

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**PROPOSTA DE UMA FERRAMENTA PARA AVALIAR OS PRINCÍPIOS DA  
ECONOMIA CIRCULAR EM EMPRESAS QUE PRATICAM A REMANUFATURA**

**Franco Eduardo Cordioli**

Orientador: Prof. Dr. Aldo Roberto Ometto

São Carlos

2017

Franco Eduardo Cordioli

**Proposta de uma ferramenta para avaliar os princípios da  
Economia Circular em empresas que praticam a remanufatura**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Escola de Engenharia de São  
Carlos da Universidade de São Paulo para a  
obtenção do título de Engenheiro de  
Produção.

**Orientador: Prof. Dr. Aldo Roberto Ometto**

VERSÃO CORRIGIDA

São Carlos

2017

Autorizo a reprodução total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Cp Cordioli, Franco Eduardo  
Proposta de uma ferramenta para avaliar os princípios da Economia Circular em empresas que praticam a remanufatura / Franco Eduardo Cordioli; orientador Prof. Dr. Aldo Roberto Ometto. São Carlos, 2017.

Monografia (Graduação em Engenharia de Produção Mecânica) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2017.

1. Economia Circular. 2. Ferramenta. 3. Remanufatura. 4. Sustentabilidade. I. Título.



ATET/CoC-EPM/SEP/222/2017

## ATESTADO

ATESTO, para os devidos fins, que o **Sr. Franco Eduardo Cordioli** apresentou o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: “**Proposta de uma ferramenta para avaliar os princípios da Economia Circular em empresas que praticam a remanufatura**”, junto ao Curso de Engenharia de Produção desta Escola, perante a Comissão Julgadora constituída pelos: Prof. Assoc. Aldo Roberto Ometto – SEP-EESC-USP(orientador), Prof. Dr. Kleber Francisco Esposto – SEP – EESC – USP, Prof. Dr. Mateus Cecílio Gerolamo – SEP – EESC – USP em sessão pública na data de 21/11/2017, tendo sido aprovado.



Prof. Dr. Marcel Andreotti Musetti

**Coordenador da Comissão Coordenadora do Curso de  
Graduação em Engenharia de Produção Mecânica**

## RESUMO

CORDIOLI, F. E. **Proposta de uma ferramenta para avaliar os princípios da Economia Circular em empresas que praticam a remanufatura**. 2017. 73p. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

Desde a revolução industrial, o modelo econômico mundial é a produção linear, com base em "extração - fabricação - uso – disposição". O conceito de Economia Circular tem origens profundas e não pode ser rastreado até uma única data ou autor. As principais escolas de pensamento relacionadas à Economia Circular são: Ecologia Industrial, Biomimética, Economia Azul, Projeto Cradle-to-Cradle, Economia baseada no desempenho, e a própria Economia Circular segundo a Fundação Ellen MacArthur, que apresenta o maior impacto. Com o objetivo de oferecer uma proposta de ferramenta que avalie os princípios da Economia Circular nos contextos das empresas que praticam a remanufatura, é necessário entender a relação existente entre esses princípios e as principais técnicas de remanufatura. Além disso, é pertinente estudar os principais benefícios e desafios da remanufatura no Brasil e no mundo. Algumas das principais práticas da remanufatura e as principais técnicas empregadas neste processo foram estudadas, para cruzamento com os princípios da Economia Circular, gerando, por fim, uma proposta de ferramenta que quantifique a aderência das práticas empresariais com os ideais da Economia Circular. Para validação, tal ferramenta foi revisada por especialistas e aplicada em estudo de caso em uma empresa parceira, gerando, como resultado final, possíveis estratégias que a empresa parceira pode seguir para extrair valor das técnicas de remanufatura de forma alinhada aos princípios da Economia Circular.

*Palavras-Chave: Economia Circular; Ferramenta; Remanufatura; Sustentabilidade.*

## ABSTRACT

CORDIOLI, F. E. **Proposal of a tool to evaluate the principles of the Circular Economy in companies that practice the remanufacturing**. 2017. 73p. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

Since the industrial revolution, the world economic model is the linear production, based on "extraction - manufacturing - use - disposal". The concept of Circular Economy has deep roots and cannot be traced back to a single date or author. The main schools of thought related to the Circular Economy are: Industrial Ecology, Biomimetics, Blue Economy, Cradle-to-Cradle Project, Performance-Based Economy, and the Ellen MacArthur Foundation Circular Economy, which has the greatest impact. With the objective of offering a tool proposal that evaluates the principles of the Circular Economy in the contexts of companies that practice remanufacturing, it is necessary to understand the relationship between these principles and the main remanufacturing techniques. In addition, it is pertinent to study the main benefits and challenges of remanufacturing in Brazil and in the world. Some of the main practices of remanufacturing and the main techniques used in this process were studied to cross with the principles of the Circular Economy, generating, finally, a proposal of tool that quantifies the adherence of the business practices with the ideals of the Circular Economy. For validation, this tool was reviewed by experts and applied in a case study in a partner company, generating, as a final result, possible strategies that the partner company can follow to extract value from the remanufacturing techniques in a way in line with the principles of the Circular Economy.

*Keywords: Circular Economy; Remanufacturing; Sustainability; Tool.*

## EPÍGRAFE

“A persistência é o caminho do êxito.”

*Charles Chaplin*

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais, meus irmãos, minha namorada, e aos professores que guiaram todo o meu caminho na universidade, por serem pessoas fundamentais na minha formação como ser humano e profissional.

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Como tomar a decisão sobre o processo de remanufatura.....	33
Quadro 2 - Lista de empresas que realizam remanufatura no Brasil.....	41
Quadro 3 - Relação entre os Princípios da Economia Circular e as Técnicas de Remanufatura.....	47
Quadro 4 - Ferramenta para avaliar os princípios da Economia Circular e a relação com os fatores da Remanufatura (média de cada microprincípio).....	54
Quadro 5 - Ferramenta para avaliar os princípios da Economia Circular e a relação com os fatores da Remanufatura (média dos microprincípios).....	55
Quadro 6 - Aplicação da ferramenta no estudo de caso.....	59
Quadro 7 - Resumo das possíveis estratégias para cada fator da remanufatura analisado no estudo de caso.....	63

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - O Framework para Economia Circular .....	19
Figura 2 - Fases de uma revisão bibliográfica .....	23
Figura 3 - Metodologia de pesquisa realizada .....	24
Figura 4 - Extensão da fase de declínio devido à remanufatura .....	27
Figura 5 - Proposta de um quadro para logística reversa .....	30
Figura 6 - Matriz de remanufatura do produto .....	32
Figura 7 - Diferença entre os fluxos de materiais lineares e os fluxos de materiais reversos.....	34
Figura 8 - Avaliação da ferramenta pelo primeiro especialista .....	57

## SUMÁRIO

1. Introdução e justificativa .....	12
1.1. Economia Circular: conceito e contextualização .....	12
1.2. Remanufatura: conceito e contexto global .....	20
1.3. Objetivo .....	21
2. Materiais e métodos.....	22
3. Revisão da literatura .....	25
3.1. Técnicas e ferramentas de remanufatura .....	25
3.2. Princípios da Economia Circular e relação com remanufatura .....	35
3.3. Desafios e oportunidades da remanufatura no Brasil.....	38
3.4. Estudo de caso.....	42
4. Apresentação e análise de resultados .....	45
4.1. Grau de interação entre técnicas de Remanufatura e Economia Circular .....	45
4.2. Versão piloto da ferramenta proposta .....	53
4.3. Validação da ferramenta e estudo de caso .....	56
4.4. Guia de ações para a empresa parceira do estudo de caso .....	60
5. Conclusões / Considerações finais.....	65
6. Referências.....	67

## 1. Introdução e justificativa

Desde a revolução industrial, o modelo econômico mundial é a produção linear, com base em "extração - fabricação - uso – disposição" (e, às vezes, reciclagem ou incineração). No entanto, devemos saber que jogar "fora" é jogar "dentro". Somos a única espécie no planeta que gera resíduos: inúteis e tóxicos (BASSO, 2014).

Ainda de acordo com Basso (2014), a Economia Circular, baseada no conceito de "*Cradle to Cradle*" (do Berço ao Berço), argumenta inovação para criar um sistema de produção circular onde não há conceito de lixo, tudo é nutriente para um novo ciclo e os desperdícios são, de fato, recursos circulando em ciclos contínuos (BASSO, 2014).

### 1.1. Economia Circular: conceito e contextualização

O conceito de Economia Circular tem origens profundas e não pode ser rastreado até uma única data ou autor. Suas aplicações práticas para sistemas econômicos modernos e processos industriais, no entanto, ganharam impulso desde o final da década de 1970, liderada por um pequeno número de acadêmicos, líderes de pensamento e empresas (EMF, 2017). A Fundação Ellen MacArthur provavelmente fez o maior impacto dos últimos anos com seu relatório sobre a Economia Circular, em 2012 (MENTINK, 2014).

As principais escolas de pensamento relacionadas à Economia Circular emergiram na década de 1970, mas ganharam destaque na década de 1990. Algumas dessas escolas de pensamento são brevemente apresentadas a seguir:

- Ecologia industrial:

Os principais contribuintes para o campo da Ecologia Industrial são: o pensador de sistemas e o economista evolutivo Keneth Boulding (1966), o físico Robert Ayres e o economista Allen Kneese (1969), além dos engenheiros Robert Frosch e Nicholas Gallopoulos (1989). Pode ser descrito como: análise dos ecossistemas biológicos como "modelos de atividade industrial" (LIFSET; GRAEDEL, 2002, p.3). As observações dos fluxos de material e energia, tanto no nível do

metabolismo de um organismo como no nível das espécies nas cadeias alimentares biológicas, são a base para os conceitos de fechamento do ciclo ou loop fechado (LIFSET e GRAEDEL, 2002).

A Ecologia Industrial contribui principalmente para o pensamento a partir do qual o desperdício é sempre um insumo para outros processos na mesma empresa ou mesmo em outras. Este é o princípio da "troca de subprodutos entre empresas". Isso procura entender o modelo comercial das empresas a partir de um "ecossistema total" (BRENNAN et al., 2015).

- A Biomimética:

O termo foi popularizado por Janine Benyus (1997), autora de "*Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*", que define uma nova maneira de pensar sobre quais as melhores ideias da natureza devem ser imitadas para projetar e processar problemas humanos. "Estudar uma folha para inventar uma célula solar melhor é um exemplo." (EMF, 2017).

A Biomimética é apoiada por três princípios-chave (EMF, 2017):

- "Natureza como modelo: estudar modelos da natureza e imitar essas formas, processos, sistemas e estratégias para resolver problemas humanos";
- "Natureza como medida: usar um padrão ecológico para avaliar a sustentabilidade de nossas inovações";
- "Natureza como mentor: ver e valorizar a natureza, não com base no que podemos extrair do mundo natural, mas o que podemos aprender com isso".

Estes assuntos abordam sobre a Biomimética, criando inovação sustentável em design, negócios, engenharia, arquitetura e muitas outras disciplinas; aplicando estratégias bem-sucedidas na natureza (HAIDAR, 2016).

A Biomimética é uma inovação inspirada na natureza, e nesta não há desperdício, esse conceito não existe, porque nos ecossistemas o "desperdício" de um organismo é o alimento ou o abrigo de um outro organismo; o que faz com que

materiais e energia circulem dentro do ciclo, sem criar poluição. A Economia Circular pode ser vista como aplicação de Biomimética no nível de um ecossistema, por isso não só o conceito de Ecologia Industrial fornece respostas, mas também o conceito de Biomimética, porque a fonte perfeita de exemplos e modelos bem-sucedidos de materiais e fluxos de energia está em ecossistemas, pois há 3,8 bilhões de anos, toda a pesquisa e desenvolvimento de soluções comprovadas têm ajudado a vida a prosperar (HAIDAR, 2016).

- A Economia Azul:

O conceito de Economia Azul apareceu em 2010 no relatório do Gunter Pauli ao Clube de Roma, que se concentra no fornecimento de necessidades básicas das pessoas, como alimentos, acesso à energia e trabalho, ficando sempre dentro dos limites ecológicos para fazê-lo.

De acordo com Pauli (2010, p.12), "Indústrias baseadas em Economia Azul, capazes de gerar emprego para todos, são o horizonte. Essas indústrias são baseadas em como a natureza usa física e bioquímica para construir sistemas inteiros que funcionam harmoniosamente, fazendo o ciclo de forma eficiente sem desperdício ou perda de energia. "Como Cradle-to-Cradle, a Economia Azul não vê resíduos como um problema, mas está preocupada com o que fazer com isso. (PAULI, 2010, p.7). É necessário gerar o máximo valor dos resíduos para poder fazer mais com menos.

De acordo com o site [theblueeconomy.org](http://theblueeconomy.org), a Economia Azul baseia-se em 21 princípios-chave:

- "As soluções são, antes de mais nada, baseadas em física. Os fatores de decisão são Pressão e Temperatura".
- "Questione qualquer recurso sobre sua necessidade de uso na produção".
- "Sistemas naturais são baseados em cascata de nutrientes, matéria e energia - o desperdício não existe. Qualquer subproduto é a fonte de um novo produto."

- "A natureza evoluiu de algumas espécies para uma biodiversidade rica. Riqueza significa diversidade. A padronização industrial é o contrário".
- "A natureza proporciona espaço para empreendedores que fazem mais com menos. A natureza é contrária à monopolização".
- "A gravidade é a principal fonte de energia; A energia solar é o segundo combustível mais renovável".
- "A água é o solvente primário (sem catalisadores complexos, químicos e tóxicos)".
- "Na natureza, a mudança é constante. As inovações ocorrem a cada momento".
- "A natureza só funciona com o que está disponível localmente. O negócio sustentável evolui com respeito não só pelos recursos locais, mas também pela cultura e tradição".
- "A natureza responde às necessidades básicas e depois evolui da suficiência para a abundância. O modelo econômico atual baseia-se na escassez como base para a produção e o consumo".
- "Os sistemas naturais não são lineares".
- "Na natureza, tudo é biodegradável - é apenas uma questão de tempo".
- "Em sistemas naturais, tudo está conectado e evoluindo em direção à simbiose".
- "Na natureza, água, ar e solo são comuns, livres e abundantes".
- "Na natureza, um processo gera múltiplos benefícios".
- "Os sistemas naturais compartilham riscos. Qualquer risco é um motivador para as inovações".

- "A natureza é eficiente. Portanto, as empresas sustentáveis maximizam o uso de material e energia disponíveis, o que reduz o preço unitário para o consumidor".
- "A natureza busca o melhor para todos os elementos envolvidos".
- "Na natureza, os negativos são convertidos em positivos. Os problemas são oportunidades".
- "A natureza procura por economias de escala. Uma inovação natural traz vários benefícios para todos".
- "Responda às necessidades básicas com o que você possui, introduzindo inovações inspiradas na natureza, gerando múltiplos benefícios, incluindo empregos e capital social, oferecendo mais com menos".

A Economia Azul contribui com os princípios da Economia Circular principalmente através da proposição da seleção de recursos com sabedoria e propondo que as empresas e as pessoas sobrevivam com recursos básicos sempre dentro dos limites ecológicos.

- Projeto Cradle-to-Cradle (C2C):

O C2C aplica analogias ecossistêmicas ao design de produtos e ao ambiente construído. Também argumenta que as emissões zero são o objetivo incorreto para a indústria, porque para "a existência cria emissões" (BRAUNGART et al., 2007, p.1342), o que significa que a geração de emissões é fundamental para a vida. Desta forma, o Cradle-to-Cradle vê o problema como "material no lugar errado", onde esses materiais errados e fora do local que seria "correto" causam sérios impactos negativos para a saúde humana e ambiental. (McDONOUGH e BRAUNGART, 2013, p.211).

