

# **A REMANUFATURA EM UMA INDÚSTRIA DE VEÍCULOS COMERCIAIS E OS ELEMENTOS DA ECONOMIA CIRCULAR NELE EVIDENCIADOS**

## **1 INTRODUÇÃO**

O ser humano tem progredido em um processo que tradicionalmente consome recursos naturais e gera grandes quantidades de resíduos (O'SULLIVAN; SHEFFRIN, 2003; GILJUM et al., 2009). Considerando os impactos negativos provenientes desse modelo tradicional de progresso, que não considera a assimilação do meio ambiente sobre os impactos negativos gerados (ANDERSEN, 2007), surge a Economia Circular, que busca desenvolver modelos de negócios que, por meio da circularidade de materiais, dissocia o crescimento econômico dos impactos ambientais negativos (EMF, 2015; LINDER; SARASINI; LOON, 2017).

Um dos segmentos industriais que mais cresceu no século passado foi o automotivo que, ao mesmo tempo que contribui para a geração de emprego e crescimento do PIB de muitos países, é um dos mais impactantes negativamente ao meio ambiente, já que consome grandes quantias de recursos naturais e gera resíduos diversos (GABRIEL et al., 2011; SHARMA et al., 2016; VAZ; LEZANA; MALDONADO, 2017). Os principais resíduos gerados são óleos, tintas, sucata metálica e resíduos perigosos e inertes. Cada um possui um destino, podendo ser ou não reciclado (ANFAVEA; CNI, 2012).

Dentro do setor automotivo, existe a indústria de veículos comerciais, como ônibus e caminhões, utilizados para transporte de passageiros e cargas (COM, 1985; QUINTELLA; ROCHA; ALVES, 2005). Os veículos produzidos por esse setor possuem uma durabilidade superior se comparado aos carros de passeio, mas as peças e componentes em final de vida normalmente são descartados ou, no máximo, reciclados, não retornando para a mesma cadeia de valor. Nesse sentido, a remanufatura contribui restaurando peças e componentes para a condição de novos, os retornando para o ciclo de vida para o qual foram desenvolvidos (KERR; RYAN, 2001; SAVASKAN; BHATTACHARYA; VAN WASSENHOVE, 2004). A remanufatura é uma hierarquia de circularidade de material, sendo mais benéfica em termos econômicos e ambientais se comparada à reciclagem (EMF, 2015).

A Fundação Ellen MacArthur, instituição do Reino Unido que possui diversas iniciativas em Economia Circular, propõe uma estrutura de ciclos técnicos e biológicos dentro de três princípios. O primeiro trata do consumo e da gestão de estoques de recursos no meio ambiente. O segundo detalha a hierarquia de tratamento de materiais, que são os loops de circularidade. O terceiro é sobre as externalidades (DEAN; MCMULLEN, 2007), que podem ser positivas ou negativas. Nessa estrutura, a remanufatura é um dos loops de circularidade do princípio 2 no ciclo técnico (EMF, 2015).

A questão de pesquisa deste estudo é: como a remanufatura opera na indústria de veículos comerciais e quais os elementos da economia circular que podem ser evidenciados nesse processo? O pressuposto do trabalho é que há diferentes elementos da economia circular que são presentes em uma remanufatura. Considerando a importância da Economia Circular e da remanufatura para a redução do consumo de recursos naturais e da geração de resíduos (HAAS et al., 2015; LEWANDOWSKI, 2016), o presente estudo tem como objetivo analisar um processo de remanufatura e quais os elementos da Economia Circular nesse evidenciados. O objeto de estudo foi um processo de uma companhia multinacional alemã instalada no Brasil, fabricante de veículos comerciais. O foco foi dado na remanufatura de peças e componentes do caminhão.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A economia extrativista, que é linear, não considera a capacidade do meio ambiente em absorver os rejeitos gerados em seus processos ou repor os recursos naturais extraídos. A escassez de diversos recursos e a poluição quase irreparável de diversas regiões geram questionamentos sobre a forma as atividades econômicas são tradicionalmente realizadas. Novos modelos que reduzam desperdícios são necessários e a Economia Circular surge como uma alternativa que muda o conceito de “fim-de-vida” para o de “berço ao berço”, eliminando os desperdícios de cadeias de valor por meio de um design superior de produtos e serviços (EMF, 2015; GENG; SARKIS; ULGIATI, 2016; JAWAHIR; BRADLEY, 2016; LEWANDOWSKI, 2016).

A fim de trazer caminhos para a operacionalização da Economia Circular, a Fundação Ellen MacArthur propôs uma estrutura que envolve três princípios em dois ciclos, que são o técnico e o biológico. O ciclo biológico tem em seu escopo todo o material orgânico, como alimento. O ciclo técnico trata de todos os materiais sintéticos tecnológicos, como um veículo, que é o caso do presente estudo. Por isso, é discutido nesse trabalho apenas o ciclo técnico. Considerando o ciclo técnico, o princípio 1 trata do capital natural (LIU ET AL., 2010) e recomenda o uso de energia renovável, a desmaterialização (MELLINO ET AL., 2014) de produtos e serviços e o aperfeiçoamento do fluxo de nutrientes considerando seu potencial de recuperação. O princípio 2 trata da hierarquia de materiais, sendo o compartilhamento e a manutenção (BEVILACQUA; BRAGLIA, 2000) a circularidade preferencial considerando cursos e aspectos ambientais, seguido respectivamente do reuso e redistribuição (OLIVEIRA; SILVA, 2011), da remanufatura (ZHANG; CHEN, 2015; DIENER; TILLMAN, 2015) e, em último caso, a reciclagem (SHAHBAZI ET AL., 2016; SOO; COMPSTON; DOOLAN, 2016). Por isso, um material deve ser reciclado apenas na impossibilidade de compartilhamento, reutilização ou remanufatura. O Princípio 3 envolve a externalidade de determinada cadeia de valor. Essas externalidades podem ser negativas, gerando impactos negativos aos seus stakeholders, ou positiva, trazendo benefícios. A remanufatura faz parte do princípio 2 e é uma das hierarquias de tratamento dos materiais (EMF, 2015).

A remanufatura é um processo que auxilia na promoção de sistemas circulares, em que recursos são recuperados a partir de produtos antes em final de vida. Seu objetivo é devolver ao ciclo produtivo componentes e subprodutos com características de novos (KERR; RYAN, 2001). A importância do processo de remanufatura para novos produtos tem sido reconhecido tanto na literatura quanto na prática (SAVASKAN; BHATTACHARYA; VAN WASSENHOVE, 2004), representando uma forma mais benéfica de tratamento de materiais, em termos econômicos e ambientais, do que o processo de reciclagem (EMF, 2015). Fazem parte da remanufatura as etapas de inspeção, desmontagem, limpeza, substituição ou remodelação de peças, remontagem e testes (BRISAUD; TICHKIEWITCH; ZWOLINSKI, 2006). Em uma descrição completa, a remanufatura é um processo industrial em que produtos em final de vida ou apenas desgastados são reindustrializados em condições de novos, através de processos industriais em um ambiente fabril. Nesse processo, as peças são desmontadas e, quando remanufaturáveis, são limpas, remodeladas e colocadas em um inventário. Em seguida, após a reindustrialização, acontece a remontagem e o produto resultante deverá ter um desempenho equivalente ou até superior ao original (LUND, 1983).

