

UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO – UNINOVE

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

PLINIO CENTOAMORE

**AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA PARA REMANUFATURA DE
ESTRUTURAS DE PRENSAS NA FABRICAÇÃO DE NOVOS EQUIPAMENTOS**

SÃO PAULO

2024

Centoamore, Plinio.

Avaliação técnico-econômica para remanufatura de estruturas de prensas na fabricação de novos equipamentos. / Plinio Centoamore. 2024.

162 f.

Tese (Doutorado) – Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2024.

Orientador (a): Prof. Dr. Luiz Fernando Rodrigues Pinto.

1. Remanufatura. 2. Economia circular. 3. Máquinas-ferramenta.
4. Reutilização.

I. Pinto, Luiz Fernando Rodrigues. II. Título.

CDU 658.5

PLINIO CENTOAMORE

**AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA PARA REMANUFATURA DE
ESTRUTURAS DE PRENSAS NA FABRICAÇÃO DE NOVOS EQUIPAMENTOS**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho – Uninove como requisito parcial para obtenção do grau de doutor em Engenharia de Produção

Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando Rodrigues Pinto

São Paulo

2024

PARECER – EXAME DE DEFESA

Parecer da Comissão Examinadora designada para o exame de defesa do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção a qual se submeteu o aluno Plinio Centoamore.

Tendo examinado o trabalho apresentado para obtenção do título de "Doutor em Engenharia de Produção", com Tese intitulada "AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA PARA REMANUFATURA DE ESTRUTURAS DE PRENSAS NA FABRICAÇÃO DE NOVOS EQUIPAMENTOS.", a Comissão Examinadora considerou o trabalho:

(X) Aprovado

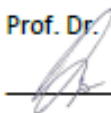
() Aprovado condicionalmente

() Reprovado com direito a novo exame

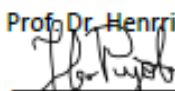
() Reprovado

EXAMINADORES

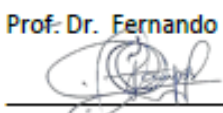
Prof. Dr. Luiz Fernando Rodrigues Pinto - Uninove (Orientador)



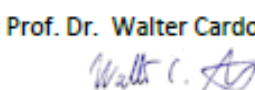
Prof. Dr. Henricco Nieves Pujol Tucci – FMU (Membro Externo)



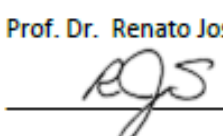
Prof. Dr. Fernando Celso de Campos – UNIMEP (Membro Externo)



Prof. Dr. Walter Cardoso Satyro – PPGP/UNINOVE (Membro Externo)



Prof. Dr. Renato José Sassi – PPGI/UNINOVE (Membro Externo)



São Paulo, 16 de fevereiro de 2024

São Paulo

2024

RESUMO

Máquinas-ferramenta tem seu significado mais observado na literatura como equipamentos para fabricação de produtos. Estes são caracterizados como equipamentos produtivos, oferecendo meios para obtenção de bens de consumo, participando ativamente da atividade industrial. Dentro desse contexto foi escolhido a fabricação de prensas para peças de carroceria para a indústria automotiva. O objetivo principal deste trabalho foi desenvolver um sistema de avaliação da viabilidade técnica, econômica e comercial na utilização de estruturas de prensas usadas em novos projetos de desenvolvimento de prensas para estamparia para fabricantes de veículos automotores. Este objetivo foi vinculado aos aspectos ambientais concernentes a Economia Circular e ao Desenvolvimento Sustentável. Neste trabalho foi desenvolvido uma revisão da literatura para caracterizar o tema escolhido, verificando o que está sendo discutido em relação ao assunto em questão. Para analisar o desenvolvimento do tema foi realizado uma pesquisa qualitativa, via entrevistas com especialistas atuantes no mercado de prensas, acessando grupos de engenharia de produto, da área comercial e de fabricação. Na sequência, foi levado a cabo o desenvolvimento de algoritmos que viabilizem uma análise comparativa de custos de produção e de prazos de fornecimento, com uma análise de sensibilidade para uma tomada de decisão. O resultado da pesquisa qualitativa, via especialistas consultados, foi considerado positivo, tendo os entrevistados se posicionado a favor desta possibilidade, somente tomando-se os devidos cuidados com a conformidade e a integridade dos componentes a serem reutilizados. Com relação aos algoritmos desenvolvidos, estes demonstraram-se aptos em apresentar dados que possam direcionar a tomada de decisão em favor do reuso dos elementos estruturais escolhidos, desde que demonstrem sua integridade por meio das verificações especificadas pelos projetistas das máquinas a serem fabricadas. Este trabalho contribui para ampliar o campo de conhecimento na validação de reutilizar elementos estruturais existentes, conforme a proposta oferecida, suportando a tomada de decisões no meio empresarial e contribuindo para um desenvolvimento sustentável para a sociedade como um todo.

Palavras-chave: Remanufatura; Economia Circular; Máquinas-Ferramenta; Reutilização

ABSTRACT

Machine Tools are known as equipment that compose the universe of means of production and are part of fabrication systems spread all over facilities where products for general consumption are fabricated. Within this universe, can be found equipment from different sources and purposes, offering a huge diversity of types and characteristics. This study explored the possibility of implement concepts of sustainability, through circular economy criteria on design and fabrication of new machines tools. This focus search for utilize existing structural elements as a ground zero for the above-mentioned equipment. In terms of this study, it was considered stamping presses used in body shop from automotive industries. This study developed a literature review to locate the selected theme, verifying what is under discussion in relationship of this subject. In order to evaluate the theme development, it was carried out a qualitative research by a survey with specialist participants on the stamping presses market. The survey was performed through interviews, accessing groups of personals that belongs for product engineering department, from commercial areas and from fabrication shop floor. After this, was pursued a development of an algebraic structures, by means of algorithms, which allow a comparative analysis of production costs and fabrication delivery time. To finalize, it was performed a case study to evaluate the algorithm capacities in provide results which can help the decision making action in terms of implement or not to implement the suggested possibility of reuse existing structural elements in design of new machine tools. The results was positive, showed by the qualitative research, using the survey with the specialists. The result is valid since the parts to be reused have been submitted to a quality control inspection to verify their conformity, assuring that they can be installed in new equipment. Using the algorithms on the case study, those presented results that allow the decision makers to assume the possibility of reuse the suggested structural elements. This input certainly can provide confidence on taking a decision, decreasing the risk on this situation.

Keywords: Remanufacturing; Circular Economy; Machine Tools; Reuse

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Tipos de Abordagem dos Artigos para o Tema da Pesquisa.....	40
Figura 2: Sequência para Desenvolvimento de uma Economia Circular.....	42
Figura 3: Partes Interessadas em Economia Circular e suas Necessidades.....	43
Figura 4: Relações entre Objetivos para um Desenvolvimento Sustentável.....	45
Figura 5: Representação da Estrutura Metodológica da Pesquisa.....	63
Figura 6: Seleção de Artigos a partir da Revisão da Literatura.....	69
Figura 7: Representação do Fluxo de Informações.....	70
Figura 8: Distribuição dos Respondentes.....	81
Figura 9: Desenvolvimento de Algoritmos para Comparação de Custos de Produção.....	110
Figura 10: Desenvolvimento de Algoritmos para Comparação de Prazos de Fornecimento.....	118
Figura 11: Modelo de Fluxo de Desenvolvimento – Pesquisa com Especialistas....	143
Figura 12: Cálculo das Variáveis de Operações – Aplicação dos Algoritmos.....	144

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Relação entre Funções de Regeneração de Equipamentos Usados.....	20
Gráfico 2: Distribuição Geográfica dos Artigos Seleccionados por País.....	47
Gráfico 3: Distribuição dos Artigos Seleccionados por Ano de Publicação.....	48
Gráfico 4: Distribuição dos Artigos Seleccionados por Publicação em Periódicos.....	49
Gráfico 5: Características das Metodologias de Pesquisa Aplicadas nos Artigos Seleccionados.....	50
Gráfico 6: Representação dos Artigos Não Seleccionados pelo Critério de Inclusão....	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Artigos Selecionados pelo Critério de Inclusão.....	59/60
Quadro 2: Descrição do Procedimento Metodológico.....	66
Quadro 3: Artigos Rejeitados pelo Critério de Inclusão.....	73/74
Quadro 4: Respostas dos Especialistas de Engenharia de Produto.....	92
Quadro 5: Respostas dos Especialistas da Área Comercial.....	99
Quadro 6: Respostas dos Especialistas da Área de Fabricação.....	107
Quadro 7: Definições dos Indicadores das Variáveis de Custos de Produção para o Grupo A.....	111
Quadro 8: Definições dos Indicadores das Variáveis de Custos de Produção para o Grupo B.....	114
Quadro 9: Definições dos Indicadores das Variáveis de Prazos de Fornecimento para o Grupo A.....	119
Quadro 10: Definições dos Indicadores das Variáveis de Prazos de Fornecimento para o Grupo B.....	120

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resumo Variáveis Custos de Produção - Grupo A - Cenário 1.....	127
Tabela 2: Resumo Variáveis Custos de Produção - Grupo B - Cenário 1.....	129
Tabela 3: Resumo Variáveis Custos de Produção – Grupo A – Cenário 2.....	130
Tabela 4: Resumo Variáveis Custos de Produção - Grupo B - Cenário 2.....	131
Tabela 5: Resumo Variáveis Prazos de Fornecimento - Grupo A	133
Tabela 6: Resumo Variáveis Prazos de Fornecimento - Grupo B.....	134

LISTAS DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E SIGLAS

ETO – *Engineering-to-Order*

CTO – *Configure- to-Order*

OEM – *Original Equipment Manufacturer*

GPM – Golpes por Minuto

RFQ – *Request for Quotation*

MP – Matéria Prima

ECMPRO – *Environmentally Conscious Manufacturing and Product Recover*

EoL – *End-of-Life*

A-TLBO – *Teaching-Learning-Based Optimization*

QFD – *Quality Function Deployment*

AHP – Critérios Analíticos Hierárquicos

CNC – Comando Numérico Computadorizado

Remanufact* - Representa todos os vocábulos com essa raiz

FMECA – *Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*

FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis*

END – Ensaio Não-Destrutivo

OICA – International Organization of Motor Vehicles Manufacturers

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

RBC – Rede Brasileira de Calibração

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	15
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA.....	17
1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	23
1.3.1 Objetivo Geral.....	23
1.3.2 Objetivos Específicos.....	24
1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	25
1.5 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA.....	28
1.6 ESTRUTURA GERAL DO TRABALHO.....	31
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	33
2.1 TIPOS DE ABORDAGEM REAPROVEITAMENTO DE ESTRUTURAS.....	33
2.1.1 Projetos para Remanufatura.....	34
2.1.2 Projetos de Equipamentos sob Encomenda (ETO – Engineering-to-Order).....	34
2.1.3 Remanufaturabilidade.....	36
2.1.4 Processos para Remanufatura.....	37
2.2 ECONOMIA CIRCULAR E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	41
2.2.1 Princípios de Economia Circular.....	41
2.2.2 Desenvolvimento Sustentável.....	44
2.3 REVISÃO BIBLIOMÉTRICA.....	45
2.4 REVISÃO SISTEMÁTICA.....	50
2.4.1 Bloco 1 – Projetos de Desenvolvimento para Remanufatura.....	52
2.4.2 Bloco 2 – Caracterização do Ambiente de Negócios.....	54
2.4.3 Bloco 3 – Processos para Remanufatura de Máquinas-Ferramenta.....	56
3 ABORDAGEM METODOLÓGICA.....	61
3.1 ESTRUTURA METODOLÓGICA DA PESQUISA.....	62
3.2 REVISÃO BIBLIOMÉTRICA E SISTEMÁTICA DA LITERATURA.....	64
3.3 METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA E SISTEMÁTICA.....	65
3.3.1 Base de Dados Pesquisada.....	65
3.3.2 Revisão Bibliométrica e Sistemática.....	66