Para resolver este problema, o C2C distingue dois tipos de grupos de nutrientes:

- 1) Nutrientes biológicos: materiais que podem ser devolvidos com segurança à biosfera;

2) Nutrientes técnicos: compostos artificiais que não podem ser quebrados ou absorvidos por sistemas biológicos.

O C2C baseia-se na ideia de que os produtos podem ser concebidos de tal forma que os seus materiais constituintes possam circular nos sistemas biológicos ou técnicos indefinidamente utilizando fontes de energia renováveis (McDonough e Braungart, 2002). Dentro do C2C, o desperdício de um processo é usado como alimento para outro (McDONOUGH e BRAUNGART, 2002). Portanto, existe um objetivo de "manter a qualidade e a produtividade dos recursos através de vários ciclos de uso, ao invés de procurar eliminar o desperdício".

O C2C contribui para os Princípios da Economia Circular principalmente por causa da ideia dos diferentes grupos de ciclos, o que foi utilizado pela Fundação Ellen MacArthur para propor o Quadro de Economia Circular (Figura 1).

- Extensão da vida útil do produto e economia baseada em desempenho:

No final da década de 1970, Walter Stahel delineou os benefícios de criação de emprego e redução de resíduos que poderiam ser alcançados de uma mudança para uma economia de ciclo fechado (ou berço ao berço). Ele se referiu a uma "economia auto-reabastecida", com base em um sistema de loop que resulta na circulação de materiais através de atividades sequenciais de extensão de vida de produto (reutilização, reparo, recondicionamento, remanufatura e reciclagem) (STAHEL, 1984). A Economia de Desempenho enfatiza a concepção de produtos duradouros, garantindo estratégias de extensão da vida do produto e defendendo a venda do serviço de um produto e não o próprio produto físico (STAHEL, 2010), o que iniciou a ideia de Sistema Produto-Serviço.

Isto é o que é proposto pelo segundo Princípio da Economia Circular, pela Fundação Ellen MacArthur, que afirma que produtos e componentes devem circular pelo maior tempo possível.

- A Economia Circular pela Fundação Ellen MacArthur:

A Estrutura de Economia Circular da EMF combina a Economia de Desempenho de Stahel (atividades de extensão de vida de produto que circulam

materiais: reutilização, reparo, recondicionamento, remanufatura e reciclagem) com C2C (distinção entre ciclos biológicos e técnicos de nutrientes) e também a Economia Azul (gerando valor de múltiplas cascatas) (EMF, 2012; EMF, 2013).

De acordo com a EMF, existem quatro etapas que visam aumentar a produtividade dos recursos:

- O retorno de um produto para um estado utilizável no menor ciclo possível;
- Maximização do número de ciclos consecutivos e a extensão dos ciclos "circulando por mais tempo";
- Reutilização de materiais em diferentes pontos na cadeia de valor ("uso em cascata");
- Ênfase da importância de fluxos de materiais não contaminados através de "ciclos puros" (EMF, 2012, p.7).

A Estrutura de Economia Circular da EMF enfatiza a priorização da reutilização sobre o recondicionamento, o recondicionamento sobre a remanufatura e a remanufatura sobre a reciclagem. No entanto, ainda existe uma prioridade sobre a reutilização de materiais: a redução de sua quantidade absoluta.

A Fundação Ellen MacArthur (2015) propõe alguns princípios que levam a um modelo de negócio baseado em Economia Circular:

- "Princípio 1: preservar e aumentar o capital natural controlando ações finitas e equilibrando os fluxos de recursos renováveis. Quando os recursos são necessários, o sistema circular seleciona-os com sabedoria e escolhe tecnologias e processos que usam recursos renováveis ou de melhor desempenho, sempre que possível" (EMF, 2015).
- "Princípio 2: otimizar os rendimentos de recursos circulando produtos, componentes e materiais com a maior utilidade em todos os ciclos técnicos e biológicos. Isso significa projetar para remanufatura (DfRem), remodelagem e reciclagem para manter componentes e materiais técnicos circulando e contribuindo para a economia" (EMF, 2015).

- "Princípio 3: promover a eficácia do sistema, revelando e antecipando externalidades negativas. Isso inclui a redução de danos em sistemas e áreas como alimentação, mobilidade, abrigo, educação, saúde e entretenimento, e gerenciamento de externalidades, como uso do solo, poluição do ar, da água e ruído e liberação de substâncias tóxicas " (EMF, 2015).

A Fundação Ellen MacArthur criou um quadro que sintetiza como os nutrientes biológicos e técnicos circulam em uma Economia Circular (Figura 1).

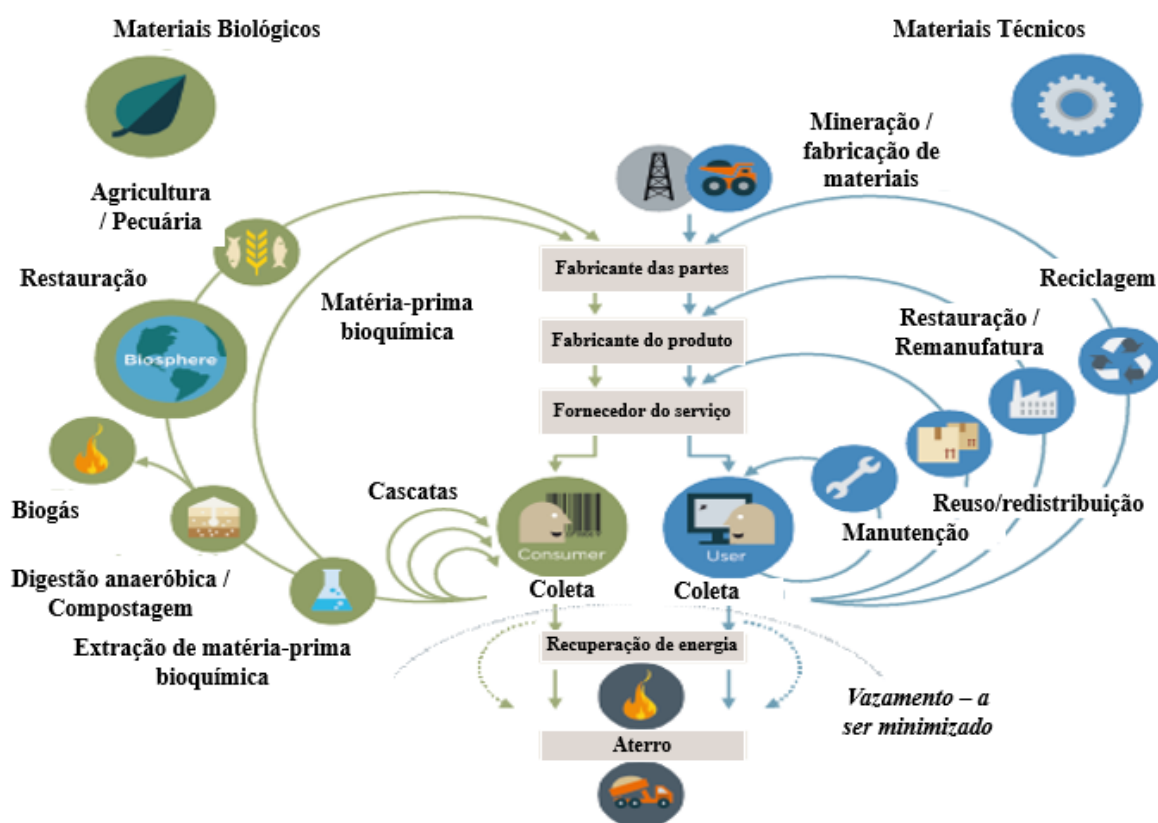


Figura 1 - O Framework para Economia Circular

Fonte: Fundação Ellen MacArthur (2012)

Essa combinação de ideias das outras Escolas do Pensamento torna a Economia Circular da Fundação Ellen MacArthur a mais conhecida e a mais estudada no mundo. A figura 1 anterior representa sua estrutura, na qual todos os processos em um Modelo de Negócios de Economia Circular devem ser inseridos.

## 1.2. Remanufatura: conceito e contexto global

Considerando a remanufatura, que está incluída no ciclo técnico da Ellen MacArthur Foundation Framework acima, a Associação de Remanufaturadores de Peças Automotivas dos Estados Unidos (APRA) define a remanufatura como um "processo para restaurar os produtos descartados para as novas condições" (APRA, 2012). Os produtos retornam à condição de utilizáveis e a garantia de qualidade é equivalente à fornecida pelo OEM (Original Equipment Manufacturer) (GRAY e CHARTER, 2006; HAUSER e LUND, 2003; JACOBSSON, 2000; STEINHILPER, 1998). Remanufatura é um processo que culminou como uma atividade industrial durante a Segunda Guerra Mundial, com a remanufatura de tanques de guerra devido à falta de matérias-primas para fabricar novos produtos. Na área acadêmica, o interesse começou em 1984, com os trabalhos desenvolvidos por Robert Lund sobre a indústria de remanufatura nos Estados Unidos e suas implicações para o desenvolvimento em países europeus (HATCHER et al., 2011; LUND, 1984). Nos países europeus, a expansão da remanufatura foi provocada pelas pressões da Comunidade Europeia em matéria de legislação ambiental, representada na diretiva 2002/96 / CE da União Europeia sobre resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (WEEE) e diretiva 2000/53 / CE sobre o fim da vida útil dos veículos (ELV) (ÖSTLIN et al., 2008). A remanufatura na China, por outro lado, partiu da preocupação com os impactos ambientais causados pelos veículos, o que levou a criar iniciativas para remanufatura-los e desenvolver legislação específica com base no princípio da responsabilidade ampliada do produtor (EPR). Além disso, a remanufatura de veículos é destacada como uma maneira de alcançar o desenvolvimento sustentável no país.

A partir dos conceitos de Economia Circular e remanufatura apresentados e discutidos nos tópicos anteriores, justifica-se a realização da seguinte pergunta de pesquisa: *Como as empresas podem avaliar a aplicação dos princípios da Economia Circular em suas práticas de remanufatura, de forma a entender quantitativamente sua aderência a tais princípios?*

### 1.3. Objetivo

Para responder à pergunta de pesquisa proposta, o objetivo do trabalho realizado foi **desenvolver uma versão preliminar de uma ferramenta quantitativa para auxiliar as empresas na análise da aderência de suas práticas de remanufatura com os princípios da Economia Circular.**

Para que tal objetivo fosse atingido alguns sub-objetivos foram propostos, os quais, ao serem atingidos, o objetivo da pesquisa também será contemplado:

- 1) Compreensão e desdobramento dos princípios da Economia Circular, apresentando-os como microprincípios;
- 2) Compreensão de quais são os fatores da remanufatura, a partir de um estudo aprofundado de suas técnicas;
- 3) Relação quantitativa entre os princípios da Economia Circular e os fatores da remanufatura;
- 4) Proposta de um guia de ações para uma empresa parceira do projeto de pesquisa.

## 2. Materiais e métodos

O presente trabalho foi desenvolvido com a seguinte metodologia:

- Revisão bibliográfica sobre princípios da Economia Circular e técnicas de remanufatura, além de um estudo bibliográfico sobre estudos de caso (englobando o atual contexto de aplicação de técnicas de remanufatura no Brasil);
- Proposta de uma ferramenta para avaliar os princípios da Economia Circular inseridos nas práticas de remanufatura, com validação por especialistas, e aplicação em estudo de caso, por conta da contribuição ter caráter original.

De acordo com Dane (1990), a revisão bibliográfica é importante para definir o limite da pesquisa que queremos desenvolver, considerando uma perspectiva científica. Desta forma, conclui-se que a revisão bibliográfica é o passo inicial para qualquer pesquisa científica (WEBSTER, WATSON, 2002).

Uma vez que o objetivo do trabalho é propor uma versão preliminar de uma ferramenta para avaliar os princípios da Economia Circular dentro das práticas de remanufatura, é necessária uma revisão bibliográfica devido à originalidade da contribuição.

De acordo com Mulrow (1994), existem nove principais argumentos para o uso da revisão bibliográfica como metodologia de pesquisa: 1) quantidade de informações disponíveis em vários assuntos; 2) a necessidade de integrar informações críticas para a tomada de decisões; 3) é uma forma viável de pesquisa científica; 4) a generalidade dos resultados de várias pesquisas que podem ser consolidadas em poucos estudos; 5) possibilita analisar a consistência das relações entre os resultados dos estudos já realizados; 6) explica uma possível inconsistência de dados e conflitos de resultados; 7) o uso de análises estatísticas de metadados a partir de pesquisas sistemáticas se torna uma ferramenta poderosa para identificar tendências além da evidência e, assim, mapear novas fontes de pesquisa; 8) possibilita aumentar a precisão das estimativas de risco ou os efeitos dos resultados do estudo; 9) aumenta a qualidade da reflexão sobre a realidade. Note-se que os nove

desses argumentos podem ser inseridos no contexto de uma avaliação dos princípios da Economia Circular nas práticas de remanufatura.

Além disso, de acordo com Levy e Ellis (2006), a revisão bibliográfica é um processo com três fases principais: Entrada, Processo e Saída. Na fase de entrada estão as informações preliminares que serão processadas (artigos e livros didáticos), que serão processadas e interpretadas para gerar uma saída (relatórios, síntese dos resultados) (CONFORTO et al., 2011). A Figura 2 a seguir mostra as etapas propostas por Levy e Ellis (2006) no processo de revisão bibliográfica.



Figura 2 - Fases de uma revisão bibliográfica

Fonte: Conforto et al. (2011).

Após a fase de revisão bibliográfica, realiza-se o estudo de caso, no qual, com a literatura sobre a remanufatura e os princípios da Economia Circular estudados, e o modelo da ferramenta para avaliação proposto e validado, busca-se aplicar a mesma, o que possibilita investigar a adesão das práticas de remanufatura da empresa parceira aos princípios da Economia Circular.

De acordo com Ellram (1996), "os estudos de caso são excelentes para a construção da teoria e podem proporcionar uma maior compreensão dos dados

coletados". Voss, Tsiriktsis e Frohlich (2002) argumentam que o método de estudo de caso é um meio eficaz de coletar informações detalhadas. Pode-se afirmar que um dos principais benefícios associados ao uso de múltiplos estudos de caso é que a comparação de dois ou mais estudos de caso apoia pesquisas exploratórias (EISENHART, 1989; YIN, 1994).

Finalmente, como principal contribuição do trabalho, propõe-se uma ferramenta para avaliar os princípios da Economia Circular inseridos nas práticas de remanufatura, que considera as técnicas de remanufatura estudadas na revisão bibliográfica (seção 3) e outras ferramentas encontradas na literatura, como DfRem, por exemplo. Esta ferramenta, para conclusão do trabalho, foi aplicada em uma empresa parceira, como um estudo de caso, no qual, juntamente com 2 representantes da empresa, a mesma foi validada e preenchida de acordo com seu contexto.

A figura 3 a seguir é uma representação esquemática da metodologia de pesquisa proposta.



Figura 3 - Metodologia de pesquisa realizada

### **3. Revisão da literatura**

Com o objetivo de oferecer uma proposta de ferramenta que avalie os princípios da Economia Circular nos contextos das empresas que praticam a remanufatura, é necessário entender a relação existente entre esses princípios e as principais técnicas de remanufatura. Com isso, é possível obter a base necessária para investigar mais profundamente os exemplos em que a remanufatura está presente. Para que este estudo seja completo, a revisão da literatura foi dividida nas seguintes 3 seções.