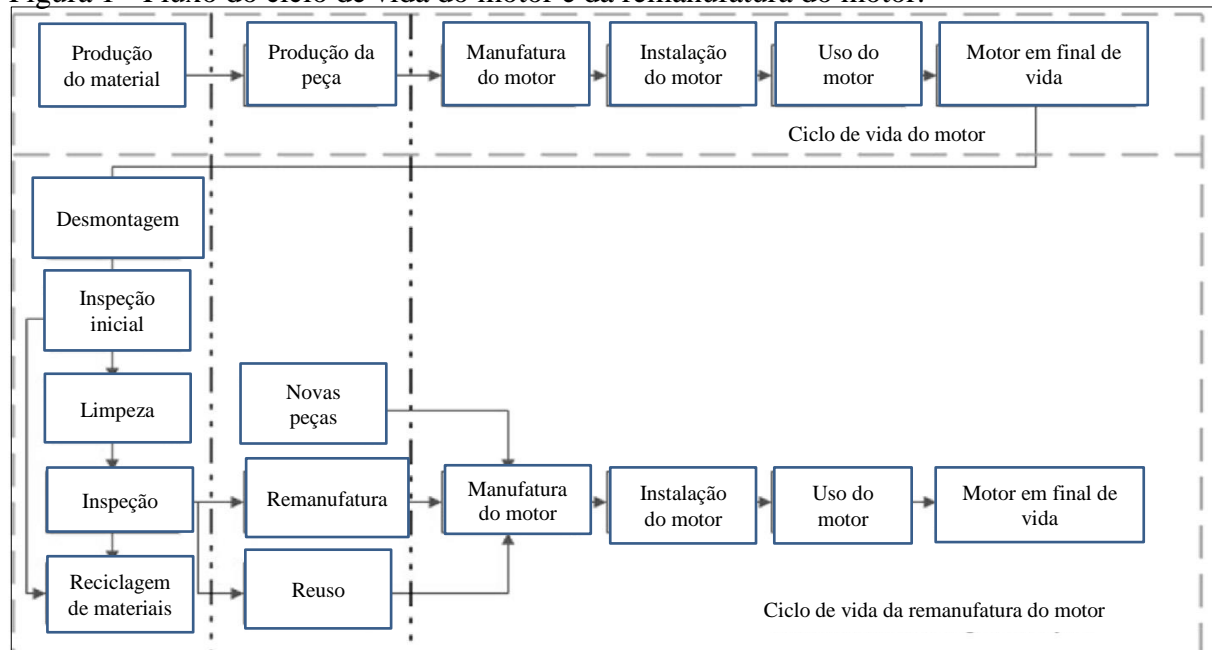
Diversas companhias estão estabelecendo sistemas produtivos que permitem tanto a manufatura de novos produtos quanto a remanufatura de usados (SAVASKAN; BHATTACHARYA; VAN WASSENHOVE, 2004). A possibilidade de circularidade por meio da remanufatura está impulsionando a indústria para uma produção mais consciente e menos impactante ao meio ambiente e, no caso de remanufaturados, fornecer ao cliente a possibilidade de aquisição de um produto usado com características de novo (JAYARAMAN; GUIDE JR;

SRIVASTAVA, 1999). Além disso, os produtos remanufaturados são atualizados para atenderem aos requisitos legais vigentes e não mais da época em que foram inicialmente fabricados (SAVASKAN; BHATTACHARYA; VAN WASSENHOVE, 2004). Considerando a perspectiva da competição de mercado, a remanufatura proporciona ao fabricante ações diferenciadas de marketing, com produtos com características de novos, muitas vezes com a mesma garantia de quando foram vendidos, e a preços diferenciados (ATASU; SARVARY; VAN WASSENHOVE, 2008; AGRAWAL; ATASU; VAN ITTERSUM, 2015).

Em países como a China, a remanufatura é uma das principais estratégias na promoção da Economia Circular (ZHANG; CHEN, 2015). Para impulsionar seu desenvolvimento, o país adotou como medidas o incentivo governamental, que estabeleceu critérios para sistemas de produção e consumo com incentivos ao mercado da remanufatura, e o direcionamento tecnológico em vista da liderança de mercado, que estimulou a indústria a estabelecer processos eficientes para remanufaturar produtos e serviços, trazendo competitividade para os que remanufaturam seus produtos (ZHANG et al., 2011). Na China até 2015, diferentes setores implementaram a remanufatura em seus processos, sendo o de motores de veículos comerciais médios e pesados o maior realizador de remanufatura, seguido pelo de motores de veículos comerciais, máquinas de construção e máquinas agrícolas, respectivamente (ZHANG; CHEN, 2015).

O fluxo do ciclo de vida da remanufatura é a continuação do fluxo de vida de um produto em final de vida. No caso do motor, por exemplo, o ciclo começa na produção do material, seguido da produção da peça, manufatura do motor, instalação, uso e condição em final de vida. A partir daí, inicia o ciclo da remanufatura do motor, que começa na desmontagem, inspeção inicial, limpeza e nova inspeção. As partes sem condições de retornar ao mesmo ciclo são enviadas para reciclagem, enquanto as outras são direcionadas ao início da remanufatura, que terá ainda como sequência a realização dos reparos, a instalação das partes e o retorno do motor ao mercado com as características de um novo produto (ZHANG; CHEN, 2015).

Figura 1 - Fluxo do ciclo de vida do motor e da remanufatura do motor.



Fonte: Zhang e Chen, 2015, p.177.

Em relação ao ciclo de vida na indústria automotiva, é possível considerar quatro fases que envolvem a remanufatura de componentes mecânicos, que são o *design* e fim de vida, o

uso e substituição, a remanufatura e, por fim, o manuseio de material sucateado. Um estudo que utilizou como método um estudo de caso com abordagem qualitativa em uma fabricante de componentes automotivos, levantou algumas características para cada uma das fases e forneceu sugestões para viabilizar a remanufatura dos materiais (DIENER; TILLMAN, 2016).

Quadro 1 - Resultados encontrados sobre a remanufatura de componentes mecânicos.

