

A NANOTECNOLOGIA E A RASTREABILIDADE DE PEÇAS REMANUFATURADAS DE VEÍCULOS

THE NANOTECHNOLOGY AND TRACEABILITY
VEHICLE PARTS REMANUFACTURED

DAVID TIMÓTEO CARRILHO LEITE
dvcarrilho@gmail.com

FABIO YTOSHI SHIBAO
fabio.shibao@gmail.com

MARIO ROBERTO DOS SANTOS
mario.rsantos.2013@gmail.com

GERALDO CARDOSO DE OLIVEIRA NETO
geraldoproduct@gmail.com

RESUMO

A indústria automotiva é uma das maiores indústrias mundiais e procuram inovar os seus processos, produtos e negócios por meio da tecnologia. Buscam o desenvolvimento de sistemas de produção que consumam menos recursos, de processos para o tratamento de resíduos e também para a destinação correta ao final da vida útil dos veículos (*End of Life Vehicles* [ELV]). O objetivo deste artigo foi avaliar o processo de rastreabilidade de peças remanufaturadas em uma empresa do setor de desmonte e venda de peças de veículos automotores. A empresa desenvolveu um processo de marcação para a identificação das autopeças, com a aplicação de microdots, contendo as informações exigidas pelos órgãos reguladores. As informações dos microdots são inseridas nos documentos fiscais dos produtos impossibilitando a movimentação de peças de origem duvidosa com os documentos de venda originais.

Palavras-chaves: *End of life vehicles* (ELV). Indústria automotiva. Nanotecnologia. Remanufatura.

ABSTRACT

The automotive industry is one of the world's largest industries and seeks to innovate their processes, products and businesses through technology. They seek the development of production systems that consume less resource, processes for the treatment of waste and for the correct destination at the end of the life vehicles (ELV). The aim of this study was to evaluate the traceability process of remanufactured parts in a company, from the sector of dismantling and sale of auto parts. The company developed a marking process to identify the automobiles parts, with the application of microdots, containing the information required by the regulatory agencies. The

information of the microdots is inserted in the fiscal documents of the products, making it impossible to move parts of dubious origin with the original sales documents.

Keywords: Automotive industry. End of life vehicles (ELV). Nanotechnology. Remanufacturing.

1 INTRODUÇÃO

As dimensões econômicas, sociais e ambientais são os três principais pilares do desenvolvimento sustentável. Os fatores ambientais foram considerados, principalmente, nos países desenvolvidos, enquanto nos países em desenvolvimento as questões econômicas têm sido a principal preocupação. No entanto, algumas questões, tais como a poluição do ar e da água e o aumento da consciência pública sobre esses problemas, conjugados com a escassez de recursos e as legislações internacionais, aumentaram também a importância do tema ambiental nos países em desenvolvimento (ZAREI *et al.*, 2010).

Para habilitar novas formas de desenvolvimento sustentável no ambiente empresarial, as empresas inovam em seus processos, produtos e negócios por meio da tecnologia, alterando o modo de relacionamento entre organizações, funcionários e clientes em um ambiente dinâmico que necessita de maior flexibilidade, agilidade e também de menores custos e pegada ambiental. A produção sustentável tem sido considerada como a próxima revolução industrial, em razão dos recursos ambientais finitos (YANG *et al.*, 2016).

Entre os vários setores industriais, pode-se destacar a indústria automotiva que enfrenta desafios significativos, pois os veículos são responsáveis por impactos ambientais consideráveis em todas as etapas do seu ciclo de vida: consumo de recursos, emissões para o ar e geração de resíduos durante a produção e a montagem; consumo de energia (combustível) e emissões de gases de efeito estufa e poluentes (CO₂, NO_x, partículas) durante a utilização; e, finalmente, geração de resíduos e liberação de substâncias perigosas quando no fim da vida útil (VERMEULEN *et al.*, 2011).

A indústria automotiva é uma das maiores indústrias mundiais, pois os veículos são indispensáveis na vida moderna atual (YANO; MUROI; SAKAI, 2016). As empresas buscam inovações por meio da tecnologia para o desenvolvimento de novos produtos, processos que consumam menos recursos e para o tratamento dos resíduos provenientes tanto da fabricação quanto para a destinação correta dos veículos ao final da vida útil (*End of Life Vehicles* [ELV]). Essa gestão dos produtos em fim de vida tornou-se importante por causa dos efeitos ambientais acarretados pelo aumento das quantidades de resíduos produzidos devido à crescente tendência de consumo (DEMIREL; DEMIREL; GÖKÇEN, 2016).

Os fabricantes devem adotar uma abordagem ética para assegurar que os componentes dos ELVs foram projetados com a capacidade de serem reutilizados, reciclados, recuperados ou remanufaturados, pois é nessa fase que os impactos ambientais poderão ser minimizados. Como parte desse processo, é essencial garantir que todos os veículos possam ser facilmente reutilizados sem gerar poluição ambiental (ANTHONY; CHEUNG, 2017). A recuperação dos ELVs é uma etapa significativa no ciclo de vida dos produtos e teve, como consequência, o aumento do interesse sobre o tema ambiental nos países em desenvolvimento (ZAREI *et al.*,

2010). Os ELVs, apesar de serem classificados como resíduos perigosos, são fontes potenciais de materiais recicláveis (DEMIREL; DEMIREL; GÖKÇEN, 2016).

A remanufatura é um elemento chave devido à sua efetividade no fechamento do ciclo dos fluxos de materiais, ao prolongamento do ciclo de vida do produto e à redução dos desperdícios e das emissões de produção, e é um componente importante em uma economia circular (KERIN; PHAM, 2019; SHAO *et al.*, 2019). No entanto, a tomada de decisão sobre a remanufatura de um produto é uma questão bastante complexa. Alguns fatores, tais como engenharia, mercados, econômicos e ambientais, podem afetar o sucesso de um empreendimento de remanufatura, pois são fundamentais para a manutenção rentável do negócio (YANG *et al.*, 2016).

Uma das primeiras definições de remanufatura, segundo Cooper e Gutowski (2017), foi proposta por Lund (1984) como um processo industrial em que produtos desgastados são restaurados, desconstruindo o produto, limpando e recondicionando os componentes utilizáveis e remontando com novas peças, se necessário. O conceito 'remanufaturar' está dentro da estrutura prática de economia circular conhecida como 6R (reduzir, reutilizar, reciclar, recuperar, redesenhar, remanufaturar) que proporciona um sistema de ciclo de vida de múltiplos produtos em circuito fechado (GHISELLINI; ULGIATI, 2020).

Na literatura, encontram-se estudos recentes sobre tratamentos de ELV tanto em países desenvolvidos, tais como Coreia do Sul e Japão, quanto em países em desenvolvimento, tais como Argentina, México, Colômbia, Brasil e China. No entanto, os processos de tratamento desses veículos no Brasil ainda não são satisfatórios, causando problemas a sociedade diante da impossibilidade de diferenciar peças remanufaturadas de boa procedência das peças provenientes dos desmanches ilegais, em razão de problemas de rastreabilidade, além dos impactos gerados ao meio ambiente, pois os resíduos não são destinados corretamente à disposição final.