#### **3.1. Técnicas e ferramentas de remanufatura**

O processo de remanufatura é caracterizado por algumas etapas significativas do processo: inspeção, limpeza, desmontagem, reprocessamento, armazenamento, remontagem e teste para verificar se o produto atende às especificações originais. Além disso, esse processo geralmente inclui um trabalho manual considerável, uma vez que os volumes são frequentemente inferiores aos da nova produção e a condição dos núcleos recebidos varia substancialmente. (LINDKVIST; SUNDIN, 2016).

Existem três tipos diferentes de remanufaturadores, OEMs (Original Equipment Remanufacturers) que remanufaturam, remanufaturadores contratados e remanufaturadores independentes. Os OEMs que remanufaturam estão no controle tanto do desenvolvimento do produto como da recuperação do mesmo, enquanto um remanufaturador contratado recebe algumas informações do OEM e pode fornecer o produto remanufaturado de volta ao OEM, enquanto um remanufaturador independente é um concorrente e, muitas vezes, tratado como tal. (PALISAITIENE et al., 2015).

Ainda assim, de acordo com Vasudevan et al. (2012), o estudo do ciclo de vida (PLC, *inglês: Product-Life Cycle*) de um produto existente é necessário para o lançamento bem-sucedido de um remanufaturado. O lançamento perfeito de um produto remanufaturado é necessário para derivar a participação máxima no mercado. A demanda de produtos remanufaturados depende do ciclo de vida do produto existente. Prever a demanda de produtos remanufaturados e seu lançamento perfeito

não é uma tarefa fácil para a empresa. O estudo da taxa de descarte do produto existente também é uma questão crucial para as indústrias de remanufatura. Também é interessante estudar a canibalização do produto devido à entrada de produtos remanufaturados. De acordo com muitos estudos de caso desenvolvidos nos últimos anos, verifica-se que a demanda de produtos remanufaturados depende da canibalização do produto existente. Podemos afirmar que o ciclo de vida do produto remanufaturado depende do ciclo de vida do produto já existente. “O produto em fim de vida também mostra a oportunidade para produtos remanufaturados no mercado”. (VASUDEVAN et al., 2012).

Vasudevan et al., (2012) ainda afirma que o processo real de remanufatura é quase sempre menos caro do que produzir uma nova unidade do produto porque muitas peças e componentes podem ser reutilizados, evitando a necessidade de procurá-los do fornecedor. O lançamento da remanufatura do produto usado é importante para ampliar o ciclo de vida do produto na fase de declínio, como mostrado na figura 2. Existem muitos benefícios financeiros potenciais para o prolongamento do ciclo de vida do produto além da margem de lucro pura obtida pela venda do produto remanufaturado. Muitos OEMs inicialmente ignoravam a remanufatura de produtos usados, resultando em PMEs (Pequenas e Médias Empresas) que entraram no mercado de remanufatura, o que causou uma enorme canibalização. Agora, muitos OEMs estão entrando na área de remanufatura para conquistar o mercado secundário. A extensão da fase de declínio no ciclo de vida do produto pode ser vista na figura 4 a seguir.

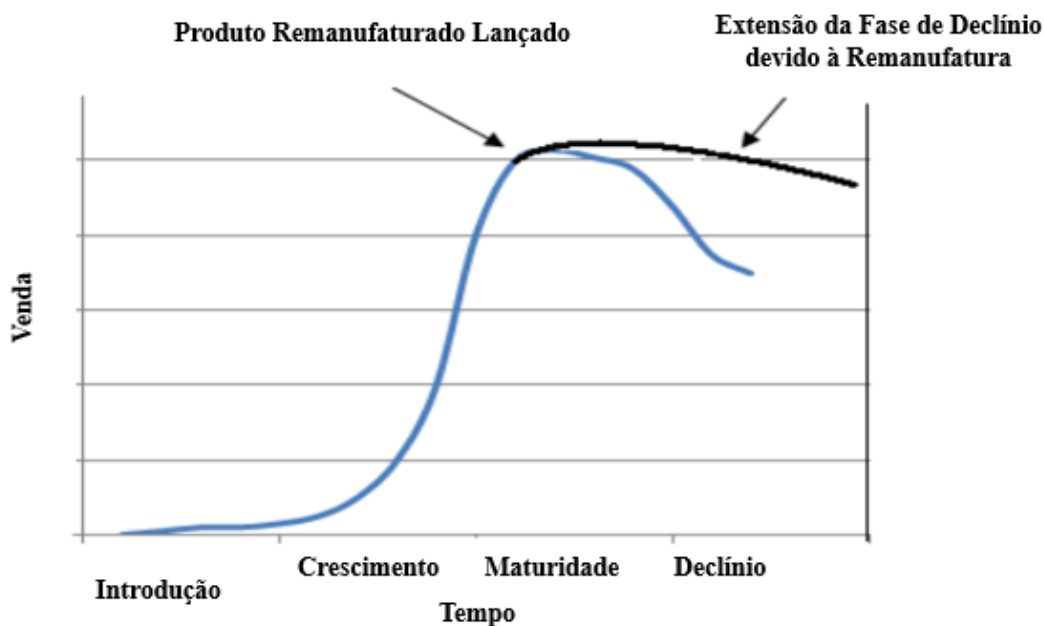


Figura 4 - Extensão da fase de declínio devido à remanufatura

Fonte: VASUDEVAN et al. (2012).

A restauração é o processo em que uma empresa conduz muitas operações em produtos usados para trazê-los em condições totalmente novas, com a mesma garantia que um novo produto. A venda de remanufatura deslocará a venda de novos produtos causando a canibalização. Muitas empresas têm um receio quanto à canibalização de produtos antigos. O conceito de canibalização do produto ainda não é totalmente compreendido por muitos OEMs. Torna-se necessário um estudo detalhado sobre a canibalização dos produtos em vista do desenvolvimento de produtos e da fase de comercialização. “A conscientização sobre o produto remanufaturado é necessária nos consumidores das PME para o desenvolvimento sustentável. As pessoas realmente não conhecem o conceito exato de remanufatura (VASUDEVAN et al., 2012). Nos próximos anos, a remanufatura se tornará um setor crescente no mundo. A canibalização do produto não se tornará um problema quando o produto remanufaturado for um substituto perfeito para o novo produto. Quando o custo do produto de remanufatura for menor do que o custo do novo produto, a empresa poderá aproveitar mais lucros através do produto remanufaturado” (VASUDEVAN et al., 2012).

Ainda de acordo com Vasudevan et al. (2012), atualmente, os principais desafios da remanufatura são:

- a. Custo do fim de vida do produto;
- b. Opinião da Qualidade;
- c. Limitação de fornecimento;
- d. Competição;
- e. Mudança na tecnologia.

Cada um destes principais desafios são melhor explicados a seguir (VASUDEVAN et al., 2012):

A) "O custo envolvido no retorno do produto em fim de vida para um remanufaturador é o maior custo envolvido no processo de remanufatura. Para reduzir esse custo, o remanufaturador oferece incentivos aos consumidores para devolver o produto no seu fim de vida, oferecendo desconto em novos produtos, em troca do antigo. Um produto em fim de vida passa por muitos testes antes da remanufatura e o custo associado a esses testes é alto. Às vezes, se o produto não é adequado para a remanufatura, a reciclagem ou aterro permanecerá a próxima opção. O design adequado do produto em vista da remanufatura é necessário " (VASUDEVAN et al., 2012).

B) "Do ponto de vista do cliente, produtos remanufaturados e produtos de baixo custo são diferentes. Ambos os produtos são da mesma qualidade, o cliente não é totalmente certo sobre o produto remanufaturado. A disposição do cliente em pagar a remanufatura é necessária ser entendida. Muitos clientes não querem a etiqueta de produtos remanufaturados especialmente para produtos *high-end* (ou seja, produtos que envolvem alta qualidade e tecnologia, e que podem ter uma menor qualidade percebida quando são remanufaturados)" (VASUDEVAN et al., 2012).

C) "O fornecimento de manutenção depende principalmente do ciclo de vida do produto antigo. O fluxo de retorno do produto usado é um elemento mais necessário para produtos de remanufatura com sucesso. A disponibilidade de produtos e o tempo necessário para devolver o produto são necessários para aumentar a rentabilidade da empresa. Os OEMs podem prever o mercado de produtos de baixo custo. A previsão sobre o retorno do produto usado é muito difícil. Assim, o fornecimento de retorno de fluxo de produto

usado sempre se torna desafiador para as indústrias de remanufatura " (VASUDEVAN et al., 2012).

D) "A fabricação de produtos de gama baixa está diretamente sob o controle do OEM. A remanufatura do produto não é controlada diretamente pelo OEM. Se os OEMs não estão remanufaturando o produto, então outros concorrentes remanufurarão o produto para conquistar a quota de mercado. Em nome dos OEMs, muitas indústrias terceiras fazem produtos remanufaturados. A má qualidade do produto remanufaturado pode causar danos à marca. Os OEMs podem fabricar o produto remanufaturado a baixo custo para que ele possa competir diretamente com os fabricantes de produtos de baixo custo" (VASUDEVAN et al., 2012).

E) "A demanda de um produto remanufaturado também depende do ritmo de mudança na tecnologia. A aceitação de produtos remanufaturados pelo consumidor depende da necessidade e do preço do produto. Hoje em dia, o ciclo de vida do produto está se tornando mais curto com a redução de preço. O lançamento antecipado de produtos remanufaturados resultará em mais lucro no mercado. A nova tecnologia substituirá o produto antigo e o produto remanufaturado. Assim, o ritmo da mudança de tecnologia decidirá o mercado de produtos remanufaturados " (VASUDEVAN et al., 2012).

Para as indústrias de remanufatura, um gerenciamento da cadeia de suprimentos em ciclo fechado do produto em seu fim de vida é o principal desafio. O gerenciamento da cadeia de suprimentos em ciclo fechado é importante e parte integrante do processo de remanufatura. O sucesso do lançamento perfeito de um produto remanufaturado depende principalmente do gerenciamento de cadeia de suprimentos em ciclo fechado. A seguir estão alguns elementos importantes no setor de remanufatura, propostos por Vasudevan et al. (2012), que são as práticas que serão usadas em comparação com os Princípios da Economia Circular, conforme mostrado mais adiante:

### 1. Gerenciamento da aquisição de produtos

O fluxo inverso do produto usado em quantidade certa e de boa qualidade a preço certo e tempo certo é o aspecto mais importante nas indústrias de remanufatura.

### 2. Framework para Logística Reversa

O desenvolvimento de uma estrutura de Logística Reversa se encaixa em processos de remanufatura. Um produto é dividido em partes, algumas das quais estão inseridas na remanufatura, enquanto algumas são adequadas para reciclagem. A estrutura pode ser vista na figura 5 a seguir:

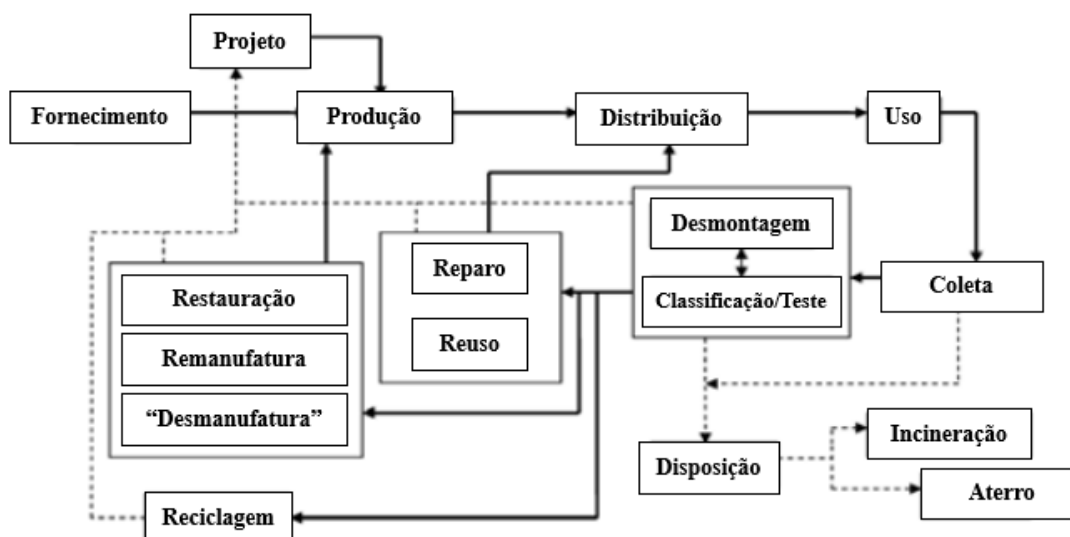


Figura 5 - Proposta de um quadro para logística reversa

Fonte: Vasudevan et al. (2012).

### 3. Modelos de coleta baseados em logística reversa

Existem basicamente três métodos para a coleta de produtos em fim de vida para fins de remanufatura. Aqui destacamos principalmente remanufaturadores, varejistas, terceiros e consumidores que estão envolvidos em coletas em logísticas reversas. O consumidor retorna diretamente o produto usado ao fabricante. Aqui, o revendedor não está envolvido nas coletas baseadas em logística reversa. Muitas empresas de remanufatura como Xerox, Canon e Hewlett Packard estão coletando produtos em fim de vida diretamente de clientes. Os revendedores fornecem o produto em fim de vida ao fabricante. O consumidor sempre se sente à vontade para retornar o produto em fim de vida aos revendedores. Este método geralmente é adotado pela maioria dos remanufaturadores. De acordo com Vasudevan et al. (2012), o terceiro está coletando os produtos em fim de vida do consumidor em nome do fabricante. Neste caso, o varejista não está envolvido na operação de logística reversa. Carros,

peças de automóveis etc. são coletados por terceiros e uma agência de terceiros fornece o mesmo para unidades de fabricação.

#### 4. Desenvolvimento básico de produtos de remanufatura

De acordo com Vasudevan et al. (2012), quando um produto em fim de vida é coletado para remanufatura, ele entra em várias etapas de operações para trazê-lo de volta a novas condições de reutilização. Depois de receber os produtos em fim de vida, as empresas classificam os mesmos em diferentes grupos para divisão, limpeza, aquecimento, usinagem e operações de fabricação, conduzindo-os passo a passo. Todos os componentes operados são remontados para testes e, finalmente, os produtos estão prontos para a embalagem.

#### 5. Demanda e fornecimento de produtos remanufaturados

A demanda do mercado de produtos remanufaturados e a disponibilidade de produtos usados são dois fatores importantes que decidem as estratégias de remanufatura. A figura 6 posterior mostra quatro quadrantes propostos por Vasudevan et al. (2012) em que o quadrante "Sem Ação" mostra demanda de mercado insuficiente e fornecimento suficiente de produtos remanufaturáveis. O quadrante "Olhar (Acompanhar)" mostra demanda de mercado suficiente, mas um fornecimento insuficiente de produtos remanufaturáveis disponíveis. A situação deve ser cuidadosamente observada, pois este é um mercado potencialmente lucrativo e os remanufuradores terceiros serão atraídos. O quadrante "Remanufaturar" mostra que há demanda no mercado e quantidades suficientes de produtos remanufaturáveis disponíveis. A remanufatura deve ser iniciada o mais rápido possível. O quadrante final, "Reciclar", significa que existem suprimentos suficientes de produtos remanufaturáveis, mas não há demanda no mercado. A melhor escolha nesta situação é obter algumas receitas através da reciclagem de materiais. (VASUDEVAN et al., 2012).

<b>Demanda do Mercado</b>	<b>“Olhar” (Acompanhar)</b>	<b>Remanufaturar</b>
	<b>Sem ação</b>	<b>Reciclar</b>
	<b>Disponibilidade de Produto</b>	

Figura 6 - Matriz de remanufatura do produto

Fonte: Vasudevan et al. (2012).

