

Estratégias de Manutenção e Remanufatura em Frotas de Veículos no Contexto da Economia Circular: Uma Análise Financeira e Operacional¹

Maintenance and Remanufacturing Strategies in Vehicle Fleets within the Circular Economy Context: A Financial and Operational Analysis

Recebimento: 30/12/2024 - Aceite: 17/09/2025 – Publicação: 27/10/2025

Processo de Avaliação: Double Blind Review – <https://doi.org/10.22567/rep.v14i2.1079>

Gabriel Henrique Cattozzi

gabriel.cattozzi@hotmail.com.

<https://orcid.org/0009-0003-2022-0588>

Universidade Presbiteriana Mackenzie de Campinas.

Aline Sacchi Homrich

alinesacchihomrich@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-1597-206X>

Faculdade Inaciana Padre Sabóia de Medeiros -FEI

Raquel Gama Soares de Mello

raquel.mello@mackenzie.br

<https://orcid.org/0000-0003-3455-6077>

Universidade Presbiteriana Mackenzie de Campinas.

Marlucy Godoy Ricci

marlucy.ricci@mackenzie.br

<https://orcid.org/0000-0001-5418-7972>

Universidade Presbiteriana Mackenzie de Campinas.

Marly Monteiro de Carvalho

marlymc@usp.br

<https://orcid.org/0000-0003-0119-5316>

Escola Politécnica - Universidade de São Paulo (POLI/USP)

¹ Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro por meio de bolsa de estudo e incentivo à pesquisa (processo PNPd/CAPES 88887.466959/2019-00). Adicionalmente, agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo Projeto da Chamada Universal CNPq/MCTI Nº 10/2023 (Processo No. 405914/2023-7), para o desenvolvimento deste trabalho.

Sânia da Costa Fernandes

saniafernandes@usp.br

<https://orcid.org/0000-0001-5474-4433>

Escola de Engenharia de São Carlos na Universidade de São Paulo

RESUMO

A crescente preocupação com a sustentabilidade e economia circular tem impulsionado a busca por maior eficiência no uso de recursos e redução de emissões em frotas de transporte e carga. Contudo, ainda há uma resistência na adoção de estratégias de manutenção e remanufatura por empresas e consumidores. Tais estratégias são, muitas vezes, associadas como soluções de alto custo e de resultados a longo prazo incertos. O objetivo deste estudo é analisar a influência da adoção das estratégias de manutenção e remanufatura nas variáveis de custos e disponibilidade de veículos. Para tanto, foi realizado um estudo de caso para coletar e analisar dados sobre o histórico de manutenção e remanufatura de uma frota de veículos movidos a diesel. Os resultados indicam que a gestão eficaz da manutenção corretiva e preventiva são primordiais para a redução de custos, o aumento da disponibilidade dos veículos e a estabilidade da previsão orçamentária. Adicionalmente, o uso de peças remanufaturadas influencia na redução do tempo de reparo, aumenta a eficiência em custos dos processos de manutenção e colabora com a vertente ambiental de reaproveitamento de recursos, alinhando-se aos princípios da economia circular e promovendo maior sustentabilidade econômica e ambiental.

Palavras-chave: manutenção, remanufatura, desempenho financeiro, desempenho operacional, economia circular

ABSTRACT

The growing concern on sustainability and circular economy has driven the efforts for greater efficiency in the use of resources and the reduction of emissions in transportation and cargo fleets. However, there is still resistance to the adoption of maintenance and remanufacturing strategies by companies and consumers. These strategies are often associated with high-cost solutions and uncertain long-term results. The aim of this study is to analyse the influence of adopting maintenance and remanufacturing strategies on the variables of vehicle costs and availability. To achieve this, a case study was conducted to collect and analyse data on the

maintenance and remanufacturing history of a fleet of diesel vehicles. The findings indicate that an effective management of corrective and preventive maintenance is essential for reducing costs, increasing vehicle availability and ensuring budgetary stability. Furthermore, the use of remanufactured parts influences the reduction of repair times, increases the cost-efficiency of maintenance processes, and collaborates with the environmental aspect of reutilizing sustainable resources, aligning to the principles of the circular economy and promoting increased economic and environmental sustainability.

Keywords: Maintenance, Remanufacturing, Financial performance, Operational performance, Circular economy

1 INTRODUÇÃO

No contexto globalizado e dinâmico de produção e consumo, a demanda por soluções logísticas ágeis e eficientes cresce constantemente, impondo a necessidade de maior pontualidade, rapidez e segurança na entrega de produtos e serviços (Govindan et al., 2022; Nudurupati et al., 2021). Ao mesmo tempo, a preocupação ambiental impulsiona a necessidade de otimizar o uso de veículos de transporte ou carga em frotas, priorizando a eficiência energética e a redução de emissões (Kechagias et al., 2020). Nesse contexto, a economia circular emerge como um modelo econômico restaurativo e regenerativo que busca maximizar o valor dos recursos ao longo do ciclo de vida, com o objetivo de promover a sustentabilidade (Kirchherr et al., 2023).

Assegurar a continuidade operacional das organizações, com frotas confiáveis e disponíveis no momento e locais necessários, enquanto se adota uma perspectiva mais racional e eficiente no uso dos recursos disponibilizados, pode ser considerado o papel mais relevante da gestão de frotas. Entretanto, ainda há a necessidade de promoção de práticas empresariais alinhadas aos princípios da sustentabilidade e da economia circular, haja vista a evolução da sociedade ao adotar critérios mais sustentáveis para o consumo, a crescente pressão por práticas organizacionais e produtos que gerem menor impacto ambiental e o estabelecimento de políticas públicas que visam regulamentar e sancionar as externalidades permitidas aos setores produtivos (Gaither & Frazier, 2002; Gomes et al., 2022).