Diante desse contexto, esta pesquisa pretende responder a seguinte questão: Como uma empresa que atua no processo de recuperação de ELVs melhorou o rastreamento de peças remanufaturadas?

Após essa breve introdução, na seção dois apresenta-se a fundamentação teórica; na seção três, o método de pesquisa empregado; na seção quatro, a empresa pesquisada e os resultados e na seção cinco, as considerações finais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção, serão articulados os temas referentes a *End of life vehicles* (ELV), em seguida inovação tecnológica, nanotecnologia e, posteriormente, economia circular.

2.1 *End of life vehicles* (ELV)

Os veículos são produtos complexos compostos por milhares de peças com diferentes tipos de materiais, portanto a recuperação do ELV é um processo difícil. Baseadas na qualidade das peças do ELV e nas considerações econômicas, diferentes opções de recuperação e eliminação podem ser selecionadas. Essas opções incluem reutilização, remanufatura, reciclagem

de materiais, incineração e aterro sanitário. As duas últimas opções têm efeitos ambientais mais negativos que as demais citadas (ZAREI *et al.*, 2010).

O setor automobilístico insere no mercado, milhões de veículos anualmente, das mais variadas aplicações, como, por exemplo, veículos agrícolas, de carga e, principalmente, de uso pessoal. Segundo a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2017), somando-se a frota ativa de veículos automotores em 2015 dos Estados Unidos da América (EUA), China, Japão, Rússia e Alemanha, ultrapassou-se a marca de 600 milhões de veículos. A China se destacou neste contexto, pois sua frota saltou de 37 milhões de veículos em 2006 para mais de 163 milhões em 2015, representando um aumento de 340% (ANFAVEA, 2017). Além do aumento da frota de veículos, a China também aumentou a produção que passou de 9 milhões de veículos em 2007 para mais de 28 milhões em 2016, representando um aumento de 210% no período (ANFAVEA, 2017).

No mercado automotivo brasileiro, pode-se também notar um aumento considerável da frota de veículos, passando de 24 milhões de unidades em 2006 para 43 milhões em 2015, representando um aumento em torno de 80% (ANFAVEA, 2017). Esse crescimento, tanto na China quanto no Brasil, pode ser, em parte, explicado pelo aumento da renda per capita dos países, pela necessidade de um transporte rápido e confiável, principalmente nas grandes metrópoles, e pelo simbolismo de status que o bem exerce na sociedade. Pode-se considerar o crescimento da utilização de veículos como consequência do desenvolvimento econômico desses países emergentes (CASTRO, 2012).

Em consequência do aumento da frota de veículos, milhares deles deixam as ruas por alguns fatores, tais como tempo de uso, acidentes, furtos ou roubos, trazendo algumas questões que estão sendo debatidas tanto na área acadêmica quanto na sociedade e governo, como, por exemplo: para onde esses veículos vão após saírem de circulação? Como reaproveitar ou destinar de forma correta os componentes e materiais diversos que constituem esses bens?

A importância da gestão dos ELVs nos países em desenvolvimento também está se tornando mais evidente (ZAREI *et al.*, 2010). Existe uma crescente preocupação com o impacto ambiental dos ELVs, uma vez que as quantidades de ELVs geradas aumentam e porque os resíduos gerados durante o tratamento final podem conter componentes ou compostos perigosos (VERMEULEN *et al.*, 2011).

Alguns países, tais como a Coreia do Sul e Japão, estão avaliando como resolver essas questões, desenvolvendo tratamentos sofisticados de ELV, integrando nos processos de desmontagem tecnologias de ponta, como, por exemplo, os conceitos da internet das coisas ou *Internet of Things* (IoT). Nesses países, os cuidados com os requisitos ambientais são evidentes (DESPEISSE *et al.*, 2015; YI; PARK, 2015). Segundo Yi e Park (2015), IoT pode ser entendida como uma rede de comunicações composta por um sistema de identificação independente, sensores para recolher as informações, conexões (a rede propriamente dita) e funções adicionais para controle dos dispositivos ou para usar as informações remotamente. As "coisas" são os vários dispositivos de monitoramento, tais como implantes de coração, sensores de veículos, sensores de incêndio etc.

Na Argentina, existem desmanches regulamentados que buscam prioritariamente metas econômicas. O Centro de Experimentação e Segurança Viária argentino mantém, desde 2005, um local para reciclagem de veículos, em parceria com as seguradoras que enviam os carros

que se envolveram em acidentes para serem desmontados. Tal operação não possui regras específicas para a destinação dos resíduos, até em razão da falta de legislação específica para a reciclagem. Essa operação objetiva a venda de peças recondicionadas ao mercado, visando baixar a sinistralidade das operações por meio da oferta de peças a preços vantajosos aos clientes, para que não busquem peças no mercado ilegal, mas, não tendo preocupações com os resíduos provenientes do processo (MONTEIRO *et al.*, 2015).

Nos países, tais como o Brasil e a China, encontram-se trabalhos focando o tratamento de ELV de grande porte ou de carga, como ônibus e caminhões. Nesses estudos, tanto no Brasil quanto na China, notou-se que o processo de desmontagem dos automóveis ainda sofre com o mercado ilegal pela falta de legislações efetivas que reprimam os desmanches ilegais e de processos maduros de desmontagem de ELV, que garantam a qualidade das peças recondicionadas e o descarte correto de todas as sobras provenientes desse processo (HU; WEN, 2015; MONTEIRO *et al.*, 2015).

Em termos de legislação, o Brasil tem a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelecida pelo decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010, que regulamenta a destinação dos resíduos sólidos no país (PNRS, 2010). O Estado de São Paulo (SP) tem uma legislação específica para o setor, por meio da Lei nº 15.276/2014 de 2 de janeiro de 2014, que dispõe sobre a destinação de veículos em fim de vida útil. A lei estadual estabelece mecanismos rígidos para as empresas que desejarem exercer a atividade de desmanche. Essa lei exige uma série de documentos que comprove que os sócios não estão respondendo ações criminais; instalações e equipamentos que permitam o atendimento criterioso das legislações ambientais vigentes; sistema operacional informatizado que permita rastrear as peças em todas as etapas de desmontagem, identificando a origem das peças e a movimentação do estoque até a saída, entre outras exigências (SÃO PAULO, 2014).

Essas legislações ainda não estão sendo seguidas de forma plena, sendo necessário um amplo plano para o desenvolvimento de ações que facilitem o reuso e a reciclagem de ELV em todo o território nacional (MONTEIRO *et al.*, 2015).

Peças e materiais de ELVs dão origem a redes de empresas especializadas em reutilização, recuperação e reciclagem, empresas essas com diferentes graus de desenvolvimento e de restrições, mas que, em contrapartida, oferecem oportunidades para inovações (MAZZANTI; ZOBOLI, 2006).

