	Peso 3 (Kg)	Peso médio in-loco (Kg)
Fita isolante 7	POLIESTER	6	0,002	0,002	0,002	0,013
Fita isolante 8	POLIESTER	12	0,002	0,002	0,002	0,025
Solda	PRATA	1	0,018	0,018	0,018	0,018
Componente 1	BORRACHA VEDAÇÃO	6	0,0045	0,0045	0,0045	0,027
Componente 2	BORRACHA VEDAÇÃO	6	0,0045	0,0045	0,0045	0,027
Componente 3	BORRACHA VEDAÇÃO	1	0,001	0,001	0,001	0,001
Componente 4	BORRACHA VEDAÇÃO	1	0,004	0,004	0,005	0,004
Componente 5	BORRACHA VEDAÇÃO	1	0,001	0,001	0,001	0,001
Componente 6	BORRACHA VEDAÇÃO	1	0,004	0,004	0,004	0,004
Componente 7	BORRACHA VEDAÇÃO	1	0,034	0,034	0,034	0,034
Componente 8	BORRACHA VEDAÇÃO	1	0,023	0,023	0,023	0,023
Ventilador	POLIPROPILENO	1	0,113	0,113	0,113	0,113
Componente 1	POLIPROPILENO	1	0,008	0,008	0,008	0,008
-	GRAXA	1	0,010	0,010	0,010	0,010
-	GRAXA	1	0,007	0,007	0,007	0,007
					Total (Kg)	119,94

*QMC: Quantidade do componente do motor (UN)

Fonte: HAHN, C. B.; SILVA, D. (2012) [Adaptado pela autora]

A Figura 10 ilustra a quantificação dos pesos dos diferentes materiais constituintes do motor elétrico avaliado:

Figura 10 - Gráfico ilustrativo do Peso (Kg) dos materiais do motor elétrico



Fonte: Elaborado pela autora.

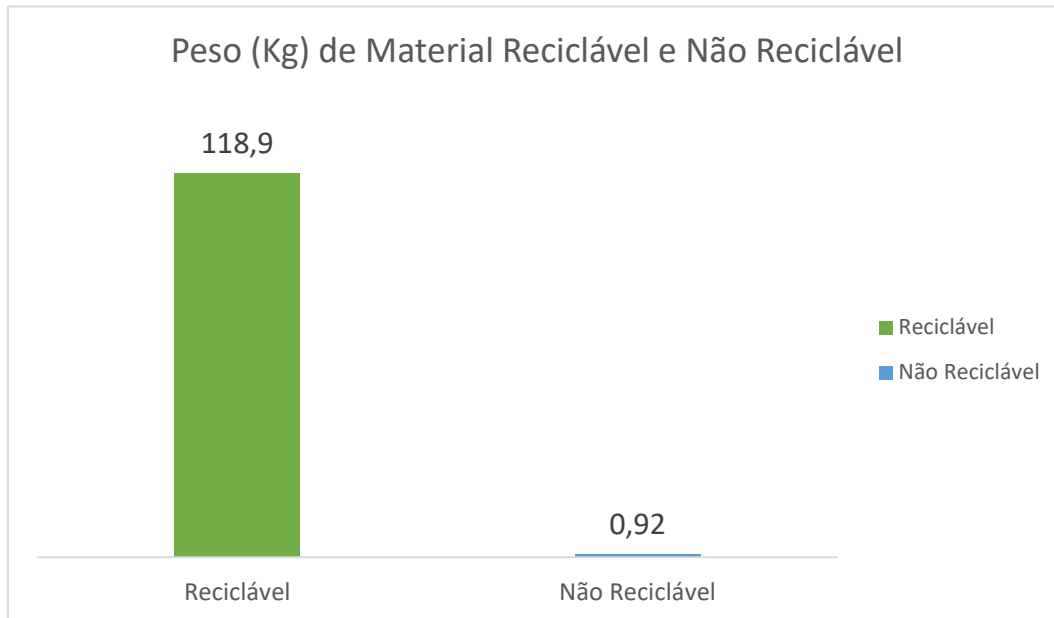
5.4 Definição dos materiais recicláveis

Todos os metais, somando 118,78 Kg, e alguns dos polímeros, como o PP e a borracha, que juntos somaram 0,24 Kg foram classificados como materiais aptos a passarem por processos de reciclagem para serem reincorporados novamente em novos produtos/materiais. Ao todo, 118,90 Kg do motor elétrico foram elencados como materiais recicláveis.