3.3.3 Critérios de Seleção.....	69
3.3.4 Critérios de Seleção – Perguntas Específicas.....	70
3.3.5 Artigos Não Selecionados – Elegibilidade.....	70
3.4 PORÇÃO QUALITATIVA DA PESQUISA.....	75
3.4.1 Pesquisa Qualitativa.....	75
3.4.2 O Método Delphi.....	76
3.5 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	83
 4 RESULTADOS DAS ENTREVISTAS REALIZADAS NA PESQUISA.....	 85
4.1 PORÇÃO QUALITATIVA DA PESQUISA.....	85
4.1.1 Grupo Engenharia de Produto.....	85
4.1.2 Grupo Área Comercial.....	93
4.1.3 Grupo Fabricação.....	100
4.1.4 Considerações sobre a Pesquisa Qualitativa.....	106
 5 PROPOSTA DE ALGORITMOS PARA ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA REMANUFATURA.....	 108
5.1 PORÇÃO QUANTITATIVA DA PESQUISA.....	108
5.1.1 Desenvolvimento de Algoritmos.....	108
5.1.2 Avaliação de Custos de Produção.....	109
5.1.3 Avaliação de Prazos de Fornecimento.....	117
5.2 RESULTADOS DA PORÇÃO QUANTITATIVA DA PESQUISA.....	121
5.2.1 Avaliação de Custos de Produção.....	122
5.2.2 Avaliação de Prazos de Fornecimento.....	122
5.2.3 Considerações Gerais e Formação dos Algoritmos.....	123
5.2.4 Análise de Sensibilidade.....	124
5.2.4.1 Cálculo do Custo de Produção para Grupos A e B – Cenários 1 e 2.....	125
5.2.4.2 Cálculo do Prazo de Fornecimento para Grupos A e B.....	132
 6 DISCUSSÕES.....	 136
6.1 DISCUSSÃO SOBRE DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS PARA REMANUFATURA.....	137
6.2 DISCUSSÃO SOBRE CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE DE NEGÓCIOS (ETO – ENGINEERING-TO-ORDER).....	138

6.3 DISCUSSÃO SOBRE PROCESSOS DE REMANUFATURA DE MÁQUINAS-FERRAMENTA.....	139
6.4 CONTRIBUIÇÕES.....	141
7 CONCLUSÕES.....	145
REFERÊNCIAS.....	149
APÊNDICE A.....	157
APÊNDICE B.....	159
APÊNDICE C.....	161

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo introdutório apresenta uma visão geral da pesquisa em questão. As seções que compõe esta introdução têm como objetivo esclarecer de forma abrangente, mas concisa, os aspectos do universo onde a pesquisa se desenvolve, descrevendo as lacunas encontradas relativas às questões colocadas pelo assunto que caracteriza o tema do estudo, delimitando sua amplitude e explicitando o modelo de negócio em que a pesquisa se desenvolve. Refere-se aos aspectos técnicos, econômico, financeiro e comercial discutindo as dificuldades e circunstâncias ambientais decorrentes das operações sugeridas e analisadas.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Esta pesquisa apresenta um estudo para determinar a possibilidade de reutilização de estruturas de máquinas-ferramenta usadas e direcionadas para descarte, na fabricação de novos equipamentos, com características físicas e configurações técnicas semelhantes aos equipamentos que originaram as estruturas a serem reaproveitadas.

Visto sob ponto de vista de uma Economia Circular associado a conceitos de Sustentabilidade, a presente realidade é caracterizada por uma disseminação sem precedentes de agentes poluidores associado ao esgotamento de recursos naturais como consequência de uma sociedade de consumo (PANCHAL *et al.*, 2021). No contexto do crescimento da população, em conjunto com o consumo de recursos naturais, as ações para sustentabilidade são um modelo de desenvolvimento que objetiva o equilíbrio entre crescimento econômico, a qualidade de vida e a preservação ambiental a médio e longo prazo, sem aumentar o consumo de recursos naturais além da capacidade do Planeta Terra (DURAN *et al.*, 2015).

Dentro desse ambiente é necessário considerar dois aspectos que regem as ações que caracterizam esta pesquisa. O primeiro são os conceitos inerentes a denominada Economia Circular, e o segundo aspecto está vinculado ao Desenvolvimento Sustentável (HOLLANDER *et al.*, 2017). O conceito de Economia Circular foi desenvolvido por meio de múltiplas escolas de pensamento tais como ecologia industrial, simbiose industrial, desempenho da economia, Enquadramento-R, economia azul, biomimetismo, processos berço-a-berço (SAAVEDRA *et al.*, 2018).

Entretanto, o princípio central é definido como *R-framework* ou ainda Imperativos-R e Perspectivas de Sistemas (KIRCHHERR *et al.*, 2017). Existe um total de 38 Imperativos-R nas citações na literatura referente a Economia Circular, dentro das quais, o mais usado em Imperativo-R é a reciclagem, seguida por redução e reuso (KIRCHHERR *et al.*, 2017; REIKE *et al.*, 2018).

Para dar significância aos conceitos de Economia Circular é necessário declarar seus princípios. Dentre esses princípios encontra-se o Enquadramento-R e Perspectivas de Sistemas que é considerado o princípio central da Economia Circular (KIRCHHERR *et al.*, 2017). Este enquadramento é classificado como reciclagem, remanufatura/renovação, reuso/redistribuição e reparo/manutenção, definindo, desta forma, o ciclo técnico da Economia Circular (PANCHAL *et al.*, 2021).

Esta pesquisa se desenvolve no setor fabricante de máquinas-ferramenta com ênfase na indústria automobilística em geral. De todos os setores manufatureiros, o de máquinas-ferramenta tem sido identificado como um setor chave para uma transição em direção a sustentabilidade. Este fato está apoiado na razão do alto consumo de energia e de matérias primas, o que caracteriza este setor da atividade industrial como uma área a ser incluída na lista de grupo de produtos com um significativo potencial de melhoria conforme identificado nas Diretivas Europeias para o *Ecodesign* citado no plano de trabalho da Comissão Europeia do Parlamento Europeu, 2008 (LABUCAY, 2021).

Essa indústria está profundamente envolvida em sistemas de produção físicos-cibernéticos em termos de desenvolvimento tecnológico, tanto na produção de seus produtos propriamente dito, quanto nas funções operacionais a serem oferecidas pelos produtos fornecidos. Em contrapartida, sob o aspecto comercial, esta é uma indústria bastante conservadora e que tem sua origem firmada em conceitos de há muito tempo desenvolvidos e utilizados até os dias de hoje, caracterizando-se por margens de venda apertadas, e, portanto, sempre submetida de maneira intensa a pressões por resultados na direção de ambas as transições – projetos de produto e manufatura inteligentes associados a sustentabilidade (LABUCAY, 2021).

Este trabalho pretende abordar as possibilidades de reutilização de elementos estruturais de suporte em equipamentos existentes. Estes elementos estão presente em máquinas-ferramenta postas fora de uso, e podem ser direcionados para projetos

de novos equipamentos similares, contribuindo para a implementação de conceitos de Economia Circular e de Desenvolvimento Sustentável. De acordo com Elkington (1999, p. 20), sustentabilidade é o princípio de assegurar que nossas atitudes atuais não limitem as opções de ações econômicas, sociais e ambientais disponíveis para as futuras gerações. O conceito de sustentabilidade é caracterizado por prosperidade econômica, qualidade ambiental e justiça social, sem a possibilidade de exclusão de nenhum destes atributos (ELKINGTON, 1999). Esta forma de reuso de subconjuntos estruturais existentes fica caracterizada como uma remanufatura. Esta iniciativa determina a inclusão dos preceitos de Economia Circular conforme definido pelo terceiro ciclo apresentado no diagrama borboleta da Ellen MacArthur Foundation (2012).

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

O universo de máquinas-ferramenta é bastante extenso. Dentro desse ambiente existem muitas possibilidades de caracterização do tema para fins de realização de pesquisa. O direcionamento e embasamento do assunto a ser estudado, contou com a ajuda de uma extensa revisão da literatura, que se encontra detalhada no Capítulo 2 deste trabalho.

O tema central deste estudo é caracterizado pela reutilização de componentes/subconjuntos estruturais que compõe o corpo de uma máquina ferramenta e que atuam como estrutura de suporte dos componentes de acionamento, movimentação, comando, segurança, funcionalidade e automação do equipamento em questão. O conceito que norteia este estudo é o de desenvolver um projeto de máquina ferramenta que use como base do projeto inicial estes itens existentes considerando suas características físicas e mecânicas, como ponto de partida deste projeto.

Como resultado de uma análise detalhada do conteúdo constante nos textos dos artigos selecionados, foram identificados 3 blocos de interesse segundo suas temáticas apresentadas.

- 1) Projetos para Remanufatura
- 2) Projetos Sob Encomenda ou ETO - *Engineering-to-Order*
- 3) Processos de Remanufatura

A partir da revisão da literatura, foi possível acessar publicações que se referem à reparo, recondicionamento e remanufatura de máquinas-ferramenta. KE *et al.* (2017) e IJOMAH *et al.* (2007) discutiram as possibilidades de reutilização de máquinas-ferramenta em final de vida, ou de partes destes equipamentos, e focam o tema sob diversos aspectos, tais como, o desenvolvimento de metodologia para tomada de decisão com o intuito de remanufaturar partes, componentes e/ou peças para reutiliza-los no equipamento original.

Outra abordagem foi apresentada por WANG *et al.*, (2019) e CONG *et al.*, (2017), que exploraram a possibilidade de reconfiguração de produtos para incrementar seu valor agregado e desenvolver uma aplicação de segunda utilização para uma máquina ferramenta.

Alguns estudos apresentam o desenvolvimento de Projeto Sob Encomenda (ETO - *Engineering-to-Order* ou CTO – *Configure-to-Order*). Este tipo de produto também é denominado Projeto “*Taylor Made*” ou, em uma tradução livre, Projeto Feito Sob Encomenda. Para estes casos, os projetos podem se utilizar de plataformas existentes e que sejam adaptáveis para novos modelos e produtos (LEWANDOWISKI *et al.*, 2015; JIAO *et al.*, 2006; GUNASEKARAN, 1998). Dentro desta abordagem, esta caracterização representa boa parte dos equipamentos alvo dessa pesquisa em questão.

Ainda entre os artigos identificados encontram-se estudos que descrevem metodologias integradas para análise e avaliação da possibilidade de remanufatura, criando um indicador de remanufaturabilidade para máquinas-ferramenta para auxiliar na tomada de decisão para a remanufatura (DU *et al.*, 2012). Esta explicação aparece, principalmente porque na maioria dos casos os produtos não foram projetados para serem remanufaturados (ZWOLINSKI *et al.*, 2006). Para Subramoniam *et al.* (2010) a questão da remanufaturabilidade passa por uma decisão que requer uma estratégia clara para a prática de reutilização de componentes usados em processos de remanufatura e sugere uma metodologia que suporte a tomada de decisão nesta direção. A partir de outra visão, a definição de Responsabilidade Corporativa Social (CSR) frequentemente defende um comportamento ético em relação ao aspecto social da sustentabilidade (HUTCHINS & SUTHERLAND, 2008). Ilgin & Gupta, (2010) apresentam uma revisão do estado da arte baseado na consciência ambiental na manufatura, originalmente estudado por meio de uma revisão deste tema em seu

artigo. O conceito de remanufaturabilidade tem se tornado uma discussão produtiva, uma vez que propicia uma diminuição dos riscos inerentes a tomadas de decisão da aplicação de processos de remanufatura.

Também são encontrados estudos de logística reversa via rede de localizadores de máquinas-ferramenta descartadas para serem direcionadas para remanufatura em locais apropriados para tanto. Nesses locais, os custos envolvidos em remoção e deslocamento dos equipamentos sujeitos a remanufatura, apresentam-se como significativos no cômputo geral desse processo como um todo (JIANG *et al.*, 2017).