2.2 Inovação tecnológica

Rodrigues *et al.* (2012, p. 93) relataram que:

[...] a alta competição entre as empresas, em todos os segmentos industriais e comerciais, tem exigido constantes esforços e investimentos em inovação por parte das empresas, para manter e ampliar sua capacidade de competir e alcançar novos mercados.

Assim, a tecnologia está proporcionando para os negócios em geral um ambiente disruptivo e inovador, no qual os setores empresariais são puxados para o centro de um vortex de forma caótica, podendo colidir, desagregar e serem combinados para a criação de novos negócios totalmente diferentes dos atuais (BRADLEY *et al.*, 2015).

Segundo Souza e Bruno-Faria (2013, p. 113):

[...] o ritmo intenso em que surgem novos produtos, processos e serviços, as organizações necessitam ser capazes de gerar e implementar novas práticas, estruturas e ferramentas gerenciais, de modo a adaptar-se a novas conjunturas ou antecipar-se às alterações do ambiente externo.

Nesse cenário, produtos e serviços são destruídos e reconstruídos utilizando alguns conceitos revolucionários, tais como a Internet de Tudo ou *Internet of Everything* (IoE), que buscam conectar pessoas, processos, informações e coisas. Tal mercado, por exemplo, promete movimentar US\$ 19 trilhões até 2022 (BRADLEY *et al.*, 2015), tendo grandes *players* investindo no desenvolvimento desse setor, tal como a empresa Samsung que divulgou US\$ 1,2 bilhões em investimentos nos próximos quatro anos (SAMSUNG, 2016).

Essas soluções também geram grandes impactos nos modelos de negócios das empresas e, conseqüentemente, para toda a sociedade, como a eliminação de postos de trabalho, não só de atividades manuais como também de atividades cognitivas e de conhecimento. Essas inovações geram questionamentos como, até que ponto, o ganho de produtividade e a geração de valor por meio da tecnologia são vantajosas, pois, muitas pessoas podem perder o emprego pela substituição desses postos de trabalho por atividades automatizadas (LOEBBECKE; PICOT, 2015).

Pode-se relacionar esse conceito de inovação disruptiva por meio da tecnologia com a definição de inovação de Schumpeter em 1912, na qual ressaltou que inovação pode ser entendida como destruição criadora, isto é, a substituição de antigos produtos por novos (SCHUMPETER, 1997). Entretanto, na visão de Schumpeter é o empreendedor que inicia a inovação e os consumidores são por ele educados a desejar esses novos produtos. Nessa nova onda de inovação trazida pela tecnologia, o processo é diferente, a inovação orbita em torno do cliente, pois o cliente sabe o que quer, quando quer e como quer, forçando as organizações flexibilizarem suas operações a fim de atendê-lo de modo singular, ou então outras empresas irão atendê-lo (FURLAN, 2015).

Com essa nova realidade, competidores que identificam necessidades latentes de potenciais clientes podem entrar nos mais variados segmentos de modo rápido, sem restrições e sem nem mesmo ter experiência no setor. O aplicativo Uber, por exemplo, não foi criado por experts da indústria de taxis, mas seu conceito transformou a forma de transporte pelo mundo, por meio de compartilhamento de recursos e aproveitamento de ativos subutilizados, caminhando paralelamente com a crescente consciência ambiental da sociedade (FURLAN, 2015).

Esse novo ambiente também auxilia as empresas mitigarem os efeitos de externalidades negativas por meio de novos produtos ou negócios que eliminem os fatores prejudiciais identificados, gerando novos negócios. Externalidades essas, que podem ser definidas como efeitos colaterais de uma decisão sobre aqueles que não participaram dela, e são consideradas externalidades negativas quando os agentes econômicos interagem no mercado, gerando problemas de forma não intencional para indivíduos alheios ao processo (SOARES, 1999).

Para abordar essas externalidades, as empresas criam inovações que são classificadas, segundo a Pesquisa de Inovação (PINTEC) realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), como inovações de produto ou de processo, de caráter tecnológico, organizacional, de marketing ou referentes as ações inovativas (IBGE, 2015).

A inovação possui várias formas, não sendo padronizável, tampouco aplicada do mesmo modo nos vários tipos de negócios. Souza e Bruno-Faria (2013) concluíram que a inovação corresponde a um processo complexo que pode ser bem-sucedido ou não, em razão do alto grau de incertezas e da constante necessidade de interações coletivas entre as partes interessadas.

Diante do que foi exposto, pode-se inferir que processos inovadores serão desenvolvidos para a resolução de vários problemas na sociedade contemporânea e não será diferente quando se trata dos problemas provenientes dos resíduos gerados na ELV. Uma das prováveis soluções é o uso da nanotecnologia.

2.3 Nanotecnologia e a rastreabilidade de peças

Os ELVs podem ser monitorados e coletados porque os proprietários poderão ser identificados pelo sistema de registro do veículo (YANO *et al.*, 2014). Há vários métodos integrados às diferentes tecnologias para amparar o compartilhamento de informações sobre produtos e processos (KERIN; PHAM, 2019). Dentro desse contexto, Bowman e Hodge (2007) relataram que a nanotecnologia está sendo protagonista de diversos avanços, como, por exemplo, melhorias em diagnósticos médicos e tratamentos de saúde, fontes de energias mais eficientes, materiais mais leves e eletroeletrônicos mais rápidos, além de melhorias na segurança e rastreabilidade de produtos. A nanotecnologia é também uma das tendências emergentes mais importantes também na indústria de proteção ambiental e, particularmente, na gestão de resíduos (DERMATAS; MPOURAS; PANAGIOTAKIS, 2018).

Piscopo *et al.* (2014, p. 49) citaram que “[...] a nanotecnologia pode ser considerada como um conjunto de ações de pesquisa, desenvolvimento e inovação que são obtidas graças às especiais propriedades da matéria organizada a partir de estruturas de dimensões nanométricas”.

O IBGE (2015, p. 31) considera também que a criação ou o uso de nanotecnologia uma inovação:

[...] o estudo, design, criação, síntese, manipulação e aplicação de materiais funcionais, dispositivos e sistemas através do controle da matéria em nível nanométrico (1 – 100 nanômetros), isto é, em nível atômico e molecular, e a exploração de novos fenômenos e propriedades da matéria nesta escala. Envolve um conjunto de técnicas usadas para manipular a matéria até os limites do átomo, com vistas a incorporar materiais nanoestruturados ou nanopartículas em produtos existentes para melhorar seu desempenho, ou criar novos materiais e desenvolver novos produtos.

Ainda de acordo com Piscopo *et al.* (2014, p.44) “[...] a literatura sobre nanotecnologia ainda se encontra em crescimento, com destaque para os pontos positivos e negativos com relação à sua aplicação”. Destacaram também que diversos autores defendem a sua aplicação em várias áreas, entre os quais podem ser mencionadas: agricultura, alimentos, embalagens para alimentos, cimento e concreto, eletrônicos, inovação, comercialização, políticas de desenvolvimento.

