

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

IGOR PINKOFF

**AVALIAÇÃO DE MÉTODOS PARA REMANUFATURABILIDADE DE PRODUTOS  
EM SISTEMAS PRODUTO-SERVIÇO ORIENTADO AO USO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**(TCC 2)**

CURITIBA

2019

IGOR PINKOFF

**AVALIAÇÃO DE MÉTODOS PARA REMANUFATURABILIDADE DE PRODUTOS  
EM SISTEMAS PRODUTO-SERVIÇO ORIENTADO AO USO**

Monografia do Projeto de pesquisa apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso - Tcc2 do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito para aprovação na disciplina.

Orientadora: Prof. Dra. Carla Cristina Amodio  
Estorilio

CURITIBA

2019

## TERMO DE APROVAÇÃO

Por meio deste termo, aprovamos a monografia do projeto de pesquisa “AVALIAÇÃO DE MÉTODOS PARA REMANUFATURABILIDADE DE PRODUTOS EM SISTEMAS PRODUTO-SERVIÇO ORIENTADO AO USO”, realizada pelo aluno IGOR PINKOFF, como requisito parcial para a aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso - Tcc 2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Prof. Dra. Carla Cristina Amodio Estorilio  
Departamento de Mecânica - DAMEC, UTFPR  
Orientadora

Prof. Dra. Cleina Yayoe Okoshi  
Departamento de Mecânica - DAMEC, UTFPR  
Avaliadora

Prof. Msc. Maria das Graças Contin Garcia Pelisson  
Departamento de Mecânica - DAMEC, UTFPR  
Avaliadora

Curitiba, 27 de junho de 2019.

## RESUMO

Pinkoff, Igor. **Avaliação de métodos para remanufaturabilidade de produtos em sistemas produto-serviço orientado ao uso**. 55p. Trabalho de conclusão de curso – Tcc2, Bacharelado em Engenharia Mecânica, Departamento Acadêmico de Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

Como parte de uma tendência da economia funcional, a servitização tem ganhado espaço e vários novos modelos de negócio com produtos integrados vem surgindo. Entre estes modelos se destaca o sistema produto-serviço (*Product-service system*, PSS, do inglês), cujo princípio é unir aspectos tangíveis e intangíveis para atender as necessidades do cliente. Dentre as categorias deste modelo, a com maior integração produto e serviço é chamada de orientada ao uso, caracterizada pela venda do usufruto e a retenção da posse do produto pelo fornecedor. Esta característica do negócio permite estratégias de fim de vida mais lucrativas e sustentáveis, acentuando a necessidade de considerar a reutilização do produto ainda na etapa de projeto. Dentre as estratégias, a remanufatura se destaca por permitir a renovação e reformulação de peças e produtos, possuindo métodos específicos para seu sucesso. O objetivo deste trabalho é avaliar os métodos que auxiliam na remanufaturabilidade de produtos aplicados em sistema produto-serviço orientado ao uso. O procedimento adotado incluiu revisões da literatura para levantamento dos métodos e, após compreensão de suas características, abrangências e limitações, foi possível definir critérios para que os métodos fossem analisados conforme sua abrangência em abordar problemáticas influentes na remanufaturabilidade. Entre os resultados, o trabalho entrega uma revisão detalhada de quatro métodos que auxiliam na remanufaturabilidade de produtos aplicados a PSS, nove indicadores de projeto e uma análise de abrangência dos métodos. Demonstra-se a necessidade de considerar a influência de aspectos dos ciclos de uso curtos no potencial de remanufatura do produto em PSS orientado ao uso.

**Palavras-chave:** Sistema produto-serviço. PSS. Projeto para remanufatura. Economia circular. Servitização.

## ABSTRACT

Pinkoff, Igor. **Evaluation of methods for product remanufacturability in “use oriented” product-service systems**. 55p. Undergraduate Thesis, Mechanical Engineering, Academic Mechanical Engineering Department, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

As part of a functional economy trend, servitization has gained space and new business models based on integrated products have emerged. Among these models stands the product-service system (PSS), whose principle is to unite tangible and intangible aspects to meet customer needs. Among the categories of this model, the one with the major integration between product and service is called use oriented, characterized by the sale of the usufruct and the retention of the product ownership by the supplier. This business feature allows more profitable and sustainable end-of-life strategies, increasing the need to consider de product reuse even in the design phase. Among the strategies, the remanufacturing stands out for allowing the renovation and reformulation of parts and products, having specific methods for its success. The goal of this work is to evaluate the methods that help the remanufacturability of products in a use oriented product-service system. The adopted procedure includes reviews of the literature to survey the methods and, after understanding their characteristics, scope and limitations, it was possible to define criteria to evaluate the methods according to their comprehensiveness in considering influente issues in the remanufacturability. Among the results, the work provides a detailed review of four methods that assist in the remanufacturability of products applied to PSS, nine design indicators and an analysis of comprehensiveness of the methods. It is demonstrated the lack of aspects related to the short usage cycles that influence in the product remanufacturing potential of use-oriented PSS.

**Keywords:** Product-service system. PSS. Design for remanufacturing. Circular economy. Servitization.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquemático de categorias e tipos de PSS.	11
Figura 2 – Esquemático Economia circular.	18
Figura 3 – Estratégias de fim de vida.	20
Figura 4 – Comparativo remanufatura e reparação.	21
Figura 5 – Esquemático objetivos e metodologia.	25
Figura 6 – Sequência de revisões da literatura.	29
Figura 7 – Resultados da revisão sistemática variando algoritmo e filtros.	30
Figura 8 – Foco dos estudos na etapa final da revisão de métodos.	32

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Portfólio de métodos a serem avaliados.	37
Quadro 2 – Critérios para remanufaturabilidade de produto em PSS orientado a uso.	43

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Avaliação dos métodos através da abrangência.

47



## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Problema da pesquisa	13
1.2	Objetivos	14
1.3	Justificativa	14
1.4	Etapas do trabalho	16
2	A remanufatura como modelo de negócio	17
2.1	Economia Circular	17
2.2	Sistema Produto-Serviço	18
2.3	Estratégias de fim de vida	19
2.4	Projeto para Remanufatura	20
2.5	<i>Design for X</i>	22
2.6	Remanufatura e PSS	23
3	METODOLOGIA	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
4.1	Métodos	31
4.2	Critérios Avaliativos	37
4.1	Análise	44
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
	REFERÊNCIAS	50

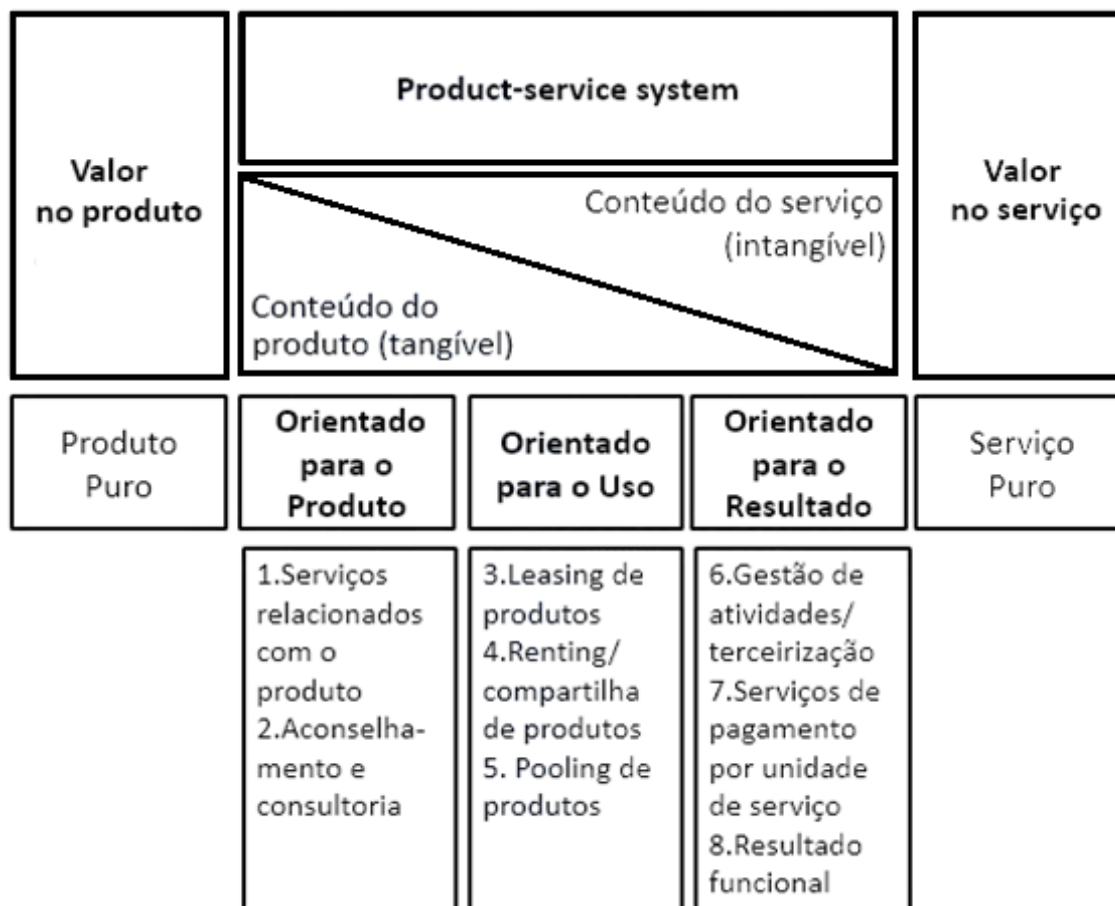
## 1 INTRODUÇÃO

Na tentativa de buscar espaço no mercado, parte das economias mundiais tem alternado de um modelo de apenas produção para modelos baseados na integração de produto e serviço (NEELY, 2008). A globalização, alta competitividade de mercado, ciclos de vida mais curtos e aumento na fidelidade dos clientes são algumas das razões dessa mudança no modelo de negócio das companhias (WILBERG *et al.*, 2017), configurados por uma transição de um modelo orientado ao produto para um modelo orientado ao serviço (MONT, 2001) que foi denominado servitização (VANDERMERWE; RADA, 1988). Esse contexto, vertente da economia funcional, se associa a um cenário de produção flexível, com inovação contínua em relação a capacidade de atender a necessidade do cliente, provendo produtos com mais qualidade e personalizáveis (MONT, 2002).

O modelo de economia funcional se posiciona como uma das vertentes da economia circular, contexto onde o objetivo é reduzir a extração de recursos naturais e reutilizar a matéria-prima disponível (BRESSANELLI *et al.*, 2018). A economia funcional se baseia na otimização do uso, utilizando o mínimo de energia e materiais possíveis sem perder valor ao usuário. Na economia funcional os bens materiais são tratados como ativos e não como consumíveis, o que resulta na necessidade de relacionar estes bens a serviços.

A estratégia de compor serviços e produtos é a vertente da servitização representada pelo modelo de negócio conhecido como sistema produto-serviço (BAINES *et al.*, 2007; TUKKER, 2004). Os sistemas produto-serviço, conhecidos na literatura como PSS (*Product-service system*, do inglês), são caracterizados por uma combinação entre produtos tangíveis e serviços intangíveis que, em harmonia, atendem as necessidades dos clientes. A classificação mais difundida na literatura é a apresentada por Tukker (2004), que dividiu o sistema produto-serviço em 3 categorias (A, B, C) e 8 tipos. A Figura 1 esquematiza a classificação.

Figura 1 – Esquemático de categorias e tipos de PSS.



Fonte: Traduzido de (TUKKER, 2004)

A categoria A, orientada ao produto, envolve os serviços extras a serem aplicados após a venda do produto, compondo uma sobre receita à companhia.

A categoria B, orientada ao uso, caracteriza-se pela venda do usufruto do produto, com a propriedade do material mantida ao fornecedor do serviço.

A categoria C, orientada ao resultado, é definida pela entrega de uma solução, trazendo resultado ao cliente independente da posse do produto.

Para a categoria A (PSS orientado ao produto) a classificação se divide entre “serviço durante o uso” e “assessoria/consultoria”. Nessa classificação, os dois modelos são aplicados durante o período de uso pelo cliente possuidor, se manifestando por manutenção ou auxílio intelectual para aplicação do produto. Para a categoria C (PSS orientado ao resultado), os resultados são previstos através de “terceirização”, “pagamento por serviço” e “resultado funcional”. Nesta categoria

muitas vezes a oferta é baseada na venda de um resultado abstrato, onde o usuário recebe apenas as consequências da aplicação de um produto. Considerando que esse trabalho foca a categoria B, esta será detalhada.

A categoria B (PSS orientado ao uso) inclui os seguintes tipos: Locação (*leasing*, do inglês), Compartilhamento ou aluguel (*sharing ou renting*, do inglês), utilização simultânea (*pooling*, do inglês). Para a locação, denominada em inglês por *leasing*, o cliente é o responsável por manter o produto e possui direito total através de uma taxa regular para o fornecedor.

No modelo de *leasing* é possível que o custo de uma nova compra seja transferido para uma despesa geral da empresa. Isso permite uma flexibilização de investimentos, atualizações e mudanças mais rápidas nas atividades do cliente se comparado ao sistema tradicional, com posse de um produto, que muitas vezes exige grandes investimentos iniciais. Já para os fornecedores do serviço existe uma perspectiva mais estável no faturamento, onde o procedimento de concessão acontece por meio de contratos com prazo determinado, isso permite um planejamento mais seguro do negócio (DESAI; PUROHIT, 1998).