## 6. Decisão de remanufatura

Vasudevan et al. (2012) propõe o quadro 1, o qual mostra condições decisivas muito importantes pelas quais uma empresa pode decidir se produtos podem ir para a remanufatura ou não. A decisão de parar de remanufaturar um produto é função de muitos fatores, incluindo a presença de remanufatura de terceiros, a idade da tecnologia, a disponibilidade de peças e componentes de reposição, além da necessidade de retirar sistemas legados. Do quadro 1, pode-se observar que o custo de remanufatura, o fornecimento de produtos em fim de vida (usados) e o tamanho do segmento de clientes orientados a funcionalidade são parâmetros decisivos para a remanufatura. Se os custos de remanufatura forem baixos, a remanufatura é rentável. Mas se o fornecimento de produtos usados é limitado e existe um grande segmento de consumidores no mercado, os produtos remanufaturados não devem ser oferecidos, por exemplo, como no quadrante "Sem ação" na figura 6.

Quadro 1 - Como tomar a decisão sobre o processo de remanufatura

<b>Custos de Remanufatura</b>	<b>Fornecimento de Produtos em fim de vida (usados)</b>	<b>Tamanho do segmento de clientes</b>	<b>Decisão de Remanufatura</b>
Baixo	Baixo	Baixo	Sim
Baixo	Baixo	Alto	Não
Baixo	Alto	Baixo	Sim
Baixo	Alto	Alto	Sim
Alto	Baixo	Baixo	Não
Alto	Baixo	Alto	Não
Alto	Alto	Baixo	Não
Alto	Alto	Alto	Sim

Fonte: Vasudevan et al. (2012).

Considerando o PSS (Product-Service System) como um fator importante da Economia Circular, que é apresentado por uma de suas Escolas de Pensamentos, a remanufatura pode ser considerada como uma atividade-chave no PSS e pode desempenhar um papel central no design for PSS. De acordo com Lindkvist e Sundin (2016), "os PSS permitem ao provedor realizar manutenção preventiva e remanufatura para evitar a degradação do produto e garantir um alto tempo de usabilidade. Os produtos podem ser projetados para garantir um processo de manutenção eficiente".

Uma das ferramentas para criar um link entre a remanufatura e os princípios da Economia Circular é o Design for Remanufacturing (DfRem), que é benéfico para o meio ambiente e também é uma oportunidade para uma empresa aumentar sua receita. Lindkvist e Sundin (2016) afirmam que há pouco DfRem realizado nas empresas no presente. Para que isso mude, o modelo de negócio de uma empresa que quer se envolver no DfRem precisa ser ajustado. Para isso, o produto deve ser projetado considerando todas as fases do ciclo de vida do produto, incluindo fabricação, serviço e fim de vida. A remanufatura eficiente requer um design de produto que facilite a desmontagem e a atualização. (PALISAITIENE et al., 2015).

Quando comparadas, as alternativas de reutilização, remanufatura ou reciclagem são distinguidas com a premissa: quanto maior for o loop, menos desejável é a alternativa. A reutilização pode assim ser definida como "a segunda mão de troca de produtos para uso como originalmente projetado". (GUIDAT et al., 2014). A remanufatura pode ser descrita como a reconstrução do produto preservando o valor agregado encapsulado no produto durante o processo de fabricação original (por exemplo, trabalho, material ou energia), enquanto a reciclagem tenta recuperar apenas o valor do material. De acordo com GUIDAT et al. (2014), a remanufatura recupera os produtos usados e os transforma em um produto com a mesma qualidade, funcionalidade e garantia em relação a um novo. Portanto, a remanufatura representa uma oportunidade muito promissora para contribuir para a criação de valor sustentável em dimensões ambientais, econômicas e sociais, o que se aplica aos princípios da Economia Circular. A seguinte figura 7 mostra a diferença entre os fluxos de material linear e as alternativas explicadas acima (reciclar, remanufaturar e reutilizar) representando exemplos de fluxos de materiais circulares.

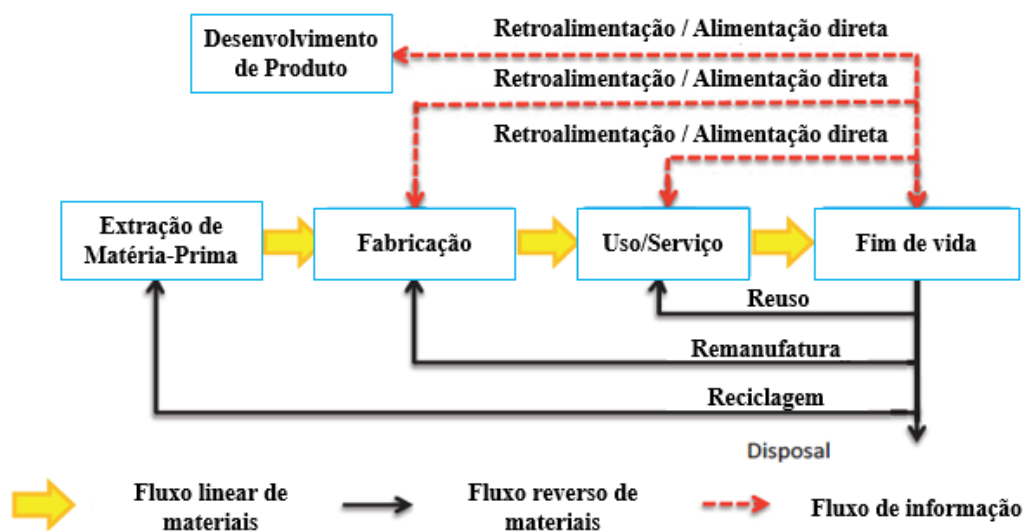


Figura 7 - Diferença entre os fluxos de materiais lineares e os fluxos de materiais reversos

Fonte: Lindkvist e Sundin (2016).

GUIDAT et al. (2014) afirma que, apesar dos benefícios evidentes nas dimensões ambiental, econômica e social, a remanufatura não ganhou impulso em

todas as indústrias e, portanto, seus potenciais ainda não foram totalmente explorados. Esta é a razão pela qual muitas empresas ainda estão relutantes em implementar a remanufatura na estratégia e no modelo de operações da empresa devido aos desafios e incertezas associados, como desenvolvimento de produtos, fornecimento de núcleo, operações de remanufatura, marketing de produto, fluxo de informações e regulamentos legislativos ou normativos, entre outros desafios.

### **3.2. Princípios da Economia Circular e relação com remanufatura**

Para entender a relação entre os princípios da Economia Circular e as ferramentas de remanufatura, é necessário investigar por que a Economia Circular é sustentável por si só, o que faz com que a remanufatura, ao abordar os princípios da Economia Circular, entregue uma técnica sustentável de recuperação de materiais no final da vida útil dos produtos.

De acordo com a Fundação Ellen MacArthur (2013), uma das principais mudanças que a Economia Circular propõe, em comparação com uma forma tradicional de geração de valor, é a mudança para fontes de energia renováveis. "Os sistemas devem, em última instância, tentar funcionar utilizando energia renovável, o que é habilitado pelos níveis de energia limiar reduzidos exigidos por uma economia restauradora e circular".

Em Modelos de Negócio baseados em Economia Circular, "o desperdício não existe", os produtos são projetados e otimizados para um ciclo de desmontagem e reutilização" (EMF, 2013). Isso representa exatamente o que é proposto por ferramentas como o DfRem, que pretende fazer todos os processos de produção para criar o máximo valor dos materiais, desmontá-los ou reciclar após o uso, por exemplo. Na verdade, todas essas ferramentas de Economia Circular propõem o design para a reutilização ao fim de vida do produto como um elemento-chave da Economia Circular, além de uma maior consideração no processamento ao fim de vida, o que é necessário ser levado em conta na fase de projeto (EMF, 2013).

A Fundação Ellen MacArthur (2013) afirma, nesta linha, que os modelos de negócios baseados em Economia Circular são "novos modelos que melhoram o controle sobre os recursos escassos e os asseguram para reutilização em

transferências de maximização de valor como matéria-prima para processos industriais ou agrícolas subsequentes".

Em outro relatório da Fundação Ellen MacArthur (2014), é apontado que os modelos de negócios circulares ganharão uma vantagem competitiva cada vez maior nos próximos anos, porque eles criam mais valor de cada unidade de recurso do que o tradicional modelo "pegue-faça-disponha".

No entanto, para alcançar todos os princípios de Economia Circular implementados nos processos de produção e na forma de pensar, a organização, o governo ou os formuladores de políticas devem ter em mente alguns desafios. Isto é demonstrado pela Fundação Ellen MacArthur (2017), que diz que os líderes empresariais e os governos estão reconhecendo que a criação contínua de valor a longo prazo requer um novo modelo econômico que seja menos dependente de materiais e energia baratos e de fácil acesso e que seja capaz de restaurar e regenerar o capital natural.

De acordo com relatório da Fundação Ellen MacArthur de 2017, em muitos casos existem barreiras não financeiras que impedem o ritmo de desenvolvimento dos modelos de negócios baseados em Economia Circular, mesmo quando há oportunidades de rentabilidade subjacente. Para superar essas barreiras, os decisores políticos têm um papel importante (EMF, 2017).

Considerando um modelo de negócio circular, isto é sustentado por alguns princípios simples. Embora levará muito tempo para que eles se tornem *mainstream*, é concebível que eles serão adotados passo a passo por uma minoria de negócios existentes que podem dar origem à evolução de um novo modelo de negócios (SCHULTE, 2013).

Ainda assim, de acordo com Schulte (2013), os princípios-chave de um modelo de negócios circular podem ser resumidos em: "1. Minimizar os resíduos no design do produto e do sistema, selecionando materiais adequados (por exemplo, menos materiais compósitos); Designe para desmontagem de modo a facilitar a reciclagem; E, com isso, esforçar-se o máximo possível para a padronização de soluções. 2. Compreender o "ecossistema total" de uma empresa e garantir que isso

seja refletido no modelo de negócios, por exemplo, através de uma maior transparência das interações entre as várias fases dos ciclos de vida do produto; exercer um esforço que gira em torno da produção de melhores sistemas de coleta e garanta que os produtos circulem. 3. Maximizar a flexibilidade através do design. Isto aplica-se ao design do produto para facilitar o reparo e depois obter modificações, bem como para o uso do produto, onde diferentes módulos podem ser montados de maneiras diferentes para acomodar os requisitos de mudança sem deixar a solução obsoleta. 4. Utilizar fontes de energia renováveis em vez de uma exploração destruidora pelo óleo mineral, gás ou carvão. 5. Maximizar a eficiência energética minimizando o conteúdo energético total de produtos ou serviços".

Seguindo o que foi explicado na seção "2.1. Técnicas e ferramentas de remanufatura" sobre o PSS como princípio da Economia Circular, vários benefícios da adoção de um modelo de negócios baseado em PSS para remanufatura podem ser encontrados (GUIDAT et al., 2014), sendo eles elencados abaixo:

- Motivação para as empresas ampliarem a vida útil de seus produtos;
- Redução de custos em toda a cadeia de valor;
- Dependendo do caso, o potencial de redução dos impactos ambientais;
- Aumento da aceitação da remanufatura pelos clientes através da transferência de propriedade;
- Melhor monitoramento sobre os produtos, permitindo a previsão de quando o produto em fim de vida retorna para ser remanufaturado;
- Vantagens competitivas.

Barquet et al. (2013) realizaram dois estudos de caso sobre empresas de fabricação que incluíram remanufatura e PSS em seus modelos de negócios. Um deles é uma máquina-ferramenta da subsidiária do OEM e o outro é um OEM de máquinas de venda automática. Embora as características dos produtos de ambas as empresas sejam diferentes, seus modelos de negócios mostram elementos similares. Exemplos de elementos comuns são: contratos de longo prazo e tipo situacional de relacionamento com clientes ao longo da fase de uso do produto, receitas baseadas em aluguel ou locação por meio de pagamentos mensais, proposição de valor baseada na disponibilidade garantida de produtos, funcionalidade e serviços, e principais custos atribuídos para a manutenção do produto durante a sua utilização.

Mont et al. (2006) afirma que a maioria dos exemplos de PSS provêm de mercados de negócios para empresas, o chamado PSS industrial, que é mostrado no caso das duas empresas estudadas por Barquet et al. (2013). Finalmente, em ambos os casos, a remanufatura e os PSS são considerados como pontos-chave de seus modelos de negócios, o que mostra que a remanufatura pode ser totalmente inserida em um modelo de negócio PSS.

### **3.3. Desafios e oportunidades da remanufatura no Brasil**

De acordo com artigo brasileiro intitulado "A Economia Circular chega ao Brasil", a Economia Circular apenas chegou ao Brasil no segundo semestre de 2015, representada pelo lançamento do escritório brasileiro da Fundação Ellen MacArthur (ABRAMOVAY, 2015). Segundo este mesmo relatório, o Brasil e a América Latina, em geral, são os principais fornecedores de matéria-prima cujo uso a Economia Circular possui a ambição de reduzir drasticamente.

Outro ponto que merece ser destacado, quanto à chegada da Economia Circular no Brasil, é o evento Seminário Rio & Holanda: Soluções sustentáveis da Economia Circular para as cidades, o qual reuniu representantes do governo brasileiro e empresários holandeses, para discutir experiências positivas a respeito destes tópicos. O evento ocorreu em novembro de 2015 no Rio de Janeiro, incluindo um debate sobre as oportunidades da Economia Circular no Brasil, no qual foram discutidos casos de sucesso no setor público e organizações privadas. No setor público brasileiro, um exemplo de boa prática da Economia Circular, que foi tema do seminário, é a Companhia de Limpeza Urbana. A empresa desenvolve projetos como a produção de compostos orgânicos para reflorestamento das florestas do Rio de Janeiro e recuperação de biogás para geração de energia (SINDAAF, 2015).

Contudo, devido ao atual contexto de crise no mercado brasileiro, conciliado com a necessidade de investimentos iniciais para aplicação de modelos de negócio baseados em economia circular, tais investimentos têm se tornado difíceis, devido a necessidade de acúmulo de capital inicial para realiza-los. Uma situação econômica favorável viabiliza mais facilmente a aplicação de modelos de negócio baseados em economia circular no mercado brasileiro, o que impactaria um maior desenvolvimento de técnicas de remanufatura por parte das empresas brasileiras.

Tratando mais diretamente do cenário da remanufatura no Brasil, de acordo com relatório da ANRAP (2016), apesar de ter surgido há décadas, o conceito de remanufatura ainda precisa de incentivos, maior conscientização e conhecimento para se encontrar propício a deslanchar no Brasil. A ausência de regras específicas, como em relação à tributação, ainda é um entrave a ser derrubado.

De acordo com a ANRAP (2016), um dos exemplos que ilustram esta ausência de regras que favoreçam a aplicação de remanufatura no Brasil é o mercado de peças automotivas. Enquanto nos Estados Unidos a fatia de remanufaturados nesse segmento chega a 27%, no Brasil o índice está em 6%. “Como fazer com que a venda de peças remanufuradas – que chegam a ser de 30% a 40% mais baratas que uma peça nova e contam com garantia e qualidade de fábrica – deslanche?” (ANRAP, 2016). Neste caso das autopeças, para que as fabricantes possam fazer a remanufatura de seus produtos, elas precisam que as peças usadas retornem para suas mãos.