As nanopartículas podem apresentar propriedades mecânicas, ópticas, magnéticas ou químicas distintas de estruturas macroscópicas, em grande parte, devido ao fato de terem uma grande área superficial. O aproveitamento dessas propriedades distintas é a base da nanotecnologia de materiais (QUINA, 2004).

Quina (2004) também ressaltou os benefícios que as nanopartículas podem trazer para a área de meio ambiente, tais como a prevenção de poluição ou danos indiretos ao meio ambiente como o aproveitamento mais eficiente de matérias-primas, desenvolvimento de sistemas de iluminação com baixo consumo energético e desenvolvimento de *displays* eletrônicos finos, tais como folhas de papel, sendo leves, livres de metais pesados e com menores consumos energéticos.

Porém, a nanotecnologia não possui somente benefícios. Dentre os problemas está o desconhecimento quanto ao comportamento dos compostos nanoestruturados quando são dispersos ou dispostos no meio ambiente, pois podem ser absorvidos pelos seres vivos e interferirem em ecossistemas, justamente por suas propriedades distintas dos materiais macroestruturados (QUINA, 2004). Para mensurar os problemas das nanopartículas, foi criada a disciplina de nanotoxicologia, que estuda os riscos, toxicidade e proliferação desses materiais no meio ambiente (LADIKAS *et al.*, 2015). Corroborando com essa visão, Piscopo *et al.* (2014) citaram que muitos autores criticaram a aplicação da nanotecnologia em, por exemplo: consumo de produtos à base de nanotecnologia; emprego de nanomateriais; registro de patentes; riscos associados à comunicação e opinião pública; difusão do conhecimento; investimentos; aspectos éticos; responsabilidade social corporativa; segurança do paciente; aspectos regulatórios.

Nas aplicações referentes à rastreabilidade de peças, a nanotecnologia é utilizada para realizar uma marcação única, inviolável por meio de chapas metálicas nanométricas com códigos identificadores, chamados de microdots. Essa tecnologia é utilizada em várias partes do mundo por empresas especializadas em segurança patrimonial e por empresas que necessitam de selos de garantia que assegurem suas marcas. Os produtos marcados geralmente são bens de alto valor agregado, tais como automóveis, peça de automóveis, documentos e itens de consumo de alto valor como os utensílios de luxo. Atualmente essa tecnologia vem se popularizando e sendo disseminada para outros produtos, tais como produtos farmacêuticos e eletroeletrônicos, conforme descreve a empresa NanoTag Technology em seu site (<http://www.nanotag.com.au/>).

2.4 Economia circular

Em uma sociedade em que o consumo excessivo, o aumento de resíduos e as emissões ambientais ocasionam sérios problemas ambientais, a economia circular (EC) ganhou atenção como uma maneira promissora de otimizar a utilização de recursos, aumentar a sustentabilidade global e pode ser praticada de diferentes maneiras (SVENSSON; FUNCK, 2019).

A EC promove o uso responsável e cíclico dos recursos, possivelmente, contribuindo para o desenvolvimento sustentável. Trata-se de um sistema econômico que minimiza o uso de recursos, a geração de resíduos e as emissões, e pretende mitigar os impactos negativos sem comprometer o crescimento e a prosperidade (CONG; ZHAO; SUTHERLAND, 2017; GEISSDOERFER *et al.*, 2017; GHISELLINI; ULGIATI, 2020; MORAGA *et al.*, 2019).

Embora exista alguma anuência sobre os meios e os objetivos da EC, ainda permanecem muitas questões que precisam ser resolvidas e, entre elas, a sua definição (SCHRÖDER *et al.*, 2019). A pesquisa de Kirchherr, Reike e Hekkert (2017) encontrou 114 definições e sugeriram EC como um sistema econômico, que substitui o conceito de fim de vida de produto por redução, reutilização, reciclagem e recuperação de materiais nos processos de produção, distribui-

ção e consumo. Atua em três níveis: (i) micro, relativo à produtos, empresas e consumidores; (ii) meso, envolvendo os parques eco industriais; e (iii) macro, atuando nas cidades, regiões, nações e além delas. O objetivo é alcançar o desenvolvimento sustentável, promover qualidade ambiental, prosperidade e equidade social, em benefício das gerações atuais e futuras, por meio de novos modelos de negócios e consumidores responsáveis.

As estratégias de EC podem gerar modelos de negócios inovadores que, além da preservação do produto, incentivam a intensificação do uso de produtos e desencorajam o consumo de novos produtos ou a criação de novos padrões de consumo (MORAGA *et al.*, 2019). Tem o potencial de emergir como um novo paradigma de sustentabilidade (SCHRÖDER *et al.*, 2019) e incentivar o prolongamento da vida útil do produto (VANEGAS *et al.*, 2018).

Uma das hipóteses aceitas sobre EC é que promova o crescimento econômico, crie novos negócios e oportunidades de emprego, economize nos custos de materiais, diminua a volatilidade dos preços, melhore a segurança do fornecimento e, ao mesmo tempo, reduza os impactos ambientais (KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2018).

A EC demanda que materiais, componentes e produtos sejam utilizados por mais tempo e implica em uma avaliação dos sistemas de recuperação desses recursos. Para alcançar esse objetivo, é necessário avaliar os benefícios e impactos ambientais, econômicos, sociais e técnicos e como eles são distribuídos ao longo da cadeia de produção e do tempo (IACOVIDOU *et al.*, 2017). É aceita como uma possível solução para o desenvolvimento sustentável e que seja um sistema econômico que minimize a entrada de recursos e o desperdício, as emissões de gases, e atenuar os impactos negativos sem comprometer o crescimento e a prosperidade (GEISSDOERFER *et al.*, 2017)

3 MÉTODO DE PESQUISA

Este trabalho é descrito como qualitativo, de caráter exploratório. Para a realização da pesquisa, foi desenvolvido um estudo de caso, pois o estudo pode ser definido como tendo um enfoque contemporâneo da realidade, em razão de a empresa escolhida ser a primeira a desenvolver um processo por meio de nanotecnologia em seu segmento (YIN, 2010).

Segundo Yin (2010), cada estratégia de pesquisa possui suas vantagens e desvantagens, sendo importante a análise do tipo de questão de pesquisa, o controle que o pesquisador possui sobre os eventos comportamentais que serão estudados e se o foco do trabalho será de evidências históricas ou de eventos contemporâneos.

O estudo de caso é recomendado quando a questão de pesquisa visa responder como e por que algo ocorreu, quando o estudo não exige o controle sobre eventos comportamentais e quando são analisados eventos contemporâneos inseridos em algum contexto da vida real (YIN, 2010).

Uma das vantagens do uso do estudo de caso é a preservação das características holísticas e significativas dos eventos da vida real, sendo recomendado para a análise de processos organizacionais, processos administrativos e análise da maturidade de setores, ou quando se busca entender profundamente alguma situação, sendo necessários vários níveis de análise (EISENHARDT, 1989; YIN, 2010).