Um sistema de manutenção ativo e controlado é crucial para aumentar a vida útil dos veículos e garantir a segurança da frota (Melo & Junior, 2020; Campos & Belhot, 1994). A manutenção preventiva é imperativa, e quando negligenciada pode acarretar um efeito cascata negativo em diversos componentes do veículo, com a elevação dos custos totais de manutenção, diminuição da confiabilidade do veículo, e possibilidade de ocorrência de falhas e acidentes (Oliveira et al., 2017). Por sua vez, componentes do veículo que já estejam apresentando falhas, desgastes ou sobrecargas devem ser submetidos à manutenção corretiva (Berrade et al., 2023). Por consequência, a troca de componentes avariados é relativamente comum em um cenário de produção, consumo e descarte quando eles não possuem mais utilidade ou valor para o consumidor (Stettiner et al., 2021). Mas, ao invés de descartar um componente, a estratégia de remanufatura pode ser empregada para a promoção da circularidade (retorno ao ciclo produtivo) enquanto restabelece as funções de uma peça ou conjunto avariados para que possam voltar a operar em índices de confiabilidade e qualidade de uma peça original (Shah et al., 2010).

Apesar dos benefícios das estratégias de manutenção e remanufatura no contexto do mercado automotivo, ainda é verificada uma resistência de empresas detentoras de frotas em adotar tais estratégias (Gunasekara et al., 2020). Essa hesitação pode estar enraizada na percepção equivocada de que a implementação dessas estratégias, mesmo alinhadas aos princípios de economia circular, resultaria em custos adicionais, sem proporcionar economia em relação à aquisição de componentes novos, além de não gerar resultados duradouros e sustentáveis (Vasudevan et al. 2012).

Neste contexto, este estudo propõe-se a adotar uma abordagem orientada à tomada de decisão baseada em dados como meio para mitigar essas barreiras. Nos últimos anos, a quantidade de dados disponíveis aumentou significativamente (Mishra et al., 2018). A análise desses dados proporciona aos gestores *insights* valiosos e uma compreensão mais profunda de seus negócios, tornando o processo de tomada de decisão mais eficiente (Marr, 2015; Sanders, 2016). Desta forma, tanto os dados quanto suas análises são centrais na tomada de decisão, permitindo escolhas mais precisas e fundamentadas na realidade organizacional e de mercado. Empresas estão cada vez mais utilizando a análise de dados para otimizar operações, melhorar o planejamento, acelerar a inovação, criar valor adicional para o negócio e conquistar vantagem competitiva (Wang et al., 2016). Neste estudo, a coleta, organização e análise sistemática de dados relacionados à manutenção e remanufatura de veículos de frotas foram empregadas para

sustentar decisões estratégicas. Essa abordagem possibilitou não apenas o suporte às práticas de manutenção preventiva e corretiva, mas também a mensuração do impacto econômico e operacional dessas estratégias, contribuindo para uma gestão de frotas mais eficiente, sustentável e alinhada aos princípios da economia circular.

O objetivo deste estudo é analisar a influência da adoção das estratégias circulares de manutenção e remanufatura nas variáveis de custos e disponibilidade de veículos. O escopo do estudo se concentra em frota de veículos movidos a diesel, a partir de um estudo de caso em uma oficina mecânica especializada nesse segmento. Ao conduzir uma análise longitudinal da frota, objetiva-se compreender os efeitos de tais estratégias em dois aspectos: econômicos e de disponibilidade operacional dos veículos, considerando o fator de tempo de inatividade.

Ao oferecer dados concretos que demonstrem o potencial de economia de recursos, a contribuição deste estudo está em demonstrar que a implementação das estratégias de manutenção e remanufatura não apenas preserva recursos, sob a perspectiva da economia circular, mas também promove uma melhor gestão financeira e um uso mais eficiente ao longo do tempo. Essa abordagem pode proporcionar uma base sólida para decisões informadas em prol da promoção de estratégias ambientalmente sustentáveis e financeiramente eficientes no gerenciamento de frotas de veículos a diesel.

Este artigo está estruturado da seguinte forma: a Seção 2 fornece uma revisão abrangente da literatura, abordando as principais definições e conceitos relacionados à manutenção e remanufatura. A Seção 3 detalha a metodologia adotada na pesquisa. Na Seção 4, são apresentados e discutidos os resultados principais do estudo, oferecendo uma análise crítica das descobertas. O artigo é concluído com a Seção 5, que sintetiza as contribuições teóricas e práticas da pesquisa, bem como sugestões para pesquisas futuras.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção, os conceitos de manutenção e remanufatura de peças avariadas são abordados. A primeira parte detalha os principais tipos de manutenção adotados pelas organizações. A segunda parte explora a estratégia de remanufatura, onde peças usadas são reaproveitadas, oferecendo uma alternativa ambientalmente mais sustentável quando a substituição de peças é necessária.

2.1 Manutenção

Manutenção é a estratégia que as organizações adotam para prevenir falhas em seus equipamentos, instalações físicas e atividades. A manutenção pode ser subdividida em cinco diferentes tipos, sendo eles: (i) manutenção detectiva; (ii) manutenção corretiva não-programada, (iii) manutenção corretiva programada, (iv) manutenção preventiva, e (v) manutenção preditiva (Kardec & Nascif, 2009; Slack et al., 2009). A seguir é apresentada uma breve definição de cada tipo de manutenção no contexto do mercado automotivo, com exceção da manutenção detectiva que não faz parte do escopo deste artigo.

A manutenção corretiva é arriscada e onerosa para ser adotada como a política padrão de manutenção, pois é decorrente de falhas em que o veículo pode ser imobilizado durante dias, dependendo de variáveis como o nível de manutenção necessário, a disponibilidade e o custo de peças de reposição, além do prazo de execução da manutenção. Isso pode prejudicar a organização em termos operacionais e financeiros, impactando as relações comerciais com os clientes (Corrêa & Corrêa, 2010). A manutenção corretiva não-programada caracteriza-se pela execução de reparos em cenários de falha ou defeitos que já ocorreram, normalmente sem planejamento prévio de recursos ou tempo. Isso implica em altos custos diretos – como movimentação de pessoal, serviços emergenciais, realocação de equipamentos –, e indiretos para as organizações – como parada não-programada do transporte, atrasos em linha de produção e fluxos logísticos, comprometimento da qualidade do produto/serviço (Guimarães, Nogueira & Da Silva, 2012). Por outro lado, a manutenção corretiva programada refere-se à correção de falhas de maneira esperada, ou seja, a falha é prevista e é decidido utilizar o equipamento até o momento em que se atinja um desempenho insustentável ou que não se possa mais operar de forma segura ou eficiente. Nesse caso, os custos são geralmente menores do que a manutenção corretiva não-programada (Guimarães, Nogueira & Da Silva, 2012), pois a manutenção é antecipada e os recursos podem ser planejados de forma mais vantajosa.