O restante, cerca de 0,92 Kg de material, classificados como não recicláveis, são compostos de tintas, vernizes, resinas, graxas e fitas adesivas.

O Figura 11 ilustra as respectivas quantidades de matérias recicláveis e não recicláveis do motor elétrico analisado:

Figura 11 - Gráfico ilustrativo do Peso (Kg) de material reciclável e não reciclável do motor elétrico



Fonte: Elaborado pela autora.

5.5 Taxa de Reciclabilidade (R_{cyc})

Finalmente, para obter o valor da taxa de reciclabilidade, utilizou-se a Equação 2, relacionando os dados de peso dos materiais recicláveis, fator de reciclabilidade e peso total do motor.

$$R_{cyc} = \frac{\sum_{k=1}^n (m_k * R_{cyc,k})}{m_{tot}} * 100\% = \frac{118,90 * 0,99}{119,94} * 100\% = 98,14 \%$$

A taxa de reciclabilidade de um motor elétrico WEG modelo W22, utilizando a metodologia trazida pela norma EN 45555, é de aproximadamente 98 %. Este número ilustra o grande valor agregado e a elevada capacidade de reinserir este produto, sob forma dos materiais que o compõem, em novas cadeias produtivas quando o mesmo atingir seu estado de EoL, seja para a mesma aplicação, utilizando o material reciclado como insumo nos processos produtivos da empresa, ou em outras aplicações, através do comércio de materiais reciclados – prática já realizada pela empresa através de programas que retiram motores elétricos antigos do mercado, substituindo-os por novos, dando destinação final

correta aos materiais sucateados. Além de destinar de forma correta as sucatas dos motores antigos, a contribuição com a inserção de motores elétricos mais eficientes, energeticamente falando, somam positivamente como ações de melhoria de consumo de recursos e energia.

Os materiais metálicos, classificados como materiais possíveis de serem reciclados, somaram um total de 118,78 Kg – aproximadamente 99% do peso total do produto. Aqueles classificados como metais não ferrosos (Al e Cu) despertam um maior interesse devido ao maior valor de sua sucata, mas a reciclagem de sucatas de ferro e aço também é realizada. O FoFo utilizado para fabricação dos componentes nesse estudo é basicamente obtido através da fusão de materiais de sucata provenientes de alguns processos internos da empresa, isso caracteriza uma aplicação prática e real de processos de reciclagem já em uso.

A borracha, encontrada em oito componente de vedação, também foi classificada como reciclável, somando 0,121 Kg. Considerado um material reciclável, atualmente a borracha pode ser reinserida na cadeia produtiva através do uso em composição asfáltica, quadras esportivas, nos setores da construção civil, composição de biomassa, indústria calçadista, autopeças, entre outros. Embora demande uma condição logística de repasse e se trabalhe junto ao desenvolvimento de empresas que trabalhem com a reciclagem correta deste material, dar a destinação correta adequada a um material é sempre uma boa escolha e agrega valor à empresa.

O PP, que soma 0,121 Kg em componentes do motor, também é passível de passar por processos de reciclagem. O material polipropileno é a base para a fabricação de inúmeros itens na sociedade contemporânea, como por exemplo embalagens, rótulos, artigos de papelaria, peças automotivas, utensílios domésticos, copos descartáveis e etc. Isso ocorre devido à sua facilidade de fabricação, relativa resistência, facilidade de limpeza, além de ser um material passível de reciclagem. A reciclagem de PP é possível por se tratar de um termoplástico, o qual, quando submetido a temperaturas elevadas, torna-se maleável, permitindo sua transformação em novos subprodutos. Como o PP é bastante utilizado por diversas indústrias, a reciclagem de polipropileno, atualmente, é

uma necessidade. Além disso, um dos fatores que torna a reciclagem de polipropileno algo vantajoso é o valor agregado presente nos resíduos compostos por este material.