A Lei do Desmanche, em vigor desde julho de 2014 no estado de São Paulo, prevê a regulamentação de todas as empresas que atuam no setor de desmonte de veículos e ajudou a impulsionar o mercado de remanufatura de autopeças (ANRAP, 2016). Contudo, em um ano, o Detran de SP fechou 700 desmanches que funcionavam irregularmente. Além disso, desde o segundo semestre de 2015 teve início a segunda fase da ação fundada no combate ao comércio de peças ilegais: as peças dos carros devem ser identificadas com uma etiqueta com um código que mostra a origem do produto e ter notas fiscais eletrônicas. Tudo isso garante que o Brasil está no caminho certo quanto à implementação da remanufatura em todos os seus cenários, não só no mercado automotivo, mas ao mesmo tempo, mostra que o país também ainda está combatendo irregularidades, o que representam um gargalo neste avanço.

Mas ainda é preciso progredir em outros aspectos. De acordo com a ANRAP (2016), é fundamental abordar a questão legal: “são necessárias leis ou regras específicas que aliviem a carga tributária de todo o processo, desde a logística reversa (retorno da peça usada ao fabricante) até a tributação sobre o produto remanufurado acabado. Hoje é obrigatório o pagamento de todos os impostos para

que seja efetuada a venda das carcaças (peças usadas) no retorno à indústria, além de novos impostos na venda do produto remanufaturado ao consumidor final”.

Enquanto estas questões não são tratadas com tamanha importância como deveriam, cabe aos representantes do setor mostrar que esse é um mercado com grande potencial e benefícios à sociedade, meio ambiente e economia.

Tratando, agora, mais fortemente a respeito das oportunidades encontradas no Brasil, quanto à remanufatura, alguns fatores impulsionam o país para a implementação da mesma, como o alto valor de venda após a realização do processo de remanufatura, o que leva a um alto valor agregado dos produtos, melhoria da imagem da empresa, minimização dos impactos ambientais com o fim de vida dos produtos, além de ser uma estratégia para expansão em mercados com foco em uma população com menor poder aquisitivo (ZANETTE, 2008).

Por outro lado, no Brasil, e no mundo em geral, a remanufatura encontra desafios (além daqueles já mencionados acima pela ANRAP). Isso se deve ao fato de que o sistema de remanufatura é diferente da manufatura comum, devido a diversos fatores, como o grau de automação ser menor, demandando maiores trabalhos manuais do que a manufatura (STEINHILPER, 1998). De acordo com Guide (2000), alguns outros fatores que desafiam a remanufatura são:

- Incerteza do momento e quantidade de recolhimento dos produtos;
- Necessidade de fazer um balanço entre a quantidade de produtos recolhidos e a demanda dos clientes;
- Necessidade de desmontagem após o recolhimento de produtos;
- Incerteza sobre os materiais recuperados dos produtos recolhidos;
- Necessidade de um sistema de logística reversa;
- Restrições de materiais;
- Dificuldades com tempos de processamento muito variados.

Todos estes fatores são aplicáveis ao cenário brasileiro, o que dificulta a adesão das empresas aos processos de remanufatura.

De acordo com Zanette (2008), as seguintes empresas realizam remanufatura no Brasil (quadro 2 a seguir):

Quadro 2 - Lista de empresas que realizam remanufatura no Brasil

<b>Empresa</b>	<b>Produtos Remanufaturados</b>
BorgWarner	Turbos para veículos pesados
Bosch	Alternadores e motores de partida
Canon	Copiadoras
Cummins	Motores completos e básicos, cabeçotes, entre outros
Dockar	Alternadores e motores de partida
Dynalf	Equipamentos elétricos
Eaton	Transmissão e embreagem
Epson	Peças para impressoras e máquinas fotográficas
Honeywell (Garret)	Turbos
Knorr Bremse	Sistemas de freio rodoviário e ferroviário
Konica Minolta	Multifuncionais preto-e-branco
Luk	Embreagens
Mercedes-Benz	Motor à diesel e caixa de câmbio
Microlite	Equipamentos automotivos
Platodiesel	Embreagens
Sachs	Discos e platôs de embreagem
Siemens Ltda.	Conjunto magnético para tacógrafos
TRW	Freios (compressores de ar) e mecanismos de direção
Volvo	Equipamentos de construção
WEG	Motores e transformadores
Xerox	Copiadoras

Fonte: Adaptado de Zanette (2008).

O quadro 2 anterior mostra que são poucas as empresas, no mercado brasileiro, que aplicam as técnicas de remanufatura no fim de vida dos seus produtos, sendo a maioria destas multinacionais com unidades no Brasil, enquanto que as empresas com origem brasileira representam uma minoria na amostra total. É preciso

que a prática de remanufatura seja impulsionada no Brasil, tanto pelo governo, quanto pelas próprias empresas, que, com estudos estruturados que apresentem os benefícios econômicos, sociais e ambientais que a remanufatura pode proporcionar, a enxerguem como uma excelente oportunidade de geração de valor.

### **3.4. Estudo de caso**

Para o estudo de caso, que visou aplicar a ferramenta proposta em uma empresa do mercado brasileiro, é conveniente analisar o cenário da indústria automotiva brasileira.

A remanufatura no Brasil está em desenvolvimento e seu crescimento foi estimulado por discussões sobre o comércio internacional desses tipos de bens, entre outros fatores (MDIC, 2010). Algumas das dificuldades encontradas para implementar a remanufatura no Brasil são a ausência de uma legislação específica (OIKO et al., 2011; ZANETTE, 2008) e a falta de confiança de algumas empresas (OEM) que atribuem pouca credibilidade à remanufatura, como muitos que acreditam que esta estratégia de fim de vida pode ter um efeito negativo em seu principal objetivo, que é a fabricação de novos produtos, afetando diretamente sua produtividade (SAAVEDRA, 2010). Além disso, existem empresas que oferecem produtos conhecidos como "remanufaturados" para o mercado, mas que de fato são produtos reconicionados e que não estão de acordo com as características de um produto remanufaturado, reduzindo a credibilidade dos usuários em relação aos remanufaturados, que passam a se referir a estes como produtos de baixa qualidade, além também das dificuldades com o retorno do produto usado (SAAVEDRA, 2010). Na parte da legislação, o Brasil apresenta algumas iniciativas como decretos DECEX nº 8 de 1991 e DECEX nº 235 de 2006 pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, que conceitualizam produtos remanufaturados como produtos usados. Assim, a importação e o marketing são restritos e os produtos remanufaturados só são aceitos para doação e sem cobertura de moeda (MDIC, 1991, 2006). Em 2006, o Departamento de Negociações Internacionais do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, através do padrão técnico nº 67/2006, definiu a remanufatura como processo de desmontagem do produto, em que as peças são submetidas a limpeza, reparo e substituição, portanto, entregando um produto final em condições de trabalho perfeitas. Além disso, o padrão destaca os

benefícios ambientais e econômicos que podem ser alcançados com a remanufatura (MDCI, 2006 a, b). Em 2010, foi criado um grupo de trabalho interministerial a Secretaria Executiva da Câmara de Comércio Exterior (Camex) para desenvolver uma política nacional de importação e exportação de bens remanufaturados (SAAVEDRA et al., 2013). Em 2011, o Departamento de Negociações Internacionais do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) aplicou um questionário sobre bens remanufaturados aos representantes dos setores produtivos nacionais, a fim de reunir informações para auxiliar na formulação de uma política de comércio exterior para bens remanufaturados e estabelecer a definição brasileira para esta classe de produtos. Essas discussões sobre o comércio internacional são influenciadas pelo crescimento da indústria de remanufatura no país (MDIC, 2010). Por outro lado, em agosto de 2010, foi aprovada uma Lei Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). O objetivo do PNRS é incentivar a responsabilidade ampliada dos produtores (EPR) em geral, que no PNRS refere-se à responsabilidade compartilhada (Lei Nacional de Resíduos Sólidos do Brasil, 2010). Até 2010, apenas foram elaboradas leis setoriais e iniciativas específicas, não muito eficientes para estimular os fabricantes a serem responsáveis pelos produtos que produzem (SAAVEDRA et al., 2013). O PNRS está agora estimulando as empresas no Brasil a adotar estratégias de fim de vida e alguns casos bem sucedidos estão sendo identificados. Em relação à remanufatura no Brasil, os principais produtos remanufaturados são impressoras, equipamentos de medicamentos, cartuchos de toner e o setor automotivo (OIKO et al., 2011).

De acordo com Saavedra et al. (2013), a remanufatura de produtos automotivos pode ser considerada uma estratégia eficaz para promover e aumentar a sustentabilidade na indústria, como a indústria automotiva, por exemplo. Os componentes automotivos remanufaturados podem ser mais amplamente disponíveis a preços reduzidos e isso também contribui para o uso de menos materiais e energia durante o processo (ZHANG et al., 2011). No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 15296 para veículos rodoviários, define a peça remanufaturada como uma "peça ou componente de produção original usado, caracterizado por ter sido submetido a um processo industrial pelo fabricante original ou em um estabelecimento autorizado deste fabricante, para restaurar os recursos originais e as funções técnicas" (ABNT, 2006).

A Associação Nacional de Remanufaturadores de Autopeças (ANRAP) foi criada em 1994 pela associação de três empresas: Remam (Bosch), ZF SACHS e TRW. Seu objetivo foi demonstrar aos clientes e empresas o conceito de remanufatura e suas vantagens quanto à qualidade da remanufatura na manutenção de veículos. Além disso, os produtos remanufaturados pelas empresas da Associação possuem um selo ANRAP, que fornece credibilidade aos usuários para usar esses produtos (ANRAP, 2012). Além disso, desde 2011, a ANRAP vem realizando oficinas com empresas e clientes do setor automotivo para divulgar os benefícios de implementar a remanufatura no setor e a importância de uma logística reversa eficiente para coletar núcleos de boa qualidade. Além disso, durante essas oficinas, os clientes levantam questões sobre as dificuldades de diferenciação entre produtos remodelados e remanufaturados, o que pode estimular as empresas a pensar em estratégias para reduzir essas dificuldades (ANRAP, 2012).

Saavedra et al. (2013) afirma que, em relação ao Brasil, alguns pontos interessantes podem ser concluídos. Em primeiro lugar, pode-se mencionar que um grande incentivo para a expansão da remanufatura é a promoção do governo, o que também é citado pela Fundação Ellen MacArthur no seu ToolKit, como já explicado neste relatório. O desenvolvimento de políticas e padrões abrangentes para fornecer fundos para a pesquisa de remanufatura pode expandir as operações e compras de produtos remanufaturados. Além disso, é importante mencionar que associações como a ANRAP podem gerar interesse na remanufatura, bem como aumentar a confiança do cliente em produtos remanufaturados. Portanto, a criação de tais associações, por exemplo, para eletrodomésticos ou outras categorias de produtos, poderia estimular o desenvolvimento da remanufatura em outros setores.

## **4. Apresentação e análise de resultados**

### **4.1. Grau de interação entre técnicas de Remanufatura e Economia Circular**

Com o objetivo de cruzar cada princípio da Economia Circular, por Ellen MacArthur, com as principais técnicas utilizadas no processo de remanufatura, desenvolveu-se a seguinte metodologia:

Cada princípio da Economia Circular foi listado nas linhas de uma matriz (macroprincípios), a partir da qual foram listados os detalhes que caracterizam esses macroprincípios, que podemos chamar de microprincípios. Por outro lado, cada uma das principais técnicas do processo de remanufatura foi listada nas colunas, e para cada uma delas, foram dadas explicações. No entanto, para os microprincípios, bem como para as explicações de cada técnica de processo de remanufatura, acrônimos que os representam foram colocados, de modo que a matriz pudesse caber no formato do relatório. Abaixo, cada associação de siglas com seus respectivos significados segue:

- **Microprincípios da Economia Circular:**

1.1: Maximização da eficiência energética minimizando o conteúdo energético total de produtos ou serviços.

1.2: Uso de fontes de energia renováveis em vez de uma exploração destruidora de óleo mineral, gás ou carvão.

1.3: Minimização do desperdício no produto e design do sistema, selecionando materiais adequados (por exemplo, menos materiais compósitos)

2.1: Projeto para desmontagem para facilitar a reciclagem; esforçando-se o máximo possível para a padronização de soluções.

2.2: Maximização da flexibilidade através do design. Isso se aplica ao design do produto para facilitar o reparo e depois obter modificações, bem como para o uso do produto, onde diferentes módulos podem ser montados de maneiras

diferentes para acomodar os requisitos em mudança sem tornar uma solução obsoleta.

2.3: Compreensão do "ecossistema total" de uma empresa e garantir que isso seja refletido no modelo de negócios, por exemplo, através de uma maior transparência das interações entre as várias fases dos ciclos de vida do produto, se esforçando para melhores sistemas de coleta e garantindo que materiais circulem.

3.1: Redução de danos a sistemas e áreas como alimentação, mobilidade, abrigo, educação, saúde e entretenimento, e gerenciamento de externalidades, como uso do solo, poluição do ar, água e ruído e liberação de substâncias tóxicas.

- Técnicas do processo de remanufatura:

A: Desmontagem da parte recebida para separá-la em todos os seus componentes.

B: Limpeza de todos os itens separados.

C: Avaliação das peças reutilizáveis. Se algum item não estiver em condições reutilizáveis, ele será substituído por um novo.

D: Reciclagem da peça, fazendo os ajustes de acordo com a necessidade de reutilização.

E: Armazenagem da peça para reutilização.

F: Montagem da peça novamente.

G: Aplicação de testes de qualidade rigorosos para garantir que a peça esteja em conformidade com os padrões de produção.

Além disso, para quantificar o grau de relação entre cada microprincípio da Economia Circular com cada técnica do processo de remanufatura, os símbolos foram usados para representar a intensidade do relacionamento. O símbolo vermelho x representa que não existe uma relação significativa entre o microprincípio da Economia Circular e a técnica de remanufatura, enquanto o símbolo de exclamação

amarelo mostra uma relação indireta entre eles. Finalmente, o símbolo positivo verde representa uma relação forte e direta.

É necessário entender por que cada relação existe ou não existe, para assegurar que as relações diretas sejam sempre realidade nas práticas empresariais, e, ao mesmo tempo, que as relações indiretas sejam levadas a se tornar relações diretas, garantindo que os princípios da Economia Circular são cumpridos, o que torna a empresa adepta de um modelo de negócios baseado na Economia Circular.

O seguinte quadro 3 representa os relacionamentos existentes:

Quadro 3 - Relação entre os Princípios da Economia Circular e as Técnicas de Remanufatura

		Técnicas de Remanufatura							
		Desmontagem	Limpeza	Inspeção	Reprocessamento	Armazenagem	Remontagem	Teste	
		A	B	C	D	E	F	G	
<b>Princípios de Economia Circular</b>	Preservar e aumentar o capital natural controlando os estoques finitos e equilibrando os fluxos de recursos renováveis	1.1	☹️	✅	❌	✅	❌	☹️	❌
		1.2	☹️	✅	❌	✅	❌	☹️	❌
		1.3	☹️	☹️	☹️	✅	☹️	❌	✅
	Otimizar os rendimentos dos recursos através da circulação de produtos, componentes e materiais com a maior utilidade em todos os ciclos técnicos e biológicos.	2.1	✅	☹️	❌	✅	❌	✅	☹️
		2.2	✅	✅	☹️	✅	❌	✅	✅
		2.3	☹️	☹️	☹️	✅	☹️	☹️	☹️
	Promover a eficácia do sistema, revelando e antecipando externalidades negativas.	3.1	☹️	✅	❌	✅	❌	☹️	✅

Compreendendo cada relacionamento existente, temos:

1.1 e A: relação indireta, porque em alguns casos de empresas, a desmontagem pode ser feita manualmente ou utilizando máquinas. No caso de usar máquinas, o uso sustentável da energia está relacionado à forma como a desmontagem é feita.