<b>Fase do ciclo de vida</b>	<b>Resultados encontrados</b>
<i>Design</i> e fim de vida	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alguns materiais, quando misturados, tornaram-se inúteis em termos de reciclabilidade, ou seja, a prática da reciclagem para eles se tornou não funcional;</li> <li>- Componentes cada vez mais complexos proporcionaram maior desempenho e maior durabilidade, mas, ao mesmo tempo, tornaram a reciclagem mais difícil e a remanufatura praticamente impossível;</li> <li>- A desmontagem e a remanufatura de muitos componentes mais novos e recém-projetados não são possíveis sem danificá-los, considerando a quantidade de material mesclado.</li> </ul>
Uso e substituição	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A quantidade de componentes substituídos durante a fase de uso do produto é similar à quantidade para veículos em final de vida;</li> <li>- Clientes, principalmente de caminhões, compram grandes quantidades de componentes. Considerando que tal público utiliza centros de manutenção especializados e separados de outros tipos de veículos, esforços para coletar os materiais substituídos e estudos sobre esse potencial são recomendados.</li> </ul>
Remanufatura	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dependendo das práticas adotadas, os componentes, como por exemplo da caixa de câmbio, são substituídos durante a remanufatura em quantidades variáveis de 1 até quase 100%. Esta variabilidade indica uma oportunidade para aumentar o controle de qualidade ou o volume de reutilização, durante o processo da remanufatura.</li> </ul>
Manuseio de material sucateado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Os componentes mecânicos dos automóveis possuem elementos que os tornam mais valiosos do que a sucata normal proveniente de outras fontes.</li> </ul>

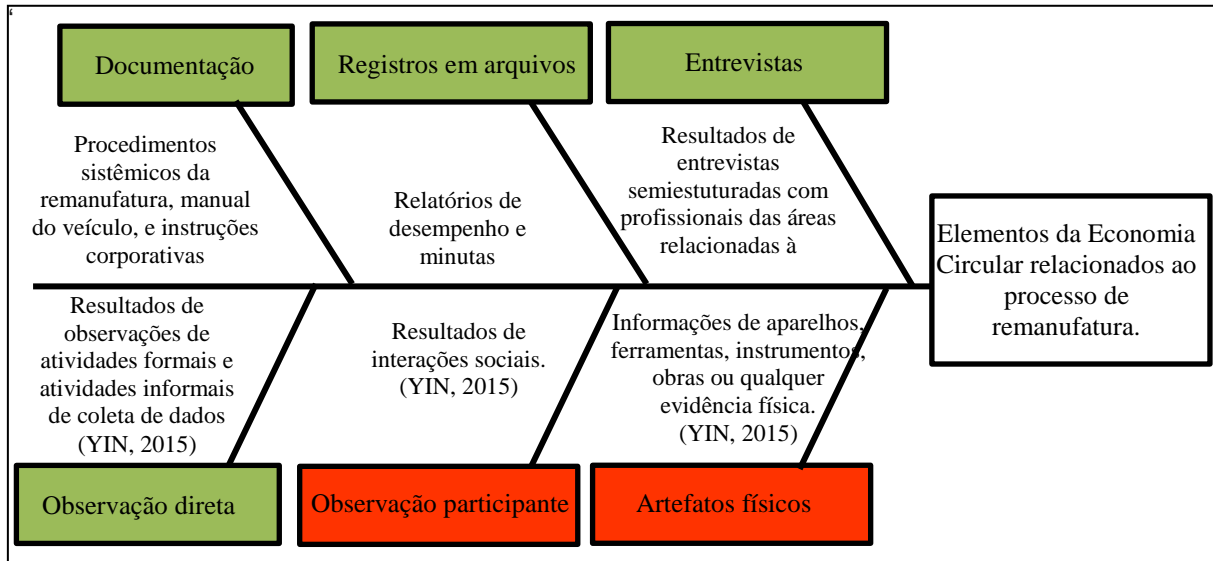
Fonte: Diener e Tillman, 2016, p.48.

Os autores forneceram duas sugestões de oportunidades para implementar a remanufatura. Uma envolve o estabelecimento de parcerias com empresas de remanufatura para levantar quais componentes são viáveis para o processo. A segunda sugestão é desenvolver componentes capazes de passar pelo processo de remanufatura em qualquer fase de seu ciclo de vida, mesmo não estando em final de vida e sim em alguma etapa de manutenção periódica (DIENER; TILLMAN, 2016).

### 3 MÉTODO DE PESQUISA

Considerando seu proecimento técnico, a abordagem do problema, a realização dos objetivos e sua natureza, esse estudo é uma pesquisa aplicada, qualitativa e descritiva, realizado com um estudo único de caso com diferentes unidades de análise. As fontes de evidências podem ser a pesquisa documental, registros em arquivos, entrevistas, observação indireta, observação participante e artefatos físicos (YIN, 2015). Para definir quais fontes de evidências que poderiam ser utilizadas nesse estudo, considerando seu objetivo, foi feito um Diagrama Ishikawa, que é uma ferramenta qualitativa para estruturar as causas potenciais e os efeitos de determinada situação (GWIAZDA, 2006). Participaram da análise do Diagrama colaboradores da companhia estudada envolvidos diretamente ou indiretamente no processo de remanufatura. Foram considerados como fontes de evidência a documentação, os registros em arquivos, as entrevistas e a observação direta.

Figura 2 - Fontes de evidência para a coleta de dados no estudo de caso.



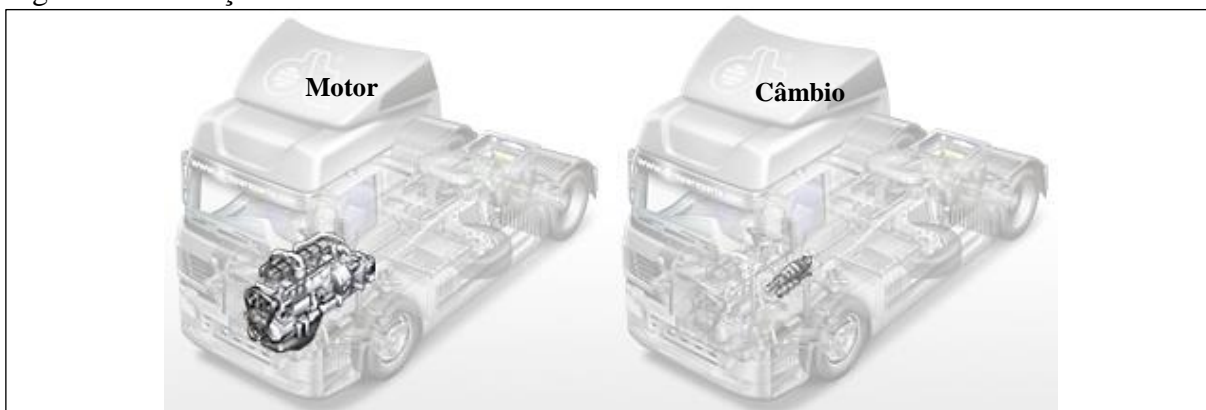
Fonte: Autores

A companhia onde ocorreu o estudo de caso é uma multinacional alemã, presente no Brasil desde 1956, fabricante de caminhões, chassis de ônibus e componentes como motores, câmbios e eixos. Além do desenvolvimento e da fabricação desses produtos, a companhia realiza a remanufatura de alguns. Fazem parte do escopo do presente estudo os componentes remanufaturados do caminhão motor e câmbio, que são os principais do processo de remanufatura da companhia.