A Norma Brasileira (NBR) 5462 define a manutenção preventiva como “manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item” (ABNT, 1994, p. 07). Apesar de fundamental, o plano de manutenção nem sempre é fornecido aos clientes pelas montadoras, ficando a cargo do gestor da frota o planejamento das paradas e itens a serem verificados durante as manutenções preventivas (Kardec & Nascif, 2009).

O objetivo central da manutenção preditiva é prever falhas nos equipamentos por meio de parâmetros pré-definidos, permitindo a operação contínua do veículo pelo maior tempo possível (del Castillo & Parlikad, 2024). A manutenção preditiva foca na análise da condição do veículo, auxiliando na tomada de decisão sobre o melhor momento para a intervenção, proporcionando margem para planejamento e otimização do uso dos recursos. A partir da decisão de parada do veículo, a manutenção preditiva torna-se uma manutenção corretiva programada, já planejada e com menor impacto operacional (Kardec & Nascif, 2009).

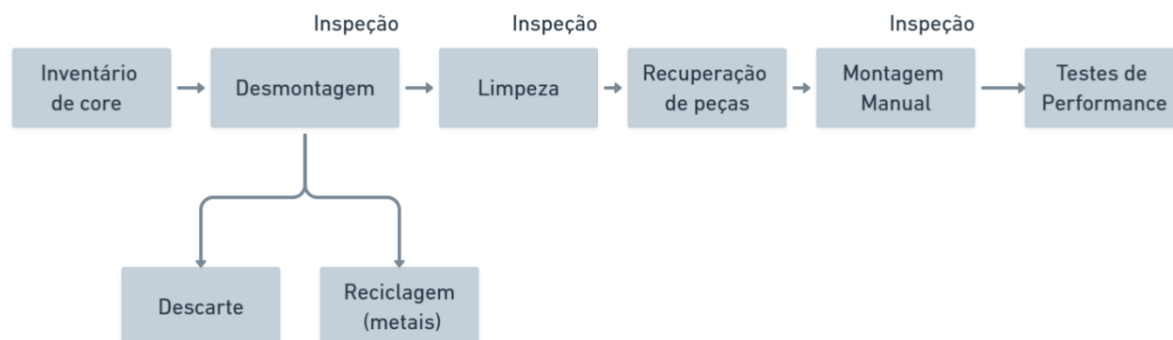
Veículos com idade avançada e manutenção preventiva e preditiva inexistente ou mal administrada tendem a gerar maiores níveis de externalidade, que são efeitos adversos de uma atividade econômica que afetam terceiros, podendo ser positivos ou negativos (Dean & McMullen, 2007). Entre as externalidades negativas, destaca-se a alta emissão de gases nocivos ao meio-ambiente, como dióxido de enxofre (SO₂) e óxido de nitrogênio (NO₂), principalmente em veículos que não atendem a norma EURO 5, vigente desde 2012, a qual estabelece motores movidos a diesel que possuam sistema especializado, como EGR (*Exhaust Gas Recirculation*) ou SCR (*Selective Catalytic Reduction*), de tratamento e redução da emissão de gases poluentes para o ambiente (Carvalho Junior & Lacava, 2023). Adicionalmente, a falta de manutenção compromete a segurança dos veículos, afetando componentes essenciais como o sistema de freios (responsáveis por desacelerar ou parar o veículo em movimento) (Hussain et al., 2020), componentes de iluminação (como lâmpadas, lanternas e faróis, que sinalizam as posições e ações do motorista), o sistema de suspensão do veículo, além de impactar em atrasos nos processos logísticos, como a não entrega de produtos dentro de um prazo programado (Kardec & Nascif, 2009).

2.2 Remanufatura de peças avariadas

Em situações em que a manutenção corretiva (programada ou não-programada) se faz necessária e que necessite de troca de peças avariadas, a alternativa por peças remanufaturadas, ou seja, em que haja reaproveitamento e restauração de peças usadas para condições equivalentes ao de uma nova, pode ser uma alternativa vantajosa a ser utilizada (Wakiru et al., 2021). A Figura 1 apresenta a síntese representativa do processo de remanufatura.

Figura 1

Estágios do processo de remanufatura



Fonte: Adaptado de Kerr & Ryan (2001) e Shafiee, Saidi-Mehrabad & Naini (2009)

No contexto da remanufatura, o *inventário core* refere-se aos componentes ou produtos usados retornados, que servem como matéria-prima essencial para o processo de reconstrução, reparo ou renovação de produtos (Wei, Tang & Sundin, 2015). Esses itens retornados são denominados "cores" e representam o núcleo do processo de remanufatura. A figura 1 evidencia que a partir dos itens do inventário core, há uma inspeção para realização da desmontagem. Na desmontagem, há partes que precisam ser descartadas (por não poderem ser reaproveitadas como mangueiras, juntas e anéis de vedação), e outras passíveis de reciclagem (como as peças metálicas) (Kerr & Ryan, 2001). A limpeza é realizada nas peças dependentes ou remanufaturáveis, normalmente por imersão em tanque com água quente e solventes, para remoção de resíduos de lubrificação ou corrosão. Esta etapa viabiliza uma avaliação técnica mais detalhada com o objetivo detectar possíveis trincas que inviabilizariam a remanufatura da peça. O processo de remanufatura é finalizado após a recuperação e remontagem do *core* remanufaturável juntamente às peças novas, o que dará origem a um produto com a mesma aplicação de um componente genuíno (Shafiee, Saidi-Mehrabad & Naini, 2009). A qualidade final deve ser igual ou superior à do produto original, mas com menor custo e impacto ambiental (Wei, Tang & Sundin, 2015).