Outro fator considerado para a seleção do estudo de caso é porque, geralmente, o processo de inovação é complexo e multidimensional, sendo necessárias metodologias qualitativas para o detalhamento pleno do processo de inovação (MOREIRA; QUEIROZ, 2007).

A pesquisa foi desenvolvida seguindo as cinco etapas sugeridas por Stuart *et al.* (2002): (i) definição da questão de pesquisa; (ii) desenvolvimento do instrumento e seleção do local; (iii) coleta de dados; (iv) análise dos dados; e (v) disseminação dos resultados da pesquisa.

Para a execução desta pesquisa, foram realizadas observações diretas por meio de duas visitas na unidade fabril da empresa, análise documental por intermédio do site corporativo e documentos internos e duas entrevistas semiestruturadas com os gestores da operação.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A empresa objeto do estudo de caso, Renova Ecopeças, aqui denominada Renova, possui uma operação comercial de desmanche legal na cidade de São Paulo, Estado de São Paulo. A empresa atua em conformidade com a legislação vigente, possuindo toda a documentação e infraestrutura fabril necessária para atender os requisitos de segurança, ambiental e de rastreabilidade de peças em toda a operação. A empresa foi escolhida por facilidade de acesso tanto às informações e a realização das entrevistas para o desenvolvimento da pesquisa quanto as visitas às instalações industriais.

A empresa divulga em seu site (<http://www.renovaecopecas.com.br/>) a destinação de alguns itens originados da desmontagem dos veículos, como, por exemplo: (i) vidros são usados na fabricação de garrafas; (ii) peças plásticas para a fabricação de partes plásticas de outros veículos; (iii) pneus para a fabricação de asfalto, piso para quadra de esportes e solados de borracha; (iv) óleo para a produção de óleo mineral básico refinado; (v) peças de metal aviadas são prensadas e usadas na fabricação de vergalhões para a construção civil.

A Renova vem ganhando prêmios nacionais como modelo de empresa responsável com o planeta e está sendo apresentada como exemplo para alguns países, tais como a China, evidenciando novas formas para modelos de seguros verdes (HERERRO, 2015; SEGURO, 2015).

Além de ser pioneira na reciclagem e no reaproveitamento de ELV, todos os processos e parceiros envolvidos seguem um rígido padrão de responsabilidade ambiental e compromisso social (SEGURO, 2015), caracterizando como um exemplo de processo no qual a sustentabilidade foi incorporada nas dimensões de tempo, custo, qualidade e flexibilidade das operações, fator ressaltado como essencial por Seidel, Brocke e Recker (2011).

4.1 Processo operacional da Renova

Todo o processo de reciclagem e reaproveitamento de carros é baseado em oito etapas que garantem um processo sustentável, respeitando o meio ambiente e a sociedade na qual a empresa está inserida. Como somente a marcação nanotecnológica das peças é o foco do trabalho, segue uma breve descrição do processo.

A primeira etapa do processo é a verificação da documentação e procedência do veículo que será desmontado. Veículos que possuem origem duvidosa ou não possuem a documentação completa são descartados automaticamente. A segunda etapa é a baixa da documentação do carro no órgão responsável, o Departamento Estadual de Trânsito (DETRAN). Essa baixa define que o automóvel deixa de ser um objeto único, sendo classificado como um conjunto de peças que pode ser desmontado.

A terceira fase se caracteriza como descontaminação e preparação, na qual todos os fluidos, óleos e gases são retirados de forma segura, sem contaminar o meio ambiente. Tais fluidos são destinados a empresas especializadas em reciclagem, possuidoras de licença de operação para tal atividade devidamente aprovada pelos órgãos competentes, tal como a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB).

Na quarta etapa, acontece a desmontagem, processo esse que demanda 2,5 horas em média. São desmontadas as peças móveis de lataria, tapeçaria, vidros, componentes mecânicos, itens de segurança, eletrônicos e monobloco. A carcaça é direcionada para uma prensa que amassa cinco carros em blocos de aço de 1 metro cúbico e esse material é destinado às siderúrgicas parceiras.

A quinta etapa é realizada a classificação e distinção das peças desmontadas: peças em ótimas condições são classificadas na categoria A, peças que necessitam de algum reparo são classificadas como B e peças sem condições de reaproveitamento são classificadas como C. Todas as peças que não podem ser recicladas, em razão de legislações específicas, também são classificadas como C, como itens de segurança e baterias. Tais peças são enviadas aos fabricantes originais para que sejam recicladas.

Para garantir a rastreabilidade e procedência das peças, são incorporadas duas etiquetas com QR CODES, um tipo de código de barras bidimensional que carrega informações sobre a procedência do veículo que originou a peça, toda documentação proveniente do processo e fotos do veículo original. Todos esses dados são acessados por meio da leitura do QR CODE, por intermédio de um aplicativo que pode ser instalado em qualquer smartphone.

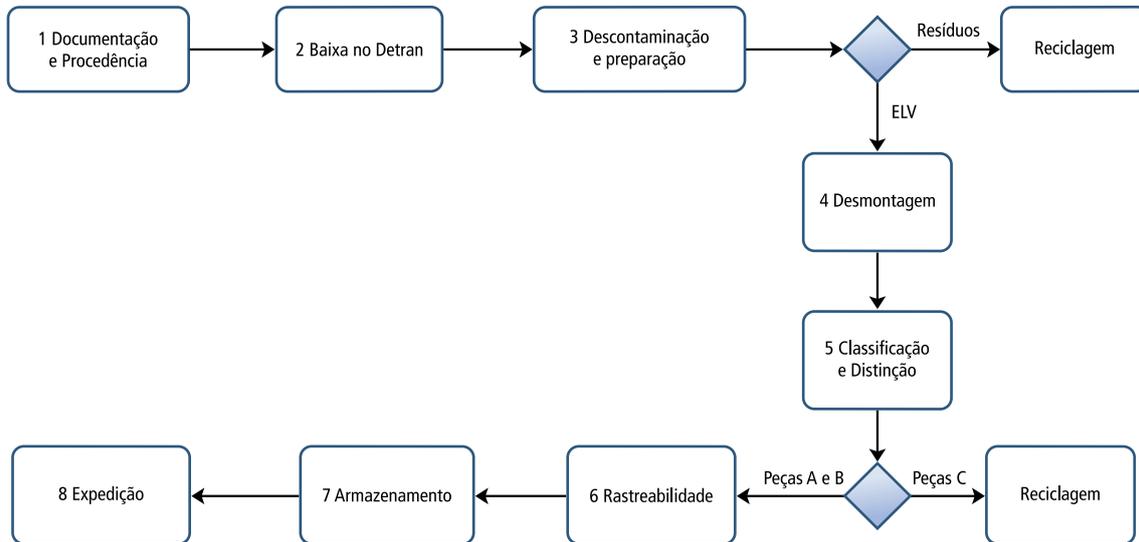
A primeira etiqueta é referente ao processo produtivo da Renova, sendo utilizada tanto para o rastreamento interno da peça no ambiente fabril, por meio do sistema operacional informatizado, quanto para a consulta das informações após a venda. A segunda etiqueta se refere ao processo do órgão regulamentador, na qual os dados são semelhantes aos apresentados na primeira etiqueta. Após a inserção das etiquetas, a marcação nanotecnológica é realizada, o processo e os motivos para essa marcação diferenciada serão descritos detalhadamente mais adiante.