Os dados foram analisados por meio da triangulação das diferentes fontes de evidências (BARDIN, 2011), que foram documentos, registros em arquivos, entrevistas semiestruturadas e observação direta, possibilitando compreender e inferir na aplicabilidade da estrutura do modelo delimitado. Foram estudados procedimentos sistêmicos da companhia, manuais do veículo em que as peças são remanufaturáveis, instruções corporativas de remanufatura, relatórios de desempenho operacionais e ambiental, minutas com decisões em relação à remanufatura, resultados das entrevistas semiestruturadas e resultados das observações diretas no processo produtivo da remanufatura. Grande parte dos dados foram secundários e não foram utilizadas informações confidenciais como fonte de evidência.

Um caminhão possui diferentes conjuntos de componentes conforme suas aplicações. Esses conjuntos são o motor, o sistema de arrefecimento, o combustível, o sistema de escapamento, a embreagem e o pedal, a caixa de câmbio, a transmissão, os eixos, o sistema de freio, os cubos e rodas, a suspensão, a direção, os sistemas elétricos, a cabine e a carroceria. Os dois principais componentes remanufaturados pela companhia são o motor e o câmbio. O motor é como se fosse o coração do caminhão, que transforma o combustível em energia mecânica por meio da combustão, proporcionando a movimentação do veículo. A embreagem transmite a força do motor para a caixa de câmbio, que envia essa força para outros componentes do sistema de transmissão, contribuindo para a rotação e o torque do motor até as rodas.

Figura 3 - Ilustração do motor e do câmbio no caminhão.



Fonte: DT, 2017.

Em muitos locais o termo remanufatura é confundido com outros processos, como reparação e recondicionamento. A remanufatura é uma operação de reindustrialização realizada apenas pelo fabricante do produto original. A reparação, geralmente, é a substituição de peças danificadas por qualquer operador, enquanto que o recondicionamento envolve a realização de processos de usinagem (retífica) por terceiros. Um dos incentivos aos clientes da companhia para utilizarem produtos remanufaturados é o custo reduzido e a garantia de 12 meses sem limite de quilometragem, igual a de uma peça nova. Adicionalmente, é possível utilizar uma peça usada como parte do pagamento de uma remanufaturada (MB, 2017), custando assim até 55% do valor de uma nova (MB, 2011).

Como as peças remanufaturadas podem ser vendidas apenas por intermédio das concessionárias autorizadas, a quantidade de clientes que compram no mercado paralelo, que não possui controle de impactos ambientais pela fabricante, diminuiu. Utilizando a rede de concessionárias autorizada, os veículos são tratados e mantidos em ambientes com controles operacionais como, por exemplo, bacia de contenção, gestão de insumos e destinação adequada de resíduos.

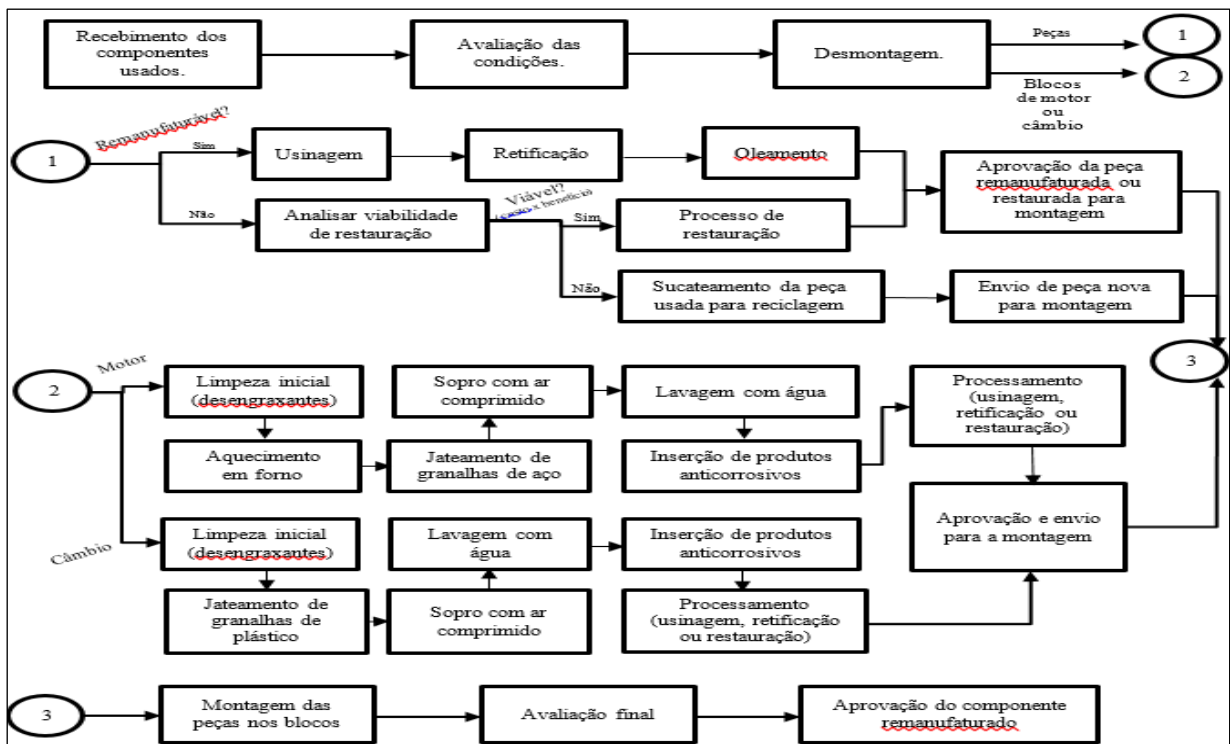
Estima-se que quase 45% do custo de produção do caminhão é proveniente de materiais, fazendo com que a remanufatura seja considerada uma estratégia com alto potencial de retorno financeiro. Existe ainda a questão da tributação governamental para a venda de remanufaturados, que é diferenciada quando o produto remanufaturado vendido é substituído por uma peça usada. Isso incentiva a realização do sistema à base de troca, promovendo inclusive a logística reversa dessas peças usadas.