No sistema de compartilhamento o bem é alugado para diferentes clientes, de maneira que o acesso ao produto seja de uso limitado pelo período dedicado ao contratante, porém de oferta voltada ao coletivo. Neste caso, em geral, o fornecedor tem total responsabilidade sobre o produto, arcando com as despesas de manutenção. Já o modelo de *pooling* possui uma aproximação ao modelo de *sharing*, porém o uso do produto é simultâneo e permite vários contratantes com direitos iguais sobre o usufruto. Por exemplo, uma impressora compartilhada entre diferentes escritórios ou um sistema de compartilhamento de caronas para vários usuários simultâneos.

Nestes modelos, onde existe a retenção da posse, um viabilizador do negócio é a opção de extensão da vida útil do produto, onde o fornecedor pode reutilizar, remanufaturar ou reciclar os componentes após os diferentes ciclos de uso (BAKKER et al., 2014). Em um mercado de crescimento tecnológico acelerado e introdução constante de novas tendências, o tempo de mercado dos bens são mais curtos e a possibilidade de renovar os próprios produtos e reintroduzi-los ao mercado traz ao fornecedor uma vantagem competitiva e financeira (AGRAWAL; ULKU, 2011).

No aspecto sustentável, apesar dos esforços em tornar os processos de fabricação mais verdes, é necessário também que o próprio produto seja projetado considerando seu fim de vida (RAMANI *et al.*, 2010). Bakker *et al.* (2014) apresentam três estratégias básicas: eficiência em material, vida do produto estendida e reciclagem de produto. Este trabalho atua na vertente de extensão da vida do produto considerando o modelo de negócio em que está associado e sua vantagem em considerar a remanufaturabilidade do produto em sua concepção.

A remanufaturabilidade é a propriedade do produto em estar em consonância com as necessidades para o processo de remanufatura ao fim de seu ciclo de vida. A remanufaturabilidade tem alto impacto no sucesso de um sistema produto-serviço, onde a economia em evitar um novo processo completo de produção e a possibilidade de renovar a atração dos clientes sobre o produto compõe uma vantagem competitiva em relação aos modelos tradicionais (AGRAWAL; ULKU, 2011).

### **1.1 Problema da pesquisa**

Enquanto as categorias A e C possuem mais semelhança e conseqüentemente mais espaço nos modelos de negócio presentes nos mercados centrados no produto, a categoria B ainda requer estudos, em especial porque as companhias atravessam um período de transição no PSS orientado ao uso. Observa-se uma série de não conformidades com relação as metodologias disponíveis de projeto para produtos em PSS, o que alerta a necessidade de aprofundar os estudos a uma perspectiva mais próxima de cada cenário.

Diversos autores têm tratado dos aspectos de remanufaturabilidade de produtos aplicados ao sistema produto-serviço, discutindo aspecto como cadeia de suprimentos, receita, propriedade do produto, aspecto de sucesso do processo industrial e transferência de conhecimento no modelo de negócio. (CHIERICI; COPANI, 2016; FADEYI; MONPLAISIR; AGUWA, 2017; LINDKVIST; SUNDIN, 2016; SUNDIN *et al.*, 2008). As conclusões dos estudos envolvem a necessidade de mudanças no projeto de produto, ferramentas analíticas, aplicações, integração de informação, relação entre controle do núcleo e processo de remanufatura, e importância da confiança entre consumidor e fornecedor. Os estudos, porém, ainda abordam de maneira genérica e demandam especificidade conforme o caso. Com isso, observa-se a necessidade de estudos com mais enquadramento e didáticos,

introduzindo a aplicação de métodos em um cenário mais restrito (GOODALL; ROSAMOND; HARDING, 2014).

## **1.2 Objetivos**

O objetivo geral deste projeto será avaliar métodos para a remanufaturabilidade de produtos em sistemas produto-serviço do tipo "orientado ao uso".

Para isso, foram levantados cinco objetivos específicos capazes de direcionar o estudo até a satisfação do objetivo geral. Estes são:

1. Compreender sistema produto-serviço, seus tipos e ciclos de vida de produto.
2. Compreender os conceitos associados à PSS e remanufaturabilidade, especialmente os casos de PSS "orientado ao uso";
3. Identificar estudos que proponham métodos para melhoria de remanufaturabilidade em PSS, através de diretrizes, estruturas e boas práticas;
4. Definir critérios para avaliação de eficácia dos métodos para PSS "orientado ao uso";
5. Analisar e discutir a abrangência dos métodos através dos critérios de avaliação pré-definidos.

## **1.3 Justificativa**

Considerando as mudanças no modelo de consumo atual, em que a tentativa de reduzir a quantidade de recursos extraídos é um fator relevante para preservar as reservas e reduzir os impactos ao planeta, se destaca a importância da comunidade acadêmica em levantar maneiras sustentáveis de consumir. Para que isso aconteça de modo economicamente atraente, é necessário que menos recursos sejam extraídos, que o valor dos produtos se prolongue e que estes sejam melhor aproveitados do que, em geral, é hoje. Assim, a proposta de unir a economia funcional com o processo de remanufatura é uma tentativa de estender o valor do produto e recuperar seu valor, tanto tecnológico quanto agregado em processos e materiais. Isto pode ser viabilizado através da associação de serviços, que aumentam o valor aparente e permitem o controle do produto. Além disso, se entende que realizar estudos sobre sistema produto-serviço e remanufatura possui relevância sustentável considerando que esta combinação compõe um modelo de negócio, que ainda em

fase de desenvolvimento, promete reduzir o consumo de recursos e atender às necessidades da população.

Aprofundando-se ao objetivo deste trabalho, observa-se que avaliar os métodos de remanufaturabilidade para sistemas produto-serviço orientado ao uso pode ser tomado como um experimento, onde se visa agregar à comunidade acadêmica um material compilado de critérios avaliativos e análise estruturada de metodologias, podendo ser usado como ponto de partida para futuros estudos teóricos ou referência para trabalhos aplicados. Este estudo, diferente de outros que tratam de maneira genérica os temas de PSS e extensão do ciclo de vida, propõe avaliar as nuances de uma combinação de estratégias. Pretende-se trazer resultados mais próximos da aplicação e, conseqüentemente, apresentar conclusões de relevância ao desenvolvimento de produtos dentro deste contexto. Isto aumenta a probabilidade de alcançar resultados interessantes para projetistas da indústria, que buscam abordagens sintéticas e mais específicas.

A escolha do modelo orientado ao uso e do processo de remanufatura é devido as vantagens encontradas individualmente e na combinação dos temas. Enquanto o modelo orientado ao uso propõe um aproveitamento mais intenso do produto, sem reduzir o controle do mesmo pelo fornecedor, a remanufatura é o processo que promete renovar o produto com garantia de qualidade, e sem a necessidade de substituir todas as peças por novas. Mesmo que estas peças fossem fruto do processo de reciclagem, exigiriam uma grande quantidade de recursos para fabricação. Sendo assim, se entende como o ponto de equilíbrio entre a otimização do uso versus a independência do cliente, e redução de material extraído versus qualidade do produto. Como fruto da combinação, associa-se a característica de garantir o retorno do produto em algum momento escolhido de sua vida, diferente de outros modelos PSS em que o processo de logística reversa é muito mais complexo e imprevisível. Portanto, considera-se esta estratégia a mais viável no aspecto de acessibilidade do produto, onde se facilita o acesso à matéria-prima para o processo de remanufatura, e prolonga o potencial de retorno econômico do produto. Isto torna o estudo na área um incentivo ao desenvolvimento sustentável, já que é atraente ecologicamente sem apresentar um ônus econômico.

#### **1.4 Etapas do trabalho**

O objetivo deste trabalho é alcançado em cinco capítulos, incluindo este de introdução.

O capítulo 2 possui um embasamento teórico para compreensão dos temas tangentes a proposta do trabalho, abordando os tópicos: economia circular, sistema produto-serviço, estratégias de fim de vida, projeto para remanufatura, *design for X*, e dos estudos na intersecção dos temas de remanufatura e sistema produto-serviço.

O capítulo 3 constitui uma descrição da metodologia, que apresenta detalhadamente a estratégia utilizada para atender a cada objetivo proposto e seu processo de aplicação.

O capítulo 4 descreve os resultados, que são compostos pelos critérios definidos, métodos identificados e a avaliação individual de cada método.

O capítulo 5 apresenta as considerações finais sobre a metodologia e resultados encontrados, discutindo limitações e propostas para trabalhos futuros. As referências citadas se encontram ao fim do trabalho.



## 2 A REMANUFATURA COMO MODELO DE NEGÓCIO

Este capítulo contextualiza os princípios envolvidos na remanufaturabilidade de produtos em sistemas produto-serviço. Referente ao modelo de negócio, são apresentados os conceitos de economia circular e sua aplicação por meio do sistema produto-serviço. E referente ao projeto de produto, se explora os conceitos de fim de vida, projeto para remanufatura e *design for X*. Conclui-se com um levantamento bibliográfico da relação entre remanufatura e PSS.

### 2.1 Economia Circular

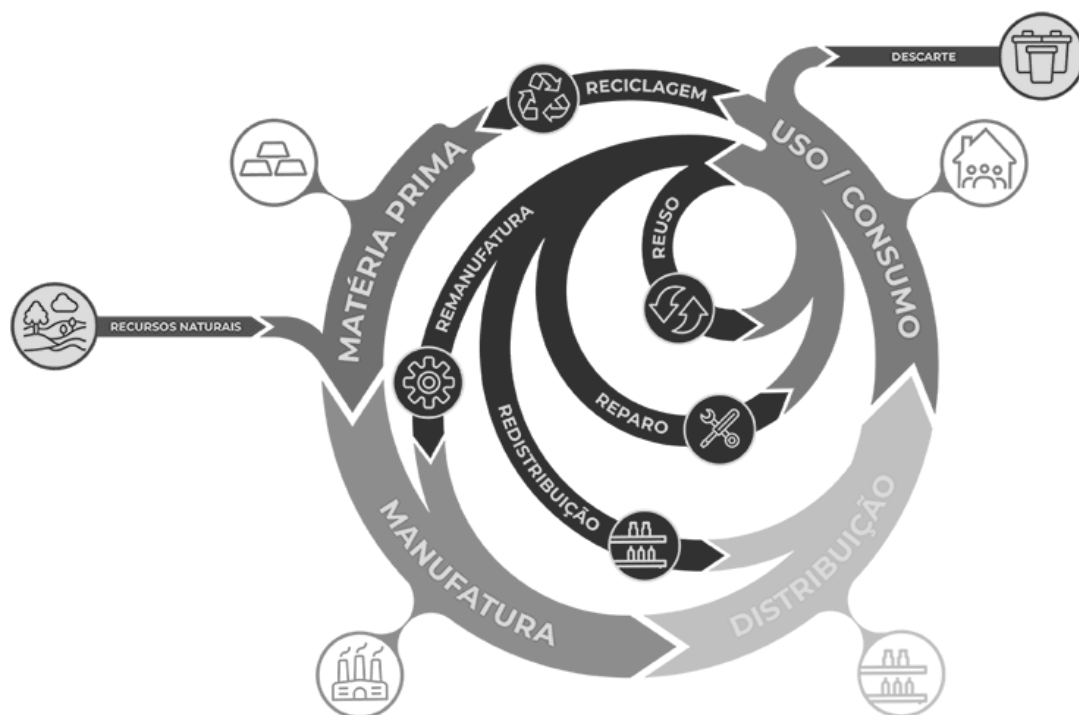
O conceito de economia circular está associado diretamente ao uso sustentável dos recursos. A proposta é alcançar a garantia de que os recursos naturais extraídos para produção e consumo sejam devidamente reutilizados, implementando o conceito de ciclo de vida fechado. Três princípios básicos compõem este conceito: Redução, reuso e reciclagem (LEWIS, 2018).

Duas abordagens básicas podem ser adotadas na tentativa de alcançar este objetivo. Uma relacionada a vida do produto, em que se adota o bem na intenção de garantir reuso, reparos, atualizações e remanufatura; e outra que busca reutilizar os materiais dos produtos para fabricar novos produtos (STAHEL, 2016) (LEWIS, 2018). A primeira abordagem tem recebido boas avaliações no aspecto econômico através do uso dos sistemas produto-serviço (BEUREN *et al.*, 2013).

A Figura 2 representa o processo, identificando seus principais setores de extração, fabricação, consumo e descarte, demonstrando a dinâmica da matéria neste modelo.

O modelo oposto tradicional é chamado de linear, caracterizado pela extração-fabricação-descarte. Este modelo se apresenta como uma ameaça ao desenvolvimento sustentável, favorecendo o desperdício de energia e aumentando cada vez mais o volume de material poluente na natureza. Na transição entre estes modelos se observa a necessidade de criar produtos mais resistentes e modelados para o fim de vida (STAHEL, 2016).

**Figura 2** – Esquemático Economia circular.



Fonte: O que é economia circular?.

## 2.2 Sistema Produto-Serviço

Os sistemas produto-serviço consistem da relação mútua entre agentes tangíveis e não tangíveis, englobando uma série de aspectos relacionados à organização (AURICH; FUCHS; WAGENKNECHT, 2006). Além de manufatura, engenharia e marketing, presentes nos modelos tradicionais, a relação com o cliente passa a ser uma variável considerada no sistema produto-serviço (LINDAHL et al., 2006). Isto demonstra o nível de complexidade associado aos modelos de projeto.