Já os materiais classificados como não recicláveis, englobando os polímeros utilizados em fitas isolantes adesivas, tintas, vernizes, resinas e graxas somaram 1,19 Kg, os quais, por mais que não possam ser reinseridos em um novo processo produtivo em processos de reciclagem, podem ser destinados a empresas especializadas no processo de tratamento e descarte final, evitando que esses materiais acabem poluindo de alguma forma o meio ambiente.

Ao invés de ser descartado e poluir o meio ambiente, 98% de um motor elétrico no seu estado de fim de vida pode ser reinserido em novas cadeias produtivas. O resultado desta análise nos mostra que há muitas possibilidades envolvendo este produto e os demais que compõem o mesmo seguimento de produção da empresa. A WEG possui diversos modelos de motores elétricos, de diferentes tamanhos e funcionalidades, e todos eles, em sua grande maioria, utilizam como base os materiais que foram avaliados por este trabalho.

Dessa forma, é possível um aproveitamento de 98% dos materiais em um produto que atingiu seu tempo de vida útil e seria descartado, o que significa uma grande contribuição com as questões que envolvem sustentabilidade, como redução da exploração de recursos naturais e o acúmulo de resíduos no planeta. Neste sentido, a aplicação de indicadores de sustentabilidade avaliados por normas internacionais, em especial neste caso uma norma europeia, agrega valores positivos para a empresa, que através deste resultado, justifica o potencial que seu produto carrega, atrelando questões comerciais e econômicas que são visadas por muitos concorrentes.

A norma EN 45555 contribuiu para que avaliação da reciclabilidade de um motor elétrico, no que diz respeito ao seu potencial de ser reinserido em novos processos de produção, englobou também aspectos sobre a capacidade desse produto e seus materiais constituintes passarem pelas etapas avaliativas com sucesso, ou seja, além das questões associadas aos materiais, aspectos sobre o *design* do produto foram considerados na determinação do cenário e dos fatores. Seu atendimento é de certa forma de baixa

complexidade e permite uma aplicação em mais motores e produtos da empresa voltados a mercados externos, podendo também ser um diferencial junto ao mercado nacional.

6. CONCLUSÃO

É fato que a necessidade de reconhecer a importância da valorização do meio ambiente e de seus recursos naturais é algo que está cada vez mais em pauta na nossa sociedade. Entretanto, os impactos causados por um consumo exacerbado ainda são presentes e graves. Diversas práticas foram desenvolvidas para buscar reverter essa situação, uma delas se difunde através de um novo modelo econômico conhecido como economia circular.

O modelo de economia circular permite alcançar um nível elevado de desenvolvimento sustentável a partir de pequenas alterações que vão desde o design de produtos ao comportamento de produtores e consumidores. Estudar questões relacionadas com a economia circular, mais do que um enriquecimento teórico, é uma oportunidade de reflexão sobre nosso papel enquanto participantes de uma sociedade que clama por mudanças dos sistemas atuais de produção e consumo. Este modelo econômico está crescendo em importância e aplicação, assim, o principal objetivo do presente estudo foi avaliar a capacidade de um produto em ser reciclado, focando nos materiais de sua composição, através de indicadores trazidos por normas existentes que englobam o tema.

A capacidade de reciclar 98% de um motor elétrico WEG mostrou, por meio da adoção de dados quantitativos e mensuráveis, como é grande a vantagem do reaproveitamento dos materiais. O grande benefício da reciclagem de metais é evitar a etapa de extração e beneficiamento do minério, que é uma atividade que envolve alto consumo de água e energia. Além disso, os resíduos metálicos possuem um elevado tempo de decomposição e quando descartados no meio ambiente causam sérios problemas ambientais. Quando se recicla o metal ou compra-se metal reciclado, contribui-se com o meio ambiente, pois este material deixa de ir para os aterros sanitários ou para a natureza (rios, lagos, solo, matas). Além disso, a reciclagem do metal gera renda para milhares de pessoas no Brasil que atuam, principalmente, em cooperativas de catadores e recicladores de metal e outros materiais reciclados. O mesmo se aplica aos polímeros reciclados. Ao reciclar qualquer classe de material, em que seja possível obter novas composições para reincorporá-los na fabricação de novos produtos, o impacto positivo causado no meio ambiente, evitando extração e consumo de novas matérias-primas, é muito significativo.