O modelo de sistema à base de troca da empresa reduz a espera do cliente por peças remanufaturadas, já que a troca do usado pelo remanufaturado ocorre na própria oficina, diferente de procedimentos em que é necessário o cliente aguardar o processo de retirada da peça usada do caminhão, a aplicação da remanufatura, montagem e a disponibilização do caminhão a peça remanufaturada. Essa troca ocorre diretamente na oficina da concessionária graças à operacionalização da logística de remanufaturados, em que as concessionárias adquirem e estocam os remanufaturados em seus espaços. Para manter o menor preço possível do remanufaturado, é firmado um acordo entre fabricante e concessionária, em que a concessionária se compromete a retornar para a companhia a peça usada como base de troca e em condições de ser remanufaturada. Caso ocorra uma quebra desse acordo, é emitida uma nota de cobrança adicional ao concessionário. Esse processo incentiva o concessionário a sempre tentar adquirir as peças usadas na compensação da venda dos remanufaturados, promovendo assim uma logística reversa de peças.

Dentro da companhia, as peças a serem remanufaturadas não são obtidas apenas do mercado, por intermédio das concessionárias. Podem também ser provenientes de produtos

testados pela área de Desenvolvimento, de refugos provenientes da produção de novos caminhões ou ainda de programas de manutenção em caso de sucateamento de peças remanufaturáveis. O processo de remanufatura da companhia possui as etapas de recebimento do componente usado, a avaliação, a desmontagem, a limpeza, o processamento (que pode utilizar usinagem, dependendo da necessidade da peça), a aprovação, a montagem e, por fim, a avaliação de resultado. Tal sequência ocorre tanto para motores quanto para câmbios. Algumas especificidades existem no processo de limpeza. Como o bloco do motor é de ferro fundido, há uma etapa de aquecimento em um forno, onde as sujeiras ficam secas para serem retiradas por meio de um jateamento de granalhas de aço. No caso da limpeza do câmbio, por ser de alumínio, não passa pelo processo de aquecimento e as granalhas utilizadas são de plástico. Quando a peça usada possui um alto valor, mas a remanufatura é inviável em razão do desgaste ou da complexidade da quebra, existe a opção de encaminhamento ao processo de restauração, que é mais complexo se comparado à remanufatura, envolvendo etapas como deposição de metais e conformação térmica.

Figura 4 - Fluxo do processo da Remanufatura da companhia.

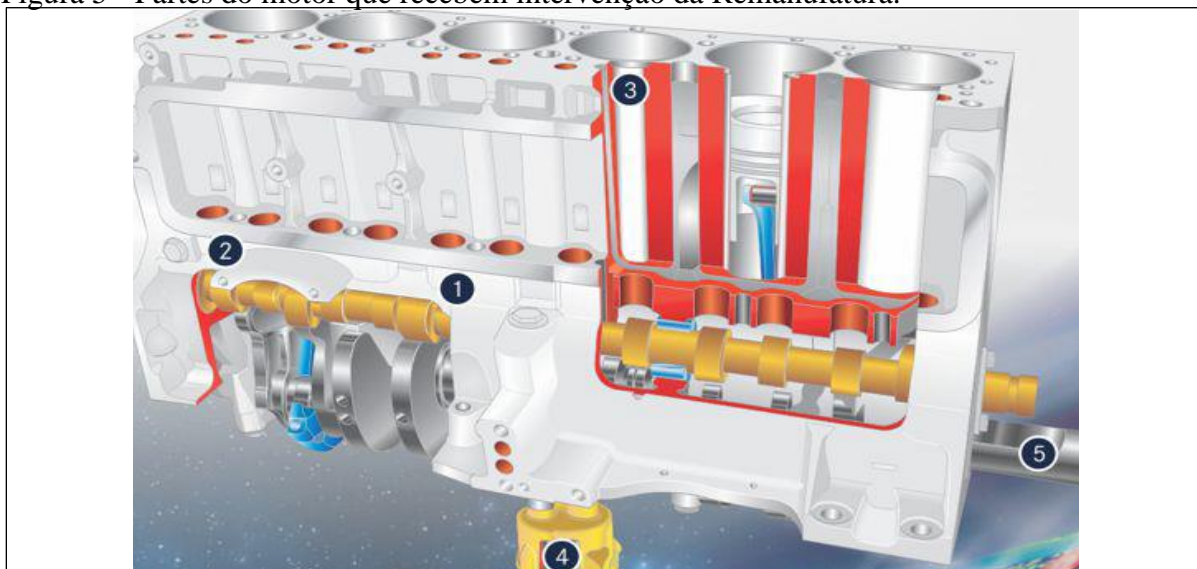


Fonte: Autores

O processo de remanufatura da companhia ocorre em um ambiente com controles operacionais dos aspectos ambientais (MB, 2017), sendo que os principais são: consumo de água, energia elétrica, líquidos desengraxantes, estopa, óleo lubrificante e as peças a serem remanufuradas, além da geração de resíduos de materiais contaminados com óleo e efluentes com óleo. Todos os consumos são monitorados e alguns, como a energia e a água, possuem metas de redução. Todos os resíduos são enviados para reciclagem, podendo ser upcycling ou downcycling. No caso dos resíduos contaminados com óleo, são enviados para remanufatura, que os transforma energeticamente em um processo considerado downcycling. Esse processo gera um custo para a companhia. Os resíduos sem contaminantes são enviados para processos de reciclagem, gerando receita pois são vendidos para companhias de reciclagem homologadas.

Como o presente estudo considerou as peças do motor e do câmbio no processo, foi feito um acompanhamento da remanufatura de cada uma. A remanufatura do motor tem como primeira etapa uma avaliação visual da peça e, nesse momento, o cliente recebe a informação dos custos da remanufatura, que pode variar conforme as condições da peça. Em seguida, o motor é enviado para a limpeza que, graças ao equipamento utilizado, atinge áreas de difícil acesso. A Figura 5 apresenta as partes do motor que recebem intervenções da remanufatura.

Figura 5 - Partes do motor que recebem intervenção da Remanufatura.