Tradicionalmente as abordagens para projeto de produto tem foco exclusivo em atender as necessidades do produto, não englobando aspectos de serviço. O mesmo acontece para projeto de serviços, onde produto e serviço são desenvolvidos separadamente (BULLINGER; FÄHNRICH; MEIREN, 2003). Isto impede a integração entre os dois modelos a partir dos processos tradicionais. Neste contexto, alguns modelos de projeto para sistema produto-serviço, onde um dos modelos pode ser considerado dominante (PSS orientado ao produto e PSS orientado ao resultado), são passíveis de adaptação, porém para casos altamente integrados (PSS orientado ao uso) se torna necessário um desenvolvimento simultâneo (ALONSO-RASGADO; THOMPSON; ELFSTRÖM, 2004; KIMITA; SHIMOMURA; ARAI, 2009).

Devido ao crescimento do modelo de sistema produto-serviço e a responsabilidade durante as fases de uso e eliminação, convém estender o foco do projeto para todo o ciclo de vida, tornando-o mais sustentável. Para isso, alguns métodos de projeto foram desenvolvidos ou adaptados para auxiliar em aspectos importantes do desenvolvimento, visando a vantagem de intensificar o uso e reduzir o consumo de recursos. (AMAYA; LELAH; ZWOLINSKI, 2014).

Estes métodos costumam atingir o projeto de produto em sua fase inicial para que possíveis vantagens econômicas, sustentáveis e de mercado sejam mais facilmente atingidas. Para isso, diversos autores propõem diretrizes, estruturas ou métodos que preveem a solução de possíveis problemas associados ao modelo de negócio e processos envolvidos durante o ciclo de vida do produto (MOURTZIS; DOUKAS; FOTIA, 2016). Isso inclui considerações sobre a estratégia de fim de vida, considerando que prolongar a vida do produto ou mesmo lucrar com os componentes é interessante neste modelo de negócio, o que o torna mais sustentável.

A integração entre os diferentes setores permite um acesso maior a informações, o que abre oportunidades para a melhoria contínua do processo e maturidade acelerada do fabricante sobre o sistema (SUNDIN et al., 2008).

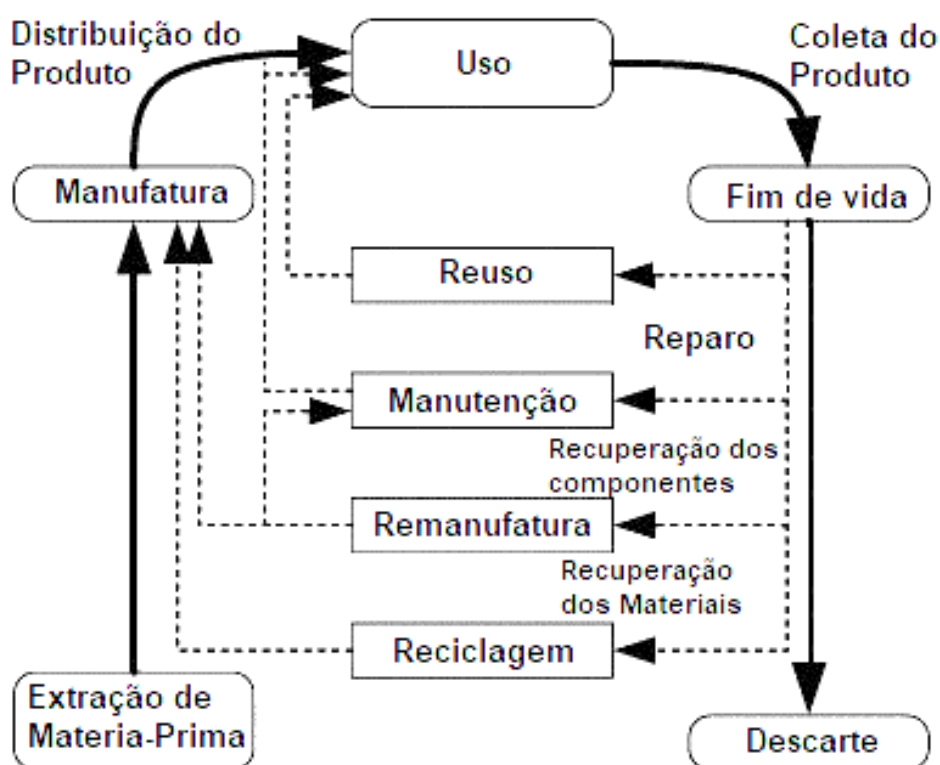
### **2.3 Estratégias de fim de vida**

A abordagem de desenvolvimento com foco no ciclo de vida sustentável considera aspectos a partir de possíveis estratégias de fim de vida. Conforme a Figura 3, simplificada, esse ciclo pode possuir caminhos de reuso, remanufatura e reciclagem antes de uma eliminação.

O reuso caracteriza o ato de utilizar novamente um produto ou peça na construção de novos, considerando que estas ainda não atingiram seu fim de vida. A reciclagem representa a reutilização do material do componente, alegando que não existe mais aplicação funcional para a peça. E a remanufatura, se baseia na possibilidade de renovação do produto ou peça em aspectos funcionais ou de mercado, sem torná-los menos confiáveis (FEGADE; SHRIVATSAVA; KALE, 2015). A propriedade do produto em viabilizar o processo de remanufatura é chamada de remanufaturabilidade, e está associada às características atribuídas ao produto durante seu desenvolvimento ou manutenção (FEGADE; SHRIVATSAVA; KALE, 2015). Além das estratégias de fim de vida física do produto, cabe compreender o

fenômeno do interesse do cliente de enxergar um produto tecnologicamente ou esteticamente obsoleto, o qual pode ocorrer até mesmo antes do produto perder as funções para quais foi projetado (PIALOT; MILLET; BISIAUX, 2017).

Figura 3 – Estratégias de fim de vida.



Fonte: Traduzido e adaptado de (HE *et al.*, 2006).

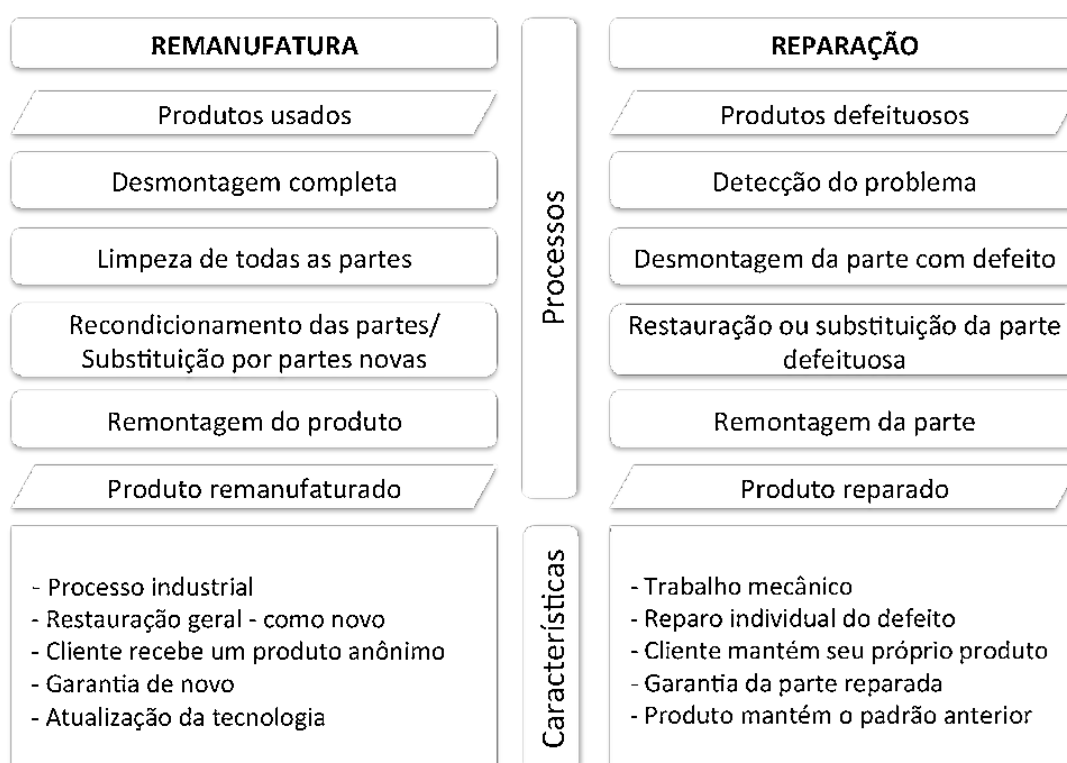
## 2.4 Projeto para Remanufatura

O processo de remanufatura é formado por fases que propõe manter a função essencial do produto ou, se necessário, moderniza-lo. As operações típicas são inspeção, desmontagem, reprocessamento, remontagem e testes. No processo de remanufatura são adotados os chamados núcleos, que são os componentes do bem que serão submetidos ao processo e considerados para serem inspecionados e eventualmente reutilizados (ÖSTLIN; SUNDIN; BJÖRKMAN, 2008). Diferente do processo de reparo, a remanufatura propõe garantir as funções de cada componente do produto para que este atenda qualquer outro sistema, e não readequar o componente apenas para o sistema analisado.

A Associação Nacional dos Remanufaturadores de Autopeças (Anrap) apresenta um comparativo entre o processo de remanufatura e reparação (Figura 4),

e descreve que, diferente do processo de reparo, a remanufatura assegura, com padrões de qualidade iguais aos da peça manufaturada, o funcionamento do produto e componentes reprocessados. Enquanto o processo de reparo readéqua apenas a peça ou subsistema defeituoso para funcionar no produto reparado, desconsiderando aspectos holísticos do funcionamento e reduzindo a confiabilidade.

**Figura 4 – Comparativo remanufatura e reparação.**



Fonte: O que é?, Associação Nacional dos Remanufuradores de Autopeças.

Alguns métodos de projeto foram desenvolvidos na tentativa de facilitar estas operações, os quais compilados resultam no projeto para remanufatura (CHARTER; GRAY, 2008). Entre eles estão: projeto para montagem, projeto para desmontagem, projeto para múltiplos ciclos de vida, projeto para atualização e projeto para inspeção, variando suas prioridades conforme o produto (HATCHER, G. D.; IJOMAH, W. L.; WINDMILL, 2011).

Este conjunto de estratégias é chamado de projeto para remanufatura (*Design for Remanufacturing, DfRem*, do Inglês), este propõe práticas que simplificam ou ainda viabilizam o processo de remanufatura de produtos. Para isso, busca-se inserir propriedades como fácil desmontagem, fácil limpeza, fácil acesso, padronização, entre outras.

## **2.5 Design for X**

*Design for X* (do inglês) ou Design para Excelência, denominado pela sigla DFX, é um conceito que define o ato de unir boas práticas que orientem um projetista a alcançar determinada característica de um produto. Estes “projetos orientados” geralmente abordam recursos, que compilam conhecimentos teóricos e práticos, capazes de materializar potencialidades necessárias em um produto para uma determinada atividade. Pode-se otimizar ou ainda tornar viável um processo no ciclo de vida do produto, como manufatura, transporte, manutenção ou serviços adicionais (LEHTO *et al.*, 2011).

Considerando a diversidade de requisitos nos projetos de produto atuais, o conceito tem sido cada vez mais aplicado para compilar resultados de trabalhos sobre diversos problemas e oportunidades observados pela academia (HUANG, 1996). Vertentes de projetos orientados para reciclagem, capacidade de atualização, modularização, logística, ciclos de vida e até mesmo para mudança de comportamento do usuário foram apresentadas como estratégias para reduzir problemas observados nestes cenários.

Diante da necessidade de atender problemas mais amplos e alcançar um determinado nível de complexidade de um projeto, destaca-se a possibilidade de combinação destes DFXs para gerar novos. Por exemplo, conceitos como projeto para inspeção, desmontagem, montagem e limpeza, compõem as etapas da remanufatura, assim a sinergia das práticas apresentadas dentro de cada DFX torna o projeto para remanufatura possível. Estendendo esta lógica, se entende que a aplicação parcial de práticas voltadas a um determinado propósito pode também gerar benefícios em outros. Como no caso do projeto para remanufatura que, ao menos parcialmente, atende aspectos de manutenibilidade e de serviçabilidade, estes tratam da propriedade do produto de simplificar qualquer atividade associa a manutenção e reparo do produto. A característica dinâmica desta abordagem é utilizada para viabilizar produtos em vários aspectos, desde o modelo de negócio aos processos, atribuindo ao produto recursos para sanar os aspectos físicos e abstratos necessários nas aplicações de mercado e industriais.

## 2.6 Remanufatura e PSS

As vantagens associadas a combinação de remanufatura e sistema produto-serviço são abordadas na literatura por diversos autores. Estes afirmam que a integração de produto e serviço possibilita um controle sistemático dos produtos e reduz um dos principais problemas do processo de remanufatura: a incerteza na cadeia de suprimentos. Isso é devido a possibilidade de prever os ciclos de retorno dos produtos e inspecionar regularmente os desgastes (PRIYONO, 2017; SUNDIN *et al.*, 2008).

E por outro lado, o modelo de negócio pode ser lucrativo na reutilização dos núcleos e ainda favorecer o ganho de conhecimento sobre o próprio produto. Devido ao processo de remanufatura, as empresas podem coletar mais informações de uso e fim de vida, e modificar o produto corrente ou renovar a próxima geração para que tenham o uso físico e emocional prolongado (DOULTSINO *et al.*, 2009).