Em outros termos, a remanufatura consiste, portanto, na desmontagem completa do produto, seguida pela revisão e atualização dos componentes defeituosos, com um último estágio de remontagem, com o objetivo de atender aos requisitos dos clientes para um novo produto (Shah et al., 2010). O processo de remanufatura, conforme ilustrado na Figura 1, envolve o reparo e troca dos componentes defeituosos, com a revisão e atualização de componentes, proporcionando uma peça restaurada que atenda aos padrões do fabricante, com

custo menor em relação à aquisição de uma peça nova (Kerr & Ryan, 2001). Os mesmos autores evidenciam a diferença entre as estratégias de remanufatura e de recondicionamento. Enquanto a remanufatura envolve a desmontagem, revisão, reparo, atualização e remontagem, o recondicionamento se limita apenas a reparar componentes avariados, remontando a peça sem a revisão dos demais componentes. Além disso, o recondicionamento não considera os requisitos originais de qualidade do fabricante, o que pode causar insegurança para o consumidor (Kerr & Ryan, 2001).

É importante salientar que a estratégia de remanufatura pode trazer benefícios tanto de sustentabilidade ambiental quanto de eficiência econômica (de Jesus Santos et al., 2023), permitindo que as peças consideradas aptas ao reaproveitamento possam ser restauradas a condições de funcionamento equivalentes às novas, o que contribui para a redução do desperdício e do consumo de recursos naturais (Shafiee et al., 2009). Essa estratégia reduz, então, a dependência de peças novas, o que é especialmente valioso em situações de escassez de recursos, restrições de tempo ou interrupções no processo de fornecimento e abastecimento da cadeia de suprimentos (Kerr & Ryan, 2001).

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

Para alcançar o objetivo deste estudo, visando coletar e analisar dados sobre o custo de manutenção da frota de veículos, o número de veículos em manutenção e a viabilidade técnica e econômica de uso de peças remanufaturadas, a pesquisa foi estruturada em duas etapas principais.

A primeira etapa consistiu em uma revisão bibliográfica sobre estratégias de manutenção e remanufatura, alinhadas ao contexto do escopo deste estudo. Essa revisão foi realizada por meio de buscas nas plataformas Web of Science e Scopus. Observa-se que a pesquisa bibliográfica propõe um novo olhar a respeito de um tema, por meio de enfoque e abordagens inovadoras (Lakatos & Marconi, 2003). Neste sentido, a parte inicial desta pesquisa teve como finalidade o aprimoramento do conhecimento sobre os conceitos e influências da manutenção e da remanufatura aplicadas a veículos de frota movidos a diesel (Sousa et al., 2021).

Na segunda etapa da pesquisa foi realizada a coleta de dados empíricos, que constituiu o estudo de caso único. Essa abordagem permitiu explorar e analisar dados reais,

complementando os achados teóricos com evidências práticas (Eisenhardt & Graebner, 1989). O estudo de caso foi selecionado como método, pois esta pesquisa aborda um problema atual, cujas condições de contorno são amplamente influenciadas por fatores contextuais (Yin, 2018). Adicionalmente, há uma necessidade de aprofundamento com relação às condições de aplicação e suas consequências (Eisenhardt & Graebner, 1989). Quanto à natureza, este estudo de caso se caracteriza como sendo exploratório, pois baseia-se na coleta e análise de dados empíricos longitudinais (Gasque, 2007).

O estudo de caso foi realizado em uma oficina mecânica especializada em veículos movidos a diesel, que está presente no mercado há sete anos e possui sede na cidade de Santa Bárbara D'Oeste, no estado de São Paulo (Brasil). A empresa investigada atua como prestadora de serviços de manutenção preventiva e corretiva, utilizando peças novas e remanufaturadas. Seu portfólio inclui uma ampla gama de clientes dos mais variados setores econômicos, e o atendimento abrange veículos de diferentes marcas, como Mercedes-Benz, Volkswagen, Ford, Iveco e Volvo. A empresa é referência em manutenções preventivas e corretivas focadas em sistemas de injeção eletrônica, sistemas de Arla 32 e mecânica geral (por exemplo, suspensão, freios, motor e transmissão). A maioria de seus clientes são empresas que possuem frotas próprias, utilizadas para a prestação de serviços ou transporte de produtos até seus clientes finais.

Os dados analisados neste estudo foram coletados a partir do histórico de manutenção de uma frota de veículos pesados pertencente a uma das empresas clientes da oficina mecânica. Tal empresa é referência no segmento de instalação e manutenção de postes, fiação e geradores para transmissão de energia elétrica. A coleta abrangeu um período de 22 meses (entre janeiro de 2022 até outubro de 2023) e foi baseada em registros históricos fornecidos pela oficina mecânica especializada.

Os veículos de linha pesada, definidos como unidade de análise no estudo de caso, são utilizados no transporte de postes, operadores e máquinas até os locais definidos para atender a demandas solicitadas. Essa frota é utilizada principalmente em projetos de instalação de novas linhas de energia em áreas de expansão residencial, comercial e industrial, bem como em zonas rurais e na renovação da infraestrutura pública. Devido à natureza do trabalho em terrenos irregulares, os veículos estão sujeitos a frequentes manutenções corretivas nos sistemas de suspensão, incluindo componentes como buchas, amortecedores, molas, terminais de direção e

batentes de cabine. A irregularidade dos terrenos também contribui para impactos significativos no sistema de arrefecimento, que abrange itens como radiador, *intercooler*, mangueiras, aditivos, válvula termostática e reservatório do líquido de arrefecimento. Isso ocorre devido às condições adversas, como presença de poeira e vegetação terrestre alta. A frota analisada tem uma idade média de 5,25 anos, sendo considerada relativamente nova pelos parâmetros brasileiros.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