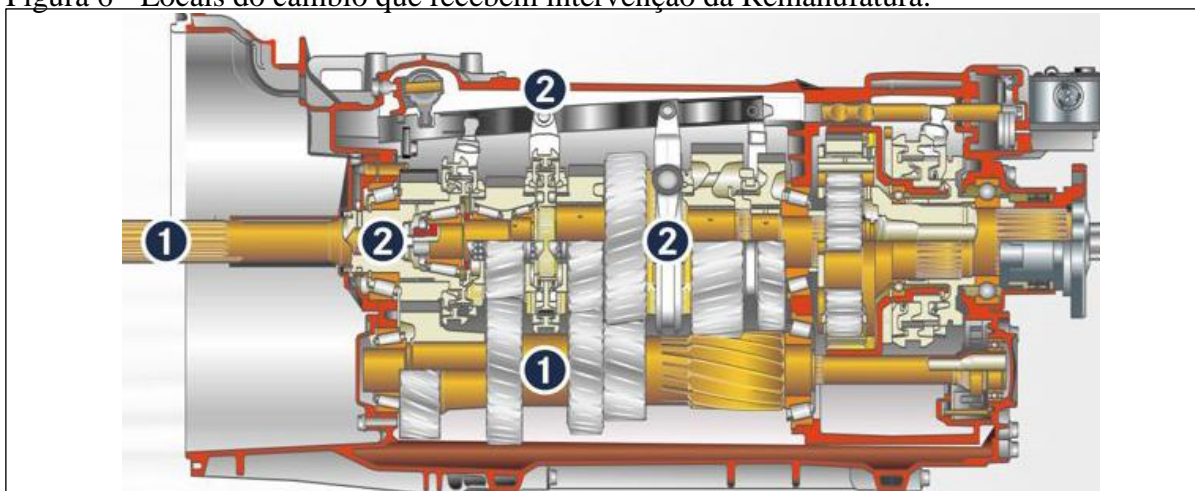
Fonte: MB, 2017.

O número 1 da figura corresponde ao bloco, virabrequim, eixo de comando de válvulas e demais peças que, após aprovação visual, são submetidas a testes para identificar possíveis falhas e imperfeições, havendo substituições por novas, se necessário. O número 2 representa os apertos, regulagens, torques e embuchamentos, que são executados com equipamentos e ferramentas especiais, por profissionais da linha de montagem, para assegurar precisão no ajuste de cada peça. O número 3 representa o brunimento controlado dos cilindros, que ocorre conforme especificações do projeto de fábrica para garantir a formação de película homogênea de lubrificação e maior vida útil ao motor remanufaturado. O número 4 se trata da bomba de óleo, submetida a testes minuciosos para garantir a pressão ideal do óleo de lubrificação em todas as galerias internas e prolongar a vida útil do motor. O número 5 é o virabrequim, 100% testado e balanceado (MB, 2017). A fase de acabamento da remanufatura de motores envolve a colocação de produtos protetivos, a pintura e o teste final, sendo finalizada com a aplicação de óleo específico para ser colocado em uma embalagem especial anticorrosão, garantindo seu estado até ser entregue ao cliente (MB, 2017).

A sequência do processo do câmbio é similar ao processo do motor. Após a inspeção visual, é realizada a limpeza, utilizando os mesmos métodos, mas com material componente, já que o câmbio é de alumínio. A Figura 6 apresenta os locais do câmbio que recebem a intervenção da remanufatura.



Figura 6 - Locais do câmbio que recebem intervenção da Remanufatura.



Fonte: MB, 2017.

O número 1 representa as carcaças, o eixo piloto, o eixo principal, as engrenagens e demais peças. Após aprovadas visualmente, as peças do número 1 são submetidas a testes para identificação de trincas e imperfeições, havendo substituição por peças novas, se necessário. O número 2 consiste nos principais itens substituídos por peças novas, que são os anéis sincronizadores, rolamentos, retentores, gaxetas, anéis *o'rings* e molas de anéis de sincronização (MB, 2017). Assim como no caso do motor, o câmbio remanufaturado recebe em seu acabamento a proteção e é pintado, sendo posteriormente testado e colocado numa embalagem em condições de ser entregue no mesmo estado ao cliente (MB, 2017).

A remanufatura possui relação com diversos processos e negócios da companhia. Graças ao projeto do caminhão, que considera a desmontabilidade e a reciclabilidade de suas peças, é possível realizar a remanufatura. Por ter condições de receber motores e câmbios em diversas condições de uso, é possível que processos como o Desenvolvimento ou a Produção, ao invés de sucatear peças obsoletas, as enviem para a remanufatura para que sejam avaliadas e, se em condições adequadas, passem pela reindustrialização e voltem para o mercado. Os programas de manutenção da companhia também podem ofertar aos clientes as peças remanufaturadas, evitando o descarte das peças usadas e a necessidade de fabricação de novas, o que consumiria matéria-prima virgem, diferentemente da remanufatura. O fato de haver o incentivo para a aquisição das peças usadas por parte das concessionárias, como base de troca pelos remanufaturados, é incentivada a logística reversa de peças que poderiam ser sucateadas ou até destinadas para locais indevidos, gerando impactos ambientais. Como as peças remanufaturadas estão disponíveis apenas em concessionárias autorizadas, o cliente é incentivado a realizar os reparos e as trocas em ambientes com controles operacionais ambientais, reduzindo riscos de impactos como vazamento de óleo em local com piso permeável ou descarte inadequado dos resíduos gerados.

Outra possibilidade de uso de produtos remanufaturados é na loja de revenda de caminhões usados, parceira da companhia fabricante, e na loja virtual de peças. Na loja de revenda, veículos que possuem motores ou câmbios em final de vida podem receber esses componentes remanufaturados, devolvendo os veículos usados ao mercado em condições de novos. No caso da loja virtual de peças, são disponibilizados diversos produtos remanufaturados, possibilitando a aquisição sem a necessidade de estoques em áreas físicas.

## 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A estrutura proposta pela Fundação Ellen MacArthur (EMF, 2015) propôs uma estrutura com três princípios e dois ciclos, que são o técnico e o biológico. O quadro 2 apresenta quais os princípios considerados no presente estudo, bem como os elementos da economia circular relacionados a cada princípio, as evidências encontradas e suas respectivas fontes.

Quadro 2 - Evidências de elementos da economia circular no processo de remanufatura.

Princípio	Elementos da Economia Circular	Evidências	Fontes de evidências
Gestão do fluxo de renováveis e de estoques	Conservação do capital natural	Redução do consumo de insumos por meio de indicadores ambientais no processo de remanufatura.	Documentação, registros em arquivos, entrevistas e observação direta.
		Redução no uso de matéria-prima virgem em remanufaturados (ferro no caso do motor e alumínio no câmbio)	Documentação, registros em arquivos, entrevistas e observação direta.
	Desmaterialização	Venda de remanufaturados na loja virtual de peça, reduzindo estoques e uso de espaço físico.	Documentação e entrevistas.
Ciclo técnico	Manutenção	Opção de utilização de peças remanufaturadas em veículos danificados	Documentação e entrevistas.
	Reuso e redistribuição	Serviço de compra e venda de seminovos nas revendedoras parceiras podem utilizar peças remanufaturadas, devolvendo ao mercado os veículos em condições de novos.	Documentação.
		Reuso de peças e componentes entre áreas dentro da companhia, sendo que as peças que poderiam ser sucateadas são avaliadas e enviadas ao processo de remanufatura.	Entrevistas.
	Remanufatura	Processo de remanufatura de peças e componentes do caminhão.	Documentação, registros em arquivos, entrevistas e observação direta.
	Reciclagem	Peças que após análise são consideradas não remanufaturáveis são encaminhadas para reciclagem.	Documentação e entrevistas.
Externalidades	Externalidade positiva	Disponibilização de remanufaturados em concessionárias, promovendo a logística reversa.	Entrevistas.