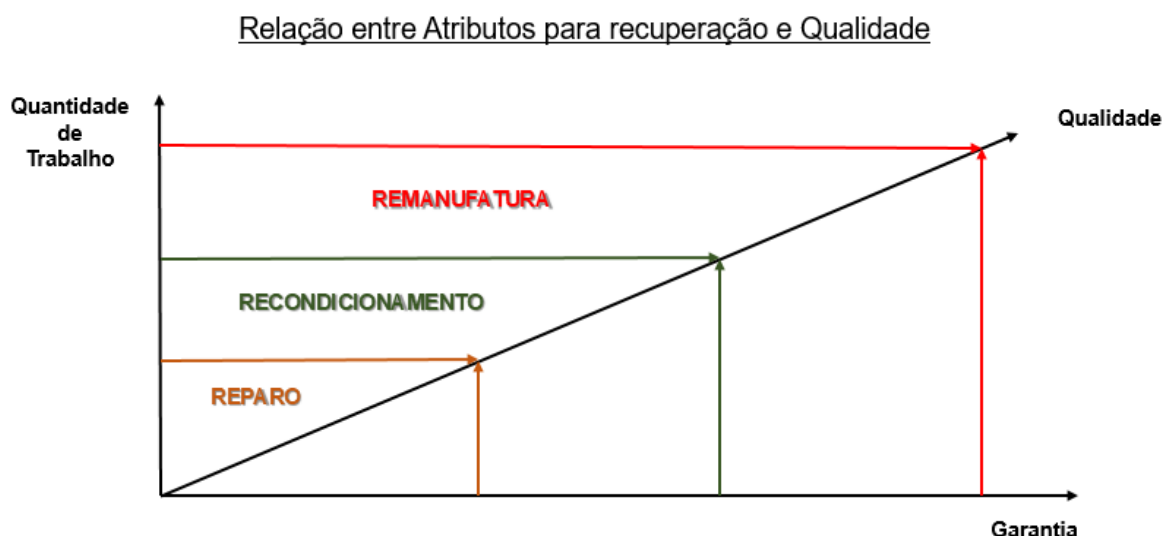
São identificados também estudos de modelagem de atributos para tomada de decisão em processos de remanufatura, levando-se em consideração fatores econômicos e ambientais de forma integrada, avaliando sua viabilidade de aplicação (ZHANG *et al.*, 2021).

Por fim, identificam-se trabalhos dedicados ao desenvolvimento de projetos de máquinas-ferramenta utilizando métodos de reconfiguração de produtos usados para remanufatura em referência à processos de restauração de produtos usados, devolvendo-lhe a condição de um produto novo (DU *et al.*, 2013). Essa forma de reprojetar estes equipamentos, apresenta-se como a circunstância mais eficiente e efetiva para recuperação de recursos utilizados no sentido do uso da energia consumida na fabricação destes produtos a partir do princípio de fabricação, assim como da utilização das matérias primas empregadas, apresentando-se, então, nas várias formas de reciclagem global (SUBRAMANIAN *et al.*, 2009; STEINHILPER, 2001).

A partir dos trabalhos acessados por meio da revisão sistemática da literatura e dentro do escopo de uma estrutura de produção para produtos de segundo uso de maneira hierarquizada, pode-se classificar três níveis de recuperação das funções de sistemas mecânicos com o objetivo de retorná-los habilitados para a sua funcionalidade original, como sendo Reparo, Recondicionamento e Remanufatura (IJOMAH *et al.*, 2007).

O Gráfico 1 relaciona estas três funções de acordo com a quantidade de trabalho exigido em cada uma, com a garantia do produto após sua regeneração e demonstrando a qualidade esperada.

Gráfico 1: Relação entre Funções de Regeneração de Equipamentos Usados



Fonte: Adaptado de Ijomah *et al.*, 2007

Conforme a Ijomah, (2007), as definições dos atributos citados, são:

Remanufatura: É definido como o processo de retornar um produto usado para, pelo menos, as condições de desempenho iguais ou melhores do que as originais, conforme prescritas pelas especificações do Fabricante do Equipamento Original, também denominado OEM – *Original Equipment Manufacturer*. Estas condições devem levar em conta a perspectiva do cliente e oferecer uma garantia, no mínimo, igual à aquela oferecida para um produto novo equivalente.

Recondicionamento: O processo de retornar um produto usado a uma condição satisfatória de uso que possa ser eventualmente inferior à de sua especificação original. Geralmente, o produto resultante oferece uma garantia que se apresenta como menor que a oferecida por um produto novo equivalente. A garantia deverá ser aplicada aos mais importantes componentes de desgaste.

Reparo: É simplesmente a correção de falhas especificadas em um produto. Quando o reparo oferece uma garantia, esta deverá ser menor que aquelas equivalentes a um produto. Também, a garantia não deverá cobrir o produto como um todo, mas somente o componente ou serviço realizado ou a peça substituída.

As operações de remanufatura são correntes nos artigos acessados pela pesquisa realizada e, de carácter geral, se enquadram na definição apresentada aqui

nos parágrafos anteriores. A diferença está em estudar a possibilidade de utilização de elementos estruturais de garantem o suporte físico do equipamento, sendo estes oriundos de máquinas usadas, e que sirvam de base para o desenvolvimento de um projeto de máquina nova. Com esta caracterização não foi encontrado nenhum trabalho que desenvolva a proposição de utilização de componentes estruturais em condições técnicas aceitáveis. Combinada a esta característica está o valor agregado que deverá ser de menor custo de produção e prazo de fornecimento quando comparados aos componentes desenvolvidos via conceitos tradicionais de utilização em projetos de máquinas-ferramenta.

Este foi um dos temas focados na pesquisa da revisão da literatura, o que define uma lacuna a ser explorada, ou seja, nenhum artigo pesquisado tem como característica a utilização de componentes estruturais de máquinas-ferramentas existentes em novos projetos.

Abordando o assunto sob este ponto de vista, não foram encontrados estudos publicados ou mesmo referências com essas características. Os artigos selecionados têm sua referência em processos de remanufatura. Nestes processos podem ser utilizadas peças e/ou componentes para devolver ao equipamento em questão, as condições operacionais tais como estas se apresentavam enquanto novas. Não se discute a possibilidade de desenvolver uma máquina nova tanto nos conceitos como na modernidade de suas funções essenciais envolvendo condições operacionais atualizadas e em conformidade com as normas de aplicação de boas práticas de engenharia, inclusive no sentido do atendimento das normas atuais de segurança de operação e de sustentabilidade. Também, olhando sob este ponto de vista, a literatura pesquisada não apresentou nenhuma configuração conforme a descrita aqui, o que se constitui também uma lacuna a ser preenchida.

Essa pesquisa se refere ao desenvolvimento de máquinas-ferramenta projetada a partir de conceitos atualizados e que contenham as inovações e avanços tecnológicos incorporados em seu escopo, garantindo um equipamento atualizado. Para tanto, o desenvolvimento do projeto deve se utilizar de estruturas existentes como ponto de partida do projeto. Desta forma fica identificada a lacuna a ser explorada dentro destas condições.

Para exemplificação e base para o desenvolvimento desta pesquisa foi utilizado a indústria fabricante de veículos automotores. Esta indústria tem atuação mundial e é responsável por uma cadeia de atividades que abrange um sem número de campos de atuação, desde a indústria siderúrgica, passando por petroquímica, óleo e gás, indústria química, etc. Esta indústria é responsável por movimentar uma economia global de altos valores e produziu nos últimos anos algo em torno de 90 milhões de veículos por ano de diversos tipos e características, espalhados por mais de 40 países produtores destes produtos (OICA, 2023).

Para a situação estudada, a partir dos dados de entrada fornecidos pelo cliente e colocados na proposta técnica, a área comercial do fabricante das prensas cumpre com seu trabalho de vendas e, uma vez realizado o negócio, passa-se para o desenvolvimento do projeto do equipamento vendido.

Com os dados de entrada em mão e da identificação e caracterização física, geométrica e topológica de componentes estruturais de prensas usadas disponíveis para reutilização, a engenharia de produto do fabricante do equipamento, deve refazer o dimensionamento estrutural desses componentes disponíveis, candidatos a serem reutilizados nos novos equipamentos vendidos. Dentro do escopo de engenharia deverá ser estudado a viabilidade de eventuais adaptações que se façam necessárias para cada um dos componentes, considerando-se as modificações advindas da evolução tecnológica a ser implementada nos novos produtos. Nesta ocasião, o desenvolvimento do projeto deverá usar como base para dimensionamento do produto, as características dimensionais e estruturais desses componentes, definindo adaptações necessárias de acordo com as necessidades técnicas. A caracterização dos componentes estruturais existentes deve servir de ponto de inicial do projeto, a partir dos quais o novo produto será desenvolvido.

Uma vez definida a possibilidade de utilização dos componentes estudados para sua aplicação em determinada prensa vendida, são realizadas as verificações de sanidade necessárias para garantir a conformidade estrutural, geométrica e topológica dos componentes em questão.

Após estas verificações, segue-se para a fase de operacionalização da fabricação, implementando as adaptações previamente definidas pelo projeto, quando necessário, e inicia-se o processo natural de fabricação do equipamento partindo-se

da existência das estruturas definidas no processo de reutilização. Dessa maneira, uma vez estando pronto, aprovado e qualificado para utilização em uma prensa nova, a(s) peça(s) deve(m) seguir o caminho normal dentro do processo de fabricação. A partir desta constatação e apoiado na revisão da literatura, na qual não foi possível identificar nenhum processo semelhante de obtenção do produto em questão fica determinada a pergunta de pesquisa:

Como avaliar a viabilidade de reaproveitamento de componentes estruturais existentes para fabricação de novas prensas de carroceria, atendendo aos preceitos de uma Economia Circular e contribuindo para um Desenvolvimento Sustentável?

1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos desta pesquisa estão apresentados como objetivo geral e 4 objetivos específicos derivados do objetivo geral. O objetivo geral representa o foco do estudo que deve ter como resultado o pressuposto no tema escolhido, qual seja, a avaliação da possível reutilização de elementos estruturais existentes em novos projetos de máquinas-ferramentas semelhantes. O resultado final deve ser a proposição de um modelo que possa direcionar as decisões no sentido de utilizar as estruturas existentes em novos projetos de máquinas-ferramentas. Os objetivos específicos estão detalhados no item 1.3.2, na sequência deste texto.

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver e validar um modelo de avaliação da viabilidade técnica, econômica e comercial para reaproveitamento de estruturas de prensas usadas em novos projetos de desenvolvimento de prensas para estamparia de carrocerias de veículos automotores. O objetivo geral tem como elementos definidores da sua linha de ação os preceitos de uma Economia Circular e como consequência indo na direção de um Desenvolvimento Sustentável. Este objetivo é norteado por estas características.

Como viabilidade técnica, deve ficar caracterizado a possibilidade de reutilização das estruturas escolhidas para reaproveitamento. Este fato deve ficar caracterizado via entrevistas com especialistas na área. Como viabilidade econômica

o comparativo de custos e prazos entre o método tradicional de desenvolver o projeto a partir do zero contra a reutilização de estruturas existentes deverá demonstrar ganhos de custos de produção e de prazos de fornecimento entre um e outro modelo. Do ponto de vista comercial, a aceitação do modelo de reutilização deve ficar configurado via entrevistas com profissionais envolvidos nas tratativas de comercialização do produto.

Ainda olhando sob o ponto de vista ambiental, caso seja caracterizado a possibilidade de reutilização destes componentes, este reaproveitamento irá contribuir para a diminuição do consumo de recursos naturais, irá minimizar a geração de resíduos a serem descartados e contribuir para um menor consumo energético. No aspecto social deverá contribuir para a diminuição de operações consideradas agressivas aos seres humanos e otimizar a utilização de recursos humanos de forma mais saudável.

1.3.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos, podem ser citados:

- Realizar uma revisão sistemática da literatura com a intenção de identificar artigos publicados em periódicos internacionais que digam respeito a reutilização de estruturas usadas de máquinas-ferramenta em novos projetos de equipamentos semelhantes.

- Realizar uma pesquisa, por meio de entrevistas pessoais semiestruturadas, com especialistas do mercado de prensas, utilizando-se do Método Delphi, para caracterizar a viabilidade técnica desta solução e analisando sua aceitação pelo mercado.