1.1 e B: relação direta, pois nos processos de limpeza ou lavagem ocorre o uso direto de energia elétrica e mecânica.

1.1 e C: não existe uma relação significativa, uma vez que as técnicas de inspeção para decidir se partes da peça devem ser alteradas geralmente não gastam energia significativa.

1.1 e D: relação direta, uma vez que o reprocessamento geralmente é feito em máquinas, que representam os maiores consumos de energia do processo de remanufatura.

1.1 e E: não existe uma relação significativa, uma vez que o armazenamento da parte reprocessada não depende diretamente do consumo de energia.

1.1 e F: relação indireta, uma vez que, da mesma forma que a desmontagem, isso pode ser administrado manualmente ou usando máquinas. No último caso, o uso sustentável da energia está relacionado à forma como a montagem é feita.

1.1 e G: não há relação significativa, uma vez que os testes de adesão às normas de qualidade não dependem de grandes consumos de energia.

1.2 e A: relação indireta, porque em alguns casos de empresas, a desmontagem pode ser feita manualmente ou utilizando máquinas. No caso de usar máquinas, o uso sustentável da energia está relacionado à forma como a desmontagem é feita.

1.2 e B: relação direta, porque nos processos de limpeza ou lavagem, ocorre o uso direto de energia elétrica e mecânica. Portanto, o papel da Economia Circular é garantir que essa energia seja gerada a partir de fontes renováveis.

1.2 e C: não há relação significativa, porque as técnicas de inspeção para decidir se as partes da peça devem ser alteradas geralmente não gastam energia significativa.

1.2 e D: relação direta, uma vez que o reprocessamento geralmente é feito em máquinas, que representam os maiores consumos de energia do processo de remanufatura. Garantir que a energia seja gerada a partir de fontes renováveis é o papel da Economia Circular.

1.2 e E: não existe uma relação significativa, uma vez que o armazenamento da parte reprocessada não depende diretamente do consumo de energia.

1.2 e F: relação indireta, uma vez que, da mesma forma que a desmontagem, isso pode ser feito manualmente ou usando máquinas. No último caso, o uso sustentável da energia está relacionado à forma como a montagem é feita.

1.2 e G: não há relação significativa, uma vez que os testes de adesão aos padrões de qualidade não dependem de grande consumo de energia.

1.3 e A: relação indireta, porque a seleção de materiais que minimizam a geração de resíduos afeta apenas a dificuldade de desmontagem da peça, tornando esta uma atividade mais ou menos dispendiosa.

1.3 e B: relação indireta, uma vez que a seleção de materiais mais sustentáveis afeta mais fortemente apenas a dificuldade de limpar a peça.

1.3 e C: relação indireta, porque, ao selecionar materiais mais resistentes, é possível garantir que as peças possam ser reprocessadas mais vezes, não sendo necessário fazer trocas.

1.3 e D: relação direta, uma vez que a seleção de materiais que geram menos resíduos garante um reprocessamento sustentável.

1.3 e E: relação indireta, uma vez que as peças feitas de materiais mais sustentáveis não afetam diretamente as dificuldades de armazenamento. Por outro lado, se estes são mais resistentes, não é necessária uma condição de armazenamento muito específica, exigindo menos energia, o que é mais sustentável.

1.3 e F: não há relação significativa, uma vez que após o reprocessamento, o uso de materiais que geram menos desperdício não afeta a dificuldade de remontagem.

1.3 e G: relação direta, uma vez que os testes para verificar a aderência às especificações verificam a natureza dos materiais constituintes das peças.

2.1 e A: relação direta, uma vez que o projeto para padronizar componentes e facilitar a desmontagem está diretamente relacionado à energia e trabalho gasto para este processo.

2.1 e B: relação indireta, porque ao projetar para facilitar a desmontagem, isso pode afetar indiretamente a dificuldade de limpar as partes separadas.

2.1 e C: não existe uma relação significativa, uma vez que o projeto focado em facilitar a desmontagem não afeta a verificação de qualidade das peças.

2.1 e D: relação direta, uma vez que o projeto para facilitar a desmontagem e padronização das soluções garante que o reprocessamento seja feito de forma padronizada, sendo, portanto, menos oneroso.

2.1 e E: não há relação significativa, porque as condições de armazenamento não são impactadas pelo projeto para facilitar a remanufatura.

2.1 e F: relação direta, porque a remontagem também pode ser facilitada, quando houver um projeto que procure facilitar a desmontagem e padronizar soluções, como a remontagem, por exemplo.

2.1 e G: relação indireta, uma vez que os testes de adesão às especificações podem ser facilitados pelo fato de que as soluções são padronizadas.

2.2 e A: relação direta, uma vez que o design de um conjunto em módulos pode facilitar sua desmontagem.

2.2 e B: relação direta, porque a flexibilidade no design das peças pode ser impulsionada para facilitar a limpeza de cada peça separadamente.

2.2 e C: relação indireta, uma vez que o design flexível da montagem não afeta necessariamente a dificuldade de realizar a inspeção de qualidade, mas este design pode ter como objetivo garantir que as peças tenham maior durabilidade ou possam ser combinadas de diferentes maneiras a partir de seus módulos.

2.2 e D: relação direta, uma vez que o reprocessamento pode ser facilitado pelo design flexível da montagem, que pode ter como objetivo assegurar a fácil reciclagem das peças.

2.2 e E: não existe uma relação significativa, porque as condições de armazenamento não estão relacionadas ao projeto da montagem em módulos, focados na flexibilidade.

2.2 e F: relação direta, porque o design do produto a ser montado em módulos permite montá-lo de diferentes maneiras, para não tornar o produto final obsoleto.

2.2 e G: relação direta, uma vez que o design do produto em módulos flexíveis faz com que os testes para verificar a adesão aos padrões de qualidade de engenharia foquem na verificação da adesão dos módulos com as normas técnicas.

2.3 e A: relação indireta, uma vez que a compreensão do ecossistema completo do produto pode impactar na dificuldade da atividade de desmontagem e uma maior transparência nas relações entre os diferentes estágios de remanufatura pode acelerar o processo.

2.3 e B: relação indireta, uma vez que uma maior transparência nas relações entre as diferentes etapas de remanufatura pode acelerar o processo de limpeza das partes separadas.

2.3 e C: relação indireta, porque, ao entender o ecossistema total do produto, as inspeções podem ser reduzidas, uma vez que o produto tende a ser mais sustentável e as peças circulam por mais tempo.

2.3 e D: relação direta, porque, como o reprocessamento, é a atividade principal da remanufatura, sendo diretamente impactada por um projeto no qual se busca entender perfeitamente o ecossistema do produto.

2.3 e E: relação indireta, uma vez que as condições de armazenamento podem ser afetadas pela compreensão do ecossistema total do produto, garantindo que o armazenamento seja o mais sustentável possível, sem gerar poluição ou desperdício.

2.3 e F: relação indireta, uma vez que a remontagem pode ou não ser facilitada por um projeto que busca compreender o ecossistema total do produto.

2.3 e G: relação indireta, uma vez que os testes de adesão aos padrões técnicos podem ser reduzidos e facilitados, uma vez que o produto tende a ter partes e componentes que circulem por mais tempo.

3.1 e A: relação indireta, uma vez que o produto pode ser projetado, se for desmontado, para não libertar produtos tóxicos para o meio ambiente, por exemplo.

3.1 e B: relação direta, uma vez que a limpeza das peças separadas pode ser facilitada pelo design para não gerar poluição ou externalidades.

3.1 e C: não existe uma relação significativa, uma vez que a inspeção não é afetada por um projeto focado em não gerar externalidades.

3.1 e D: relação direta, uma vez que reprocessamento ou reciclagem é a atividade que tem o maior potencial para geração de poluição.

3.1 e E: não existe uma relação significativa, uma vez que as condições de armazenamento, exceto exceções, não se relacionam expressivamente com o projeto do produto, o que não é um desperdício ou poluente.

3.1 e F: relação indireta, porque a remontagem pode ser afetada por um projeto que busque não gerar externalidades, evitando a geração de poluição ao remontar o produto final.

3.1 e G: relação direta, porque o design do produto focado na ausência de poluição e externalidades garante que a inspeção seja direcionada a esses fatores.

Com base no preenchimento da matriz do quadro 3, é possível concluir que cada uma das técnicas do processo de remanufatura possuem relação com determinados princípios da Economia Circular, sendo esta relação mais forte e válida para a maior parte dos microprincípios em alguns casos (como reprocessamento e limpeza), e mais fraca e válida para apenas alguns microprincípios em outros casos (como inspeção e armazenagem). Isto mostra que, para a empresa avaliada no estudo de caso, não basta apenas considerar atividades “core” do processo de remanufatura, como o reprocessamento de peças separadas, mas também o ato de realizar a limpeza para reaproveitamento de partes, por exemplo, que nada mais é do que uma etapa do processo de remanufatura como um todo. Isso se deve ao fato de existir uma relação direta ou indireta entre praticamente todos os passos da remanufatura e os princípios da Economia Circular, variando de acordo com cada contexto industrial.

#### **4.2. Versão piloto da ferramenta proposta**

Para propor uma primeira versão da ferramenta (piloto) que foi utilizada para avaliar o vínculo entre os princípios da Economia Circular e os fatores da remanufatura (os 6 fatores mencionados por Vasudevan et al., (2012) e explicados anteriormente neste trabalho), o mesmo modelo de matriz que foi usado para analisar a relação entre esses mesmos princípios e as principais técnicas do processo de remanufatura será usado.

Toda a ferramenta foi criada no Microsoft Excel, e as figuras a seguir representam seu uso.

Em primeiro lugar, os mesmos microprincípios da Economia Circular (de 1.1 a 3.1, como explicado acima) foram colocados nas linhas, e os cinco fatores que representam elementos-chave da Remanufatura foram dispostos nas colunas.

Como pode ser visto no quadro 4, a última coluna representa a média da linha (microprincípio). Para cada célula, apenas os escores 1, 3 ou 5 podem ser dados, representando o seguinte:

- 1: a empresa não atende a tal fator (não pratica); 3: a empresa pratica tal fator, mas não considera o micro princípio da Economia Circular para este fim; 5: a empresa pratica tal fator, e considera o micro princípio da Economia Circular para este fim.

Observação: cabe ressaltar que os critérios de pontuação para cada coluna (explicados no tópico acima) foram definidos após a validação da versão piloto da ferramenta com alguns especialistas, o que será melhor explicado nas seções a seguir.

Quadro 4 - Ferramenta para avaliar os princípios da Economia Circular e a relação com os fatores da Remanufatura (média de cada microprincípio)

			Fatores de Remanufatura					
			Gestão da Aquisição do Produto	Framework para Logística Reversa	Modelos de Coleta utilizando Logística Reversa	Desenvolvimento básico de produtos remanufaturados	Demanda e Fornecimento de Produtos Remanufaturados	Decisão de Remanufatura
Princípios de Economia Circular	Preservar e aumentar o capital natural controlando os estoques finitos e equilibrando os fluxos de recursos renováveis	1.1						=SEERRO(MÉDIA(E6:J6); ""))
		1.2						
		1.3						
	Otimizar os rendimentos dos recursos através da circulação de produtos, componentes e materiais com a maior utilidade em todos os ciclos técnicos e biológicos.	2.1						
		2.2						
		2.3						
	Promover a eficácia do sistema, revelando e antecipando externalidades negativas.	3.1						
Pontuação Total								

Cabe ressaltar que a ferramenta possui limitações. Uma limitação que pode ser destacada é o fato de, para alguns contextos empresariais, determinado fator de remanufatura não se aplicar ao seu negócio, o que fará com que a pontuação de uma coluna toda será 1. Isto refletirá em uma redução da pontuação global desta empresa,

quando na verdade esta pontuação deverá ser interpretada internamente ao negócio, visto que a pontuação 1 para a coluna analisada não reflete um mau desempenho, mas sim o fato de a coluna não se aplicar à sua realidade.

A última linha (Pontuação Total), representa a média dos 7 microprincípios, dando a pontuação final global da empresa, o que pode ser visto no quadro 5 a seguir.

Quadro 5 - Ferramenta para avaliar os princípios da Economia Circular e a relação com os fatores da Remanufatura (média dos microprincípios)

			Fatores de Remanufatura						
			Gestão da Aquisição do Produto	Framework para Logística Reversa	Modelos de Coleta utilizando Logística Reversa	Desenvolvimento básico de produtos remanufaturados	Demanda e Fornecimento de Produtos Remanufaturados	Decisão de Remanufatura	Pontuação Total do Princípio
Princípios de Economia Circular	Preservar e aumentar o capital natural controlando os estoques finitos e equilibrando os fluxos de recursos renováveis	1.1							
		1.2							
		1.3							
	Otimizar os rendimentos dos recursos através da circulação de produtos, componentes e materiais com a maior utilidade em todos os ciclos técnicos e biológicos.	2.1							
		2.2							
		2.3							
	Promover a eficácia do sistema, revelando e antecipando externalidades negativas.	3.1							
Pontuação Total									=SEERRO(MÉDIA(K6:K12);"")

Com a primeira proposta da ferramenta explicada, a seguir é mostrado um exemplo da mesma preenchida. Algumas características podem ser apontadas:

- A) Uma pontuação 1 automaticamente é preenchida por uma cor vermelha;
- B) Uma pontuação 3 automaticamente é preenchida por uma cor amarela;
- C) Uma pontuação 5 automaticamente é preenchida por uma cor verde;

- D) Somente os escores 1, 3 ou 5 podem ser dados;
- E) Para a Pontuação Global, se a pontuação for superior a 3,5, a cor é verde, se a pontuação for superior a 2,5 e menor que 3,5, a cor é amarela e, se for inferior a 2,5, a cor é vermelha.

O preenchimento da ferramenta evidencia que uma pontuação global que se encontra entre 2,5 e 3,5 mostra que a empresa está no caminho certo quanto à aplicação dos fatores de remanufatura estudados, mas existem grandes oportunidades de melhoria quanto à visão dos princípios da Economia Circular por parte da empresa, resultando que a mesma falha na geração de valor. Uma pontuação global acima de 3,5 mostra que a empresa enxerga muito bem os fatores de remanufatura inseridos no contexto da Economia Circular, o que traz geração de valor econômico, social e sustentável para a empresa. Por outro lado, uma pontuação global menor do que 2,5 mostra que esta, além de não extrair um grande valor dos princípios da Economia Circular, ainda não aplica a remanufatura da mesma forma como empresas que são referências no mercado, visto que a relação entre os fatores da remanufatura e os princípios da Economia Circular é tão fraca que os processos aplicados, no contexto de remanufatura de produtos, não trazem ganhos econômicos, sociais ou ambientais para a empresa.

Por último, cabe ressaltar que, a partir do momento em que a empresa analisada não aplica um determinado fator da remanufatura, a coluna toda que remete àquele fator deve ser preenchida com 1, pois não há relações com os princípios da Economia Circular a serem analisados, neste caso.

#### **4.3. Validação da ferramenta e estudo de caso**

Para o estudo de caso, a empresa parceira foi uma fabricante de compressores mundialmente reconhecida, com atuação em diversos países, além de ter mais de 600 pessoas envolvidas com Pesquisa e Desenvolvimento. Ainda, a mesma possui unidades no Brasil, as quais fabricam compressores e soluções de refrigeração.

O estudo de caso desenvolvido considerou apenas uma de suas unidades no Brasil, e foi trabalhado juntamente com dois de seus funcionários através de

entrevistas, para inicialmente validar a ferramenta, e posteriormente realizar o diagnóstico da relação existente entre suas práticas de remanufatura e os princípios da Economia Circular.