A limitação encontrada neste trabalho foi a porção de materiais que não podem passar por processos de reciclagem e ser reinseridas em processos produtivos subsequentes. Porém, tintas, resinas, vernizes e fitas adesivas ainda podem ser destinadas de maneira correta em seu fim de vida útil, através de empresas especializadas no tratamento e destinação correta desse tipo de resíduo, evitando que os mesmos resultem em poluição e degradação do meio ambiente.

Os desafios para introduzir as práticas da EC nas empresas, governos e pelos cidadãos requerem mudanças culturais profundas. De forma geral, existe um potencial de modernizar as políticas de resíduos, inspirando-se nos princípios e diretrizes da EC, como repensar o design dos produtos, processos, pensando não somente no tempo de consumo dos produtos, mas também nas etapas de reaproveitamento, reciclagem e recuperação durante o projeto.

A utilização de normas internacionais permite o entendimento das necessidades mercadológicas e atuam como diferenciais junto a manufatura de produtos. Atender aos requisitos consiste em expandir mercados e, em contrapartida, atender às exigências de mais sustentabilidade em produtos.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para dar continuidade nas reflexões trazidas pela EC, em termos gerais e a partir das limitações dos resultados apresentados, podem se destacar algumas oportunidades para pesquisas futuras.

Em primeiro lugar, pode-se desenvolver uma busca mais ampla da difusão da economia circular nos setores industriais, expandido com o objetivo de obter maior propriedade nas informações e coleta de dados.

Em segundo lugar, se propõe uma análise mais aprofundada sobre os processos de reciclagem das diversas classes de materiais, com foco naqueles que hoje são titulados como não passíveis de serem reciclados, podendo os mesmos serem valorizados.

Em terceiro lugar, um estudo mais direcionado sobre as vantagens e oportunidades que a Economia Circular pode agregar à empresa, focando nos processos produtivos envolvidos na concepção dos produtos WEG.

Trabalhos futuros também podem examinar e comparar as barreiras e os facilitadores de diferentes países da EC. É importante verificar a existência de aplicações reais nessas cadeias ou mesmo apresentar possíveis aplicabilidades da EC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, A. F. The Role of Stakeholders' in Predicting the Outcomes of IS Implementation Process. Ontario, Canadá, 1995. Tese de Doutorado em Ciências da Administração – Universidade de Waterloo.

AZEVEDO, Juliana Laboissière. A Economia Circular Aplicada no Brasil: uma análise a partir dos instrumentos legais existentes para a logística reversa. In: Anais... Congresso Nacional de Excelência em Gestão. 2015.

BELLEN, Hans Michael Van. Indicadores de Sustentabilidade: Uma Análise Comparativa. Rio de Janeiro. FGV, 2005 / Aplicação de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável como Sistema de Apoio à Decisão: Uma Reflexão sobre suas Possibilidades e Limitações, 2005.

BENYUS, J. M. Biomimicry: innovation inspired by Nature. Perennial. 2002.

BOGO, J. M. O Sistema de Gerenciamento Ambiental Segundo a ISO 14001 Como Inovação Tecnológica na Organização. Florianópolis, 1998. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção – Universidade Federal de Santa Catarina.

BRASIL. Lei Nº 12.305 DE 2 DE AGOSTO DE 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos, Brasília,DF, Agosto 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm>. Acessado em: 20/04/2020.

BRASÍLIA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Consumo Sustentável: Manual de Educação. Brasília, 2005. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/dmdocuments/publicacao8.pdf>>. Acesso em: 23/03/2020.

BUARQUE, Sérgio C. Construindo o desenvolvimento local sustentável: metodologia de planejamento. p. 17 a 22. Rio de Janeiro: Garamond, 3ª edição, 2002;

CAGNIN, Cristiano H. Fatores Relevantes na Implementação de um Sistema de Gestão Ambiental com Base na Norma ISO 14001. 2000. Dissertação de Qualificação de Mestre em Engenharia de Produção – Universidade Federal de Santa Catarina.

CIRCULAR ECOLOGY. An Introduction to the UN Sustainable Development Goals, Junho 2020. Disponível em: < <https://circularecology.com/sustainable-development-goals.html>>. Acessado em: 26/06/2020.