- Propor um modelo para reutilização dos elementos estruturais de máquinas-ferramenta, tais como bases de máquinas, colunas, etc., desenvolvendo um algoritmo comparativo de Custos de Produção e de Prazos de Fornecimento entre as duas alternativas existentes. Os resultados advindos desses algoritmos deve permitir uma avaliação da viabilidade técnica/econômica comparativamente com o modelo tradicional de desenvolvimento, ou seja, a partir do zero.

- Aplicar o algoritmo desenvolvido, desenvolvendo um estudo de caso para comparar custos de produção e prazos de fornecimento entre máquinas com

componentes novos e as mesmas com componentes reutilizados, usando como exemplo uma prensas de peças para carroceria de veículos automotores.

1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Como é comum no mercado de máquinas-ferramenta, assim como em outros segmentos de atividades industriais, suas características são carregadas de peculiaridades e estão descritas a seguir.

Esta pesquisa foca em operações e equipamentos de estamparia de partes e peças de carrocerias de veículos automotores. Para o caso de processos de fabricação de carrocerias de veículos automotores, as indústrias automobilísticas e suas correlatas, fornecedoras desses conjuntos, determinam as especificações técnicas das linhas de prensas necessárias para a fabricação dos estampados para sua devida montagem de funilaria. Em geral, estas especificações ficam determinada pelo tamanho das peças estampadas que compõe o conjunto da carroceria, das características das ferramentas de conformação existentes ou a serem projetadas e construídas, do volume de produção planejado e de outras características de conformidade adotadas como normas e especificações internas para equipamentos a serem utilizados nas linhas de produção.

As características básicas das linhas de prensas definem, entre outras especificidades, a força de prensagem de cada máquina da linha, a área da mesa onde vai ser colocada a ferramenta, a abertura mínima entre a placa do martelo e a superfície da mesa, o curso do martelo no ciclo de prensagem, o curso de regulagem de altura do martelo, a velocidade de estampagem (em golpes por minuto – gpm), o tipo de acionamento (com motor servo assistido, com movimento acelerado mecanicamente ou acionamento biela-manivela simples), no caso de prensas mecânicas. Uma outra quantidade de requisitos é estabelecida em um caderno de encargos preparados pelo cliente em um documento, normalmente denominado *RFQ* – *Request for Quotation* ou Requisitos para Cotação, que o fabricante das prensas e/ou equipamentos utiliza como dados de entrada para a preparação da proposta técnica e comercial. Este descrito detalhado não merece uma atenção especial neste estudo por não interferir diretamente no desenvolvimento desse trabalho.

Esta pesquisa apresenta um estudo para determinar a possibilidade de reutilização de estruturas de prensas usadas e direcionadas para descarte, na fabricação de novas prensas de estampagem de peças de carroceria para veículos automotores.

O projeto de prensas para fabricação de carrocerias está associado a conhecimentos específicos dos processos de produção a serem utilizados e dependendo de uma aplicação desejável, uma prensa pode ser concebida para executar um processo específico, ou ainda, para uma aplicação universal (SCHULER, 1998).

As estruturas a serem reutilizadas, referenciadas neste trabalho, são fabricadas a partir de conjuntos oriundos de processos de caldeiraria, soldagem e usinagem. As funções primárias de uma estrutura de prensa de carroceria são as de absorver forças, de garantir um movimento preciso do martelo, suportar os sistemas de acionamento mecânico ou hidráulico, assim como de outras unidades auxiliares (SCHULER, 1998).

Conforme Schuler (1998), o projeto estrutural destes componentes depende: da força de prensagem – o que determina a rigidez requerida para a estrutura; das dimensões das ferramentas a serem utilizadas, o que define o tamanho da área da mesa e martelo para atender as ferramentas previstas em uso; da acessibilidade da área de trabalho, o que determina a configuração do quadro da prensa; do grau de precisão das guias do martelo, o que influencia a configuração do quadro da prensa e determina sua rigidez.

A base desse trabalho está representada pelo projeto e fabricação de prensas com a utilização do que existe de mais atual em termos tecnológicos, de maneira que possa atender aos requisitos de produtividade e de qualidade das peças estampadas, no sentido das funções requeridas para o atingimento deste objetivo. O foco de produção fica voltado para as funções operacionais do equipamento de prensagem para produzir peças de carroceria para veículos automotores, na quantidade requerida por ciclo produtivo, com a qualidade esperada, assegurando uma produtividade necessária para atender os requisitos de quantidade, qualidade com o controle dos custos de operação compatíveis com os objetivos do fabricante no atendimento a seus mercados.

Atualmente, as linhas de estamparia são formadas por sistemas operacionais automatizados, desde a alimentação das platinas geradoras das peças até sua retirada e acondicionamento para as próximas operações de fabricação (montagem de funilaria). Dentro deste universo de equipamentos de estamparia estão os elementos principais para a produção de peças estampadas – as prensas. Prensas e suas ferramentas, também denominadas de “estampos”, representam os elementos básicos da produção de peças estampadas. Em linhas modernas, estes conjuntos são complementados por equipamentos periféricos que completam o sistema produtivo de uma estamparia. Estes equipamentos complementares não fazem parte do estudo objetivo deste trabalho.

Dentro do escopo deste estudo, estão as linhas de prensas convencionais constituídas de uma sequência de máquinas que completam um ciclo de estampagem de uma determinada peça a partir de uma platina pré-configurada em 2D na formatação necessária para a geração da peça em questão. Na grande maioria dos casos, essas linhas são constituídas por 3, 4, 5 ou até 6 máquinas, que completam o ciclo de estampagem requerido.

Neste trabalho são tratados componentes estruturais de prensas de estamparia para peças que compõe a carroceria de veículos automotores, como sustentação da possibilidade de reutilização de componentes usados em projetos novos. A partir do desenvolvimento dos conceitos a serem implementados como exemplificação da possibilidade de reutilização destes componentes, a estruturação do estudo pode ser expandida para outros equipamentos pertencentes a esta categoria e aos seus respectivos componentes. Estes componentes são caracterizados como a estrutura do cabeçote que contém os sistemas de acionamento do movimento do martelo, as colunas de sustentação do cabeçote, a carcaça do martelo que mantém ligação com o sistema de acionamento por meio de bielas ou eixos e que carrega a parte superior da ferramenta de estampagem, as estruturas das mesas móveis para a realização das trocas de ferramentas, e da base fixa da prensa em questão. Podem ser considerados também os tirantes como componentes candidatos a sua reutilização em novos equipamentos, fechando dessa maneira o conjunto estrutural de uma prensa de carroceria.

1.5 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

A pretensão principal deste estudo é avaliar a possibilidade de reutilização de estruturas de máquinas-ferramenta usadas em novos projetos de equipamentos similares. Existe uma percepção de desperdício dos componentes estruturais destas máquinas, quando do descomissionamento destes equipamentos por conta, principalmente da obsolescência de seus sistemas de controle e de suas funções operacionais ultrapassadas. Os resultados de produtividade e de qualidade das peças fabricadas por estes equipamentos tornam-se abaixo dos critérios de resultados esperados dos processos produtivos muito antes do colapso físico dos componentes estruturais. Este fato ocorre em função dos avanços tecnológicos experimentados pelos sistemas de controle e de potência e, principalmente, pela evolução dos requisitos de qualidade, produtividade e de custos requeridos pelo mercado para os produtos originários destes sistemas produtivos. Em outros termos, a durabilidade das estruturas das máquinas-ferramenta apresenta-se muito maior que de seus sistemas de controle e de desempenho. Desta forma, este estudo escolheu um equipamento típico da indústria automobilística para caracterizar estas circunstâncias e avaliar o reaproveitamento de estruturas existentes em novos projetos.

Por meio da criação de um sistema de avaliação da viabilidade técnica, econômica e comercial, esta pesquisa espera poder contribuir como suporte para uma tomada de decisão, por parte dos responsáveis por esta ação, de reaproveitamento de estruturas usadas aplicáveis em novos projetos, tanto em termos de Custos de Produção quanto em Prazos de Fornecimento. Esta ação poderá ser acionada de forma segura e baseada em dados confiáveis, incentivando, desta maneira, um esforço conjugado entre fabricantes e usuários destes equipamentos na direção da eliminação do desperdício de componentes estruturais em perfeitas condições de conformidade para o uso. Como resultado, espera-se obter, além dos ganhos relativos ao fornecimento de novos equipamentos, a diminuição da geração de resíduos industriais, um ganho no consumo de energia para fabricação de novas estruturas, e uma economia de recursos naturais. Estes atributos podem ser obtidos via utilização de conceitos de Economia Circular e de Sustentabilidade.

A Indústria Automobilística é um dos maiores e mais complexos segmentos industriais no mundo atual (SZÁSZ et al., 2021). Apesar da indústria automotiva ser representativa de um segmento industrial chave da atividade humana, influenciando

a sustentabilidade do sistema econômico global, o desempenho ambiental e social da maior parte dos fabricantes de veículos e de outras empresas participantes da rede de suprimentos da cadeia automotiva, nem sempre assumem uma posição proativa em relação às regulamentações e expectativas da parte da sociedade, quanto ao meio ambiente (ORSATO & WELLS, 2007).

A Indústria Automotiva e seus produtos é considerada como uma das maiores poluidoras, dentre as indústrias manufatureiras, exercendo, ao mesmo tempo, um dos mais importantes papéis no que se refere a utilização de mão de obra (PALEA & SANTHIÀ, 2022), tanto em quantidade quanto em qualificação profissional de seus colaboradores. Como consequência, fica fácil entender que as eventuais mudanças climáticas e seus consequentes impactos na humanidade, entre outros fatos, não ocupem lugar considerado prioritário dentro da gama de interesses dos tomadores de decisão, dos investidores e de seus administradores (PALEA & SANTHIÀ, 2022).

A tecnologia automotiva, como um sistema produtivo, associado a seus produtos, envolve não apenas a produção industrial de veículos automotores, mas também toda a infraestrutura necessária para utilização desses veículos e as estruturas associadas ao uso, manutenção e reciclagem ou descarte em final de vida (ORSATO & WELLS, 2007).

Sob o ponto de vista ambiental, o desempenho da Indústria Automobilística como um todo se concentra, basicamente, no controle das emissões de particulados e de gases tóxicos e/ou do efeito estufa gerados por seus produtos durante sua utilização (ORSATO & WELLS, 2007).

Olhando para o processo produtivo desses veículos, a história apresenta o uso de ligas metálicas como premissa de projeto na fabricação de veículos automotores desde a substituição da madeira por chapas de aço desenvolvida por Edward Budd em 1914 (NIEUWENHUIS & WELLS, 2003). A tecnologia carroceria-chassis, denominada “*all steel-body paradigm*”, introduzida também por Edward Budd em 1914, ficou definida como paradigma tecnológico e foi incorporada à produção e concepção dos veículos modernos a partir dos primórdios do século XX (NIEUWENHUIS & WELLS, 2003). Em termos simplificados, a solução desenvolvida pelas engenharias dos fabricantes de veículos, com o advento da substituição da madeira pelas chapas de aço nas carrocerias, propiciou a integração do chassi na

carroceria constituindo uma única peça (NIEUWENHUIS & WELLS, 2003), denominada, então, conjunto monobloco. Desta maneira, ficou criado o “*Buddism Paradigm*”.

O chamado “Paradigma de Budd” como configuração estrutural e de meios produtivos, envolve altos investimentos em linhas de estamparia, em montagem de funilaria, e em instalações de pintura, e se constitui em um pressuposto impositivo antes que quaisquer produtos com essas características sejam desenvolvidos e fabricados (NIEUWENHUIS, 1996).

Seguindo esta fórmula, para grandes volumes de produção, a tecnologia de fabricação utilizando-se chapas de aço estampadas em linhas de prensas apresenta um custo-por-unidade mais baixo comparativamente com outras soluções na utilização de materiais alternativos e/ou com soluções de concepções diferentes da descrita aqui e se apresenta como ideal para amortização de um investimento caracterizado como sendo de capital intensivo (ORSATO & WELLS, 2007).