Após a marcação, ocorre, no sétimo passo, o armazenamento das peças no estoque de vendas. As peças são separadas e catalogadas de acordo com a marca, modelo, ano do veículo e tipo de peça, que pode ser A ou B, conforme visto no quinto passo. Já as peças C são descaracterizadas e armazenadas em contêineres, para serem destinadas aos fabricantes ou empresas especializadas na reciclagem desses componentes.

No oitavo passo, as peças são expostas para o público por meio de vendas via site da empresa. Quando uma venda é efetuada, a peça é separada, é gerado um certificado de qualidade e emitida a nota fiscal com os mesmos dados das etiquetas de controle e marcações nanotecnológicas, a fim de fechar o ciclo de rastreabilidade das peças e seu documento fiscal.

A Figura 1 mostra, de forma simplificada, o processo anteriormente descrito.

Figura 1 – Fluxo do processo operacional



Fonte: Elaborado pelos autores

A seguir, são relatados os motivos que levaram o desenvolvimento da marcação nanotecnológica e o processo de leitura dessas marcações.

4.2 Marcação com microdots

O que motivou a Renova desenvolver essa marcação diferenciada de suas peças, foi a preservação da marca diante dos problemas que ocorrem no comércio de desmanches e venda de peças no mercado brasileiro. Por não existir uma fiscalização efetiva de todas as operações de desmanches do território nacional, haviam intermediadores que efetuavam compras de peças legalmente da empresa e utilizavam os documentos fiscais para movimentar no mercado ilegal, pois não possuía vínculo entre a nota fiscal e as peças que foram vendidas, apesar das etiquetas de controle, pois os intermediadores poderiam alegar que tiravam as etiquetas no momento de compra. Sendo assim, peças de origem duvidosa poderiam ser movimentadas com as notas fiscais da empresa.

Para resolver esse problema, a empresa desenvolveu uma marcação que consiste na aplicação de microdots, com as mesmas informações das etiquetas exigidas pelos órgãos regulamentadores. Para fechar o ciclo de rastreabilidade, as informações dos microdots também foram inseridas nos documentos fiscais da venda dos produtos, não sendo possível a movimentação de peças de origem duvidosa com os documentos de venda de peças originadas nos processos da Renova.

Para a leitura dessa marcação, a empresa conta com a tecnologia de um microscópio portátil, utilizados por uma equipe de fiscais da empresa que são acionados quando os órgãos legais necessitam verificar a procedência das peças no mercado.

4.2 Discussão dos resultados

Com o processo de marcação nanotecnológica utilizada, a Renova resolveu o problema de rastreabilidade de suas peças após a saída do complexo fabril. Esse mecanismo de rastreamento auxilia na inibição de roubo de veículos com o objetivo de desmanche e venda de peças e também a utilização dos documentos fiscais verdadeiros de uma forma ilegal. A empresa eliminou uma externalidade de seu processo de produção, pois não possibilita a utilização de os documentos fiscais originais, em compras ilícitas no comércio de peças de origens duvidosas. Kerin e Pham (2019) alertaram que para as empresas de remanufatura prosperarem, precisarão investir em sistemas com a capacidade de identificar, localizar, rastrear e interagir remotamente com produtos, agregando assim, mais valor aos produtos remanufaturados.

Em alguns países desenvolvidos, tais como Japão e Coreia do Sul, por exemplo, esse tipo de problema não é abordado nos estudos, o foco nesses países é a rastreabilidade e a mensuração do índice de reciclagem dentro dos complexos fabris. As tecnologias utilizadas mensuram o peso do ELV quando é desmontado, e toda a movimentação é controlada por meio de etiquetas de identificação por rádio frequência ou *Radio Frequency Identification* (RFID), que transmitem as informações conforme o ELV é deslocado pela linha de montagem (DESPEISSE *et al.*, 2015; YI; PARK, 2015).

O processo de marcação das peças, aqui relatado, engloba também as atividades de descontaminação e preparação dos fluidos, óleos e gases; desmontagem das peças móveis de lataria, tapeçaria, vidros, componentes mecânicos, itens de segurança, eletrônicos e monobloco; e classificação das peças desmontadas para venda, reparo ou reciclagem. Essas atividades estão dentro da definição de EC citada por Kirchherr, Reike e Hekkert (2017), visando substituir o fim de vida de produto pela sua reutilização, reciclagem e recuperação de materiais.

Outro ponto que deve ser ressaltado é que o processo de tratamento de resíduos sólidos utilizado pela Renova atende todos os pontos da legislação de descarte desse tipo de resíduo, tanto na esfera federal quanto estadual (SÃO PAULO, 2014; PNRS, 2010).

Comparando-se o processo de tratamento dos resíduos ELV da Renova com outras operações encontradas no Brasil e em outros países em desenvolvimento, pode-se notar que houve aprimoramento tanto na qualidade do processo, quanto na gestão de resíduos (HU; WEN, 2015; MONTEIRO *et al.*, 2015).

Em relação ao problema dos compostos nanoestruturados dispersos ou dispostos no meio ambiente relatado por Quina (2004), a empresa não possui problemas no descarte desses materiais, pois a utilização não é em grande escala. É utilizado um pequeno jato para a marcação dos componentes.

De uma forma geral, a remanufatura é considerada a melhor opção de recuperação de produtos, devido à qualidade do produto remanufaturado em comparação com os produtos

reparados e reconicionados, e também o seu custo é significativamente menor em relação a um novo produto (CHAKRABORTY; MONDAL; MUKHERJEE, 2019). Esse processo evidencia os benefícios ambientais, pois utilizam menos recursos, sendo o setor automotivo, um dos principais agentes desse tipo de negócio (GHISELLINI; ULGIATI, 2020).

A remanufatura é um dos fatores promotores da EC, pois tem entre os seus objetivos melhorar a eficiência no uso de recursos, para obter um melhor balanceamento e harmonia entre economia, meio ambiente e sociedade, promovendo a adoção de padrões de produção em um ciclo fechado dentro de um sistema econômico (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016; KERIN; PHAM, 2019). Oferece também oportunidades para recuperação de investimentos financeiros, energia e materiais; melhora os resultados e reduz o impacto ambiental dos produtos (CONG; ZHAO; SUTHERLAND, 2017).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção de veículos automotores vem crescendo independentemente das crises, as empresas continuam produzindo e vendendo mesmo que seja em menor volume. Esses veículos têm uma determinada vida útil, sujeita a muitas variáveis, mas após um período de uso, terão que ser descartados e com isso surgem diversos problemas como, por exemplo, a indagação de Monteiro *et al.* (2015, p. 415): "O que fazer com esses veículos depois que atingem o final da vida útil?"