CIRCULAR ECONOMY 100. A economia circular no Brasil: Uma abordagem explanatória inicial 2017a. Ellen MacArthur Foundation.

CIRCULAR ECONOMY 100. A economia circular no Brasil: Uma abordagem explanatória inicial 2017b. Estudo de Casos. Ellen MacArthur Foundation.

DALY, H. Desenvolvimento Sustentável: Definições, Princípios, Políticas, Cadernos de Estudos Sociais, v. 18, n. 2, jul./dez., pp. 171-184, 2002.

D'AVIGNON, A. Normas Ambientais ISO 14000 – Como podem Influenciar sua Empresa. Rio de Janeiro: CNI, 1996.

CALDERONI, S. Os Bilhões Perdidos no Lixo. São Paulo: Humanitas, 1999.

DELMONT, Luis Gustavo. Análises dos impactos econômicos oriundos de reciclagem de resíduos sólidos urbanos para a economia brasileira no ano de 2004; uma abordagem insumo- produto/Luis Gustavo Delmont- Salvador, 2007. 114 f. tab. II. Dissertação (Mestrado em economia) - Faculdade de Ciências econômicas da UFBA, 2007.

Dyllick, T., & Hockerts, K. Beyond the business case for corporate sustainability. Business Strategy and the Environment, 11, 131-141, 2002.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Estudo de casos: Ativos inteligentes. A liberalização do potencial da economia circular (2017b). Cowes, Isle of Wight: Ellen MacArthur Foundation.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Economia circular. 2016. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/economia-circular-1/conceito>>. Acesso em: 29/03/2020.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. RUMO À ECONOMIA CIRCULAR: O RACIONAL DE NEGÓCIO PARA ACELERAR A TRANSIÇÃO. 2017. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>>. Acesso em: 29/03/2020.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Towards the circular economy 1: economic and business rationale for an accelerated transition. Cowes, Isle of Wight: Ellen MacArthur Foundation, 2012.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Uma Economia Circular no Brasil: Uma abordagem exploratória inicial (2017a). Cowes, Isle of Wight: Ellen MacArthur Foundation.

EN 45555 – General Methods to assess the Recyclability and Recoverability of Energy Related Products (ErP) - Métodos Gerais para avaliar a Reciclabilidade e Recuperabilidade de Produtos Relacionados à Energia (ErP).

EUROPEAN COMMISSION. 2015. Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy. European Environment Agency. Disponível em: <<https://www.eea.europa.eu/policy-documents/com-2015-0614-final>>. Acessado em: 01/04/2020.

EUROPEAN COMMISSION. 2020. EU Circular Economy Action Plan – A new Circular Economy Action Plan for Cleaner and More Competitive Europe. European Environment Agency. Disponível em: <https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/>. Acessado em: 16/04/2020.

FARIA, A. M. 2018. Economia Circular: Reinvenção das formas de negócio. Monografia de Qualificação para Bacharel em Ciências Econômicas – Universidade Federal de Uberlândia.

FIRJAN. Federação Das Indústrias Do Estado Do Rio De Janeiro (2017). Os Novos Princípios E Conceitos Inovadores Da Economia Circular Circular Holanda-Brasil-Da teoria à prática Disponível. Em:< <http://www.firjan.com.br/publicacoes/manuais-e-cartilhas/economia-circular-holanda-brasil-da-teoria-a-pratica.htm> . Acesso em: 01/04/2020.

GALLOPÍN, G. C. Environmental and sustainability indicators and the concept of situational indicators. A system approach. Environmental Modelling & Assessment. 1: 101-117, 1996.

GEORGESCU-ROEGEN, N. The Entropy Law and the Economic Process.1971.

GODECKE, Marcos Vinicius; NAIME, Roberto Harb; FIGUEIREDO, João Alcione Sganderla. O CONSUMISMO E A GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, Santa Maria, v. 8, p.1700-1712, out. 2012.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. Energia, meio ambiente e desenvolvimento. 2008.

GOMES, R. Avanços tecnológicos fazem parte do processo que conecta o mundo (2014). Disponível em: <<http://g1.globo.com/pernambuco/educacao/noticia/2014/10/professor-de-historia-explica-o-surgimento-da-globalizacao.html>>. Acesso em 20/08/2020.