Tendo esta configuração estrutural de produto em mente, as instalações, os processos de produção e os equipamentos utilizados na fabricação da carroceria dos veículos segue seu caminho, evoluindo juntamente com a tecnologia de fabricação para acompanhar as mudanças de produto que são implementadas. É necessário, portanto enfrentar desafios de volumes de produção cada vez maiores, associado a adequação dos produtos às novidades exigidas pelo mercado, com a utilização de novas tecnologia todos os dias. As drásticas mudanças nas demandas do mercado, e o rápido desenvolvimento tecnológico criaram a necessidade de sistemas de produção mais flexíveis que atendam a produção de produtos mais complexos com um maior grau de variações (GUSTAVSSON, 2007). Como resultado do aumento da automação industrial e da tendência em direção de ciclos de vida cada vez mais curtos para os produtos, tornou-se aparente que a flexibilidade dos equipamentos necessários para atender a processos de produção complexos, demonstraram-se de primordial importância para manutenção da lucratividade no longo prazo (GUSTAVSON, 2007).

Os processos de conformação de metal constituem um dos mais antigos processos de fabricação onde peças, objetos e componentes são conformados e posteriormente remodelados com a aplicação de forças mecânicas sem a adição ou

remoção de material (AWASTHI et al., 2021). Esses processos são largamente utilizados na obtenção de peças e subconjuntos de carrocerias dos veículos automotores. A partir das últimas décadas, dentro do contexto do crescimento populacional com a consequência do aumento do consumo de recursos naturais, o desenvolvimento sustentável representa um modelo que objetiva o equilíbrio entre o crescimento econômico, a melhoria da qualidade de vida e a preservação ambiental de médio e longo prazo sem o aumento do consumo de recursos naturais além da capacidade do planeta Terra (DURAN et al., 2015). Uma definição de manufatura sustentável é “a criação de produtos manufaturados a partir de processos economicamente viáveis que minimizem impactos ambientais negativos enquanto conservam recursos naturais e de energia, reforçando a empregabilidade, a comunidade e a segurança dos produtos (AKBAR & IROHARA, 2018). A partir desses preceitos é que deverá ser desenvolvida esta pesquisa.

1.6 ESTRUTURA GERAL DO TRABALHO

Este trabalho é constituído de 6 capítulos que tem a pretensão de abordar os assuntos relativos ao tema proposto desta pesquisa, explorando suas nuances e procurando esclarecer suas atribuições. O Capítulo 1 é a Introdução onde são apresentadas as considerações iniciais do tema com uma contextualização, seguida de uma breve descrição dos trabalhos selecionados como base de pesquisa via a revisão da literatura, a conceituação da lacuna de pesquisa encontrada e a citação da questão de pesquisa. Na Introdução também estão citados os objetivos principal e específicos do estudo, a delimitação da pesquisa estabelecendo seus limites e fronteiras, a justificativas para a realização deste estudo e sua motivação e descreve, via esta seção a estrutura do trabalho.

O Capítulo 2 se dedica a revisão da literatura com a descrição dos resultados das revisões bibliométrica e sistemática, na procura e seleção dos artigos que servem de sustentação teórica deste estudo.

O Capítulo 3 apresenta a metodologia de pesquisa utilizada na seleção dos artigos base do estudo por conta de uma revisão bibliométrica, demonstrando o resultado alcançado, assim como a forma de seleção destes artigos com a utilização de uma análise sistemática dos textos dos artigos selecionados.

O Capítulo 4 descreve a avaliação da viabilidade técnica, econômica e comercial de reutilização de estruturas de máquinas-ferramenta em projetos novos como base para apresentação dos resultados obtidos a partir do estudo de caso levado a cabo sob o aspecto qualitativo. Apresenta também os resultados obtidos deste estudo, esclarecendo os dados que foram compilados por essa pesquisa.

No Capítulo 5 está apresentada uma proposta de algoritmos para avaliação da viabilidade de uma remanufatura baseado em utilização de elementos estruturais existentes como base para desenvolvimento de novos projetos.

No capítulo 6 são colocadas as discussões sobre os resultados obtidos descritos no capítulo anterior, levantando considerações sobre a viabilidade de implementação da ideia inicial, considerando suas limitações, dificuldades, vantagens e predicados.

Finalmente no Capítulo 7 estão colocadas as conclusões decorrentes do estudo desenvolvido, considerando o estudo de caso que balizou este estudo, destacando as eventuais contribuições que esta pesquisa oferece para a teoria, a aplicabilidade prática de seus resultados na indústria a que se refere este estudo e a sociedade em geral, destacando suas qualidades e limitações. Ainda procura identificar e sugerir futuras possibilidades de pesquisa envolvendo este tema para continuar contribuindo com o desenvolvimento tecnológico como um todo.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Na revisão da literatura foi desenvolvido, para fins de pesquisa bibliométrica e sistemática, conceitos que norteiam modelos de negócio relacionados ao tema principal desta pesquisa. Este desenvolvimento explorou os tipos de abordagens que orientaram a revisão da literatura, via ferramentas de busca de trabalhos acadêmicos que representassem o assunto a ser estudado.

2.1 TIPOS DE ABORDAGEM - REAPROVEITAMENTO DE ESTRUTURAS

Pode-se considerar diversas formas estruturadas de modelos de negócios para caracterizar as operações de remanufatura no universo de máquinas-ferramenta. Existem diversos modelos de reutilização de componentes de máquinas-ferramenta e nestes casos são tratados como dentro de um escopo de remanufatura. Dentre os componentes considerados como disponíveis para reutilização, estão desde elementos estruturais como bases de máquinas, caixas de engrenagens redutoras ou multiplicadoras de velocidade e torque, ou de sistemas de movimentação via fusos de translação, até elementos de máquinas comumente utilizados, tais como eixos, fusos, engrenagens, rolamentos, elementos de fixação, etc.

A remanufatura pode ser considerada como um processo para devolver produtos usados para um estado funcional “como novo” com uma garantia associada ao trabalho realizado e que possa, ao mesmo tempo, ser lucrativa e menos prejudicial para o meio ambiente comparativamente a manufatura convencional por reduzir o descarte em aterros sanitários ou pátios de sucata, reduzindo também a utilização de material virgem, de energia e de trabalho especializado usado em sua produção (IJOMAH et al., 2007).

De acordo com Ke *et al.*, (2017), existem algumas formas indicativas para avaliação e análise das possibilidades de remanufatura:

- Viabilidade técnica de remanufatura.
- Custo envolvido na operação comparando-se com o custo de uma máquina nova (nas mesmas bases técnicas).
- Prazos envolvidos no processo de remanufatura, comparando-se com prazos de fabricação de uma máquina nova (nas mesmas bases técnicas).

Dentre as possibilidades de tipos de abordagem, a partir dos artigos acessados na revisão sistemática da literatura, podem ser citados os seguintes:

2.1.1 Projetos para Remanufatura

Método de otimização de projetos baseado na similaridade das estruturas, onde são exploradas as possibilidades de reutilização de componentes estruturais de máquinas-ferramenta via análise de similaridades entre os componentes a serem utilizados. São discutidos e avaliados a través de algoritmos, a similaridade estrutural e a similaridade de performance (KE *et al.*, 2017).

Conforme Ke *et al.*, (2017), a avaliação de similaridade estrutural é realizada por caracterização da similaridade topológica, da similaridade geométrica e da similaridade de posicionamento. Para similaridade de performance, ainda conforme Ke *et al.*, (2017), são discutidos levantamentos de parâmetros de projeto, análise de dados levantados e a otimização do projeto.

Desta maneira, a identificação do momento de decisão pode ser antecipada para o caso de uma futura remanufatura que, desta forma, são definidas as demandas para reutilização, já na fase de concepção do equipamento (KE *et al.*, 2017). Diversos estudos exploram a possibilidade de desenvolverem um projeto voltado para a remanufatura (KE *et al.*, 2017). No mesmo tema, Ijomah *et al.*, (2007) discute a relação entre as características do produto e sua remanufaturabilidade e explica seus efeitos na quantidade de material utilizado, na tecnologia embarcada, no custo envolvido, além de outros fatores.

2.1.2 Projetos de Equipamentos sob Encomenda (ETO – *Engineering-to-Order*)

Uma outra forma de aproximar-se das necessidades e expectativas dos consumidores é o desenvolvimento de uma plataforma de produto que seja adaptável para permitir uma configuração de produto segundo o pretendido pelo cliente. Esta plataforma tem uma configuração de projeto customizável (ETO- *Engineering-to-Order*).

Muitas empresas esforçam-se para fornecer para seus clientes produtos customizados com a intenção de atender suas necessidades específicas (LEVANDOWISKI *et al.*, 2015). Uma maneira usual para atingir este objetivo é o

desenvolvimento de plataformas de produtos que possibilitam a fabricação de produtos individualizados com uma base de produção única e comum a diversos produtos com características distintas, definindo diversos modelos de produtos (JIAO *et al.*, 2007).

A utilização de plataformas nos projetos base conforme uma estrutura considerada como CTO (*Configure-to-Order*) apresentam, principalmente, a preocupação com a utilização de partes comuns a serem incluídas em projetos existentes, as quais são configuradas para produtos com variações consideradas viáveis para estruturação do projeto base (GUNASEKARAN, 1998). Atuando dessa maneira a produção atinge uma agilidade que só faz aumentara competitividade dos produtos em fabricação (GUNASEKARAN, 1998).

A reutilização de projetos existentes, ou ainda partes destes, aparece também como proeminente em projetos com características de ETO's. Mas sua abordagem é comumente ser notada por utilizar nos projetos características em escala e parametrizações de maneira adequada para adaptar-se aos requisitos dos consumidores (SIMPSON *et al.*, 2004). Neste ambiente, o projeto deve estar em um estágio avançado de maturidade, onde qualquer alteração induza a um esforço de retrabalho no projeto original.

Conforme Gunasekaran, (1998), os empreendimentos contendo uma estrutura de manufatura ágil podem ser definidos em conjunto com 4 dimensões, a seguir:

- 1) Estratégias de preços de produtos com estas características baseadas em valores que favoreçam os clientes;
- 2) Cooperações que melhorem a competitividade;
- 3) Domínio organizacional de eventuais mudanças e diante de incertezas;
- 4) Investimentos que alavanquem os impactos nas pessoas e nas informações.

A utilização de plataformas concebidas para favorecerem a customização de produtos representa um modelo de negócio que possibilita o reuso do projeto original, ou de parte dele, já existente e já testado no mercado, aproveitando conceitos consagrados tecnicamente para peças, componentes e subconjuntos. A proposta

deve partir de um projeto para uma família de produtos que possibilite a customização desses produtos a partir de sua estrutura principal. Esta estrutura fica caracterizada por uma plataforma unificada e que seja configurada para viabilizar variações a serem implementadas no produto final conforme a exigência do cliente (LEVANDOWISKI *et al.*, 2015). As indústrias automotiva e eletroeletrônica se utilizam largamente desse modelo. (Exemplos: VW – Passat e Audi A6; Ford – Fiesta e Ecosport, etc).

2.1.3 Remanufaturabilidade

Dentro deste escopo, a forma a ser apresentada de modelo de negócio para desenvolvimento de remanufatura de máquinas usadas é o desenvolvimento de uma metodologia para definir um indicador de remanufaturabilidade de equipamentos mecânicos usados. Diante dos resultados de uma análise realizada via esta metodologia, os dados apresentados devem ser levados em consideração para tomada de decisão quanto o andamento do processo de remanufatura (DU *et al.*, 2012). Os dados apresentados “a priori” são carregados em um programa desenvolvido a partir de um método integrado para a realização dessa avaliação, onde estão considerados a viabilidade tecnológica, a viabilidade econômica e os benefícios ambientais decorrentes dessa operação de remanufatura (DU *et al.*, 2012).

Em função do aumento progressivo das preocupações com o meio ambiente, com o aumento das emissões de carbono associado à conscientização em relação as limitações dos recursos naturais, somados, todos, a legislações governamentais cada vez mais restritivas, o descarte de produtos em final de vida tem recebido considerável atenção nas últimas décadas (ILGIN & GUPTA, 2010). A partir do início dos anos 2000, a denominada ECMPRO (*Environmentally Conscious Manufacturing and Products Recover*) tem experimentado um aumento das atividades de pesquisa como consequência do aumento da conscientização para proteção do meio ambiente (ILGIN & GUPTA, 2010). A consciência ambiental e a regulação da reciclagem têm pressionado diversos fabricantes e consumidores, forçando-os a produzir e descartar produtos de uma maneira ambientalmente responsável (ILGIN & GUPTA, 2010).