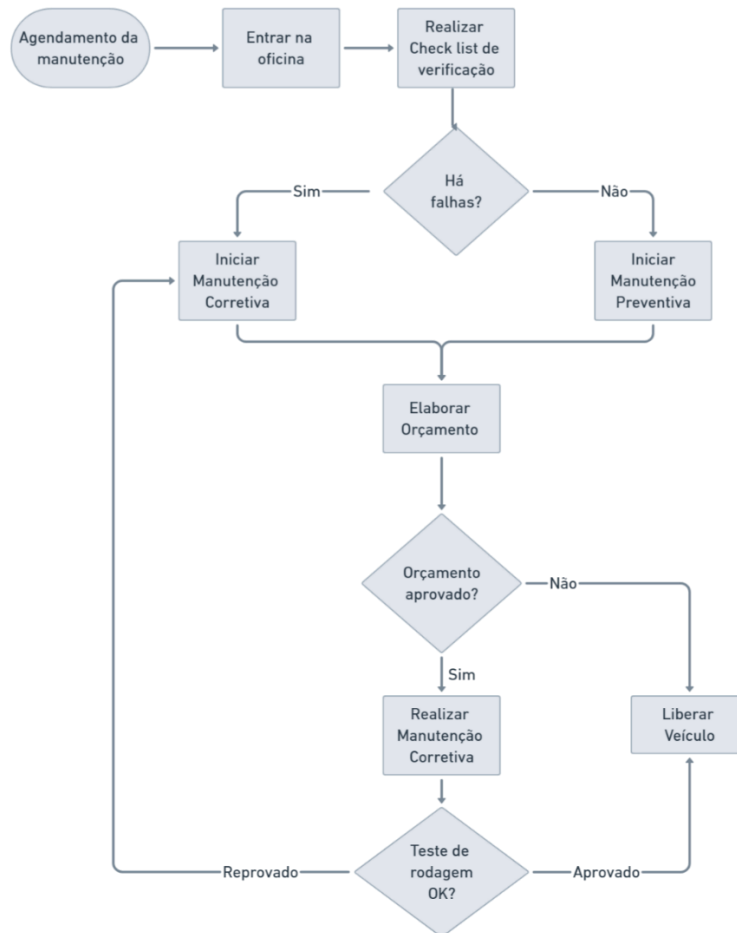
Essa seção apresenta os resultados e discussões referentes à análise financeira (custos operacionais) e operacional (disponibilidade de veículos) das estratégias de manutenção e remanufatura, com uma abordagem crítica à luz da economia circular.

4.1 Análise da adoção da manutenção

A Figura 2 ilustra o fluxograma do processo de entrada e manutenção de um veículo na base mecânica, incluindo as atividades do recebimento até a conclusão dos serviços de manutenção. Após o agendamento de manutenção, é realizado o *checklist* de manutenção, no qual são verificados itens de segurança, iluminação, níveis de óleos e fluidos, vazamentos, entre outros. Se falhas não forem verificadas, o veículo é liberado. Caso seja verificada a necessidade de ajustes e reparos, a manutenção corretiva é realizada. Em seguida, são realizados testes finais para verificar a conformidade e o funcionamento adequado do veículo. Caso o veículo seja aprovado, ele é liberado para operação.

Figura 2

Fluxograma do processo de Manutenção



Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

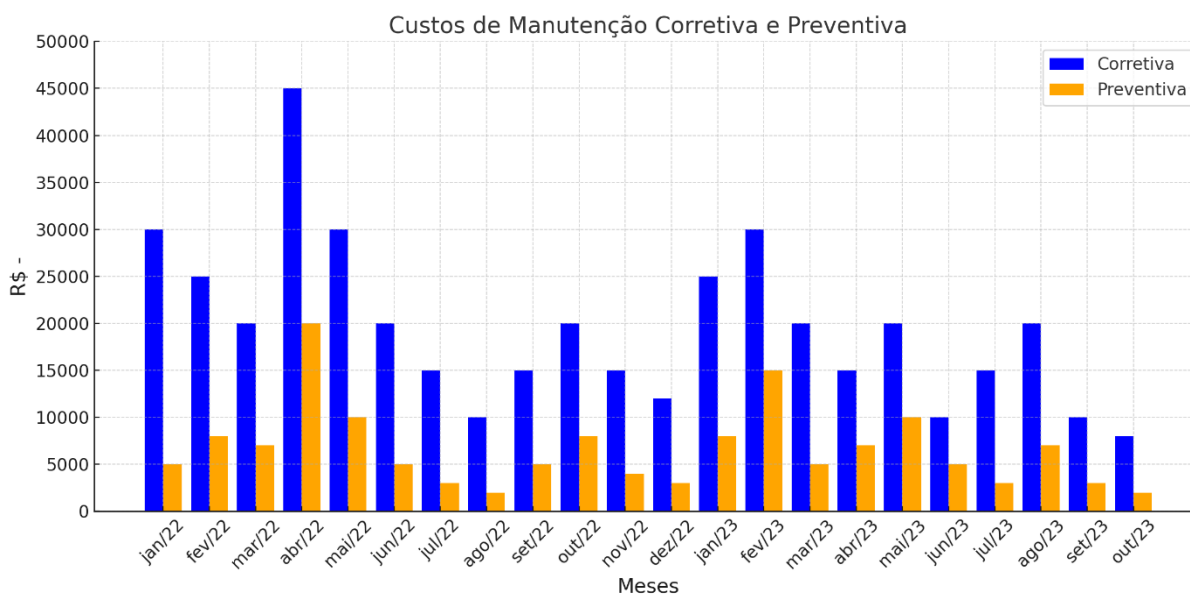
Na Figura 3, observa-se como os custos de manutenções corretivas e preventivas evoluíram ao longo dos meses, com destaque na redução significativa em custos, especialmente corretivos, entre 2022 e 2023. Os custos totais de manutenção, que incluem tanto a manutenção corretiva quanto a preventiva, apresentam uma tendência de redução ao longo do período analisado. Esse declínio indica que as ações implementadas, com a combinação de manutenção preventiva e corretiva, contribuíram para a contenção de despesas gerais de manutenção.

Conforme apresentado na Figura 3, no início do período analisado (janeiro de 2022), os custos de manutenção corretiva eram significativamente altos, atingindo R\$29.537,32. Esses valores atingem seu ápice em abril do mesmo ano, alcançando o valor de R\$44.692,22. Para fins de comparação, os mesmos meses do ano seguinte (2023) registraram uma redução de

20,01% em janeiro e 80,64% em abril, respectivamente. Em relação ao total gasto no ano, até outubro de 2022, os custos com manutenção corretiva totalizaram R\$249.318,96, enquanto os gastos em 2023, até outubro, somaram R\$151.469,94, resultando em uma diminuição percentual de cerca de 39,19%, ou R\$97.849,02, nos custos corretivos em relação ao ano anterior.

Figura 3

Registro dos custos de Manutenção



Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Em resumo, a Tabela 1 apresenta a evolução na redução dos custos totais de manutenção, evidenciando a relação positiva entre a implementação de tal estratégia e os benefícios financeiros alcançados. Esses resultados sugerem que a adoção dessa estratégia pode ser uma solução eficaz para a gestão de custos, contribuindo para a sustentabilidade financeira da operação da frota.