Muitos desses veículos são abandonados em lugares públicos, causando problemas ambientais, outros são encaminhados para empresas de desmanches que nem sempre são idôneas e usam procedimentos incorretos para o reuso das peças desses veículos.

Dentro desse contexto, o objetivo foi responder a seguinte questão de pesquisa: Como uma empresa que atua no processo de recuperação de ELVs melhorou o rastreamento de peças remanufaturadas?

Para responder a questão de pesquisa, este estudo descreveu como uma empresa que atua no segmento de desmontagem e reuso de peças automotivas no final da vida útil dos veículos conhecido como *End of Life Vehicles* (ELV), melhorou o rastreamento de peças remanufaturadas, por meio do uso da nanotecnologia. A remanufatura é uma estratégia essencial para aumentar o uso eficiente dos recursos dentro de uma EC (KERIN; PHAM, 2019), pois os produtos em fim de vida podem ser introduzidos novamente em vários ciclos de vida, maximizando, assim, a utilidade e o valor dos componentes e materiais desses produtos (CONG; ZHAO; SUTHERLAND, 2017).

A empresa desenvolveu o processo de marcação das peças recuperadas e, posteriormente, vendidas, por meio de o sistema conhecido como microdots, que é uma marcação única e tem por objetivo assegurar a procedência do item vendido. Como todo processo produtivo, no setor de remanufatura, também é necessário monitorar os problemas de qualidade e tecnologia relacionados aos produtos, para o fornecimento transparente de informações sobre os produtos remanufaturados aos consumidores (SHAO *et al.*, 2019).

A adoção da tecnologia pela Renova possibilitou rastrear as peças recuperadas e vendidas após deixarem as suas dependências. Esse procedimento minimizou a possibilidade de terceiros utilizarem documentos fiscais emitidos pela empresa, resultantes de suas vendas, no comércio de peças de origens duvidosas.

Uma das limitações desse processo de identificação das peças pela marcação por microdots, é a dependência de uso de microscópios específicos para a identificação, o que poderá, no futuro, sobrecarregar a operação de auditoria realizada pela Renova, em lotes de procedência duvidosa encontrados no mercado.

Conforme destacaram Piscopo *et al.* (2014), o mercado brasileiro de nanotecnologia ainda não atraiu grandes empresas multinacionais, em contrapartida o país vem aumentando os investimentos nesse campo. Portanto, será interessante, em pesquisas futuras, verificar outras empresas que poderiam utilizar, ou que estão utilizando a nanotecnologia, seja nos seus processos produtivos ou em sistemas de controle.

Uma das limitações desta pesquisa é como um estudo de caso único, os resultados aqui encontrados não poderão ser considerados para outras empresas, sejam do mesmo setor industrial ou de outros setores.

REFERÊNCIAS

ANTHONY, C.; CHEUNG, W. M. Cost evaluation in design for end-of-Life of automotive components. *Journal of Remanufacturing*, v.7, n.1, p.97-111, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13243-017-0035-5>.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS - ANFAVEA. *Anuário da Indústria Automobilística Brasileira* - 2017. Disponível em: <http://www.virapagina.com.br/anfavea2017/files/assets/common/downloads/publication.pdf>. Acesso em: 17 out. 2017.

BOWMAN, D. M.; HODGE, G. A. A small matter of regulation: an international review of nanotechnology regulation. *The Columbia Science and Technology Law Review*, v.8, p.1-36, 2007.

BRADLEY, J. et al. *Digital vortex: how digital disruption is redefining industries*. 2015. Global Center for Digital Business Transformation. Lausanne. Disponível em: http://global-center-digital-businesstransformation.imd.org/globalassets/digital_vortex_full-reportv2.pdf. Acesso em: 18 set. 2016.

BRASIL. *Decreto nº 7.404*, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7404.htm. Acesso em: 18 set. 2016.

CASTRO, D. E. *Reciclagem e sustentabilidade na indústria automobilística*. Belo Horizonte, 2012.

CHAKRABORTY, K.; MONDAL, S.; MUKHERJEE, K. Critical analysis of enablers and barriers in extension of useful life of automotive products through remanufacturing. *Journal of Cleaner Production*, v.227, p.1117-1135, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.265>.

CONG, L.; ZHAO, F.; SUTHERLAND, J. W. Integration of dismantling operations into a value recovery plan for circular economy. *Journal of Cleaner Production*, v.149, p.378-386, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.115>.

COOPER, D. R.; GUTOWSKI, T. G. The environmental impacts of reuse - a review. *Journal of Industrial Ecology*, v.21, n.1, p.38-56, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/jiec.12388>.

- DEMIREL, E.; DEMIREL, N.; GÖKÇEN, H. A mixed integer linear programming model to optimize reverse logistics activities of end-of-life vehicles in Turkey. *Journal of Cleaner Production*, v.112 (part 3), p.2101-2113, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.079>.
- DERMATAS, D.; MPOURAS, T.; PANAGIOTAKIS, I. Application of nanotechnology for waste management: challenges and limitations. *Waste Management & Research*, v.36, n.3, p.197-199, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1177/0734242X18758820>.
- DESPEISSE, M. et al. Towards a circular economy for end-of-life vehicles: a comparative study UK – Japan. *Procedia CIRP*, v.29, p.668-673, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.122>.
- EISENHARDT, K. M. Building theories from case study research. *Academy of Management Review*, v.14, n.4, p.532-550, 1989. DOI: <http://doi.org/10.5465/AMR.1989.4308385>
- FURLAN, J. D. *Business transformation: construindo organizações para o século 21*. São Paulo: Amazon, 2015.
- GEISSDOERFER, M. et al. The circular economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, v.143, p.757-768, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>.
- GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, v.114, p.11-32, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>.
- GHISELLINI, P.; ULGIATI, S. Circular economy transition in Italy. Achievements, perspectives and Constraints. *Journal of Cleaner Production*, v. 243, p.1-18, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118360>.
- HERERRO, T. As empresas responsáveis com o planeta de 2015. *Revista Época*. Disponível em: <http://epoca.globo.com/colunas-e-blogs/blog-doplaneta/noticia/2015/10/empresas-responsaveis-com-o-planeta-de-2015.html>. Acesso em: 18 set. 2016.
- HU, S.; WEN, Z. Why does the informal sector of end-of-life vehicle treatment thrive? A case study of China and lessons for developing countries in motorization process. *Resources, Conservation and Recycling*, v.95, p.91-99, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.12.003>.
- IACOVIDOU, E. et al. Metrics for optimizing the multidimensional value of resources recovered from waste in a circular economy: a critical review. *Journal of Cleaner Production*, v.166, p.910-938, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.100>.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. *Pesquisa de Inovação Tecnológica 2014*. 2015. Rio de Janeiro. Disponível em: http://www.pintec.ibge.gov.br/downloads/manual_de_instrucoes_pintec_2014.pdf. Acesso em: 18 set. 2016.
- KALMYKOVA, Y.; SADAGOPAN, M.; ROSADO, L. Circular economy – From review of theories and practices to development of implementation tools. *Resources, Conservation & Recycling*, v.135, p. 190-201, 2018. DOI <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.034>.
- KERIN, M.; PHAM, D. T. A review of emerging industry 4.0 technologies in remanufacturing. *Journal of Cleaner Production*, v.237, p.1-16, 2019. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117805>.
- KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation & Recycling*, v.127, p. 221-232, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>.
- LADIKAS, M. et al. *Science and technology governance and ethics*. A global perspective from Europe, India and China. Springer International Publishing AG: Switzerland 2015. Disponível em: <http://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-319-14693-5>. Acesso em: 18 set. 2016.
- LOEBBECKE, C.; PICOT, A. Reflections on societal and business model transformation arising from digitization and big data analytics: a research agenda. *Journal of Strategic Information Systems*, v.24, n.3, p.149-157, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2015.08.002>.
- MAZZANTI, M.; ZOBOLI, R. Economic instruments and induced innovation: The European policies on end-of-life vehicles. *Ecological Economics*, v.58, n.2, p.318-337, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.06.008>.