Quando se discute a remanufaturabilidade de máquinas-ferramenta usadas, este atributo é analisado sob aspectos de viabilidade tecnológica, econômica e ambiental, onde, normalmente, os benefícios sociais são negligenciados em função de sua complexidade e da dificuldade de sua mensuração (HUTCHINS &

SUTHERLAND, 2008). A discussão da possibilidade de avaliação da remanufaturabilidade de uma máquina ferramenta usada é aplicada, tendo como base um modelo de negócio que parte de uma máquina em seu projeto original, quando serão realizadas adaptações, reparos, modernizações, mantendo-se basicamente as características físicas e operacionais do equipamento original. Na maioria dos casos, os processos de remanufatura devem adaptar-se aos produtos existentes porque estes não foram concebidos para serem remanufaturados (ZWOLINSKI *et al.*, 2006).

O indicador de remanufaturabilidade de uma máquina ferramenta usada auxilia na tomada de decisão baseada na determinação se este produto específico deve ou não ser submetido a um processo de remanufatura (DU *et al.*, 2012).

Remanufatura se refere a uma série de operações de manufatura, agindo no final da vida útil (EoL) de componentes, partes ou mesmo produtos, com a intenção de obter a condição de “como novo”, ou ainda acrescentar um melhor desempenho com o suporte da garantia de um produto novo (DU *et al.*, 2012).

A representação apresentada na figura a seguir, mostra o universo de modelos de negócio que estão considerados neste trabalho, destacando que, o modelo definido para essa pesquisa, apesar de se utilizar de conceitos já apresentados, não contemplam, na sua totalidade, o objeto deste estudo.

2.1.4 Processos para Remanufatura

Existe a possibilidade da Transferência Dinâmica de Informações e Retroalimentação via modelo de reuso orientado para refazer o projeto original de equipamentos mecânicos usados destinados a remanufatura, com foco nos processos envolvidos nas operações necessárias (WANG *et al.*, 2019).

Reprojetar por meio de um modelo para reuso de componentes como orientação de projeto para satisfazer os processos necessários para utilização de componentes de um equipamento mecânico usado, se constitui em um processo inovador de concepção para um novo produto remanufaturado. Equipamentos mecânicos usados e suas partes, são considerados como peças novas com o objetivo de reutilização do material e de adicionar uma alta quantidade de valor (CONG *et al.*, 2017). Ainda de acordo com Cong *et al.*, (2017) os princípios de uma Economia

Circular requerem a reutilização de materiais/componentes de produtos em final de vida (EoL – End-of-Life) para o atingimento de sua máxima utilidade.

Comparando-se o projeto de um equipamento mecânico novo, o reprojeito orientado para reuso fica baseado na remanufaturabilidade do equipamento mecânico usado, e considera os efeitos da redefinição da concepção das estruturas e processos no que diz respeito à qualidade, performance e aplicabilidade de um novo ciclo de vida de partes remanufaturadas (WANG *et al.*, 2019). O processo de planejamento da remanufatura representa um papel chave na sua implementação, porque afeta diretamente os custos de remanufatura, assim como o consumo de energia e a qualidade do produto final (WANG *et al.*, 2017).

Andrue, (1995) listou as características preferenciais para produtos remanufaturados conforme descrito a seguir:

- O produto deve ter um núcleo básico que deverá servir de suporte para ser restaurado e um suprimento contínuo destes núcleos deveram estar disponíveis.
- O produto a ser remanufaturado deverá ter tido uma falha de funcionamento ou de performance funcional, ao invés de uma quebra da estrutura (núcleo) básica e deverá ser produzido em fábricas preferencialmente à montagem de campo.
- O núcleo deverá ser habilitado para desmontagem e de ser recuperável para o atingimento das especificações originais e o valor adicionado na recuperação do núcleo base do produto final deverá ser considerado como pouco relevante frente a seu valor de mercado e ao seu custo original.
- Tanto o produto quanto o processo de remanufatura devem ser tecnologicamente estáveis.

Em termos comparativos com uma fabricação convencional, o processo de remanufatura, baseado nos pressupostos acima, oferece a mesma garantia de qualidade como se fosse um produto novo, mas com redução no custo de fabricação no consumo de energia, no material utilizado na fabricação e na redução da poluição atmosférica (IJOMAH *et al.*, 2007).

O desenvolvimento de um reprojeito orientado para reuso de peças usadas em equipamentos mecânicos objetiva obter um esquema de projeto otimizado. Primeiramente um modelo de estruturação acoplado que caracterize a relação entre

as partes a serem reutilizadas (CONG *et al.*, 2017). Uma vez estabelecida estas relações, o custo da remanufatura, o custo da energia consumida e o consumo de matéria prima devem ser considerados nos objetivos do reprojeto (WANG *et al.*, 2019).

Baseado nesses objetivos e em suas limitações, a transferência dinâmica de informações e um modelo de retroalimentação deverá ser considerado para o atingimento de uma otimização colaborativa entre o equipamento como um todo e seus componentes (WANG *et al.*, 2019).

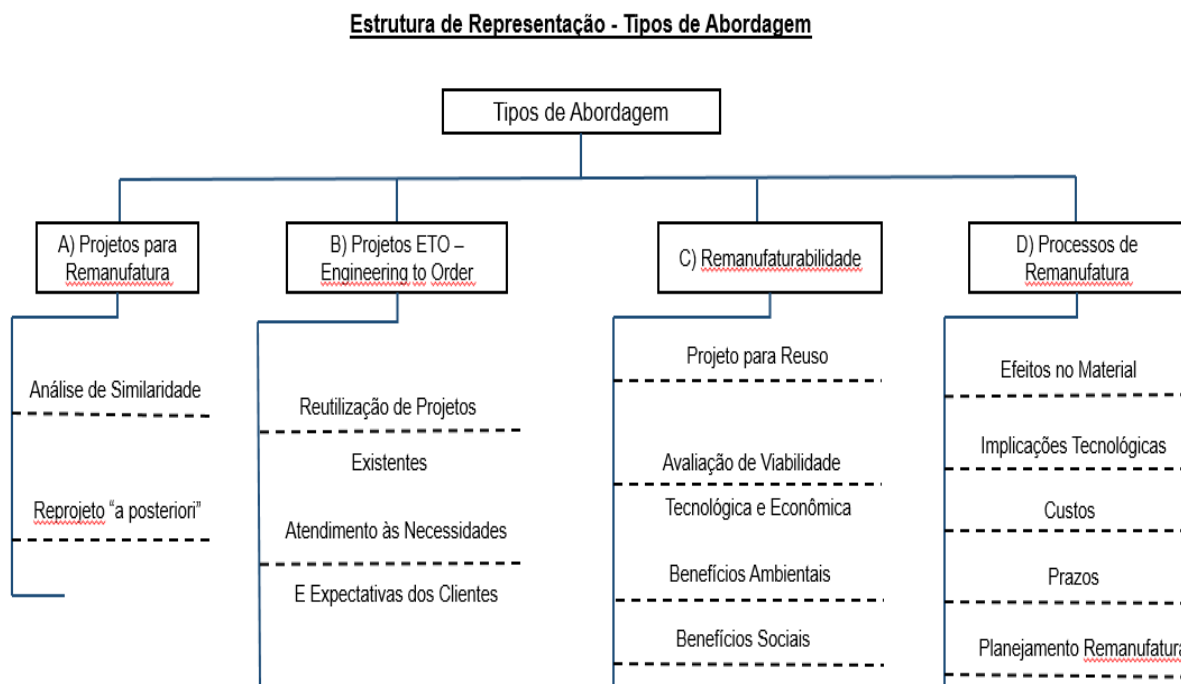
Para aumentar a eficiência do reprojeto para definição dos processos a serem utilizados, fica estabelecido um modelo de otimização de multiobjetivos e suas restrições/limitações (WANG *et al.*, 2019). Esses objetivos são:

- Custos de remanufatura;
- Consumo de energia;
- Consumo de matéria prima.

Estas características orientam processos de recuperação, adaptação e verificação da sanidade e qualidade dos componentes a serem reutilizados de maneira a tirar o melhor desempenho das atividades aplicadas na remanufatura do equipamento em questão.

A seguir está apresentado nesta figura 1 os tipos de abordagem relativos ao tema a serem desenvolvidos nesta pesquisa, via revisão da literatura.

Figura 1: Tipos de Abordagem nos Artigos Seleccionados para o Tema da Pesquisa



Fonte: Desenvolvido pelo Autor

Dessa forma, a partir da caracterização dos modelos de negócio associados aos artigos seleccionados pela revisão sistemática da literatura, tal como descrita no Cap. 2 deste estudo, pode-se concluir que nenhum destes modelos perfaz, na sua plenitude, a intenção desse estudo. O pressuposto principal do modelo para esse estudo está firmado na possibilidade de utilização dos elementos estruturais de suporte de prensas de carroceria, que, por suas características físicas, geométricas e topográficas específicas, podem ter sua aplicabilidade em novos equipamentos com características físicas similares. Desta maneira, a base do estudo é desenvolver projetos de novas máquinas-ferramenta tendo como ponto de partida estes componentes estruturais.

A proposta do trabalho é a utilização destes conjuntos estruturais como ponto de partida do projeto, em consonância com os requisitos técnicos estabelecidos pelos clientes, com a intenção de atender suas expectativas e necessidades. A partir desse pressuposto, desenvolver o projeto das máquinas, considerando-se os conceitos de ETO – *Engineering-to-Order*, como é característico para este tipo de produto e para o mercado a que ele se destina. Como já explanado, é prática comum do mercado para este tipo de equipamento (principalmente a indústria automobilística), a determinação

detalhada das características físicas, funcionais e de conformidade para utilização de componentes padrão, o que, via de regra, precisa ser rigorosamente obedecido. No descritivo técnico/comercial da proposta, estão estabelecidas estas condicionantes para o fornecimento da prensa em questão, assim como os critérios técnicos de aceitação do equipamento por parte do cliente final.

Não se trata aqui de um projeto de remanufatura, como estabelecido nos tipos de abordagens apresentados na estrutura demonstrados anteriormente na figura 4. Trata-se de um projeto novo, que segue as orientações e especificações de uma Requisição para Fornecimento (comumente denominada *RFQ – Request for Quotation*) emitida pelo comprador/cliente.

O projeto deste novo produto deve utilizar estruturas existentes já citadas nesse estudo, servindo de ponto de partida para o desenvolvimento do projeto e sua consequente fabricação. Desta maneira, usando como critério mandatório a caracterização de sua sanidade e a análise da possibilidade de adaptação desses componentes ao projeto da máquina a que se destinam, o projeto deve ser levado adiante.