Tabela 1

Fases de evolução dos custos totais de Manutenção

Fase	Meses	Custo Preventivo	Custo Corretivo	Total	Redução
1	Jan/22 a Jul/22	R\$ 50.572,85	R\$ 198.487,36	R\$ 249.060,21	-
2	Ago/22 a Fev/23	R\$ 49.028,08	R\$ 117.965,52	R\$ 166.993,60	33%
3	Mar/23 a Out/23	R\$ 52.495,63	R\$ 103.629,62	R\$ 156.125,25	7%

Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

O declínio nos custos corretivos e a estabilidade na manutenção preventiva são condizentes a um aumento na disponibilidade dos veículos para operação. A Figura 4 apresenta as ocorrências de veículos parados para manutenção corretiva, mostrando uma queda significativa dos últimos meses em relação aos primeiros meses do período analisado. Esses dados confirmam que a gestão da manutenção corretiva e da manutenção preventiva reduziram as paralizações e o tempo de inatividade dos veículos, otimizando a operação.

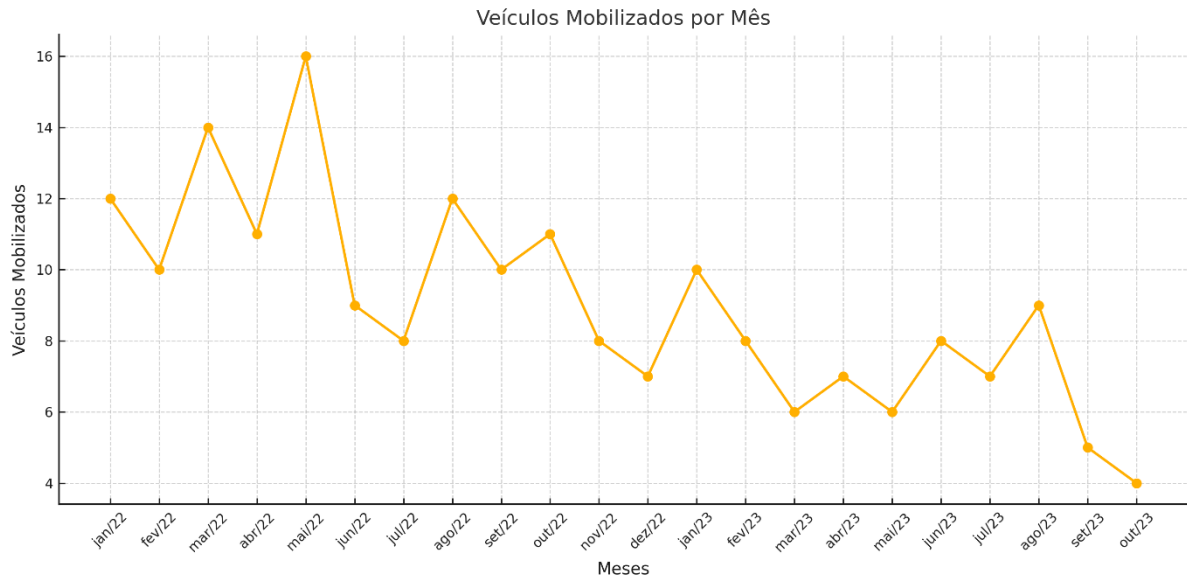
Desta forma, pode-se inferir que as intervenções de manutenção realizadas nos veículos durante o primeiro semestre de 2022 geraram impactos positivos sequenciais nas manutenções subsequentes. Isso é evidenciado pela redução substancial de 65% nas ocorrências de veículos parados para manutenção no mesmo período de 2023. Com a checagem dos veículos sendo realizada de modo regular, as falhas foram evitadas ou avaliadas ainda em estado inicial, antes que evoluíssem para um estado de pane total do veículo e conseqüentemente paralisação da operação. Isso indica uma melhoria contínua na eficiência e na gestão da manutenção, o que contribuiu para maior disponibilidade e desempenho dos veículos ao longo do tempo, sendo condizente com as constatações de del Castillo & Parlikad (2024).

A análise dos custos e de disponibilidade dos veículos sugere que a manutenção corretiva e preventiva, de forma eficaz, e a identificação precoce de falhas contribuíram para a redução de custos operacionais e otimização dos recursos, com aumento da disponibilidade da frota. Desta forma, há indicativos positivos do desempenho financeiro e operacional da estratégia de manutenção.

Além disso, o aumento da disponibilidade dos veículos demonstra que a manutenção contribui diretamente para a maximização da vida útil dos veículos e seus componentes, alinhando-se aos princípios da economia circular. Por meio de uma gestão eficaz da manutenção, é possível adiar a necessidade de substituição de peças, garantindo que os veículos permaneçam em uso pelo maior tempo possível. Assim, além de aumentar a durabilidade e desempenho dos veículos (Hussain et al., 2020), a estratégia de manutenção desempenha um papel importante na sustentabilidade, sendo um dos meios para promover a economia circular.

Figura 4

Número de veículos paralisados para Manutenção



Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Ao mesmo tempo, no caso de necessidade de manutenção corretiva, uma abordagem integrada de remanufatura pode ser primordial para um impacto positivo em custos de manutenção, como constatado por Shafiee et al. (2009). Também, pode permitir um impacto ambiental positivo a longo prazo, pois a remanufatura contribui para a redução do consumo de novos componentes ou para a diminuição de desperdício gerado (de Jesus Santos et al., 2023).

4.2 Análise da adoção da remanufatura

Neste estudo de caso, a empresa optou pela estratégia de remanufatura em seis ocasiões, sendo quatro delas relacionadas ao sistema de freio do veículo, especificamente às válvulas pneumáticas. Essas válvulas desempenham um papel importante na transmissão, regulação e dosagem do ar necessário para o acionamento de lonas, cuícas, catracas e do freio “maneco”. A peça remanufaturada estudada na pesquisa foi a válvula 4 vias ou 4 circuitos, cuja função é receber o ar proveniente do compressor e distribuí-lo para todo o sistema do veículo. Quando há falhas, a válvula apresenta vazamentos de ar, o que leva à diminuição da pressão barométrica do veículo, comprometendo a segurança operacional do veículo. Durante o período analisado,

tal componente apresentou essa falha crítica e foi submetida ao processo de remanufatura. A Figura 5 apresenta um conjunto de imagens do processo de remanufatura da válvula 4 vias.