Hagelüken, C. Recycling of (Critical) Metals: In Critical Metals Handbook; Gunn, G., Ed.; Wiley: Oxford, UK, 2014.

HAHN, C. B.; SILVA, D. Determinação do índice e reciclabilidade de motores. Estudo técnico da empresa. 2012.

HAMMOND, A.; ADRIAANSE, A.; RODENBURG, E.; BRYANT, D.; WOODWARD, R. Environmental Indicators: A systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development. Washington, D. C.: World Resources Institut, 1995.

HARDI, P., BARG, S. Measuring Sustainable Development: Review of Current Practice. Winnipeg: IISD. 1997.

HELENA, T. M. S. Economia Circular e o Movimento Slow Fashion: Um estudo de caso da marca NATU. 2018. Monografia de Qualificação para Bacharel em Administração – Universidade Federal de Santa Catarina.

HOLLING, C. S. (ed.) Adaptive Environmental Assessment and Management. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 1978.

IDEIA CIRCULAR – Ciclo Técnico e Ciclo Biológico. Disponível em:<<https://www.ideiacircular.com/ciclo-tecnico-e-ciclo-biologico/>>. Acessado em 23/11/2020.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasil perde R\$ 8 bilhões anualmente por não reciclar. 2010. Disponível em: <http://ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=1170&catid=1&Itemid=7>. Acesso em: 20/04/2020.

DEBALI, J. Carlos. Desenvolvimento Sustentável: Evolução e Indicadores de Sustentabilidade. Monografia de Qualificação para Bacharel em Ciências Econômicas – Universidade Federal de Santa Catarina.

LAURINDO, Michelly. A viabilidade da Economia Circular à luz da Política Nacional de Resíduos Sólidos: Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010. Monografia de Qualificação para Bacharel em Ciências Econômicas – Universidade Federal de Santa Catarina.

LEITÃO, Alexandra. Economia Circular: uma nova filosofia de gestão para o séc. XXI. Portuguese Journal Of Finance, Management And Accounting. Portugal, p. 149-171. set. 2015. Disponível em: <<http://u3isjournal.isvoug.pt/index.php/PJFMA>>. Acesso em: 29/03/2020.

LIMA, Ana. Consumo e sustentabilidade: em busca de novos paradigmas numa sociedade pós-industrial. Anais do XIX Encontro Nacional do CONPEDI (Fortaleza/CE). Florianópolis: Fundação Boiteux, 2010.

MAIMON, D. ISO 14001 – Passo a Passo da Implantação nas Pequenas e Médias Empresas. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda., 1999.

MARRA, L; NETO, J.; MARTINS, G.; ROSSET J.; CASTILHO, S. Potencial de Reciclagem de Resíduos Eletrônicos. 1-5, 2017.

MCDONOUGH, William; BRAUNGART, Michael. Cradle to cradle: Remaking the way we make things. North point press, 2010.

MCKINSEY. Towards The Circular Economy 2013. Disponível em https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/dotcom/client_service/sustainability/pdfs/towards_the_circular_economy.ashx. Acessado em: 02/04/2020.

MCQUEEN, D.; NOAK, H. Health Promotion Indicators: Current Status, issues and problems. Health Promotion. 3, 117-125, 1998.

MEADOWS, D. (1998). Indicators and Informations Systems for Sustainable Development. Hartland Four Corners: The Sustainability Institute, 1998.

MUELLER, C. Os economistas e as relações entre o sistema econômico e o meio ambiente. Brasília: Editora UnB, 2007.

OECD. Organization for Economic Cooperation and Development: Core Set of Indicators for Environmental Performance reviews; a synthesis report by the group on the State of the environment. Paris: OECD, 1993.

OLIVEIRA, Wagner Faria de; ANDRADE, Daniel Caixeta. Economia Ecológica, capitalismo e crises econômicas. Revista Sociedade de Economia Política, 2012.

ONU. A ONU e o meio ambiente. 2018. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/>>. Acesso em: 29/03/2020.