Diversos autores discutem aspectos associados a combinação entre sistema produto-serviço e remanufatura, buscando levantar e solucionar problemas e oportunidades. Tópicos como capacidade de atualização (CHIERICI; COPANI, 2016), modularização (FADEYI; MONPLAISIR; AGUWA, 2017), gestão da informação (LINDKVIST; SUNDIN, 2016), modelo de negócio (GUIDAT *et al.*, 2014) e orientações de projeto (SAKAO; MIZUYAMA, 2014) são discutidos com a intenção de sugerir práticas, implementar métodos ou relatar casos de aplicação. Ainda, se encontra estudos que compilam e/ou identificam padrões para compreender as tendências e criar parâmetros avaliativos dentro do cenário de PSS remanufaturável, tratando de temas como atualização de produto (KHAN *et al.*, 2018), aceitação do cliente (CAMACHO OTERO; PETERSON; BOKS, 2017) e ferramentas de projeto (MOURTZIS; DOUKAS; FOTIA, 2016).

Com relação aos problemas abordados neste trabalho, se encontra semelhanças em (KHAN *et al.*, 2018), que compilam orientações de projeto e práticas a partir do ciclo de vida do produto, e em (PRENDEVILLE; BOCKEN, 2017) que compilam estratégias para adequação à remanufatura. Além de (AZIZ *et al.*, 2016) que identificam métodos para remanufatura abordando atualização.

### 3 METODOLOGIA

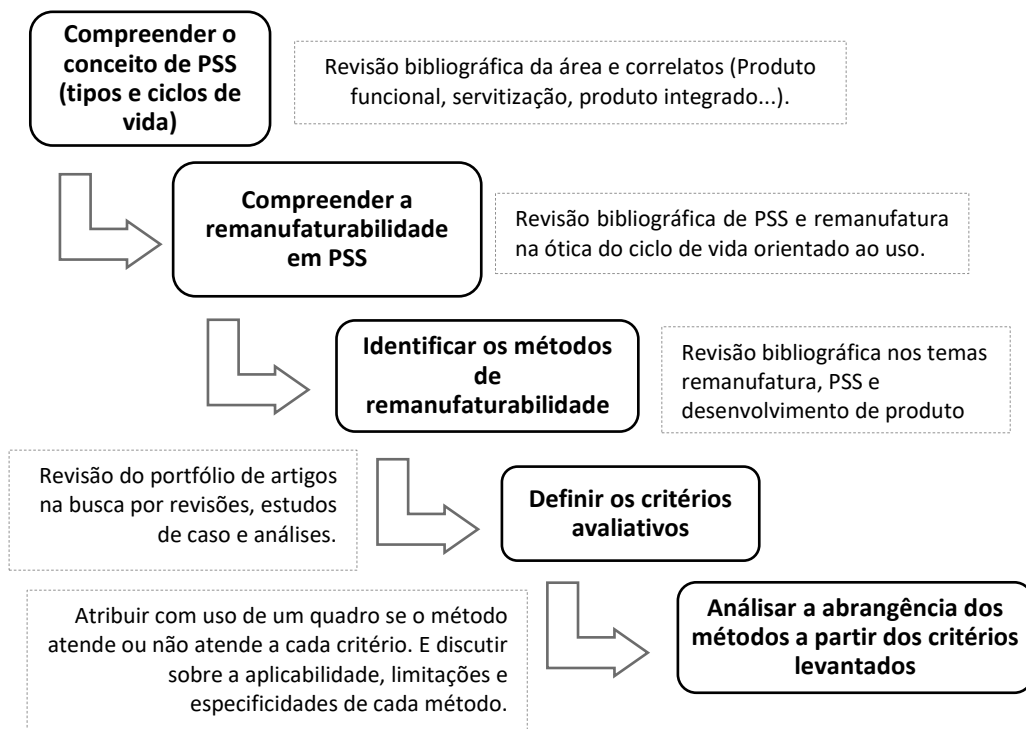
Este trabalho tem natureza básica, pois é composto por outros estudos na tentativa de alcançar uma compreensão mais específica do estado da arte. Tem objetivo exploratório, pois parte do pressuposto que se requer métodos mais próximos da aplicação, e utiliza uma revisão da literatura para compreender a abrangência dos estudos disponíveis. Além disso, possui abordagem qualitativa, pois utiliza da interpretação de conceitos para contrapor teses e compreender a relação entre fenômenos. E tem procedimento bibliográfico, pois propõe avaliar o assunto a partir do conhecimento acessível no lastro de conhecimento publicado.

Para alcançar o objetivo geral deste trabalho, utilizou-se como método a revisão bibliográfica, a qual se desenvolveu em duas etapas. Após a compreensão do tema sistema produto-serviço, seus tipos e os modos de ciclo de vida, o trabalho faz uso de uma revisão da literatura para entender os conceitos envolvidos na remanufatura de produtos em sistemas produto-serviço. Em seguida, por meio de uma revisão específica, busca identificar os métodos presentes na literatura que propõem auxiliar a remanufaturabilidade de produtos em PSS. E assim, utiliza-se o portfólio de artigos das duas revisões para definir critérios avaliativos de remanufaturabilidade dos produtos neste modelo de negócio. Avalia-se os métodos com o uso dos critérios pré-identificados e discute-se a aplicação de cada método a partir do seu nível de abrangência. Estas etapas estão representadas na Figura 5, e em seguida, descreve-se a metodologia utilizada para alcançar cada um dos cinco objetivos específicos.

Para atender ao objetivo específico número 1 foi aplicada uma revisão da literatura através das temáticas “*servitization*”, “*Product-service system*”, “*Circular economy*” e “*Functional economy*” no banco de periódicos da CAPES. O Portal de Periódicos, da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), é uma biblioteca virtual que reúne e disponibiliza materiais científicos a instituições de ensino e pesquisa no Brasil. Existe um acervo de mais de 45 mil títulos com texto completo, 130 bases de referências e 12 bases de patentes.



**Figura 5 – Esquemático objetivos e metodologia.**



Fonte: Elaborada pelo autor.

Os artigos foram filtrados por “revisados por pares” e “engenharia”. A seleção foi feita através da busca nos títulos e resumos dos termos “*review*”, “*methods*”, “*guidelines*” e termos associados para compreender a visão panorâmica sobre desenvolvimento e aplicação. Termos como “*life cycle*”, “*Life extension*”, “*product*”, “*LCA*” e outros relativos também foram utilizados para compreender o papel de produto dentro do modelo de negócio, como ele se comporta e pode ser melhor aproveitado. Os estudos selecionados foram lidos parcialmente ou lidos integralmente, conforme descrição abaixo. As citações de relevância dos artigos levantados também foram buscadas e lidas.

A fim de atender o objetivo específico número 2, foi realizada uma revisão da literatura, na qual se propôs buscar artigos científicos relevantes tanto na temática de sistema produto-serviço quanto remanufatura a nível internacional. As seguintes etapas foram seguidas:

- a. Busca no banco de periódicos da CAPES através das palavras-chave em inglês e operadores lógicos: "*Product-Service System*" ou "*PSS*" ou "*Servitization*", e "*Remanufacturing*" ou "*Remanufacture*". Retornando 368 publicações;
- b. Foram filtrados os artigos do tipo revisados por pares para ter acesso as publicações com maior relevância na comunidade. Retornando 244 publicações;
- c. Um segundo filtro foi aplicado para buscar publicações no tópico de "engenharia" para aproximar ao escopo do trabalho. Retornando 140 publicações;
- d. A fim de buscar publicações que destacassem o papel da remanufatura, foram filtrados os artigos pelo tópico "remanufatura". Retornando 25 artigos;
- e. A partir da leitura dos títulos e resumos foram eliminadas publicações que não incluíam os termos "*PSS*", "*Product-service system*", "*servitization*" ou "*circular economy*". Retornando 19 artigos;
- f. A partir da leitura integral ou parcial dos artigos e da identificação de referências relevantes por citação, foi possível acrescentar publicações pontuais de relevância para compreensão do tema. Totalizando um portfólio de 24 artigos.

A fim de atender o objetivo específico número 3, foi realizada uma revisão da literatura com intenção de encontrar orientações, estruturas, metodologias ou afins que propusessem aperfeiçoar a remanufaturabilidade de produtos em sistemas produto-serviço, chamados aqui genericamente por "métodos". A revisão se dividiu em duas buscas no período entre março e abril de 2019.

A primeira foi realizada no banco de periódicos da CAPES com uma sistemática mais restrita, porém devido ao número insatisfatório de artigos, foi utilizado o sistema de busca Google Acadêmico com redução dos termos e critérios de filtro de busca. As seguintes etapas foram utilizadas como estrutura para os resultados apresentados na Figura 6:

- a. Busca no banco de periódicos da CAPES através do algoritmo com as palavras-chave em inglês e operadores lógicos;
- b. Filtrando artigos do tipo revisados por pares.
- c. Filtrando pelo tópico de "engenharia";

- d. Filtrando pelo tópico de “remanufatura” ou “Sistema produto-serviço”;
- e. Aplicando como critérios a exclusão do termo “*Manufacturing*” no título e verificando a presença de termos relacionados a: “*Sustainable products*”, “*functional sales*”, “*funcional product*”, “*circular economy*”, “*PSS*”, “*product-service system*”, “*servitization*” nos títulos e resumos;
- f. Através da leitura dos objetivos dos artigos foram selecionados os trabalhos que abordavam termos como “*method*”, “*guidelines*”, “*frameworks*” e “*design*”;
- g. Após a leitura na íntegra, considerando a necessidade de uma ênfase em produto, foram excluídos artigos associados a outros aspectos do modelo de negócio com produtos remanufaturáveis, como marketing e gestão. Além de artigos repetidos em outras buscas.

Após quatro buscas acrescentando termos e alterando os filtros, conforme demonstrado na Figura 6, apenas 1 artigo atendeu os critérios. Considerando que uma revisão menos detalhada não afetaria o resultado do trabalho foi proposta uma nova busca mais abrangente no sistema de busca Google Acadêmico.

- a. Busca no Google Acadêmico através das palavras-chave em inglês “*PSS*”, “*Remanufacturing*” e “*Guidelines*”. Retornando 891 publicações.
- b. Foram lidos os títulos e resumos das primeiras 15 páginas da busca, com 10 resultados por busca, apresentando forte frequência de palavras de interesse até a página 10. Aplicando como critérios de exclusão publicações internas de instituições e a presença do termo “*Manufacturing*” no título. E para inclusão presença de termos relacionados a “*Sustainable products*”, “*functional sales*”, “*funcional product*”, “*circular economy*”, “*PSS*”, “*product-service system*” e “*servitization*” nos títulos e/ou resumos. O resultado foi de 17 artigos.
- c. Através da leitura dos objetivos foram removidos os artigos que não estavam no contexto de produtos aplicados em serviços, para seguida remover aqueles que não apresentavam intuito de aplicação dos conceitos levantados, classificando-os como revisões. Restaram 10 artigos.
- d. Considerando a necessidade de uma ênfase em projeto de produtos remanufaturáveis, foram excluídos métodos para remanufatura focados em outros aspectos, como gestão, marketing e modelo de negócio. Ou ainda,

que incluíam a remanufatura como foco secundário. Assim, foram selecionados 3 artigos.

Buscas também foram realizadas utilizando a combinação de termos como *“Product-service system”*, *“Servitization”*, *“frameworks”*, *“design”*, *“method”* e *“product development”*, porém houve um número maior de resultados divergentes ao tema e os aderentes encontrados já estavam presentes na primeira busca no sistema Google Acadêmico. Sendo assim, considera-se desnecessário destacar novos resultados.

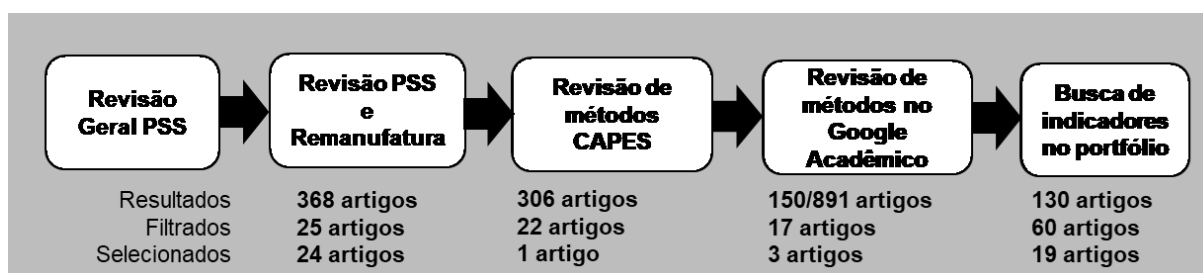
A fim de atender o objetivo específico número 4, foi utilizado parte do portfólio de artigos levantados nas duas revisões anteriores, para identificar aspectos avaliativos relacionados ao desenvolvimento de produto que favorecessem o processo de remanufatura em PSS. Os aspectos foram buscados em revisões do tema e artigos argumentativos, para isso deveriam abordar problemas característicos à combinação do processo de remanufatura e do modelo de negócio. Foram adotados os seguintes critérios de seleção.

- a. Os artigos deveriam abordar o modelo de negócio sistema produto-serviço diretamente ou como vertente da economia circular, já que ambos podem incluir a concessão de uso e retenção da posse do produto;
- b. Os aspectos levantados poderiam derivar de estudo de casos ou entrevistas, desde que devidamente generalizados a outros cenários; ou ainda através do confronto de teses de estudos da área com aceitação na comunidade acadêmica;
- c. Inicialmente foram excluídos trabalhos isolados somente aos campos de economia circular ou remanufatura, devido a intenção de adotar resultados fruto do confronto das especificidades de cada tema. Posteriormente, foram considerados artigos específicos citados por outros autores com a intenção de embasar conceitos técnicos aplicados.