Fonte: Autores

No processo de remanufatura, foram evidenciados diferentes elementos dos princípios da Economia Circular (EMF,2015; LEWANDOWSKI, 2016). Na Conservação do Capital Natural (LIE ET AL., 2010), identificada no escopo do Princípio da gestão do fluxo de renováveis e de estoques, foi evidenciada a redução do consumo de insumos por meio de indicadores ambientais no processo de remanufatura (ZHANG; CHEN, 2015; DIENER; TILLMAN, 2015). Esses indicadores são gerenciados pela Gestão Ambiental, que requer

planos de ação do processo produtivo para que as metas de redução de consumo de insumos seja atingida. Grande parte dessas ações envolve a conduta dos colaboradores para que, em suas rotinas, utilizem o mínimo necessário de insumos para a realização de suas atividades. No elemento elemento da desmaterialização, foi evidenciada a venda de remanufaturados na loja virtual de peça, reduzindo estoques e uso de espaço físico.

No Princípio 2, que trata do ciclo técnico (EMF,2015; LEWANDOWSKI, 2016) e das hierarquias de tratamento dos materiais, há os elementos da manutenção, reuso e redistribuição, remanufatura e, por fim, reciclagem. Na manutenção foi levantado como evidencia a opção de utilização de peças remanufaturadas em veículos danificados. Tal ação ocorre em manutenções (BEVILACQUA; BRAGLIA, 2000) corretivas, uma vez que nas preventivas e preditivas não é comum haver falhas de grande complexidade. No elemento do reuso de da redistribuição (OLIVEIRA; SILVA, 2011), foram encontradas duas evidências. Uma é o serviço de compra e venda de seminovos nas revendedoras parceiras da companhia, que pode utilizar peças remanufaturadas de forma a devolver ao mercado veículos usados em condições de novos. A outra evidência é o reuso de peças e componentes entre áreas dentro da companhia. Ao invés de sucatear as peças e um processo de reciclagem em parceiros, a companhia faz uma valiação em cada peça para verificar a possibilidade de remanufatura. No caso do elemento da remanufatura (ZHANG; CHEN, 2015; DIENER; TILLMAN, 2015), a evidência considerada foi o próprio processo de remanufatura de reindustrializa diferentes peças e componentes. No presente estudo, foram considerados os motores e os câmbios, que são os remanufaturados mais representativos da companhia. O último elemento desse princípio é a reciclagem (SHAHBAZI ET AL., 2016; SOO; COMPSTON; DOOLAN, 2016). O elemento verificado foi as peças que não possuem condições de remanufatura e, por isso, são enviadas para reciclagem, em parceiros auditados e homologados pela fabricante.

O princípio 3 trata das externalidades (DEAN; MCMULLEN, 2007). O estudo encontrou como evidência a disponibilização de remanufaturados em concessionárias, promovendo a logística reversa. Essa é uma externalidade positiva, que evita que peças em final de vida sejam descartadas inadequadamente no meio ambiente.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O objetivo desta pesquisa foi analisar um processo de remanufatura e quais os elementos da Economia Circular nele evidenciados. O método de pesquisa utilizado foi um estudo de caso em uma indústria alemã, fabricante de veículos comerciais, instalada no Brasil. Foram utilizadas como fontes de evidências entrevistas semiestruturadas, observação direta, pesquisa documental e registros em arquivo. Suas escolhas se deram por meio de um Diagrama Ishikawas, que foi preenchido com o apoio de colaboradores envolvidos com o processo de remanufatura.

Foi considerado no estudo a estrutura de economia circular proposta pela Fundação Ellen MacArthur (EMF, 2015), em que há três diferentes princípios. O princípio 1 trata das entradas em um ciclo, como energias e recursos naturais. O princípio 2 envolve a circularidade dos materiais em ciclos biológicos e técnicos, e o princípio 3 é a saída, que pode gerar tanto externalidades positivas quanto negativas. Como este trabalho possui como objeto de estudo o uma fabricante de veículos comerciais, com foco em peças e componentes do caminhão, o ciclo considerado foi apenas o ciclo técnico do princípio 2.

As evidências encontradas no estudo mostraram que o processo de remanufatura não é exclusivamente vinculado ao loop de circularidade do princípio 2, também denominado Remanufatura, mas também com outros elementos da economia circular, confirmando o pressuposto de que há diferentes elementos da economia circular que são presentes em uma

remanufatura. Esses elementos são a conservação do capital natural, a desmaterialização, o reuso e a redistribuição, a reciclagem e a externalidade positiva.

A conservação do capital natural se refere à conservação da soma de todos os benefícios proporcionados pelo meio ambiente. A desmaterialização é uma alternativa para a promoção do gerenciamento de materiais renováveis e de estoques, de forma a aumentar o fluxo de bens renováveis e serviços e reduzindo o fluxo de insumos físicos não renováveis. O reuso e a redistribuição não demandam processos produtivos robustos e os produtos circulam entre usuários. A reciclagem é a última alternativa de circularidade, pois exige processos produtivos mais robustos e gera uma depreciação nos materiais reciclados. Mesmo assim, a reciclagem é uma circularidade benéfica ao meio ambiente se comparada ao descarte do material em um aterro. A processo de remanufatura, que foi objeto de estudo, possui relação com cada um desses elementos, promovendo a circularidade de peças que, por estarem em final de vida, poderiam ser descartadas.

O estudo exploratório tem como mérito abrir novas frentes de pesquisa, que podem investigar de forma quantitativa quais as vantagens econômicas em se vender produtos remanufaturados e o quão menos impactante eles são em termos de indicadores ambientais.

## REFERÊNCIAS

AGRAWAL, Vishal V.; ATASU, Atalay; VAN ITTERSUM, Koert. Remanufacturing, third-party competition, and consumers' perceived value of new products. **Management Science**, Catonsville, v. 61, n. 1, p. 60-72, jan. 2015.

ANDERSEN, Mikael Skou. An introductory note on the environmental economics of the circular economy. **Sustainability Science**, Heidelberg, v. 2, n. 1, p. 133-140, jan. 2007.

ANFAVEA – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES; CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Indústria automobilística e sustentabilidade**. Brasília: CNI, 2012.

ATASU, Atalay; SARVARY, Miklos; VAN WASSENHOVE, Luk N. Remanufacturing as a marketing strategy. **Management Science**, Catonsville, v. 54, n. 10, p. 1731-1746, ago. 2008.

BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.