Parlamento Europeu. Economia circular: definição, importância e benefícios. 2015. Disponível em: <<http://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circular-definicao-importancia-e-beneficios>>. Acesso em: 29/03/2020.

RIBEIRO, Flavio de Miranda; KRUGLIANSKAS, Isak. A Economia Circular no contexto europeu: Conceito e potenciais de contribuição na modernização das Políticas de Resíduos Sólidos. ENGEMA – Encontro Internacional Sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, 2015. Disponível em: <<http://www.engema.org.br/XVIENGEMA/473.pdf>>. Acesso em: 12/06/2020.

Santos, Q. R.; Carvalho, A. C. M. Benefícios e desafios na implantação da reciclagem: um estudo de caso no Centro Mineiro de Referência em Resíduos (CMRR). Revista Pensar Gestão e Administração, v. 3, n. 2, 2015.

SCHERER, R. L. Sistema de Gestão Ambiental: Ecofênix, um Modelo de Implementação e Aprendizagem. Florianópolis, 1998. Exame de Qualificação de Doutorado em Engenharia de Produção – Universidade Federal de Santa Catarina.

SILVA, Edevaldo da; OLIVEIRA, Habyhabanne Maia de; SILVA, Patrícia Maria da. CONSUMISMO, OBSOLESCÊNCIA PROGRAMADA E A QUALIDADE DE VIDA

DA SOCIEDADE MODERNA. Revista Educação Ambiental em Ação, Campina Grande, p.1-12, 11 set. 2015. Disponível em: <<http://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=2108>>. Acesso em: 19 maio 2018.

STAHEL, Walter R. The circular economy: A new relationship with our goods and materials would save resources and energy and create local jobs, explains. Nature. S.i., p. 435-438. 24 mar. 2016. Disponível em: <<https://www.nature.com/news/the-circular-economy-1.19594#/b1>>. Acesso em: 29/03/2020.

Redação do Pensamento Verde. Conheça o processo de reciclagem do aço. Disponível em: <https://pensamentoverde.com.br/reciclagem/conheca-processo-reciclagem-aco/>. Acesso em: 21/08/2020.

TUNSTALL, D. Developing environmental indicators: Definitions, framework and issues. (Draft paper). Background Materials for the World Resources Institute, Workshop on Global Environmental Indicators, Washington, D. C., December 7-8, 1992. Washington, D.C.: World Resources Institute, 1992.

TUNSTALL, D. Developing environmental indicators of Sustainable Development in Africa: an overview. (Draft paper). Prepared for the Network for Environment and Sustainable Development in Africa (NESDA). Thematic Workshop on Indicators of Sustainable Development, Banjul, The Gambia, May 16-18, 1994.

VALLE, C. E. Como se Preparar Para as Normas ISO 14000 – Qualidade Ambiental – O Desafio de Ser Competitivo Protegendo o Meio Ambiente. São Paulo: Pioneira Administração e Negócios & ABIMAQ/SINDIMAQ, 1996.

VAN EIJK, Freek; JOUSTRA, Douwe Jan. Economia Circular: do conceito à transição. In: LUZ, Beatriz (Org.). Economia Circular Holanda - Brasil: da teoria à prática. Rio de Janeiro: --, 2017. p. 15-25.

UNEP. United Nations Environment Programme. International Resource Panel; United Nations Environment Programme. Sustainable Consumption; Production Branch. Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth. UNEP/Earthprint, 2011.

VG RESÍDUOS – COMO LUCRAR COM A COMERCIALIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA?. Disponível em: <<https://www.vgresiduos.com.br/blog/como-lucrar-com-a-comercializacao-de-residuos-de-borracha/>>. Acessado em: 02/07/2020.

WEG, S.A. ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, 2020. Disponível em: <<https://www.weg.net/institutional/BR/pt/sustainability/weg-principles>>. Acessado em: 26/06/2020.

Wellmer, F.W.; Hagelüken, C. The Feedback Control Cycle of Minerals Supply, Increase of Raw Materials Efficiency, and Sustainable Development. *Minerals* 2015. p. 815–836.

WWF, World Wide Fund for Nature. (2012). Living planet report. Disponível em<http://awsassets.panda.org/downloads/lpr_2012_summary_booklet_final.pdf>. Acessado em: 29/03/2020.