Ao ser proposta a versão inicial da ferramenta, a mesma passou por um processo de validação que considerou opiniões e sugestões de três especialistas em Economia Circular, que atuam no mercado brasileiro.

O primeiro especialista, que atua no setor de autopeças, a avaliar a versão inicial da ferramenta, evidenciou que a mesma é capaz de atender à diferentes mercados de remanufatura, e não somente o que ele atua. Desta maneira, a ferramenta foi bastante elogiada pelo mesmo, o qual não deu opiniões relacionadas ao sistema de pontuação e resultados da metodologia de avaliação proposta. A figura 8 a seguir mostra o e-mail oficial no qual o primeiro especialista demonstrou seu feedback relacionado à ferramenta.

to me

Boa noite Franco, tudo bem?

Estive verificando os pontos que você citou abaixo e achei que está muito bom da forma que você fez.

Na verdade inicialmente eu ia tentar mudar algumas terminologias, porém, lendo um pouco mais do seu trabalho, eu verifiquei que esse protocolo que foi desenvolvido fica bem claro para todo ou a maior parte dos processos dos produtos que serão remanufaturados – eu estava olhando somente do ponto de auto peças.

Acho que ficou muito bom mesmo.

Bem, espero poder ter agregado um "ponto positivo" para você se sentir seguro...

Boa sorte e um forte abraço!!

Sucesso!

Figura 2 - Avaliação da ferramenta pelo primeiro especialista

Em segundo lugar, a versão inicial da ferramenta foi avaliada por um especialista em Economia Circular que atua no mercado do Nordeste brasileiro, mais especificamente com o mercado de pesca. Sua principal contribuição foi o fato de a ferramenta, anteriormente à sua avaliação, ainda não ter uma distinção clara de quando deveria ser pontuada a nota 1, 3 ou 5. Após duas reuniões, foi chegada à conclusão que, quando a empresa avaliada não aplicasse um determinado fator de

remanufatura listado na matriz, a pontuação seria 1, representando que não faz sentido verificar o grau de adesão deste fator com o princípio da Economia Circular. Por outro lado, quando a empresa aplicasse o fator da remanufatura avaliado, mas sem uma relação com geração de valor a partir de um determinado microprincípio da Economia Circular avaliado, a pontuação deveria ser 3, enquanto que quando esta prática fosse feita totalmente com foco em geração de valor (financeiro, social e ambiental), orientado por determinado microprincípio avaliado, a esta célula mereceria uma pontuação 5.

Por último, a ferramenta foi avaliada por um dos especialistas em Economia Circular da empresa parceira, o qual concordou diretamente com a contribuição dada pelo segundo avaliador. Por outro lado, o mesmo ainda fez uma solicitação: que a ferramenta trouxesse alguma contribuição prática, como um pequeno roteiro a ser seguido pela empresa de acordo com a sua pontuação global (entre 1 e 2,5, 2,5 e 3,5 e entre 3,5 e 5). Esta solicitação foi totalmente aceita, de certa forma que a ferramenta pudesse trazer uma contribuição completa, e não apenas um diagnóstico, mas também indicando um guia de ações a serem tomadas, visando a criação de valor totalmente orientada pelos princípios da Economia Circular, de acordo com cada contexto industrial.

Após a validação da ferramenta pelos especialistas parceiros, a mesma foi aplicada na empresa analisada no estudo de caso, o que foi feito juntamente com dois representantes da organização, que atuam diretamente com o reaproveitamento de peças e componentes que a empresa compra, visando coloca-los em “ciclo”, como proposto pela Economia Circular, revendendo-os após tratamento. O quadro 6 a seguir mostra a ferramenta preenchida juntamente com a empresa parceira do estudo de caso.

Quadro 6 - Aplicação da ferramenta no estudo de caso

			Fatores de Remanufatura						
			Gestão da Aquisição do Produto	Framework para Logística Reversa	Modelos de Coleta utilizando Logística Reversa	Desenvolvimento básico de produtos remanufaturados	Demanda e Fornecimento de Produtos Remanufaturados	Decisão de Remanufatura	Pontuação Total do Princípio
Princípios de Economia Circular	Preservar e aumentar o capital natural controlando os estoques finitos e equilibrando os fluxos de recursos renováveis.	1.1	3	3	5	1	1	3	2,67
		1.2	3	3	3	1	1	3	2,33
		1.3	3	5	5	1	1	5	3,33
	Otimizar os rendimentos dos recursos através da circulação de produtos, componentes e materiais com a maior utilidade em todos os ciclos técnicos e biológicos.	2.1	3	3	3	1	1	3	2,33
		2.2	3	5	5	1	1	5	3,33
		2.3	5	5	5	1	1	5	3,67
	Promover a eficácia do sistema, revelando e antecipando externalidades negativas.	3.1	5	5	5	1	1	5	3,67
<i>Pontuação Total</i>								<i>3,05</i>	

Inicialmente, cabe considerar que a empresa analisada não atende diretamente a dois dos seis fatores de remanufatura propostos por Vasudevan et al. (2012), os quais são: Desenvolvimento básico de produtos remanufaturados e Demanda e fornecimento de produtos remanufaturados. Isto se deve ao fato de que a empresa não realiza procedimentos básicos de remanufatura (pois o seu foco se encontra no reaproveitamento das partes, e não diretamente na reusinagem de componentes separados), além de que não executa um estudo comparativo entre oferta e demanda de produtos remanufaturados pelo mercado antes de realizar seus trabalhos. Por estes motivos, a 4ª e 5ª colunas foram totalmente preenchidas com 1 (a empresa não atende a tal fator da remanufatura).

Por outro lado, as colunas 1, 2, 3 e 6 se destacaram para esta empresa, pois a mesma atende a todos estes fatores, colocando-os em prática no seu dia-a-dia,

em alguns casos levando em consideração os microprincípios da Economia Circular explicitados nas linhas da matriz (notas 5), e em outros casos não os levando em consideração, ou seja, apenas executando os fatores da remanufatura por si próprios (notas 3).

Os casos em que a empresa pontuou com nota 5 representam uma forte inserção de suas práticas de remanufatura nos princípios da Economia Circular, mostrando que a mesma extrai valor a partir destes princípios. Por outro lado, as notas 3 representam enormes oportunidades de melhoria para a empresa parceira, pois representam práticas de remanufatura que são executadas por esta, mas sem ligação com os princípios da Economia Circular.

Cabe ressaltar que as menores pontuações por linha se posicionaram nos microprincípios 1.2 e 2.1. Isto mostra que, para esta empresa, o uso de fontes energias renováveis não apresenta forte relação com as suas práticas de reaproveitamento de materiais, além de que as soluções de reaproveitamento de partes não são padronizadas, mas sim flexíveis conforme os componentes que entram em sua cadeia de valor. Por outro lado, as maiores pontuações por linha corresponderam aos microprincípios 2.3 e 3.1. Para estes casos, a empresa mostrou ter uma forte política de transparência de informações referentes ao ciclo de vida de seus produtos, além de focar na redução de externalidades em seus processos.

Por último, destaca-se a pontuação global da empresa, que resultou entre 2,5 e 3,5, o que mostra que esta, apesar de ser praticante da maioria dos fatores de remanufatura de acordo com a literatura, apresenta diversas oportunidades de melhoria no sentido de associar as suas práticas aos princípios da Economia Circular, enxergando valor sustentável de acordo com os ideais propostos por este conceito.

#### **4.4. Guia de ações para a empresa parceira do estudo de caso**

Conforme pode ser visto no quadro 6, a empresa parceira não realiza alguns procedimentos principais que caracterizam o processo de remanufatura, como o desenvolvimento básico de produtos remanufaturados e a análise da demanda e fornecimento de produtos remanufaturados no mercado em geral (dois fatores da remanufatura de acordo com a ferramenta).

Contudo, a atividade “core” da empresa parceira se caracteriza em comprar partes e componentes de compressores herméticos e reaproveita-los para revender ao mercado, para diversos clientes pelo mundo todo. Para esta atividade, a empresa realiza os demais fatores da remanufatura contidos nas colunas da ferramenta, como a Gestão da Aquisição do Produto, além de possuir um Framework para Logística Reversa e ter uma estratégia para Decisão da Remanufatura (apesar de decidir não remanufaturar diretamente os produtos).

Com relação à Gestão da Aquisição do Produto (como a empresa controla a entrada de produtos e componentes em sua produção, e se a mesma considera o tempo de entrada de cada produto no processo de remanufatura ou reaproveitamento das peças), pode ser observado pela figura 12 que enquanto os microprincípios 2.3 e 3.1 são completamente atendidos, os itens 1.1, 1.2, 1.3, 2.1 e 2.2 não são atendidos. Isso se deve ao fato de a empresa não enxergar relação entre a maximização de eficiência energética, o uso de energias renováveis, a minimização de desperdícios e a maximização da flexibilidade de forma modular diretamente com a Gestão da Aquisição do Produto. Uma possível estratégia, neste caso, é a criação de mecanismos de medição da energia necessária para fazer com que os componentes “entrem” na linha de produção, calculando tempos, recursos necessários, e tipos de energia envolvidas. Além disso, para viabilizar a maximização da flexibilidade e customização de forma a entregar seus produtos em um curto lead time, alguns instrumentos e técnicas de Indústria 4.0 podem ser aplicados, como o uso de impressão 3D e prototipagem rápida, o que deverá ser feito com o apoio de uma equipe de desenvolvimento interna ou externa da empresa, mas que tenha grandes conhecimentos de técnicas de Internet das Coisas e do mundo da Indústria 4.0 em geral.

Em segundo lugar, o Framework para Logística Reversa (estrutura para logística reversa da empresa, separando partes recebidas para o fluxo de remanufatura, reciclagem, reaproveitamento ou demais processos) da empresa não leva em consideração os microprincípios 1.1, 1.2 e 2.1. Isso se deve ao fato de a empresa não enxergar relação entre a maximização de eficiência energética, o uso de energias renováveis e a maximização da flexibilidade de forma modular diretamente com a o seu Framework para Logística Reversa. Uma possível estratégia,

neste caso, é a criação de mecanismos de medição da energia necessária e dispendida em todos os passos do Framework da empresa, buscando formas de energias cada vez mais renováveis (bioenergia, solar, ou até eólica, dependendo da situação). Ainda, a padronização de soluções é algo que pode ser obtido, para o Framework de Logística Reversa, a partir da criação de um fluxograma (mapeamento de processo) que contenha diversas iniciativas distintas para desmontagem e tratamento inicial das diferentes peças e componentes que entram na linha de produção, ou seja, para cada tipo de peça, esta será desmontada de forma rápida e padronizada. Além disso, a utilização de conceitos de Indústria 4.0 (Internet das Coisas e Automação em geral) auxiliará no design para uma rápida desmontagem.

Em terceiro lugar, os Modelos de coleta baseados em Logística Reversa (forma como o consumidor retorna o produto à organização) da empresa não levam em consideração os microprincípios 1.2 e 2.1. Uma possível estratégia para solucionar tais pontos é semelhante ao fator anterior, ou seja, a criação de mecanismos de medição da energia dispendida em todos os passos do seu modelo de coleta (monitorando fornecedores e os clientes que utilizam os produtos finais), além de buscar formas de energia mais renováveis. Além disso, o design para uma desmontagem mais rápida poderia ser obtido a partir da automação utilizando conceitos de Indústria 4.0, como explicado no fator da remanufatura anterior.

Por último, a forma como a empresa toma sua Decisão de Remanufatura (consideração dos custos de remanufatura, oferta de fornecimento de produtos em fim de vida pelo mercado, além de outros fatores) não leva em consideração os microprincípios 1.1, 1.2 e 2.1. Conforme explicado anteriormente, a empresa decide não remanufaturar, mas sim reaproveitar as peças e componentes que entram em sua linha de produção. Mesmo assim, a maximização da eficiência energética, o uso de energias renováveis e o design para uma fácil desmontagem não são levados em conta neste fator. Uma possível estratégia, neste caso, seria a análise do conteúdo energético de cada peça ou componente que entra em sua linha de produção, entendendo a quantidade de energia gasta e se a mesma está sendo recuperada, caracterizando sustentabilidade energética. Ainda, fazer isto utilizando energias renováveis é o caminho, e desta forma a empresa pode fazer uma melhor análise sobre a viabilidade de remanufaturar ou não cada peça, conforme o conteúdo

energético a ser dispendido em cada caso. Por último, a utilização de conceitos da Indústria 4.0 também se aplicam neste caso, pois o auxílio oriundo da geração de dados de forma automatizada, além da compreensão dos mesmos com Inteligência Artificial, utilizando sensores e atuadores, permitirá à empresa decidir sobre estratégias de agilização da desmontagem de peças e componentes.

O quadro 7 a seguir mostra resumidamente cada possível estratégia proposta, ligada a cada fator da remanufatura, para o estudo de caso realizado.

Quadro 7 - Resumo das possíveis estratégias para cada fator da remanufatura analisado no estudo de caso

<b>Fator da Remanufatura</b>	<b>Estratégia</b>
Gestão da Aquisição do Produto	Mecanismos de medição de energia, tempos e recursos necessários. Uso de instrumentos e técnicas de Indústria 4.0.
Framework para Logística Reversa	Mecanismos de medição de energia. Mapeamento de processos e operações. Busca por fontes de energia mais renováveis. Uso de instrumentos e técnicas de Indústria 4.0.
Modelos de Coleta utilizando Logística Reversa	Mecanismos de medição de energia. Mapeamento de processos e operações. Busca por fontes de energia mais renováveis. Uso de instrumentos e técnicas de Indústria 4.0.
Desenvolvimento básico de produtos remanufaturados	Não é realizado pela empresa, pois a mesma decide não remanufaturar, e sim realizar mecanismos de reaproveitamento das partes e componentes. Desta forma, a ação básica a ser tomada para aumentar a pontuação, é a execução deste fator da remanufatura (elevando a nota de 1 para 3).
Demanda e fornecimento de produtos remanufaturados	Não é realizado pela empresa, pois a mesma decide não remanufaturar, e sim realizar mecanismos de reaproveitamento das partes e componentes. Desta forma, a ação básica a ser tomada para aumentar a pontuação, é a execução deste fator da remanufatura (elevando a nota de 1 para 3).
Decisão de remanufatura	Análise do conteúdo energético de cada componente que entra na linha de produção. Busca por fontes de energia mais renováveis. Uso de instrumentos e técnicas de Indústria 4.0 (sensores e atuadores para auxiliar na tomada de decisão).

Como pode ser visto no quadro 7 acima, com exceção do quarto e do quinto fator, que não são aplicados pela empresa estudada, todos os demais fatores podem ser trabalhados com aplicação de conceitos de Indústria 4.0 (envolvendo Internet das Coisas e Prototipagem Rápida), além da busca por uso de recursos renováveis em todas as etapas da cadeia de valor, e pela mensuração da utilização de recursos (físicos e energéticos). Cabe ressaltar que o conceito de Indústria 4.0 está relacionado à emergência da transformação das indústrias atuais em fábricas digitais, que se caracterizam pelos seguintes aspectos: I) Redes inteligentes: sistemas automatizados (incluindo logística interna) que operam com cibertecnologia e uso de sensores (RFID e tecnologias de telecomunicações); II) Mobilidade: Criação de uma nova dimensão no diagnóstico, com manutenção e operação de sistemas independentes temporariamente e espacialmente; III) Flexibilidade: aumento da flexibilidade no desenvolvimento, diagnóstico e manutenção, bem como na operação de sistemas automatizados (JAZDI, 2014). Além disso, o acesso ao "Big Data" permite procurar fornecedores mais baratos sob demanda; IV) Integração do cliente: personalização do produto para necessidades individuais do cliente; V) Novos modelos de negócios inovadores: a produção no futuro próximo será distribuída e flexível (JAZDI, 2014).