Figura 5

Exemplo do processo de remanufatura aplicado à válvula 4 vias

Imagem 1 – Válvula de 4 vias



Imagem 2 – Desmontagem



Imagem 3 – Limpeza e Revisão



Imagem 4 – Teste em Bancada



Imagem 5 – Liberação da peça



Fonte: Acervo interno da oficina mecânica (2024).

A Tabela 2 apresenta uma análise comparativa da adoção da remanufatura e a aquisição de uma peça nova (sem adotar a remanufatura). Ao utilizar peças remanufaturas, o veículo é liberado no mesmo dia, com um prazo médio de 3 horas, o que não prejudica a operação. Essa agilidade elimina a necessidade de realocar pessoal e mobilizar outro veículo para atender o cliente, garantindo a continuidade operacional. Além disso, o custo de uma peça remanufatura

é aproximadamente 76% inferior ao de uma peça nova, com o mesmo período de garantia e o mesmo nível de qualidade. Isso indica que a remanufatura também é uma estratégia vantajosa em termos de desempenho financeiro e operacional.

A escolha pela remanufatura reflete uma decisão alinhada aos princípios da economia circular, pois evita a substituição completa por um componente novo, promovendo a recuperação e reutilização da peça.

Tabela 2

Análise comparativa em custo e tempo, com e sem remanufatura

	Preço	Prazo para disponibilidade do veículo	Garantia
Com remanufatura	R\$120,00	3 horas	6 meses
Sem remanufatura	R\$ 504,50	1 Dia Útil	6 meses

Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Além de reduzir custos operacionais (Tabela 2), também minimiza a geração de resíduos e a demanda por novos recursos, incluindo matéria-prima virgem, contribuindo para a sustentabilidade das operações. Essas constatações reforçam os achados de Jesus Santos et al. (2023) e Wakiru et al. (2021).

5 CONCLUSÃO

O objetivo do presente estudo foi analisar a influência da adoção das estratégias de manutenção e remanufatura nas variáveis de custos e disponibilidade de veículos movidos a diesel, por meio de um estudo de caso realizado em uma oficina mecânica especializada no setor. Os resultados evidenciam que ambas as estratégias apresentam benefícios significativos, contribuindo para o aprimoramento financeiro e operacional das empresas e clientes. A adoção dessas estratégias resultou em uma redução expressiva nos custos ao longo do ciclo de vida dos veículos, além de maximizar a disponibilidade operacional.

Este estudo enriquece a literatura de sustentabilidade e economia circular, ao explorar como as estratégias de manutenção e remanufatura contribuem para o desempenho financeiro e operacional, promovendo maior eficiência econômica e ambiental. Isso fortalece o

embasamento teórico para o emprego dessas estratégias como viáveis dentro de cadeias logísticas sustentáveis.

As contribuições práticas deste estudo pautam-se no apoio à tomada de decisões baseada em dados para gestores, considerando a análise dos benefícios das estratégias de manutenção e remanufatura, facilitando decisões informadas que promovam eficiência e sustentabilidade. A coleta e análise de dados forneceram resultados contextuais e quantitativos valiosos, demonstrando a relevância da integração entre dados e a gestão estratégica para o sucesso das estratégias implementadas. O estudo serve como um caso prático para organizações que buscam adotar princípios de economia circular, mostrando que a manutenção e remanufatura não apenas agrega valor ambiental, mas também reduz custos e aumenta a disponibilidade operacional de ativos.

No entanto, esta pesquisa também apresenta limitações. O estudo foi conduzido com base em um único estudo de caso, em uma oficina mecânica especializada, com foco exclusivo em veículos a diesel. Embora os resultados do estudo demonstrem a relevância dessas estratégias sob a ótica financeira e operacional, esse recorte pode limitar a generalização de resultados para outros contextos ou tipos de veículos (como elétricos). Como pesquisas futuras, sugere-se ampliar o escopo para incluir diferentes tipos de veículos e combustíveis, incorporar demais clientes da organização para a criação de evidências importantes e comparativas para a evolução do modelo de negócio, agregando credibilidade ao serviço e evidenciando a importância da gestão das frotas junto aos demais clientes e parceiros. Também, além das análises financeira e operacional, sugere-se incorporar análises ambientais e sociais mais detalhadas.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1994). *NBR 5462: Confiabilidade e manutenção*. Rio de Janeiro: ABNT.

Berrade, M. D., Calvo, E., & Badía, F. G. (2023). Maintenance of systems with critical components: Prevention of early failures and wear-out. *Computers & Industrial Engineering*, *181*, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109291>

Campos, F. C. de, & Belhot, R. V. (1994). Gestão de manutenção de frotas de veículos: Uma revisão. *Gestão & Produção*, *1(2)*, 171-188. <https://doi.org/10.1590/S0104-530X1994000200004>