2.2 ECONOMIA CIRCULAR E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

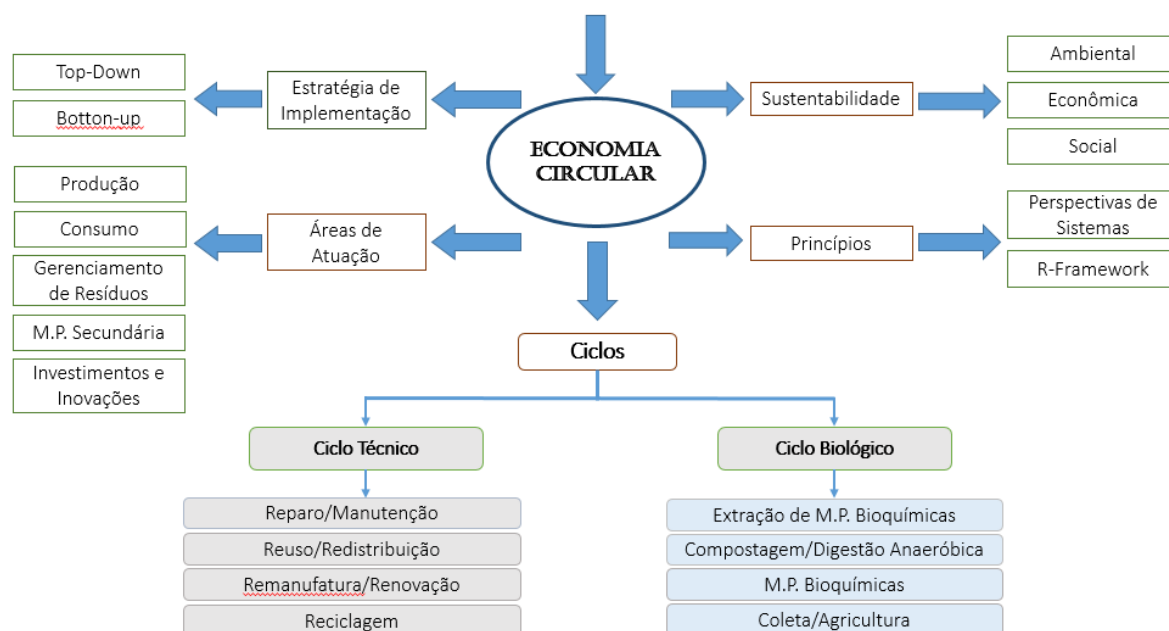
Olhando sob o ponto de vista da Remanufatura como base principal deste estudo e associando os conceitos relacionados à essa abordagem aqui apresentada, a orientação para uma Economia Circular fica explícita. A reutilização de estruturas usadas em novos projetos demonstra a caracterização de uma Economia Circular, com a reinserção destes componentes no ciclo de utilização dos mesmos, postergando seu período de vida útil.

2.2.1 Princípios de Economia Circular

Para dar significância aos conceitos de Economia Circular é necessário declarar seus princípios. Dentre esses princípios encontra-se o Enquadramento-R e Perspectivas de Sistemas que é considerado o princípio central da Economia Circular (KIRCHHERR *et al.*, 2017). Este enquadramento é classificado como reciclagem, remanufatura/renovação, reuso/redistribuição e reparo/manutenção definindo o ciclo técnico da Economia Circular (PANCHAL *et al.*, 2021).

A figura a seguir representa esses conceitos dentro de uma sequência de decisões que alavancam atividades que caracterizam uma Economia Circular.

Figura 2: Sequência para Desenvolvimento de uma Economia Circular



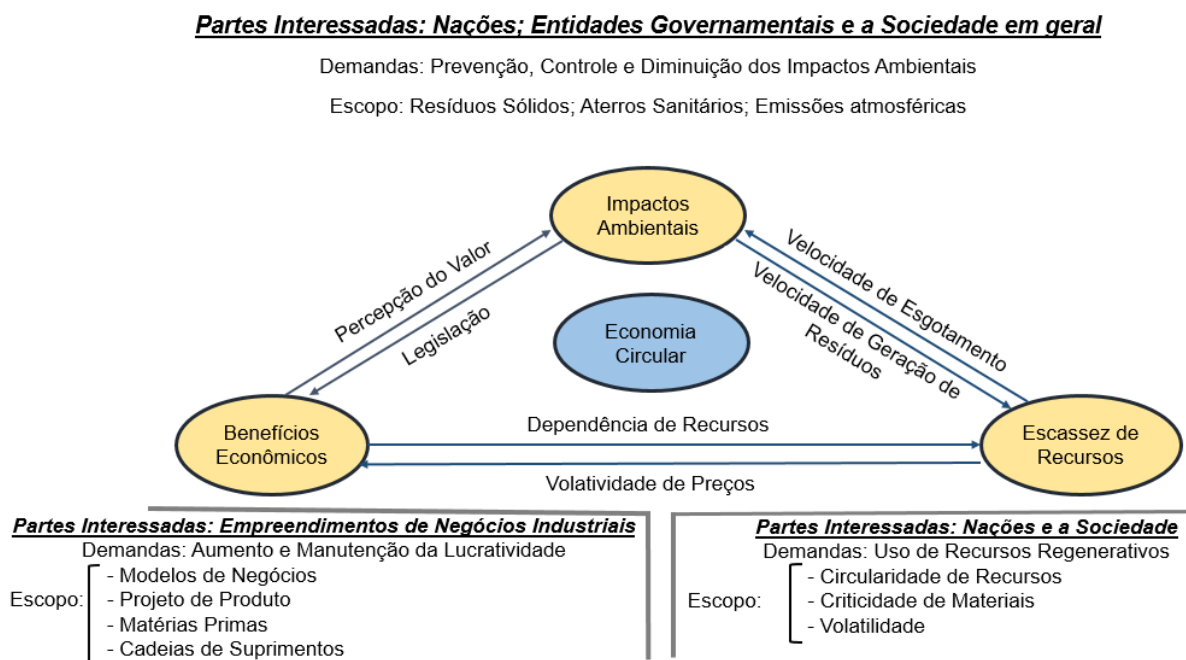
Fonte: Adaptado pelo autor a partir de Panchal *et al.*(2021)

A figura 2 apresentada também demonstra um modelo amplo de uma Economia Circular consistindo em Eco-Design, Reparo, Reuso, Remodelação, Remanufatura, Produto Compartilhado, Prevenção de Desperdício e Reciclagem de Resíduos (BANAITE & TAMOŠIŪNIENĖ, 2016).

Conforme Banaitė & Tamošiūnienė, (2016) uma Economia Circular é composta de três partes interessadas (*stakeholders*) principais, ou seja: Empresas Individuais (Indústria), a Sociedade e as Nações via suas Entidades Governamentais. A Economia Circular esforça-se para reduzir resíduos sólidos, aterros sanitários e emissões desenvolvendo, para tanto, atividades tais como Reuso, Remanufatura e/ou reciclagem (LIEDER & RASHID, 2016).

A Figura 3 a seguir representa as relações entre os impactos ambientais, os benefícios econômicos esperados pelas empresas e a escassez de recursos, tendo como figura central uma Economia Circular que se apresenta como moderadora deste equilíbrio.

Figura 3: Partes Interessadas em Economia Circular e suas Necessidades



Fonte: Adaptado pelo autor a partir de Lieder & Rashid, (2016)

Dentro do espectro deste trabalho, esta pesquisa se refere a remanufatura como aplicação prática dos conceitos de uma Economia Circular. Conforme apresentado por Ijomah *et al.* (2007), uma das definições de remanufatura é o processo de retornar um produto usado para, no mínimo, seu desempenho original especificado apresentado pelo seu OEM – *Original Equipment Manufacturer*, e partindo-se da perspectiva do cliente, é necessário fornecer para esse produto resultante uma garantia pelo menos igual à aquela constante em um produto novo equivalente.

A introdução do termo “Garantia” como um indicador de qualidade, permite que a remanufatura possa exercer uma diferenciação comparativamente com o reparo e o condicionamento (IJOMAH *et al.*, 2007). Essa diferenciação é baseada na qualidade desses produtos recuperados para um processo de remanufatura, que permite conferir-lhes uma equivalência de qualidade em relação a produtos novos oriundos de um OEM (*Original Equipment Manufacturer*), a partir de sua fabricação.

A remanufatura se apresenta sob diversas configurações, envolvendo desde desenvolvimento de projetos voltados para uma futura possibilidade de retrabalho, passando por caracterização de equipamentos com altos índices de customização,

até o conceito clássico de retorno do equipamento em questão para sua condição equivalente a aquela originalmente concebida primeiramente (IJOMAH *et al.*, 2004).

Associado aos conceitos de Economia Circular está o Desenvolvimento Sustentável, que foi concebido como uma solução para a crise causada pela intensa exploração industrial de recursos naturais e da degradação contínua do meio ambiente e busca primeiramente em preservar a qualidade ambiental (DURAN *et al.*, 2015).

Esta associação se apresenta como complementar por indicar objetivos coincidentes em relação ao uso dos recursos naturais finitos.

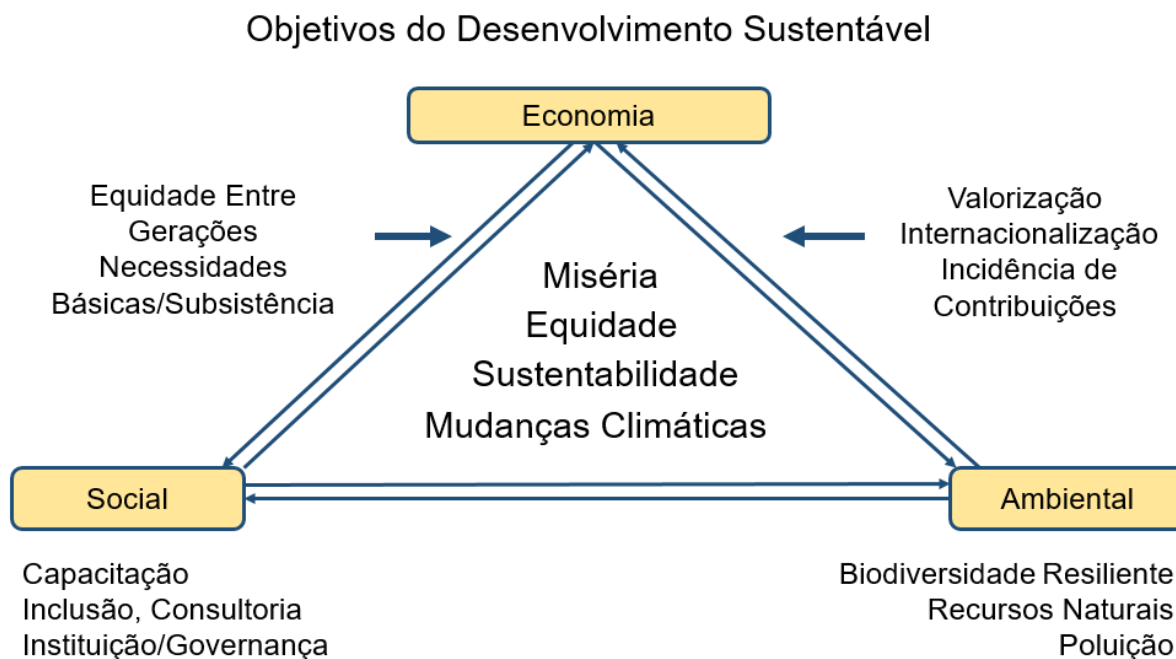
2.2.2 Desenvolvimento Sustentável

Desenvolvimento Sustentável diz respeito a um conceito holístico que combina aspectos naturais, sociais e econômicos estando envolvido em dois grandes problemas da humanidade, qual sejam: a habilidade de criar e de manter (DURAN *et al.*, 2015). Criar novos produtos que melhorem a qualidade de vida da população e preservar ao máximo os recursos naturais finitos do planeta. Apesar de passado diversas décadas desde que os conceitos de Desenvolvimento Sustentável foram difundidos, uma definição precisa que os representem ainda não existe (DURAN *et al.*, 2015).

Burton, (1987) define Sustentabilidade como a habilidade de encontrar as necessidades da população atual sem comprometer a possibilidade das futuras gerações de atingir suas próprias necessidades. A teoria de Desenvolvimento Sustentável está em constante evolução, apesar de não ser exatamente um conceito novo, porque todos os anos o mundo enfrenta novos desafios (BANAITÉ & TAMOŠIŪNIENĖ, 2016).

A figura 4 a seguir apresenta as relações entre os objetivos buscados por um Desenvolvimento Sustentável e suas consequências para as partes interessadas. Esta figura pretende representar o equilíbrio entre os aspectos econômicos, ambientais e sociais, de forma atender ao conceito basilar da Sustentabilidade (ELKINGTON, 1999). Este conceito está descrito como prosperidade econômica, qualidade ambiental e justiça social (ELKINGTON, 1999).

Figura 4: Relações entre Objetivos para um Desenvolvimento Sustentável



Fonte: Adaptado pelo autor a partir de: Environmental Economics and Sustainable Development, Word Bank Publications – Munasinghe, (1993)

Mais recentemente a transformação digital está tornando a operação de manufatura em uma rede integrada inteligente na qual o termo “Indústria 4.0” foi cunhado, e uma transição em larga escala com desdobramentos tais como “longo-termo, multi-dimensional, e transformação fundamental em processos de manufatura com sistemas estabelecidos como técnicos-sociais estão alterando os modos de produção e de consumo para ambientes mais sustentáveis (LABUCAY, 2021).