## 5. Conclusões / Considerações finais

Os produtos remanufaturados apresentam uma boa demanda no mercado devido ao baixo preço e qualidade funcional notável, da mesma forma que os novos produtos apresentam. Ainda, como foi visto na revisão bibliográfica, a demanda de produtos remanufaturados depende do ritmo de canibalização do produto existente. Existem alguns desafios para a remanufatura ser fortalecida como prática empresarial, no Brasil e no mundo, como a expectativa de qualidade, limitação de oferta, concorrência e mudança de ritmo de tecnologia enfrentada pelas indústrias de remanufatura. Alguns dos elementos importantes, como a Gestão de Aquisição do Produto, a Logística Reversa, os Modelos de Coleta baseados em Logística Reversa e o Desenvolvimento Básico do Produto Remanufaturado foram discutidos, visando entender qual é o modelo ideal para o lançamento perfeito de produtos remanufaturados. A matriz de remanufatura do produto (encontrada na figura 4) explica a decisão sobre produtos em fim de vida.

Com tais tópicos estudados, foi possível propor uma análise da relação existente entre as técnicas de remanufatura estudadas e cada princípio da Economia Circular, propostos pela Fundação Ellen MacArthur. Isso possibilitou o entendimento de quais são as técnicas que devem continuar sendo exploradas pelas empresas, por apresentarem relação direta com os princípios da Economia Circular (sinal positivo verde da matriz encontrada no quadro 3), e quais são as técnicas que devem ser mais exploradas e estudadas (aquelas que possuem relação indireta com os princípios da Economia Circular, sendo representadas por uma exclamação amarela, e até mesmo aquelas que não possuem relação significativa, representadas por um sinal x vermelho).

A partir das relações estudadas, e partindo dos mesmos princípios da Economia Circular, um modelo de matriz semelhante ao aplicado no quadro 3 foi utilizado para propor uma versão inicial da ferramenta que foi revisada e aplicada em um estudo de caso. Tal ferramenta visa comparar os mesmos princípios da Economia Circular com algumas das principais práticas da remanufatura, pontuando, de acordo com a realidade de cada empresa, o grau de aderência das práticas da mesma com cada princípio. Com isso, tendo a matriz totalmente preenchida, uma pontuação final é fornecida (variando de 1 a 5), a qual poderá funcionar como indicador de inserção

das práticas empresariais, ou até mesmo do Modelo de Negócios como um todo, às principais ideias apresentadas pela Economia Circular.

Para validação da ferramenta, esta foi discutida com três especialistas em Economia Circular que atuam no mercado brasileiro, obtendo insights significativos que fizeram com que a mesma pudesse ser aplicada no estudo de caso proposto.

A aplicação da ferramenta em estudo de caso, o qual foi realizado em uma empresa que é considerada referência mundial no setor de fabricação de compressores, resultou em uma pontuação global maior do que 2,5 e menor do que 3,5, concluindo que a empresa, apesar de ser praticante da maioria dos fatores de remanufatura de acordo com a literatura, apresenta diversas oportunidades de melhoria no sentido de associar as suas práticas aos princípios da Economia Circular, enxergando valor sustentável de acordo com os ideais propostos por este conceito.

A partir da aplicação da ferramenta, foram propostas possíveis estratégias a serem levadas em consideração pela empresa, visando a elevação da pontuação global da ferramenta, e mais do que isso, fazendo com que a geração de valor a partir da remanufatura seja totalmente orientada pelos princípios da Economia Circular.

Com isso, pode-se afirmar que o objetivo de pesquisa proposto foi atingido, pois todos os 4 sub-objetivos foram inteiramente contemplados. Desta forma, a ferramenta proposta pode servir como base para futuras pesquisas e aplicações práticas, o que pode aumentar mais ainda a sua complexidade e gama de aplicação no Brasil e no mundo.

## 6. Referências

ABRAMOVAY, Ricardo. **A economia circular chega ao Brasil**. 2015. *Valor Economico*. Disponível em <<http://www.valor.com.br/opiniao/4318338/economia-circular-chega-ao-brasil>>. Acesso em 12 de março de 2017.

ASSOCIAÇÃO DOS REMANUFATURADORES DE PEÇAS AUTOMOTIVAS (APRA). **What is APRA?** 2012. Disponível em <<http://www.apra.org/About/Reman.asp>>. Acesso em 29 de abril de 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR 15296. **Veículos Rodoviários Automotivos – Componentes e Vocabulário**. Rio de Janeiro. 2006.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS REMANUFATURADORES DE AUTOPEÇAS (ANRAP). **O que é um produto remanufaturado pelo fabricante?** 2012. Disponível em: <<http://www.anrap.org.br/?page¼anrap>>. Acesso em 02 de junho de 2017.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE REMANUFATURADORES DE AUTOPEÇAS (ANRAP). **Remanufatura de produtos: Um desafio no Brasil**. 2016. Disponível em <<http://www.anrap.org.br/noticias/remanufatura-de-produtos-um-desafio-no-brasil/>>. Acesso em 14 de junho de 2017.

BARQUET, A. P. B.; GUIDAT, T.; ALMEIDA, M. J.; SELIGER, G.; ROZENFELD, H. **Service-oriented business models used by Brazilian manufacturing companies**. In The 13th International Research Symposium on Service Excellence in Management, p.10. 2013.

BASSO, Maristela. **A Economia Circular e os desafios do desenvolvimento Justificando**. 2014. Disponível em: <<http://justificando.com/2014/07/10/economia-circular-e-os-desafios-desenvolvimento/>>. Acesso em 19 de março de 2017.

BRAUNGART, M.; MCDONOUGH, W.; BOLLINGER, A. **Cradle-to-Cradle design: Creating healthy emissions – a strategy for eco-effective product and system design**. *Journal of Cleaner Production*, 15, p.1337-1348. 2007.

BRENNAN, G.; TENNANT, M.; BLOMSMA, F. **Business and production solutions: Closing loops and the Circular Economy**. In *Sustainability - Key Issues*, edited by

Helen Kopnina and Eleanor Shoreman-Ouimet, p.217-239. Earthscan from Routledge, 2015.

CONFORTO, E. V., AMARAL, D. C., da SILVA, S. L. **Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos**. 8º congresso brasileiro de gestão de desenvolvimento de produto – CBGDP 2011. Porto Alegre, RS – Brasil, 2011.

DANE, F. **Research methods**. Brooks/Cole Publishing Company: California, 1990.

EISENHART, K. **Building theories from case study research**. Academy of Management Review, 14(4), p.532–550, 1989.

EMF (Ellen MacArthur Foundation). **A new dynamic: Effective business in a Circular Economy**. UK: Ellen MacArthur Foundation. 2013.

EMF (Ellen MacArthur Foundation). **Delivering the Circular Economy: A Toolkit for Policymakers**. UK: Ellen MacArthur Foundation. 2015.

EMF (Ellen MacArthur Foundation). **Towards the Circular Economy: Accelerating the scale-up across global supply chains**. UK: Ellen MacArthur Foundation. 2014.

EMF (Ellen MacArthur Foundation). **Towards the Circular Economy: An economic and business rationale for an accelerated transition**. UK: Ellen MacArthur Foundation. 2012.

EMF (Ellen MacArthur Foundation). **Towards the Circular Economy: Business rationale for an accelerated transition**. UK: Ellen MacArthur Foundation. 2015.

EMF (Ellen MacArthur Foundation). **Towards the Circular Economy: Economic and business rationale for an accelerated transition**. UK: Ellen MacArthur Foundation. 2013.

EMF (Ellen MacArthur Foundation). **Towards the Circular Economy: Opportunities for the consumer goods sector**. UK: Ellen MacArthur Foundation. 2013.

EMF (Ellen MacArthur Foundation). **Schools of Thought: Biomimética**. Disponível em <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/schools-of-thought/Biomimética>>. Acesso em 01 de maio de 2017.

EMF (Ellen MacArthur Foundation). **Schools of Thought: Cradle-to-Cradle**. Disponível em <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/schools-of-thought/cradle2cradle>>. Acesso em 30 de abril de 2017.

ELLRAM, L.M. **The use of case study method in logistics research**. *Journal of Business Logistics*, 17(2), p.93–138. 1996.

GRAY, C.; CHARTER, M. **Remanufacturing and Product Design: Designing for the 7<sup>th</sup> Generation**. *The Centre for Sustainable Design. University College for the Creative Arts*, Farnham, UK.

GUIDAT, T. A.; BARQUET, A. P.; WIDERA, H. A.; ROZENFELD, H. B.; SELIGER, G. A. **Guidelines for the definition of innovative industrial product-service systems (PSS) business models for remanufacturing**. *The 6<sup>th</sup> CIRP Conference on Industrial Product-Service Systems*, 2014.

GUIDE Jr., V. D. R. **Production Planning and Control for Remanufacturing: Industry practice and research needs**. *Journal of Operations Management* 18(4), p.467-483. 2000

Haidar, X. C. **Biomimetics and Circular Economy**. 2016. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/305650307\\_Biomimética\\_and\\_Circular\\_Economy](https://www.researchgate.net/publication/305650307_Biomimética_and_Circular_Economy)>. Acesso em 14 de maio de 2017.

HATCHER, G.D., IJOMAH, W. L., e WINDMILL, J. F. C. **Design for remanufacture: A literature review and future research needs**. *Journal of Cleaner Production* 19(17–18): 2004–2014. doi:10.1016/j.jclepro.2011.06.019, 2011.

HAUSER, W.; R. T. LUND. 2003. **The Remanufacturing Industry: Anatomy of a Giant**. *Department of Manufacturing Engineering, Boston University, Massachusetts*. 2003.

JACOBSSON, N. **Emerging Product Strategies. Selling Services of Remanufactures Products.** 193 f. *Licentiate Dissertation - The International Institute for Industrial Environmental Economics. Lund University Sweden.* 2000.

JAZDI, N. **Cyber Physical Systems in the Context of Industry 4.0.** *Institute of Industrial Automation and Software Engineering, University of Stuttgart, Germany,* 2014.

LEVY, Y.; ELLIS, T.J. **A system approach to conduct an effective literature review in support of information systems research.** *Informing Science Journal*, v.9, p.181-212. 2006.

LIFSET, R.; GRAEDEL, T.E. **Industrial ecology: Business management in a material World.** *In P. Bansal & A.J. Hoffman (Eds).* The Oxford handbook of business and the natural environment. Oxford: Oxford Univesity Press. 2002.

LINDKVIST, L.; SUNDIN, E. **The role of Product-service Systems Regarding Information Feedback Transfer in the Product Life-cycle Including Remanufacturing.** 2016.

LUND, R. T. **Remanufacturing.** *Technology Review* 87(2): 19–29, 1984.

MCDONOUGH, W.; BRAUNGART, M. **Cradle to Cradle,** San Francisco, CA: North Point Press. 2002.

MCDONOUGH, W.; BRAUNGART, M. **The upcycle: Beyond sustainability – designing for abundance.** New York, NY: North Point Press. 2013.

MENTINK, B. **Circular Business Model Innovation: A Process Framework and a Tool for Business Model Innovation in a Circular Economy.** Master's Thesis, Delft University of Technology & Leiden University, Leiden, The Netherlands. 2014.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR (MDIC), 2010. **Consulta sobre bens remanufaturados.** Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/noticias/arquivos/2011/04/12/consulta-sobre-bens-remanufaturados-termina-nestaquarta-feira>>. Acesso em 04 de junho de 2017.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR (MDIC). **Padrões Técnicos No. 67/2006**. Brasília, DF. Brasil, 2006a.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR (MDIC). **Portaria DECEX 235/2006**. Brasília, DF. Brasil, 2006b.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR (MDIC), 13 de Maio de 1991. **Portaria DECEX 8/1991**. Brasília, DF. Brazil, 1991.

MONT, O.; DALHAMMAR, C.; JACOBSSON, N. **A new business model for baby prams based on leasing and product remanufacturing**. Journal of Cleaner Production, 14(17), p.1509–1518. 2006.

MULROW, C.D. **Systematic reviews rationale for systematic reviews**. British Medical Journal, v.309, p.597–599. 1994.

OIKO, O.T.; BARQUET, A.P.B.; OMETTO, A. **Business issues in remanufacturing: two Brazilian cases in automotive industry**. In: 18th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, Braunschweig. Proceedings of the 18th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering. 2011.

ÖSTLIN, J.; SUNDIN, E.; BJÖRKMAN, M. Business Drivers for Remanufacturing. Proceedings of CIRP Life Cycle Engineering Seminar – 15<sup>th</sup> edition, Sidney, Australia: 2008.

PALISAITIENE, J. K.; LINDKVIST, L.; SUNDIN, E. **Towards facilitating circular product life-cycle information flow via remanufacturing**. 2015.

PAULI, G. **The Blue Economy – 10 years, 100 innovations and 100 million jobs, a report to the Club of Rome**. Berlin: Paradigm. 2010.

POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS. **Lei No. 12.305/ 2010**. Presidência da República. Brasil.

SAAVEDRA, Y.M.B. **Práticas de estratégias de fim de vida focadas no processo de desenvolvimento de produtos e suas aplicações em empresas que realizam a recuperação de produtos pós-consumo**. Dissertação de mestrado. Escola de

Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção. 2010.

SAAVEDRA, Y. M. B.; BARQUET, A. P. B.; ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; OMETTO, A. R. **Remanufacturing in Brazil: case studies on the automotive sector**. Journal of Cleaner Production 53, p.267 – 276. 2013.

SCHULTE, U. G. **New business models for a radical change in resource efficiency**, Volume 9. p.43-47. 2013.

SINDICATO FLUMINENSE DOS PRODUTORES DE AÇÚCAR E ÁLCOOL (SINDAAF). 2015. **Governo Holandês discute Economia Circular em seminário com empresários**. Disponível em <<http://www.sindaaf.org.br/index.php/noticias-e-artigos/564-governo-holandes-discute-economia-circula-em-seminario-com-empresarios>>. Acesso em 22 de junho de 2017.

STAHEL, W.R. **The product-life factor**. In S.G. Or (Ed.) **An inquiry into the nature of sustainable societies, the role of the private sector**. HARC Houston, TX: The Mitchell Prizes. 1984.

STAHEL, W.R. **The performance economy**. London: Palgrave Macmillan. 2010.

STEINHILPER, R. **Remanufacturing: The Ultimate form of Recycling**. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag: 1998.

VASUDEVAN, H., KALAMKAR, V., TERKAR, R. **Remanufacturing for Sustainable Development: Key Challenges, Elements, and Benefits**. International Journal of Innovation, Management and Technology, Vol. 3, No. 1, February. 2012.

VOSS, C., TSIKRIKTSIS, N., & FROHLICH, M. **Case research in operations management**. International Journal of Operations & Production Management, 22(2), p.195–219. 2002.

WEBSTER, J.; WATSON, J.T. **Analyzing the past to prepare for the future: writing a literature review**. MIS Quarterly & The Society for Information Management, v.26, n.2, p.13-23, 2002.

YIN, R.K. **Case study research: Design and methods.** Newbury Park: Sage Publications. 1994.

ZANETTE, E.T. **A Remanufatura no Brasil e no Mundo: Conceitos e Condicionantes.** Monografia. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2008.

ZHANG, T.; SHU, J.; WANG, X.; LIU, X.; CUI, P. **Development pattern and enhancing system of automotive components remanufacturing industry in China.** Resour. Conserv. Recy. 55, p.613-622. 2011.