- MONTEIRO, M. J. et al. The challenges of reverse logistics management of end-of-life vehicles in Brazil. *Business and Management Review*, v.4, Special Issue, p.414-424, 2015.
- MORAGA, G. et al. Circular economy indicators: what do they measure? *Resources, Conservation & Recycling*, v.146, p. 452-461, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.045>.
- MOREIRA, D. A.; QUEIROZ, A. C. S. Inovação: conceitos fundamentais. In: MOREIRA, D. A.; QUEIROZ, A. C. S. (Coords). *Inovação organizacional e tecnológica*. São Paulo: Thomson Learnig, p.1-22, 2007.
- PISCOPO, M. R. et al. O setor brasileiro de nanotecnologia: oportunidades e desafios. *Revista de Negócios*, v.19, n.4, p.43-63, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.7867/1980-4431.2014v19n4p43-63>.
- QUINA, F. Nanotecnologia e o meio ambiente: perspectivas e riscos. *Química Nova*, v.27, n.6, p.1028-1029, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422004000600031>.
- RODRIGUES, L. C. et al. Inovação aberta e internacionalização de negócios. *Pretexto*, v.13, n.3, p.92-107, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.21714/pretexto.v13i3.1261>.
- SAMSUNG. *Samsung shows dedication to IoT with \$1.2 billion investment and R&D*. 2016. Disponível em: <https://news.samsung.com/global/samsung-electronicsannounces-vision-for-a-human-centered-internet-of-things-planning-1-2-billion-for-u-s-research-and-development-of-iot>. Acesso em: 18 set. 2016.
- SÃO PAULO. *Lei nº 15.276/2014*, de 02/01/2014. Dispõe sobre a destinação de veículos em fim de vida útil e dá outras providências. São Paulo. Disponível em: <http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2014/lei-15276-02.01.2014.html>. Acesso em: 18 set. 2016.
- SCHRÖDER, P. et al. Degrowth within – Aligning circular economy and strong sustainability narratives. *Resources, Conservation & Recycling*, v.146, p.190-191, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.038>.
- SCHUMPETER, J. A. *A teoria do desenvolvimento econômico: uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e ciclo econômico*. São Paulo: Nova Cultural, 1997.
- SEGURO, S. *Líder da UNEP FI levará modelo da Renova Ecopeças, controlada pela Porto Seguro, como modelo de seguro verde para governo da China - Sonho Seguro*. 2015. Disponível em: <http://www.sonhoseguro.com.br/2015/09/lider-da-unesp-filevara-modelo-da-renova-ecopecas-controlada-pela-porto-seguro-como-modelo-de-seguroverde-para-governo-da-china/>. Acesso em: 18 set. 2016.
- SEIDEL, S.; BROCKE, J.; RECKER, J. C. *Call for action: investigating the role of business process management in green IS*. SIGGreen Workshop. Sprouts: Working Papers on Information Systems, v.11, n.4, p.1-6, 2011. Disponível em: https://aisel.aisnet.org/sprouts_all/432. Acesso em: 20 ago. 2017.
- SHAO, J. et al. Circular business models generation for automobile remanufacturing industry in China: barriers and opportunities. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v. ahead-of-print, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1108/JMTM-02-2019-0076>.
- SOARES, E. S. *Externalidades negativas e seus impactos no mercado*. 1999. 99 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Finanças Públicas) – Escola de Administração de Empresas de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 1999.
- SOUZA, J. C.; BRUNO-FARIA, M. D. F. Processo de inovação no contexto organizacional: uma análise de facilitadores e dificultadores. *Brazilian Business Review*, v.10, n.3, p.113-136, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.15728/bbr.2013.10.3.5>.
- STUART, I. et al. Effective case research in operations management: a process perspective. *Journal of Operations Management*, v.20, n.5, p.419-433, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(02\)00022-0](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(02)00022-0).
- SVENSSON, N.; FUNCK, E. K. Management control in circular economy. Exploring and theorizing the adaptation of management control to circular business models. *Journal of Cleaner Production*, v.233, p.390-398, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.089>.
- VANEGAS, P. et al. Ease of disassembly of products to support circular economy strategies. *Resources, Conservation & Recycling*, v.135, p. 323-334, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.06.022>.

- VERMEULEN, I. et al. Automotive shredder residue (ASR): reviewing its production from end-of-life vehicles (ELVs) and its recycling, energy or chemicals' valorization. *Journal of Hazardous Materials*, v.190, n.1-3, p.8-27, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.02.088>.
- YANG, S. S. et al. A holistic decision support tool for remanufacturing: end-of-life (EOL) strategy planning. *Advances in Manufacturing*, v.4, n.3, p.189-201, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40436-016-0149-2>.
- YANO, J. et al. Dynamic flow analysis of current and future end-of-life vehicles generation and lead content in automobile shredder residue. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, v.16, n.1, p.52-61, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10163-013-0166-1>.
- YANO, J.; MUROI, T.; SAKAI, S. Rare earth element recovery potentials from end-of-life hybrid electric vehicle components in 2010-2030. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, v.18, n.4, p.655-664, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10163-015-0360-4>.
- YI, H. C.; PARK, J. W. Design and implementation of an end-of-life vehicle recycling center based on IoT (Internet of Things) in Korea. *Procedia CIRP*, v.29, p.728-733, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.007>.
- YIN, R. K. *Estudo de caso: planejamento e métodos*. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.
- ZAREI, M. et al. Designing a reverse logistics network for End-of-Life vehicles recovery. *Mathematical Problems in Engineering*, v.2010, p.1-16, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2010/649028>.