O portfólio analisado incluiu aproximadamente 130 artigos lidos integralmente ou parcialmente, encontrados durante a revisão para compreensão do tema, busca de métodos, ou ainda, estudos frequentemente citados por outros autores. O que resultou em cerca de 60 artigos selecionados para compreensão do tema. Para composição dos critérios foram utilizados 19 artigos, selecionados devido a capacidade de compilação e/ou confronto dos assuntos.

A Figura 6 ilustra a sequência das revisões e o número de artigos retornados, filtrados por título e resumo, e os selecionados na leitura integral. A revisão no sistema CAPES foi representada pelos resultados da busca número 1, que foi a única que trouxe resultados. A busca no sistema Google Acadêmico foi abordada apenas nos primeiros 150 artigos de 891 resultados. E o portfólio utilizado na busca de indicadores foi composto pelos artigos filtrados em todas as revisões anteriores.

**Figura 6** – Sequência de revisões da literatura.



Fonte: Elaborado pelo autor

Para atender ao objetivo específico número 5, foi adotado um modelo binário, onde a partir da interpretação do artigo que apresenta o método, se pode afirmar que há instruções para “atender” ou “não atender” o critério avaliado. O resultado será apresentado a partir do somatório de critérios atendidos, através de uma tabela que ilustra a abrangência dos métodos. A partir dos critérios atendidos, foi possível discutir quais os impactos da aplicação deste método em um cenário genérico de PSS orientado ao uso, assim como as nuances do contexto de cada método.

**Figura 7** – Resultados da revisão sistemática variando algoritmo e filtros.

Busca	Algoritmo	Resultados	Resultados (Revisado por pares)	Resultados (Engineering)	Resultados por filtro	Resultados (Título e resumo)	Resultados (Objetivos)	Resultados (Integral)	
1	("Product-Service System" OR "PSS" OR "Servitization") AND ("Remanufacturing" OR "Remanufacture") AND ("Method" OR "Framework" OR "Guidelines")	306	265	97	<i>Remanufacturing</i>	22	5	2	1
2	("Product-Service System" OR "PSS" OR "Servitization") AND ("Remanufacturing" OR "Remanufacture") AND ("Method" OR "Framework" OR "Guidelines")	306	265	97	<i>Product-service systems</i>	24	3	0	0
3	("Product-Service System" OR "PSS" OR "Servitization") AND ("Remanufacturing" OR "Remanufacture") AND ("Method" OR "Framework" OR "Guidelines") AND ("Product design" OR "Product development" OR "NPD")	242	212	92	<i>Remanufacturing</i>	21	7	2	0
4	("Product-Service System" OR "PSS" OR "Servitization") AND ("Remanufacturing" OR "Remanufacture") AND ("Method" OR "Framework" OR "Guidelines") AND ("Product design" OR "Product development" OR "NPD")	242	212	92	<i>Product service-systems</i>	10	3	0	0

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados são compostos por três entregas: a identificação e descrição dos métodos, a definição de critérios avaliativos, e a análise dos métodos a partir dos critérios levantados.

### 4.1 Métodos

Através da revisão da literatura, quatro artigos propuseram auxiliar no desenvolvimento de produtos remanufaturáveis em um sistema produto-serviço, sendo através de práticas, estruturas lógicas ou metodologias. Os artigos selecionados foram publicados entre 2005 e 2017, e envolveram 10 autores e três revistas diferentes. Os dados estão apresentados no quadro 1.

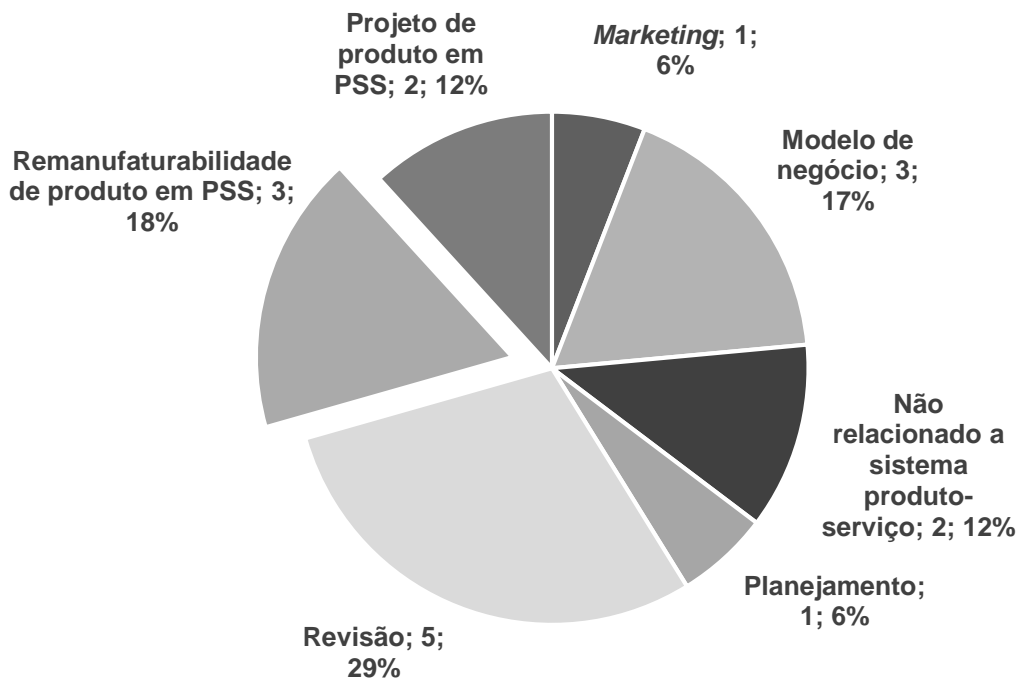
Seguindo a metodologia apresentada anteriormente, após a etapa de seleção dos artigos por meio dos títulos e resumos com maior adesão, foi necessário identificar por meio de uma leitura detalhada quais estavam em consonância com os objetivos deste trabalho. A etapa incluiu 17 artigos, primeiramente, foram retirados os que não estavam no contexto de produtos aplicados a serviços; em seguida, foram retirados aqueles que se bastavam em revisões da literatura e não continham propostas de aplicação dos conceitos para serem considerados métodos. E por fim, foram classificados os artigos que apresentavam métodos conforme o foco de cada trabalho, três artigos estavam dentro do grupo de interesse. A Figura 7 apresenta as frações de cada foco. O quarto artigo foi resultado da pesquisa no banco de periódicos da CAPES.

Primeiramente, será apresentada uma descrição de cada método e, posteriormente, no subcapítulo 4.3, será realizada uma análise dos métodos utilizando os critérios definidos no subcapítulo 4.2.

O artigo número 1 (SUNDIN; BRAS, 2005), com o título em tradução livre, “Tornando as vendas funcionais ambientalmente e economicamente vantajosas através da remanufatura de produtos”, apresenta relações entre o *design* de produto e a remanufatura, argumentando que produtos associados a serviços devem ser remanufaturáveis como vantagem competitiva. Destaca-se que poucos produtos são capacitados para remanufatura, sugerindo que devem haver mudanças nos

requisitos de produto para essa aplicação. O trabalho descreve estudos de caso que propunham melhorar a remanufaturabilidade de produtos em uma grande empresa de eletrodomésticos novos e remanufaturados.

**Figura 8** – Foco dos estudos na etapa final da revisão de métodos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O artigo utiliza produtos reais, que passam por um processo de remanufatura devido à defeitos no transporte ou retorno de um *leasing*, para realizar um estudo de caso e levantar aspectos de projeto. Primeiramente, os autores realizam montagens e desmontagens para avaliar o nível de dificuldade do processo e, em seguida, entrevistam os funcionários que realizam o processo buscando por aspectos de produto que facilitariam o trabalho. Alguns pontos de melhoria com relação as características de fácil limpeza e acesso são propostos, os quais, segundo os autores, poderiam ser generalizados para qualquer produto através da aplicação da matriz RemPro, a qual é uma ferramenta disponível na literatura e



aplicada para que os projetistas possam identificar rapidamente quais características de produto são necessárias para cada etapa do processo de remanufatura.

O artigo também avalia o processo de remanufatura utilizado pela empresa estudada. Após uma análise na linha de produção e entrevista com responsáveis, se destaca situações como baixo controle sobre estoque, peças com alto tempo de espera para reposição, e gargalo na etapa de limpeza do produto. Dentre os pontos, os autores destacam apenas o gargalo no processo de limpeza como passível de melhoria através de alteração no produto. Por fim, aspectos de custos são discutidos e ganham destaque as despesas de estoque, limpeza, reparação e transporte de produtos por caminhões até outra instalação de processo da companhia. Conclui-se como a limpeza e a reparação seriam aprimoradas com as melhorias em projeto de produto.

O artigo número 2 (SUNDIN; LINDAHL; IJOMAH, 2009), com o título em tradução livre, “Projeto de produto para sistemas produto/ serviço: experiências de design da indústria sueca” apresenta resultados de acompanhamento em três empresas em modelo PSS com produtos remanufaturáveis, e conclui orientações de projeto a serem aplicadas conforme cada caso. Destaca-se a importância de melhorias de projeto para remanufatura e as vantagens do processo aplicado à sistemas produto-serviço. O cenário é de produtos consolidados, sem grande dependência de mercado sobre a aparência e grande volume de produtos disponíveis para remanufatura. O artigo valida a aplicação, registrando através de entrevistas com responsáveis os impactos de mudanças simples de projeto.

O estudo foi realizado em empresas de empilhadeiras, compactadores de solo e aplicações domésticas, utilizando um embasamento da literatura para avaliar os produtos. Os produtos foram analisados através da montagem e desmontagem pelos pesquisadores, e as soluções propostas foram jogadas por engenheiros mecânicos e *designers*.

Os autores recomendam que, primeiramente, uma investigação sobre as etapas que são mais importantes para a área de negócio da remanufatura seja feita, para isso, sugerem a utilização da Matriz RemPro para visualizar as etapas do

processo. Posteriormente, uma análise de produto e processo é sugerida, onde utiliza-se diretrizes de remanufatura e conhecimento dos avaliadores. Para isso, destaca-se a abordagem do “projeto para remanufatura” como ferramenta para alinhar aspectos legislativos e aumentar o potencial de reprojeto do produto.

Diversas melhorias são levantadas, relacionadas às características de desmontagem, fácil acesso, fácil limpeza, redução de desgaste e padronização. Estas melhorias englobam aspectos de uso, manutenção/remanufatura e reuso, e segundo os autores, são adaptadas após compreensão de metodologias orientadas exclusivamente à remanufaturabilidade de produtos.

O artigo número 3 (FADEYI; MONPLAISIR; AGUWA, 2017), com o título em tradução livre “A integração da limpeza do núcleo e serviçabilidade na modularização de produtos para a criação de um sistema produtos-serviço aprimorado com a remanufatura”, apresenta uma abordagem matemática para auxiliar nas decisões durante a configuração de produtos modulares remanufaturáveis em PSS. Adota-se a limpeza e a serviçabilidade dos produtos como aspectos principais para serem otimizados com o uso da modularização e de uma lógica *fuzzy*. Considera-se um cenário de desenvolvimento de produtos para empresas manufatureiras que querem investir ou terceirizar a remanufatura de seu portfólio. O artigo demonstra aplicação utilizando uma situação teórica.

Baseado na literatura, os autores adotam duas principais características de produto para o sistema produto-serviço com remanufatura: serviçabilidade, principalmente na fase de uso; e fácil limpeza do núcleo (componente escolhido para ser remanufatura), principalmente na etapa de remanufatura. O artigo defende que a própria modularização é considerada um simplificador do processo de desmontagem e da própria arquitetura do produto, reduzindo sistemas complexos em vários subsistemas mais simples. O algoritmo utiliza uma lógica *fuzzy* que envolve: quantidade de módulos do produto, número de tipos para cada módulo e o grau qualitativo de serviçabilidade e de fácil limpeza atribuído a cada tipo de módulo. Considera-se a frequência de operações de serviço e a similaridade dos materiais para cada conexão entre dois módulos, associando os tipos de sujeiras e recursos de limpeza usados para a combinação. A lógica busca associações entre

módulos na arquitetura e testa as variações de cada um, propondo ao fim um índice de serviçabilidade e um de limpeza de núcleo para as combinações. Para demonstrar o funcionamento, o artigo aplica o modelo a um produto teórico, com 6 módulos de 4 variações cada um, e apresenta 10 possibilidades viáveis entre 61440 combinações.

O artigo número 4 (XING; BELUSKO, 2008), com o título em tradução livre, “Algoritmo de projeto para potencial de atualização: Configurando produtos duráveis para reutilização competitiva”, apresenta uma estrutura lógica para otimizar o reuso e/ou remanufatura no desenvolvimento de produtos com capacidade para serem atualizados. O trabalho utiliza o conceito de capacidade de atualização associado a modelos matemáticos para desenvolver um método que aumente a capacidade de renovação do produto durante seu ciclo de vida. A capacidade de atualização pode ser definida como a robustez de um produto em receber quaisquer melhorias funcionais ou tecnológicas durante a sua vida.