- Carvalho Junior, J. A., & Lacava, P. T. (2003). *Emissões em processos de combustão*. São Paulo: UNESP.
- Corrêa, C. A., & Corrêa, H. L. (2010). *Administração de produção e operações* (2ª ed.). São Paulo: Atlas.
- Dean, T. J., & McMullen, J. S. (2007). Toward a theory of sustainable entrepreneurship: Reducing environmental degradation through entrepreneurial action. *Journal of Business Venturing*, 22(1), 50–76. <https://doi.org/10.1016/j.jbusvent.2005.09.003>
- de Jesus Santos, A. C., Cavalcante, C. A. V., & Wu, S. (2023). Maintenance policies and models: A bibliometric and literature review of strategies for reuse and remanufacturing. *Reliability Engineering & System Safety*, 231, 108983. <https://doi.org/10.1016/j.res.2022.108983>
- del Castillo, A. C., & Parlikad, A. K. (2024). Dynamic Fleet management: integrating predictive and preventive maintenance with operation workload balance to minimise cost. *Reliability Engineering & System Safety*, 110243. <https://doi.org/10.1016/j.res.2024.110243>
- Eisenhardt, K. M., & Graebner, M. E. (1989). Building theories from case study research. *Academy of Management Review*, 14(4), 532–550. <https://doi.org/10.5465/amr.1989.4308385>
- Gaither, N., & Frazier, G. (2002). *Administração da produção e operações*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning.
- Gasque, K. C. G. D. (2007). Teoria fundamentada: Nova perspectiva à pesquisa exploratória. Em S. P. M. Mueller (Org.), *Métodos para a pesquisa em Ciência da Informação* (pp. 83–118). Brasília: Thesaurus.
- Gomes, J. G. C., Okano, M. T., Guerra, R. S., Cordeiro, D. D. S., Santos, H. C. L. D., & Fernandes, M. E. (2022). Analysis of sustainable business models: Exploratory study in two Brazilian logistics companies. *Sustainability*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/su14020694>
- Govindan, K., Kannan, D., Jørgensen, T. B., & Nielsen, T. S. (2022). Supply Chain 4.0 performance measurement: A systematic literature review, framework development, and empirical evidence. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 164. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102725>
- Guimarães, L. M., Nogueira, C. F., & Da Silva, M. D. B. (2012). Manutenção industrial: Implementação da manutenção produtiva total (TPM). *e-Xacta*, 5(1). <https://doi.org/10.18674/exacta.v5i1.735>
- Gunasekara, H., Gamage, J., & Punchihewa, H. (2020). Remanufacture for sustainability: Barriers and solutions to promote automotive remanufacturing. *Procedia Manufacturing*, 43, 606–613. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.146>

- Hussain, S., Mahmud, U., & Yang, S. (2020). Car e-talk: An IoT-enabled cloud-assisted smart fleet maintenance system. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(12), 9484-9494. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.2986342>.
- Kardec, A., & Nascif, J. (2009). *Manutenção: Função estratégica* (4ª ed.). Rio de Janeiro: Qualitymark.
- Kechagias, E. P., Gayialis, S. P., Konstantakopoulos, G. D., & Papadopoulos, G. A. (2020). An application of an urban freight transportation system for reduced environmental emissions. *Systems*, 8(4), 49. <https://doi.org/10.3390/systems8040049>
- Kerr, W., & Ryan, C. (2001). Eco-efficiency gains from remanufacturing: A case study of photocopier remanufacturing at Fuji Xerox Australia. *Journal of cleaner production*, 9(1), 75-81. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(00\)00032-9](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(00)00032-9)
- Kirchherr, J., Yang, N. N., Schulze-Spüntrup, F., Heerink, M. J., & Hartley, K. (2023). Conceptualizing the Circular Economy (Revisited): An Analysis of 221 Definitions. *Resources, Conservation & Recycling*, 194. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107001>
- Lakatos, E. M., & Marconi, M. A. (2003). *Fundamentos de metodologia científica*. São Paulo, SP: Atlas.
- Marr, B. (2015). *Big Data: Using SMART Big Data, Analytics and Metrics to Make Better Decisions and Improve Performance*. John Wiley & Sons.
- Melo, R.V., & Junior, I.C. (2020). Manutenção de frotas de veículos e seu impacto na sustentabilidade: uma revisão bibliográfica. *Revista Valore*, 3, 85–102. <https://doi.org/10.22408/rev30201848185-102>
- Mishra, D., Gunasekaran, A., Papadopoulos, T., & Childe, S. J. (2018). Big Data and supply chain management: A review and bibliometric analysis. *Annals of Operations Research*, 270(1–2), 313–336.
- Nudurupati, S. S., Garengo, P., & Bititci, U. S. (2021). Impact of the changing business environment on performance measurement and management practices. *International Journal of Production Economics*, 232, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107942>
- Oliveira, M. N., Cintra, N. C., & Gomes, F. S. (2017). Comparativo automobilístico: Manutenção preventiva e corretiva. *Anais do 5º Congresso Brasileiro de Inovação e Tecnologia na Educação*, 5(1), 3007–3013.
- Sanders, N. R. (2016). How to use Big Data to drive your supply chain. *California Management Review*, 58(3), 26–48.
- Shah, P., Gosavi, A., & Nagi, R. (2010). A machine learning approach to optimize usage of recycled material in a remanufacturing environment. *International Journal of Production Research*. <https://doi.org/10.1080/00207540802452157>

- Shafiee, M., Saidi-Mehrabad, M., & Naini, S. G. J. (2009). Warranty and sustainable improvement of used products through remanufacturing. *International journal of product lifecycle management*, 4(1-3), 68-83. <https://doi.org/10.1504/IJPLM.2009.031667>
- Slack, N., Chambers, S., & Johnston, R. (2009). *Administração da produção* (3ª ed.). São Paulo: Atlas.
- Sousa, A. S., Oliveira, G. S., & Alves, L. H. (2021). A pesquisa bibliográfica: Princípios e fundamentos. *Cadernos da FUCAMP*, 20(43).
- Stettiner, C. F., Oliveira Lima, E., Ferreira Jr., S., Bellini, J. L., & Silveira, M. A. (2021). Mercados emergentes e as estratégias de inovação no Brasil. *Revista Eniac Pesquisa*, 10(2), 255–281. <https://doi.org/10.22567/rep.v10i2.814>
- Vasudevan, H., Kalamkar, V., & Terkar, R. (2012). Remanufacturing for sustainable development: Key challenges, elements, and benefits. *International Journal of Innovation, Management and Technology*, 3(1), 84.
- Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (6th ed.). Los Angeles: SAGE.
- Wakiru, J., Pintelon, L., Muchiri, P. N., & Chemweno, P. K. (2021). Integrated remanufacturing, maintenance and spares policies towards life extension of a multi-component system. *Reliability engineering & system safety*, 215, 107872. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.107872>
- Wang, G., Gunasekaran, A., Ngai, E. W. T., & Papadopoulos, T. (2016). Big data analytics in logistics and supply chain management: Certain investigations for research and applications. *International Journal of Production Economics*, 176, 98–110.
- Wei, S., Tang, O., & Sundin, E. (2015). "Core (product) Acquisition Management for remanufacturing: a review." *Journal of Remanufacturing*, 5(4). <https://doi.org/10.1186/s13243-015-0014-7>.