BEVILACQUA, Maurizio; BRAGLIA, Marcello. The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection. **Reliability Engineering & System Safety**, Amsterdam, v. 70, n. 1, p. 71-83, out. 2000.

BRISSAUD, Daniel; TICHKIEWITCH, Serge; ZWOLINSKI, Peggy (Ed.). **Innovation in life cycle engineering and sustainable development**. Berlin: Springer, 2006.

COM - EUROPEAN COMMISSION. **Council Directive 85/347/EEC of 8 July 1985 amending Directive 68/297/EEC on the standardization of provisions regarding the duty-free admission of fuel contained in the fuel tanks of commercial motor vehicles**. Brussels: Council Directive, 1985.

DEAN, Thomas J.; MCMULLEN, Jeffery S. Toward a theory of sustainable entrepreneurship: Reducing environmental degradation through entrepreneurial action. **Journal of Business Venturing**, Amsterdam, v. 22, n. 1, p. 50-76, jan. 2007.

DIENER, Derek L.; TILLMAN, Anne-Marie. Scrapping steel components for recycling—Isn't that good enough? Seeking improvements in automotive component end-of-life. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 110, p. 48-60, jul. 2016.

EMF - ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the circular economy: Business rationale for an accelerated transition**. Isle of Wight: EMF, 2015.

GABRIEL, L. F. et al. **Uma análise da indústria automobilística no Brasil e a demanda de veículos automotores: algumas evidências para o período recente**. 2011. Disponível em: <<https://www.anpec.org.br/encontro/2011/inscricao/arquivos/000-54d87ea200247ecc320a7f5cc7ca6e2c.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2016.

GENG, Yong; SARKIS, Joseph; ULGIATI, Sergio. Sustainability, well-being, and the circular economy in China and worldwide. **Science**, Washington, v. 6278, n. Suppl., p. 73-76, mar. 2016.

- GILJUM, S. et al. **Overconsumption? Our use of the world's natural resources**. 2009. Disponível em: <<https://www.foe.co.uk/sites/default/files/downloads/overconsumption.pdf>>. Acesso em: 26 set. 2016.
- GWIAZDA, A. Quality tools in a process of technical project management. **Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering**, Gliwice, v. 18, n. 1-2, p. 439-442, set. 2006.
- HAAS, W. et al. How circular is the global economy?: an assessment of material flows, waste production, and recycling in the European union and the world in 2005. **Journal of Industrial Ecology**, Hoboken, v. 19, n. 5, p. 765-777, fev. 2015.
- JAWAHIR, I. S.; BRADLEY, Ryan. Technological Elements of Circular Economy and the Principles of 6R-Based Closed-loop Material Flow in Sustainable Manufacturing. **Procedia CIRP**, Amsterdam, v. 40, p. 103-108, fev. 2016.
- JAYARAMAN, V.; GUIDE JR, V. D. R.; SRIVASTAVA, R. A closed-loop logistics model for remanufacturing. **Journal of the Operational Research Society**, London, v. 50, n. 5, p. 497-508, maio 1999.
- KERR, Wendy; RYAN, Chris. Eco-efficiency gains from remanufacturing: A case study of photocopier remanufacturing at Fuji Xerox Australia. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 9, n. 1, p. 75-81, fev. 2001.
- LEWANDOWSKI, Mateusz. Designing the Business Models for Circular Economy—Towards the Conceptual Framework. **Sustainability**, Basel, v. 8, n. 1, p. 43, jan. 2016.
- LINDER, Marcus; SARASINI, Steven; LOON, Patricia. A Metric for Quantifying Product-Level Circularity. **Journal of Industrial Ecology**, Hoboken, v.21, n.3, p. 545-558, fev. 2017.
- LIU, S. et al. Valuing New Jersey's ecosystem services and natural capital: a spatially explicit benefit transfer approach. **Environmental Management**, Heidelberg, v. 45, n. 6, p. 1271-1285, jun. 2010.
- LUND, Robert T. **Remanufacturing, United States experience and implications for developing nations**. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 1983.
- MB. **Releases 2011**. 2011. Disponível em: <<https://www.mercedes-benz.com.br/institucional/imprensa/releases/corporativo>>. Acesso em: 02 ago. 2017.
- \_\_\_\_\_. **Serviços e Peças**. 2017. Disponível em: <<https://www.mercedes-benz.com.br/caminhões/servicos-e-pecas>>. Acesso em: 25 jul. 2017.
- MELLINO, S. et al. An emergy–GIS approach to the evaluation of renewable resource flows: a case study of Campania Region, Italy. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 271, p. 103-112, jan. 2014.
- OLIVEIRA, A. A.; SILVA, J. T. M. A logística reversa no processo de revalorização dos bens manufaturados. **REA - Revista Eletrônica de Administração**, Franca, v. 4, n. 2, jul/dez. 2011.

O'SULLIVAN, A; SHEFFRIN, S. M. **Economics: Principles in Action**. New Jersey: Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, 2003.

QUINTELLA, Heitor Luiz Murat de Meirelles; ROCHA, Henrique Martins; ALVES, Manuela Fontana. Automobile Project management: Critical success factors in product start-up. **Production**, São Paulo, v. 15, n. 3, p. 334-346, set/dez. 2005.

SAVASKAN, R. Canan; BHATTACHARYA, Shantanu; VAN WASSENHOVE, Luk N. Closed-loop supply chain models with product remanufacturing. **Management science**, Catonsville, v. 50, n. 2, p. 239-252, fev. 2004.

SHAHBAZI, S. et al. Material efficiency in manufacturing: swedish evidence on potential, barriers and strategies. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 127, p. 438-450, jul. 2016.

SHARMA, P. et al. Automobile Waste and Its Management. **Research Journal of Chemical and Environmental Sciences**, Agra, v.4, n.2, p.1-7, abr. 2016.

SOO, Vi Kie; COMPSTON, Paul; DOOLAN, Matthew. Is the Australian Automotive Recycling Industry Heading towards a Global Circular Economy?—A Case Study on Vehicle Doors. **Procedia CIRP**, Amsterdam, v. 48, p. 10-15, mar. 2016.

VAZ, Caroline Rodrigues; LEZANA, Alvaro Guillermo Rojas; MALDONADO, Mauricio Uriona. Sustainability in the automotive sector: An analysis of structured content. **Journal on Innovation and Sustainability**, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 79-103, jun/ago. 2017.

YIN, R. K. **Estudo de Caso - Planejamento e Métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

ZHANG, T. et al. Development pattern and enhancing system of automotive components remanufacturing industry in China. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 55, n. 6, p. 613-622, abr. 2011.

ZHANG, Ji-Hao; CHEN, Ming. Assessing the impact of China's vehicle emission standards on diesel engine remanufacturing. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 107, p. 177-184, nov. 2015.