O artigo destaca a importância de renovar as funcionalidades do produto durante o processo de remanufatura, destacando a necessidade de considerar a abordagem ainda na fase de projeto. Tanto aspectos básicos de engenharia quanto de fácil atualização são propostos e através da aplicação de modelos matemáticos computacionais se alcança uma configuração otimizada. Considera-se um cenário de produtos utilizados em serviços, os quais podem ser aprimorados entre as fases de reuso e remanufatura. Ao fim, a eficácia é demonstrada na aplicação do método em um sistema teórico de aquecimento solar.

Através de uma revisão da literatura, os autores identificaram os aspectos de relevância do projeto para potencial de atualização (*design for upgradability*, do inglês), sendo eles: uso de uma plataforma comum, capacidade de reuso dos núcleos, e uma estrutura modular que facilite a implementação. A partir disso, é apresentada uma estrutura que propõe um desenvolvimento paralelo dos princípios básicos de engenharia de produto (qualidade, manufaturabilidade, funcionalidade e etc.) e dos princípios para a capacidade de atualização. Após a definição das funções do produto, intenção das atualizações, estratégias de reuso e limitações de projeto, duas fases compõem o processo: a primeira identifica os indicadores,

características atualizáveis dos componentes, e capacidade de atualização geral do produto. A segunda fase formula os objetivos, identifica soluções alternativas e busca a melhor configuração.

Na definição dos indicadores para potencial de atualização, se propõe avaliar 3 aspectos: a compatibilidade de performance do produto com possíveis futuras mudanças nas funções; o grau de reuso associado ao uso funcional e físico; e as relações entre componentes de um módulo e entre módulos, na tentativa de manter semelhanças operacionais e de medir possíveis alterações nas conexões entre módulos durante a atualização. As características atualizáveis são modeladas com uso de equações matemáticas que representes os 3 indicadores descritos anteriormente, compilando aspectos associados a confiabilidade, manutenção, vida da tecnologia e número de componentes. O último passo define um indicador que mede a capacidade de atualização geral do produto através dos 3 indicadores iniciais, essa modelagem retorna causas raízes de uma performance insatisfatória e representa matematicamente os aspectos do produto.

A segunda fase se inicia pela definição da função objetivo. A função objetivo se baseia no custo total da vida do produto, pois, segundo o artigo, o investimento nesta característica deve ser lucrativo baseado em toda sua vida útil, desde o projeto até o descarte. Para isso, se cria um indicador que mede a relação entre o nível de capacidade de atualização com os custos de projeto e serviço. Para identificação das soluções são definidas 3 variáveis: parâmetro de performance de engenharia, que variam dentro de um domínio de valores para cada componente; taxa de falha do componente, que é considerada uniforme no tempo; e posição no modulo, para isso se testa variações de posições nos módulos e peças conectadas. Por fim, com todas as devidas limitações adotadas, se utiliza um algoritmo genético para apresentar a melhor combinação de módulos e componentes que represente o ponto ótimo entre capacidade de atualização e custo. Uma avaliação baseada nos interesses da empresa deve ser feita e, se necessário, mudanças nas prioridades do código podem orientar o resultado de uma nova busca.

O quadro 1 compõe os dados dos artigos apresentados, incluindo o título original, local de divulgação, ano de publicação e breve descrição.

**Quadro 1** – Portfólio de métodos a serem avaliados.

Artigo	Título (original em inglês)	Referência	Revista	Ano	Descrição
1	Making functional sales environmentally and economically beneficial through product remanufacturing	(SUNDIN; BRAS, 2005)	Journal of Cleaner Production	2005	Avalia aspectos do processo de remanufatura e levanta propriedades dos produtos para o processo.
2	Product design for product/service systems: Design experiences from Swedish industry	(SUNDIN; LINDAHL; IJOMAH, 2009)	Journal of Manufacturing Technology Management	2009	Centraliza a remanufatura na etapa de projeto de produto para PSS, e discute a importância através de estudos de caso.
3	The integration of core cleaning and product serviceability into product modularization for the creation of an improved remanufacturing-product service system	(FADEYI; MONPLAISIR; AGUWA, 2017)	Journal of Cleaner Production	2017	Apresenta uma estrutura utilizando modularização para auxiliar na escolha de arquitetura de produto nas fases preliminares, visando a remanufaturabilidade em PSS.
4	Design for Upgradability Algorithm: Configuring Durable Products for Competitive Reutilization	(XING; BELUSKO, 2008)	Journal of Mechanical Design	2008	Propõe uma estrutura para encontrar soluções ótimas de produtos atualizáveis em contexto de serviços.

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 4.2 Critérios Avaliativos

Paralelamente ao levantamento dos métodos, foram levantados alguns critérios avaliativos para analisar o grau de abrangência dos métodos para remanufaturabilidade de produtos em sistema produto-serviço orientado ao uso. Considerando as características de ciclo de vida do produto dentro do modelo de negócio, foram identificados aspectos importantes tanto ao produto quanto ao processo de desenvolvimento.

Para definir os critérios, durante a revisão em busca por indicadores, três grupos conceituais puderam ser criados para arranjar os critérios no contexto deste trabalho: os problemas, os aspectos, e os critérios. Os problemas são questões

genéricas observadas no cenário de PSS e remanufatura; já os aspectos são temáticas englobadas pelos problemas, mas associadas ao produto. Enquanto os critérios são indicadores baseados em práticas de desenvolvimento de produto para medir os aspectos. Estes grupos foram criados para afunilar a compreensão e expandir a percepção do projetista, e foram criados a partir da interpretação dos pontos sensíveis de PSS e remanufatura presentes na literatura.

A partir dos estudos que embasaram as discussões deste subcapítulo, pôde-se estabelecer 5 problemáticas em que os critérios de avaliação poderão atuar, estes são: “inviabilização do processo”, “imprevisibilidade”, “obsolescência”, “desgaste precoce” e “melhoria”. Dentro das problemáticas, foram observados alguns aspectos e, a partir destes, serão desdobrados os critérios avaliativos, considerando as vantagens e desvantagens da união de PSS e remanufatura em comparação ao modelo tradicional de consumo.

A problemática de “inviabilização do processo” se baseia nas características do produto que viabilizam as etapas fabris da remanufatura, alcançadas através do “projeto para remanufatura”. “Imprevisibilidade” se baseia no fato de que os componentes matéria-prima da remanufatura nem sempre chegam com volumes previsíveis em quantidade e qualidade, o que dificulta atingir a factibilidade operacional do processo (PRIYONO; IJOMAH; BITITCI, 2015). Isto engloba os aspectos de “redução de complexidade”, associado a uma redução de diversidade de componentes, e “cadeia de suprimentos”, relacionado a previsão de volumes e/ou estado dos produtos no fim dos ciclos de uso. “Obsolescência” está associado a prática do consumidor em descartar produtos funcionais devido a uma defasagem tecnológica ou estética, tornando-os obsoletos para o mercado (CHIERICI; COPANI, 2016). Este problema engloba o aspecto de “fim de vida percebida”, o qual está relacionado a quantidade de tempo em que o produto tem seu valor percebido pelo cliente. A problemática de “desgaste precoce” envolve o fato de que produtos tradicionais podem reduzir a viabilidade do modelo de reuso devido a ciclos acelerados de remanufatura, nesse contexto os aspectos de “vida física curta” e “comportamento do usuário” foram englobados. Estes se complementam, pois, em comparação aos produtos de um ciclo de vida simples, este modelo exige aspectos

robustos para que as peças sejam descartadas o mais tarde possível em um cenário de utilização negligente pelo usuário (COX et al., 2013). E por último, em “melhoria”, foi observado o aspecto de “reuso de informações”, devido a consideração de que o ciclo de informações é um intensificador de melhorias do portfólio de projetos (DOULTSINO *et al.*, 2009). A coleta, tratamento e compartilhamento de informações é recomendada neste modelo, pois os diversos ciclos de uso e vida permitem que melhorias em produto e processo sejam mais frequentes e eficientes (KHAN et al., 2018). Com as cinco problemáticas apresentadas (“inviabilização do processo”, “imprevisibilidade”, “obsolescência”, “desgaste precoce” e “melhoria”) é possível entender o cenário em que o produto está inserido, e com os sete aspectos impactantes ao produto (“projeto para remanufatura”, “redução de complexidade”, “cadeia de suprimentos”, “fim de vida percebida”, “comportamento do usuário”, “vida física curta” e “reuso de informações”) será possível introduzir os critérios práticos de avaliação.

Com relação ao aspecto de “projeto de remanufatura” foram destacados como principais etapas do processo: inspeção, limpeza e desmontagem. Como ponto dominante na quebra dos paradigmas do modelo tradicional de consumo, se destaca a característica de requerer fácil desmontagem do produto após o fim de vida, exigindo características que permitam que o produto seja desmontado e remontado sem gerar danos as partes. Essa etapa da remanufatura pode ser realizada de forma robotizada ou manual, porém exige considerações prévias do produto para remanufatura (PRIYONO; IJOMAH; BITITCI, 2015). Partindo do princípio de que no modelo atual de consumo os produtos são feitos para receberem poucos reparos e serem descartados em aterros ou reciclados sem preocupação com a integridade dos componentes, fica evidente, num modelo circular, a necessidade de atribuir sistemas de desmontagem que não afetem a confiabilidade ou integridade das peças (DESAI, ANOOP; MITAL, 2017). Sendo assim, o critério de “fácil desmontagem” deve ser incluído como aspecto avaliativo devido ao grau de importância na viabilidade do processo.

O processo de remanufatura inclui a função de verificação da qualidade dos componentes, na qual se inspeciona se as características do desempenho

permaneceram após o ciclo de uso. Como consideração importante neste processo está o fácil acesso a pontos de interesse do componente, viabilizando a etapa de inspeção das funcionalidades. Diferente de produtos manufaturados, onde frequentemente se atesta apenas o funcionamento do sistema final, as peças para remanufatura passam por um processo sofisticado para garantir que individualmente cada componente ainda cumpra seu papel no produto remontado com peças diferentes (SUNDIN; BRAS, 2005). Assim, para simplificar o processo de inspeção de peças e produtos, se valida como critério de projeto a característica de “fácil acesso” para maior eficiência do processo.

Com relação a etapa de limpeza, se discute a necessidade de garantir uma boa avaliação e renovação tanto funcional quanto estética do produto. A característica de fácil limpeza é justificada tanto para permitir a avaliação do estado da peça quanto para renovar as características estéticas. Processos de limpeza em superfícies não adequadas podem resultar em processos demasiadamente demorados, ou ainda incluir processos de limpeza muito agressivos que danificam ou reduzem o tempo de vida peça. Isto impossibilita a reutilização do componente e reduz a remanufaturabilidade do produto. Ademais, uma limpeza adequada é essencial para uma inspeção correta do produto, considerando que impurezas e oxidações camuflam ou mesmo geram defeitos em componentes (SUNDIN; BRAS, 2005). Portanto, o critério de “fácil limpeza” ganha destaque, pois torna essa etapa da remanufatura mais viável, além de favorecer o processo de inspeção. Apesar de não serem de interesse da remanufatura, essas três considerações também avaliam o grau de serviçabilidade e manutenibilidade do produto, considerando os requisitos comuns das atividades (FADEYI; MONPLAISIR; AGUWA, 2017).

Considerando a especificidade do modelo de negócio, no qual é necessário transitar o produto no sentido cliente-cliente ou ainda cliente-fornecedor-cliente, se destaca a importância de um *design* baseado na logística de produtos. Se entende como necessário abordar aspectos que simplifiquem e, em alguns casos, viabilizem a logística após a venda de uso-fruto do produto. Para isso, se destaca a importância do projeto para logística e redução da complexidade do produto (PRENDEVILLE; BOCKEN, 2017).



Considerações sobre o processo de logística devem ser adotadas na ótica da remanufatura. Elas podem auxiliar a reduzir a característica de imprevisibilidade da cadeia de suprimentos do processo, considerando que um projeto adequado pode inserir acessórios inteligentes que permitam coletar dados sobre a vida dos produtos e tornar o transporte mais inteligente (BRESSANELLI *et al.*, 2018). Já a redução de complexidade se associa tanto aos aspectos de desmontagem, com relação a fixação e modos de montagem, quanto à necessidade de se reduzir a diversificação de componentes. Um número maior de peças comuns permite reduzir o tempo de estoque das peças e torna a cadeia de suprimentos mais estável (PRIYONO; IJOMAH; BITITCI, 2015). Uma solução conhecida para a simplificação de projeto é a aplicação de componentes padronizados e sistemas modulares (SONEGO; ECHEVESTE; GALVAN DEBARBA, 2018). Sendo assim, se considera como critério avaliativo considerações em “projeto para logística” e “padronização e/ou modularização” de componentes orientados à remanufatura.

Uma forte consideração decorrente das características do mercado atual é a necessidade de atualização dos produtos como ferramenta de extensão de vida. Considerando que a vida útil de um produto se estende tanto no aspecto funcional quanto psicológico, se torna necessário destacar a capacidade de renovação de um produto. O produto atualizável é robusto para suportar inovação tecnológicas e mudanças na percepção do cliente, permitindo mudanças (KHAN *et al.*, 2018).

A inclusão desta abordagem se justifica pela característica do modelo de negócio de criar vários ciclos de uso e de vida para o produto. Considera-se que se o produto for incapaz de receber novos recursos após o processo de remanufatura, este se tornará obsoleto em relação aos concorrentes e será encaminhado prematuramente para reciclagem (XING; ABHARY; LUONG, 2006). Portanto, o aumento da capacidade de atualização torna-se um critério a ser avaliado em um método para remanufaturabilidade, considerando que a remanufatura perde seu propósito se não permitir a melhoria em performance e satisfação do cliente.

Acrescendo ao leque de critérios de avaliação, ganha destaque a importância de considerar a gestão do conhecimento dentro do modelo de negócio estudado. Esta consideração pode surgir tanto como ferramenta no processo de

desenvolvimento de produto quanto em recursos no próprio produto para coleta de dados (BRESSANELLI *et al.*, 2018; DOULTSINO *et al.*, 2009). A inclusão de recursos para gestão do conhecimento é favorecida devido a característica do modelo de negócio de possuir vários ciclos de uso com o produto acessível ao fornecedor, permitindo que informações sejam coletadas com mais frequência e, conseqüentemente, problemas e oportunidades sejam observados, estimulando melhorias ao processo de remanufatura e a produtos futuros para o portfólio (DONGMIN *et al.*, 2012). Portanto, se atesta como critério a inclusão de práticas de gestão do conhecimento que se associem ao processo de desenvolvimento de produtos preconizando aspectos de melhoria na remanufaturabilidade.

Dentre as conseqüências da transição de modelo de consumo, se destaca a mudança de comportamento do usuário em relação ao produto. Devido à falta de posse, pode-se observar uma degradação precoce do produto comparado aos modelos em que há retenção de posse. Isso se justifica devido a tendência do indivíduo em negligenciar aspectos de manutenibilidade ou fazer mal-uso do produto (TUKKER, 2015). Esse fenômeno pode implicar na inviabilização do modelo e torná-lo menos sustentável, além de dificultar o processo de remanufatura devido a imprevisibilidade de desgaste de peças remanufaturáveis, afetando a cadeia de suprimentos e gestão de operações. Assim, a nível produto, se sugere aspectos de projeto orientados à mudanças de comportamento do usuário (*Design for Behaviour Change*, do inglês) (WASTLING; CHARNLEY; MORENO, 2018).

Estas orientações de projeto se baseiam em produtos e serviços e são vertentes de aspectos psicológicos e de mercado. Tanto os aspectos de serviço quanto de produto podem ser considerados como solucionadores. As estratégias de aplicação podem ser tomadas conforme o modelo de negócio e cultura do mercado, tornando as considerações de produto opcionais em determinados casos. Entretanto, configurações de produto que limitem, conscientizem ou induzam mudanças em más práticas do usuário podem atuar na extensão da vida útil do produto e tornar a remanufatura e o sistema produto-serviço mais viável (PISCICELLI; LUDDEN, 2019; WASTLING; CHARNLEY; MORENO, 2018).

Associado ao aspecto de “vida física curta”, se destaca a necessidade de adotar estratégias de durabilidade do produto. Apesar deste aspecto não atingir diretamente o cliente, já que para este é suficiente que o produto dure apenas o período de uso (STEENECK; SARIN, 2018), considera-se que o processo de remanufatura está associado diretamente ao desgaste do pós uso e a capacidade de renovação dos materiais (IJOMAH *et al.*, 2007). Essa abordagem não se destina ao produto como um todo, pois neste modelo de negócio, considera-se relevante aumentar a durabilidade de peças que são consideradas viáveis financeiramente para a remanufatura, os chamados núcleos. Como critério, considera-se plausível incluir o “aumento de durabilidade”, visando núcleos com materiais que tornem os produtos mais resistentes e remanufaturáveis por mais ciclos.

Em suma, os pontos levantados foram sintetizados no quadro 2 para compor o conjunto de nove critérios que serão observados nos métodos.

**Quadro 2** – Critérios para remanufaturabilidade de produto em PSS orientado a uso.

<b>Problema</b>	<b>Aspecto</b>	<b>Critérios</b>	<b>Referências</b>
<b>Desgaste precoce</b>	Comportamento do usuário	Indução de comportamento	(COX <i>et al.</i> , 2013; PISCICELLI; LUDDEN, 2019; VAFADARNIKJOO <i>et al.</i> , 2018; WASTLING; CHARNLEY; MORENO, 2018)
	Vida física curta	Aumento de durabilidade	(STEENECK; SARIN, 2018) (CHARTER; GRAY, 2008)
<b>Imprevisibilidade</b>	Redução de complexidade	Padronização e/ou modularização	(PRENDEVILLE; BOCKEN, 2017; SONEGO; ECHEVESTE; GALVAN DEBARBA, 2018)
	Cadeia de suprimentos	Projeto para logística	(PRENDEVILLE; BOCKEN, 2017)(PRIYONO; IJOMAH; BITITCI, 2015)
<b>Inviabilização do processo</b>	Projeto para remanufatura	Fácil acesso	(FEGADE; SHRIVATSAVA; KALE, 2015; SUNDIN <i>et al.</i> , 2008; SUNDIN; BRAS, 2005)(DESAI, ANOOP; MITAL, 2017)
		Fácil limpeza	
		Fácil desmontagem	
<b>Melhoria contínua</b>	Reuso de informações	Gestão do conhecimento	(DONGMIN <i>et al.</i> , 2012; DOULTSINOUE <i>et al.</i> , 2009)
<b>Obsolescência</b>	Fim de vida percebida	Potencial de atualização	(AZIZ, N.A.; WAHAB, D.A.; RAMLI, R.; AZHARI, 2016; CHIERICI; COPANI, 2016; KHAN <i>et al.</i> , 2018; PIALOT; MILLET; BISIAUX, 2017)

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.1 Análise

Confrontando os critérios levantados e os pontos abordados em cada método, foi preenchida a tabela 1. A tabela compila os problemas, aspectos abordados e critérios de projeto levantados, e serve como referência para quantificar o número de critérios atendidos pelos métodos. As siglas IC, AD, PM, PL, FA, FL, FD, GC e AT representam, respectivamente, os critérios das células acima das siglas no quadro e foram utilizados para preencher os campos de suas respectivas colunas, caso o método atenda ao critério. Ao fim, se soma os números de critérios atendidos, preenchendo no campo SCORE um valor de 0 a 9. A interpretação dos métodos permite uma discussão mais específica sobre os resultados da análise e impacto do número e tipos de critérios atendidos. A avaliação propõe medir a abrangência dos métodos e não seu grau de eficácia, assim, apesar de cada método satisfazer cada critério de maneira distinta, se atribui o mesmo peso para cada critério atendido. Cabe ao responsável pela aplicação interpretar cada método e estimar a eficácia para seu cenário.

No artigo número 1, os critérios atendidos foram: fácil limpeza, fácil acesso e fácil desmontagem, totalizando 3 critérios no SCORE do método. No artigo, estes são embasados, previamente, com revisões da literatura e levantados nas entrevistas e análise do processo. Apesar de citar uma série de dificuldades encontradas, os autores não buscam todas as oportunidades de melhoria através do projeto de produto. Como sugestão seria cabível, considerando as especificidades do caso, a tentativa de reduzir os problemas descritos através de soluções de produto que atendessem os critérios de “padronização e/ou modularização” e “projeto para logística”, visando reduzir o número de peças com muito tempo em estoque e facilitar o transporte dos produtos. O método se embasa no conhecimento do processo da empresa, auxiliado pela estrutura da matriz RemPro. Portanto, se qualifica para empresas que conhecem bem seus produtos e processos, e buscam aprimorar a remanufaturabilidade dos componentes em novos projetos através da expertise de seus profissionais.

Ao artigo número 2, pôde-se atribuir a satisfação dos critérios de “aumento de durabilidade”, “padronização e/ou modularização”, “fácil acesso”, “fácil limpeza” e “fácil desmontagem”, totalizando um SCORE de 5 critérios. Estes critérios são demonstrados, inicialmente, através do embasamento teórico e, em seguida, destacados empiricamente por meio da análise dos produtos. Apesar de não apresentar uma estrutura rígida para remanufaturabilidade, os autores observam uma diversidade grande de aspectos que aumentam a capacidade de remanufatura e vida dos componentes, como peças comunicáveis, dificuldade de acesso a peças e situações de desgaste do produto fora do período uso. Isso atende a boa parte das necessidades concretas para facilitar o processo e manter a integridade do produto, porém não aborda o viés de percepção do usuário e melhoria em qualidade percebida.

Com relação ao artigo número 3, considerando o embasamento em um modelo modular focado em serviços e limpeza do produto, se observa a satisfação dos critérios de “padronização e/ou modularização”, “fácil acesso”, “fácil limpeza” e “fácil desmontagem”, somando 4 critérios. Os quais são defendidos pelo artigo como consequência dos tópicos de limpeza e serviçabilidade, e da propriedade intrínseca de modularização. A complexidade matemática do método e a necessidade de implementação através de módulos pré-definidos acentua o grau de dificuldade de aplicação, porém permite iniciar o projeto com um leque de possibilidades pré-avaliadas através dos aspectos considerados mais importantes. Isso torna o método recomendado às empresas de desenvolvimento maduras e com produtos de maior complexidade.

O artigo número 4 atende os critérios de “modularização e/ou padronização” e de “potencial de atualização”. Pode-se observar uma alta dependência com os interesses da empresa tanto em mercado quanto em processo, e segundo os autores, se aplica ao uso de tecnologias estáveis e com valor agregado considerável. A metodologia tem um grande viés matemático e estabelece poucos parâmetros de projeto diretamente associados a remanufatura, o que pode configurá-la como uma ferramenta auxiliar para projetistas com alto domínio sobre os requisitos de produtos remanufaturáveis em sistema produto-serviço. É possível

inserir restrições que orientem o algoritmo para atender outros critérios, o que torna esta ferramenta bastante versátil.

Após esta análise foi possível preencher a tabela 1 conforme os critérios atendidos por cada método. Nenhum método avaliado atendeu as propostas de “indução de comportamento”, “projeto para logística” e “gestão do conhecimento”. Este fenômeno pode ser associado à característica dos estudos de engenharia aplicados a PSS serem frequentemente generalizados aos três tipos do modelo de negócio, tornando as avaliações mais orientadas aos tipos mais comuns: “orientado ao produto” e “orientado ao resultado”. Estes são focados principalmente na venda do produto ou na venda da solução do uso do produto. Já o caso “orientado ao uso”, que expressa a máxima integração entre produto e serviço, se torna menos frequente e menos propício a ser considerado em propostas de projeto de produto. Sendo assim, características de produto relacionadas a fase de uso, sem qualquer interesse nas operações industriais do fornecedor, são menos consideradas, e fenômenos como desgaste por mal-uso, controle logístico inteligente e reuso de dados são negligenciados devido à menor frequência de retorno do produto ao fornecedor e menor necessidade de adaptação dos serviços.

Tabela 1 – Avaliação de abrangência dos métodos.

Problema	Desgaste precoce		Imprevisibilidade		Inviabilização do processo		Melhoria contínua	Obsolescência	SCORE		
	Comportamento do usuário	Vida física curta	Redução de complexidade	Cadeia de suprimentos	Projeto para remanufatura	Reuso de informações	Fim de vida percebida				
Aspecto	Indução de comportamento		Aumento de durabilidade		Padronização e/ou modularização	Projeto para logística	Fácil acesso	Fácil limpeza	Fácil desmontagem	Gestão do conhecimento	Potencial de Atualização
Critérios	Indução de comportamento		Aumento de durabilidade		Padronização e/ou modularização	Projeto para logística	Fácil acesso	Fácil limpeza	Fácil desmontagem	Gestão do conhecimento	Potencial de Atualização
Título (original em inglês)	Artigo	IC	AD	PM	PL	FA	FL	FD	GC	AT	(0-9)
Making functional sales environmentally and economically beneficial through product remanufacturing	1					FA	FL	FD			3
Product design for product/service systems: Design experiences from Swedish industry	2		AD	PM		FA	FL	FD			5
The integration of core cleaning and product serviceability into product modularization for the creation of an improved remanufacturing product-service system	3			PM		FA	FL	FD			4
Design for Upgradability Algorithm: Configuring Durable Products for Competitive Reutilization	4			PM						AT	2

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas produto-serviço sintetizam de maneira palpável a possibilidade de aplicação economicamente sustentável da economia circular, unindo as tendências de venda e consumo com a necessidade de reduzir a extração de recursos. Assim, estratégias foram criadas para, através do viés econômico, viabilizar um controle maior dos materiais consumidos e impulsionar esse novo modelo de negócio. Devido às características de controle de qualidade, processo e caráter sustentável, se atribui à remanufatura como sendo o processo mais adequado para estratégia de fim vida. Isto requisita estudos sobre diretrizes para que, ainda na fase de projeto, se adote considerações para um produto remanufaturável. Considerando a variedade de aplicações do modelo de negócio, se observou a necessidade de adotar uma perspectiva menos genérica para buscar resultados mais aplicáveis.

Assim, os resultados alcançados neste trabalho foram dentro do escopo de projeto de produto, voltados ao PSS tipo “orientado ao uso” e desenvolvido com uso do conhecimento publicado na área estudada. Através da utilização de revisões bibliográficas, foi realizado uma avaliação de métodos presentes na literatura que propõem auxiliar no aumento do potencial de remanufatura de produtos utilizados em sistemas produto-serviço. A metodologia adotada propôs utilizar artigos que confrontassem os temas sistema produto-serviço e remanufatura para definir critérios que identificassem considerações importantes de projeto, visando os produtos aplicados num contexto de junção entre este modelo de negócio e esta estratégia de fim de vida. Como resultado, foram definidos nove critérios avaliativos e identificados quatro métodos, estes foram confrontados com uso de uma tabela que avaliou o grau de abrangência dos métodos sobre as considerações de projeto. Os critérios definidos foram “Indução de comportamento”, “Aumento de durabilidade”, “Padronização e/ou modularização”, “Projeto para logística”, “Fácil acesso”, “Fácil limpeza”, “Fácil desmontagem”, “Gestão do conhecimento” e “Potencial de atualização”. Os quais foram atendidos parcialmente por cada artigo, sendo que: o artigo 1 atendeu “fácil limpeza”, “fácil acesso” e “fácil desmontagem”;



o artigo 2 atendeu “aumento de durabilidade”, “padronização e/ou modularização”, “fácil acesso”, “fácil limpeza” e “fácil desmontagem”; o artigo 3 atendeu padronização e/ou modularização”, “fácil acesso”, “fácil limpeza” e “fácil desmontagem”; e o artigo 4 atendeu os critérios de “modularização e/ou padronização” e de “Potencial de atualização”.

A análise realizada sugere que os métodos não apresentam considerações sobre os aspectos que auxiliam a remanufatura fora do domínio do fornecedor. Os artigos analisados não incluíram medidas para reduzir influências do usuário ou impacto dos processos logísticos, além de não haver propostas sobre coleta e gestão de informações. Conclui-se uma baixa adesão ao tipo de PSS “orientado a uso”, considerando que produtos nesta aplicação possuem ciclos de uso mais curtos e com usuários mais negligentes do que outros tipos de PSS. Neste caso, observa-se mais desgaste, necessidade de mais operações entre ciclos de uso e mais oportunidades na interpretação de fenômenos através da coleta de dados. Considera-se assim, que os métodos de remanufaturabilidade para PSS avaliados não se adequam completamente ao perfil necessário ao produto na aplicação em PSS do tipo “orientado ao uso”.

Considerando a característica interdisciplinar do tema, outras abordagens poderiam ser tomadas para resolver parte dos problemas levantados neste trabalho, como estratégias de gestão, marketing ou legislação, podendo também expandir as referências para além das técnicas disponíveis sobre o tema, incluindo estudos correlatos voltados a outras áreas. Para trabalhos que busquem seguir os moldes deste estudo, se sugere avaliar mecanismos para quantificar o grau de eficácia do método em cada critério, buscando referências fora da vertente estudada que representem o estado da arte na solução de cada problema levantado. Ademais, como sugestão para trabalhos que busquem prosseguir na contribuição com o problema sinalizado, se sugere uma estratégia de fusão dos métodos avaliados associando propostas que atendam os critérios não atendidos.

## REFERÊNCIAS

AGRAWAL, V.; ULKU, S. The Role of Modular Upgradability as a Green Design Strategy. **SSRN Electronic Journal**, p. 1–19, 2011.

ALONSO-RASGADO, T.; THOMPSON, G.; ELFSTRÖM, B.-O. The design of functional (total care) products. **Journal of Engineering Design**, v. 15, n. 6, p. 515–540, 2004.

AMAYA, J.; LELAH, A.; ZWOLINSKI, P. Design for intensified use in product – service systems using life- cycle analysis. **Journal of Engineering Design**, n. December, p. 37–41, 2014.

AURICH, J. C.; FUCHS, C.; WAGENKNECHT, C. Life cycle oriented design of technical Product-Service Systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, p. 1480–1494, 2006.

AZIZ, N.A.; WAHAB, D.A. ;RAMLI, R.; AZHARI, C. H. Modelling and optimisation of upgradability in the design of multiple life cycle products: a critical review. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 282–290, jan. 2016.

AZIZ, N. A. et al. Modelling and optimisation of upgradability in the design of multiple life cycle products: a critical review. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 282–290, jan. 2016.

BAINES, T. S. et al. State-of-the-art in product-service systems. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture**, v. 221, n. 10, p. 1543–1552, 2007.

BAKKER, C. et al. Products that go round: Exploring product life extension through design. **Journal of Cleaner Production**, v. 69, p. 10–16, 2014.

BEUREN, F. H.; GOMES FERREIRA, M. G.; CAUCHICK MIGUEL, P. A. Product-service systems: a literature review on integrated products and services. **Journal of Cleaner Production**, v. 47, p. 222–231, 2013.

BRESSANELLI, G. et al. Exploring how usage-focused business models enable circular economy through digital technologies. **Sustainability (Switzerland)**, v. 10,

n. 3, 2018.

BULLINGER, H. J.; FÄHNRIK, K. P.; MEIREN, T. Service engineering - Methodical development of new service products. **International Journal of Production Economics**, v. 85, n. 3, p. 275–287, 2003.

CAMACHO OTERO, J.; PETTERSON, I. N.; BOKS, C. Consumer and user acceptance in the circular economy: what are researchers missing? **PLATE conference**, n. July, p. 7, 2017.

CHARTER, M.; GRAY, C. Remanufacturing and product design. **International Journal of Product Development**, v. 6, n. 3/4, p. 375, 2008.

CHIERICI, E.; COPANI, G. Remanufacturing with Upgrade PSS for New Sustainable Business Models. **Procedia CIRP**, v. 47, p. 531–536, 2016.

COX, J. et al. Consumer understanding of product lifetimes. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 79, p. 21–29, out. 2013.

DESAI, ANOOP; MITAL, A. An interactive system framework to enable design for disassembly. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 28, n. 6, p. 749–771, 3 jul. 2017.

DESAI, P.; PUROHIT, D. Leasing and Selling: Optimal Marketing Strategies for a Durable Goods Firm. **Management Science**, v. 44, n. 11- part-2, p. S19–S34, nov. 1998.

DONGMIN, Z. et al. A framework for design knowledge management and reuse for Product-Service Systems in construction machinery industry. **Computers in Industry**, v. 63, n. 4, p. 328–337, 2012.

DOULTSINO, A. et al. Developing a service knowledge reuse framework for engineering design. **Journal of Engineering Design**, v. 20, n. 4, p. 389–411, ago. 2009.

FADEYI, J. A.; MONPLAISIR, L.; AGUWA, C. The integration of core cleaning and product serviceability into product modularization for the creation of an improved remanufacturing-product service system. **Journal of Cleaner Production**, v. 159,

p. 446–455, 2017.

FEGADE, V.; SHRIVATSAVA, R. L.; KALE, A. V. Design for Remanufacturing: Methods and their Approaches. **Materials Today: Proceedings**, v. 2, n. 4–5, p. 1849–1858, 2015.

GOODALL, P.; ROSAMOND, E.; HARDING, J. A review of the state of the art in tools and techniques used to evaluate remanufacturing feasibility. **Journal of Cleaner Production**, v. 81, p. 1–15, out. 2014.

GUIDAT, T. et al. Guidelines for the definition of innovative industrial product-service systems (PSS) business models for remanufacturing. **Procedia CIRP**, v. 16, p. 193–198, 2014.

HATCHER, G. D.; IJOMAH, W. L.; WINDMILL, J. F. C. Design for remanufacture: A literature review and future research needs. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 17–18, p. 2004–2014, 2011.

HE, W. et al. WEEE recovery strategies and the WEEE treatment status in China. **Journal of Hazardous Materials**, v. 136, n. 3, p. 502–512, 25 ago. 2006.

HUANG, G. Q. Developing Design For X Tools. In: HUANG, G. Q. (Ed.). . **Design for X**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1996. v. 67p. 107–129.

IJOMAH, W. L. et al. Development of robust design-for-remanufacturing guidelines to further the aims of sustainable development. **International Journal of Production Research**, v. 45, n. 18–19, p. 4513–4536, 15 set. 2007.

KHAN, M. A. et al. Review on upgradability – A product lifetime extension strategy in the context of product service systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 204, p. 1154–1168, 2018.

KIMITA, K.; SHIMOMURA, Y.; ARAI, T. Evaluation of customer satisfaction for PSS design. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 20, n. 5, p. 654–673, 2009.

LEHTO, J. et al. Benefits of DfX in Requirements Engineering. **Technology and Investment**, v. 02, n. 01, p. 27–37, 2011.

LEWIS, E. Circular Economy. In: **Sustainaspeak**. New York: Routledge, 2018.: Routledge, 2018. p. 58–59.

LINDAHL, M. et al. an Outline of an Interactive Design Model for Service Engineering of Functional Sales Offers. **Proceeding of International Design Conference**, p. 897–904, 2006.

LINDKVIST, L.; SUNDIN, E. The role of Product-Service Systems regarding information feedback transfer in the product life-cycle including remanufacturing. **Procedia CIRP**, v. 47, p. 311–316, 2016.

MONT, O. Introducing and developing a Product-Service System (PSS) concept in Sweden. **Manufacturing Engineer**, v. 80, n. 3, p. 133–138, 2001.

MONT, O. . Clarifying the concept of product–service system. **Journal of Cleaner Production**, v. 10, n. 3, p. 237–245, jun. 2002.

MOURTZIS, D.; DOUKAS, M.; FOTIA, S. Classification and Mapping of PSS Evaluation Approaches. **IFAC-PapersOnLine**, v. 49, n. 12, p. 1555–1560, 2016.

NEELY, A. Exploring the financial consequences of the servitization of manufacturing. **Operations Management Research**, v. 1, n. 2, p. 103–118, 27 dez. 2008.

O que é?. **Associação Nacional dos Remanufaturadores de Autopeças**, 2016. Disponível em: <<http://www.anrap.org.br/o-que-e/>>. Acesso em: 22 de maio de 2019.

O que é economia circular?. **Ideia Circular**, c2018. Disponível em: <<https://www.ideiacircular.com/economia-circular>>. Acesso em 20 de maio de 2019.

ÖSTLIN, J.; SUNDIN, E.; BJÖRKMAN, M. Importance of closed-loop supply chain relationships for product remanufacturing. **International Journal of Production Economics**, v. 115, n. 2, p. 336–348, 2008.

PIALOT, O.; MILLET, D.; BISIAUX, J. “Upgradable PSS”: Clarifying a new concept of sustainable consumption/production based on upgradability. **Journal of Cleaner Production**, v. 141, p. 538–550, 2017.

PISCICELLI, L.; LUDDEN, G. **The potential of Design for Behaviour Change to foster the transition to a circular economy**. DRS2016: Future-Focused Thinking. **Anais...**2019

PRENDEVILLE, S.; BOCKEN, N. **Design for Remanufacturing and Circular Business Models**. Singapore: Springer Singapore, 2017.

PRIYONO, A. Understanding the benefits of product-service systems for parties involved in remanufacturing. **Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 10, n. 2Special Issue, p. 323–351, 15 maio 2017.

PRIYONO, A.; IJOMAH, W. L.; BITITCI, U. S. Strategic operations framework for disassembly in remanufacturing. **Journal of Remanufacturing**, v. 5, n. 1, p. 1–32, 2015.

RAMANI, K. et al. Integrated Sustainable Life Cycle Design: A Review. **Journal of Mechanical Design**, v. 132, n. 9, p. 091004, 2010.

SAKAO, T.; MIZUYAMA, H. Understanding of a product / service system design : a holistic approach to support design for remanufacturing. **Journal of Remanufacturing**, v. 4, n. 1, p. 1–24, 2014.

SONEGO, M.; ECHEVESTE, M. E. S.; GALVAN DEBARBA, H. The role of modularity in sustainable design: A systematic review. **Journal of Cleaner Production**, v. 176, p. 196–209, mar. 2018.

STAHEL, W. R. The circular economy. **Nature**, v. 531, n. 7595, p. 435–8, 24 mar. 2016.

STEENECK, D. W.; SARIN, S. C. Product design for leased products under remanufacturing. **International Journal of Production Economics**, v. 202, p. 132–144, ago. 2018.

SUNDIN, E. et al. Remanufacturing of Products used in Product Service System Offerings. **Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier**, p. 537–542, 2008.

SUNDIN, E.; BRAS, B. Making functional sales environmentally and economically

beneficial through product remanufacturing. **Journal of Cleaner Production**, v. 13, n. 9, p. 913–925, jul. 2005.

SUNDIN, E.; LINDAHL, M.; IJOMAH, W. Product design for product/service systems: Design experiences from Swedish industry. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 20, n. 5, p. 723–753, 2009.

TUKKER, A. Eight types of product-service system: Eight ways to sustainability? Experiences from suspronet. **Business Strategy and the Environment**, v. 13, n. 4, p. 246–260, 2004.

TUKKER, A. Product services for a resource-efficient and circular economy – a review. **Journal of Cleaner Production**, v. 97, p. 76–91, jun. 2015.

VAFADARNIKJOO, A. et al. Assessment of consumers' motivations to purchase a remanufactured product by applying Fuzzy Delphi method and single valued neutrosophic sets. **Journal of Cleaner Production**, v. 196, p. 230–244, 2018.

VANDERMERWE, S.; RADA, J. Servitization of business: Adding value by adding services. **European Management Journal**, v. 6, n. 4, p. 314–324, dez. 1988.

WASTLING, T.; CHARNLEY, F.; MORENO, M. Design for Circular Behaviour: Considering Users in a Circular Economy. **Sustainability**, v. 10, n. 6, p. 1743, 2018.

WILBERG, J. et al. Goal System Management for Use-Oriented Product-Service Systems. **Proceedings of PICMET '17**, 2017.

XING, K.; ABHARY, K.; LUONG, L. PURE: A Fuzzy Model for Product Upgradability and Reusability Evaluation for Remanufacture. In: **Manufacturing the Future**. [s.l.] Pro Literatur Verlag, Germany / ARS, Austria, 2006.

XING, K.; BELUSKO, M. Design for Upgradability Algorithm: Configuring Durable Products for Competitive Reutilization. **Journal of Mechanical Design**, v. 130, n. 11, p. 111102, 2008.