Na sequência está apresentado a revisão bibliométrica realizada a partir da pesquisa realizada nas bases de dados para levantamento de publicados que remetam ao tema central deste estudo, qual seja, o reaproveitamento de estruturas de máquinas-ferramenta postas fora de uso, a serem utilizadas em novos projetos.

2.3 REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

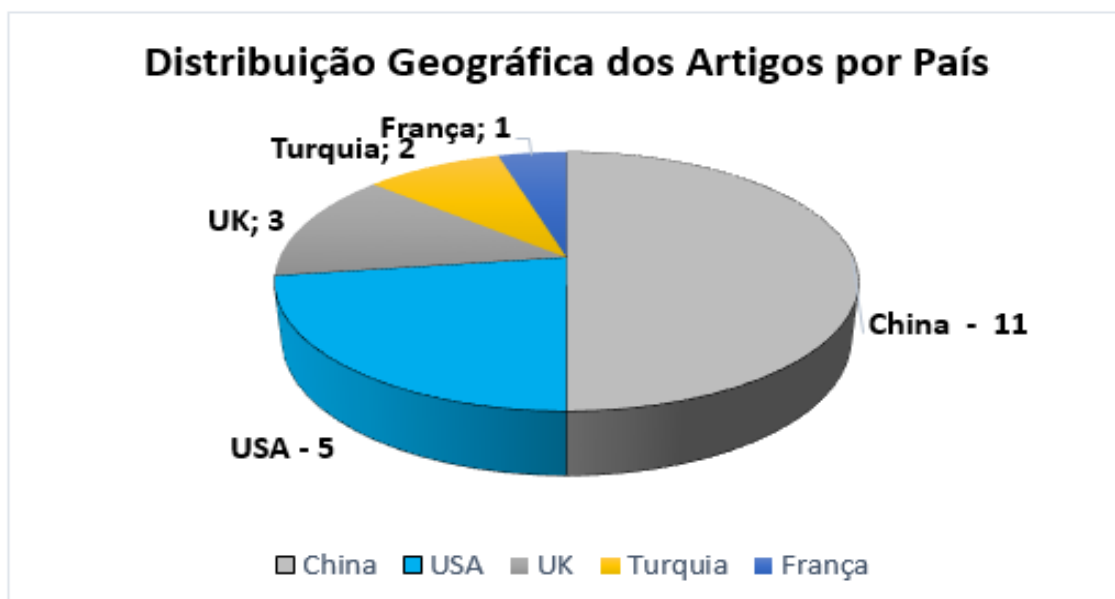
A partir da seleção dos artigos a serem considerados para a pesquisa, foi desenvolvido uma revisão bibliométrica ressaltando as distribuições destes artigos em relação ao país de origem, ao ano de publicação dos artigos, e ao periódico em que o artigo foi publicado.

No que diz respeito ao país de origem do artigo selecionado, o gráfico a seguir demonstra que os artigos representativos para a pesquisa de reutilização de estruturas usadas para fabricação de novos equipamentos definidos como máquinas-ferramenta, concentram-se na China, onde a maioria destes artigos tem sua origem. Esta ocorrência deve-se ao fato da China ser uma grande produtora deste tipo de equipamento. Isto acontece, muito provavelmente por esta produção estar alavancada pela migração para este país, dos fabricantes tradicionais europeus. Presume-se que, a partir de um determinado momento, estes fabricantes se deslocaram para a China nas últimas décadas, em busca de mão de obra barata e abundância de produtos siderúrgicos, tais como chapas e placas de aço e componentes fundidos que constituem a base da fabricação de uma máquina ferramenta.

A grande massa de fabricantes de máquinas-ferramenta é originária dos Estados Unidos da América, do Japão e dos países industrializados da Europa. Em um determinado momento, após a derrubada das barreiras políticas e econômicas conhecidas como “cortina de ferro” ocorrida no final da década dos anos 80 do século passado, esta migração de fabricação teve como endereço países do leste europeu. Por exemplo, países como República Tcheca, Hungria, Romênia, Eslovênia, Eslováquia, entre os mais importantes, receberam uma enorme quantidade de investimentos em fábricas de equipamentos para sua modernização e atualização tecnológica. Como consequência também, desenvolveu-se uma melhoria das condições de vida das populações destes países, com o consequente aumento dos custos.

O próximo passo foi a migração destes fabricantes para a China. A seguir uma representação gráfica apresentando a distribuição dos artigos considerados na pesquisa em sua distribuição geográfica por país.

Gráfico 2: Distribuição Geográfica dos Artigos por País

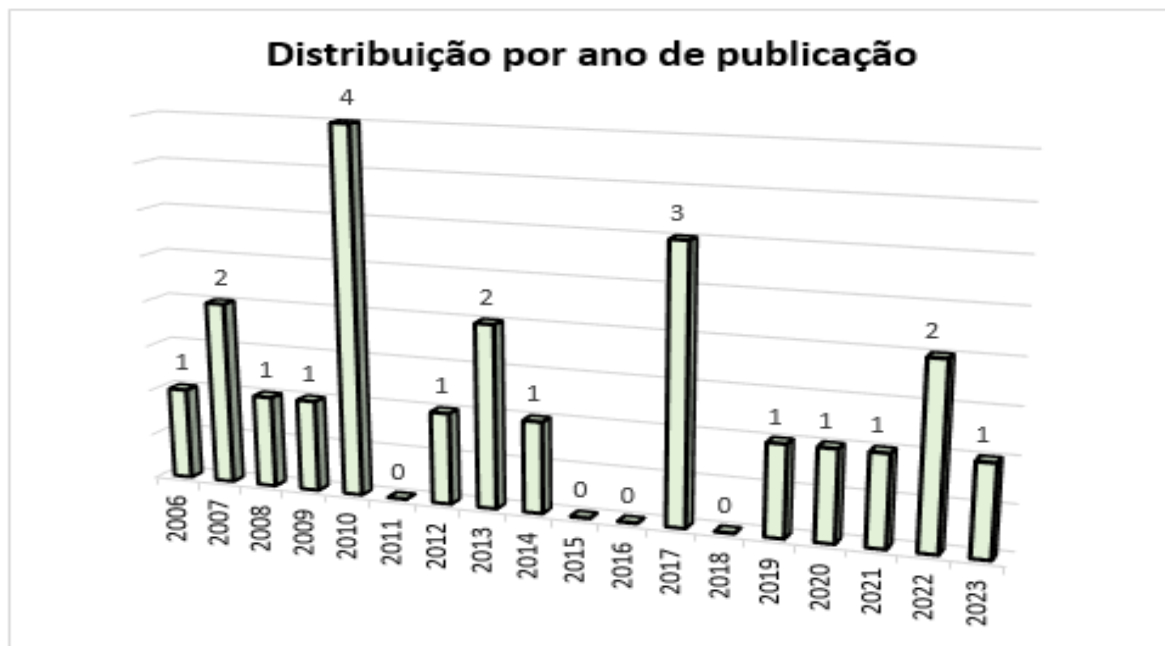


Fonte: Elaborado pelo autor

O fato notável demonstrado nesse gráfico é a grande concentração de artigos (50%) oriundos da China. Outro fato marcante é que, apesar de países do leste europeu terem recebido uma grande quantidade de investimentos após a queda da “cortina de ferro”, representada pela queda do “Muro de Berlin” em 1989, estes países não geraram artigos científicos voltados para aspectos de remanufatura com um viés para a sustentabilidade de seus sistemas produtivos, assim como do projeto de seus produtos.

A seguir uma representação gráfica apresentando a distribuição dos artigos por ano de publicação.

Gráfico 3: Distribuição por Ano de Publicação



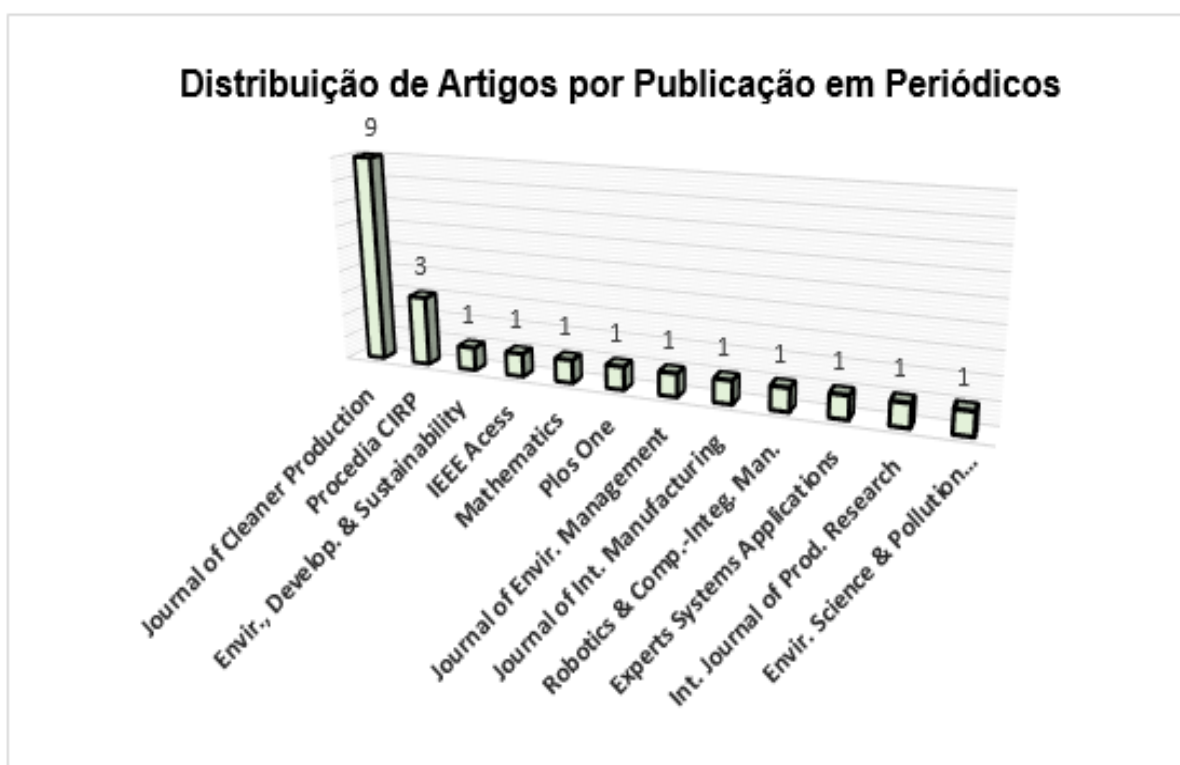
Fonte: Elaborado pelo autor

Com relação a distribuição dos artigos por ano de publicação percebe-se que todos os artigos selecionados foram publicados a partir de 2006. Esta característica indica que o interesse pelo assunto tema principal desta pesquisa foi despertado em meados da primeira década dos anos 2000 (2006), tomando vulto durante a segunda década (2010-2020). Esta constatação leva em consideração que, na pesquisa realizada, não foi imposta nenhuma limitação em relação ao ano de publicação dos artigos a serem considerados.

Dessa maneira a utilização de processos de Remanufatura, associados a conceitos de Economia Circular, a partir do início dos anos 2000, passam a ocupar um lugar de destaque nos meios acadêmicos. Quando se refere a máquinas-ferramenta, pode-se imaginar que este assunto possa vir a receber maior destaque nos próximos anos. Dessa forma é possível prever uma tendência de ampliar o interesse nesse assunto, viabilizando possibilidades de reaproveitamento de estruturas existentes de máquinas-ferramenta usadas de forma que possam fazer parte do foco de desenvolvimento de novos produtos.

No gráfico 4 estão apresentados os dados da distribuição dos artigos selecionados, publicados em periódicos internacionais. Esta seleção considerou os Critérios de Exclusão apresentado no capítulo 3 - Metodologia deste trabalho.

Gráfico 4: Distribuição de Artigos por Publicação em Periódicos

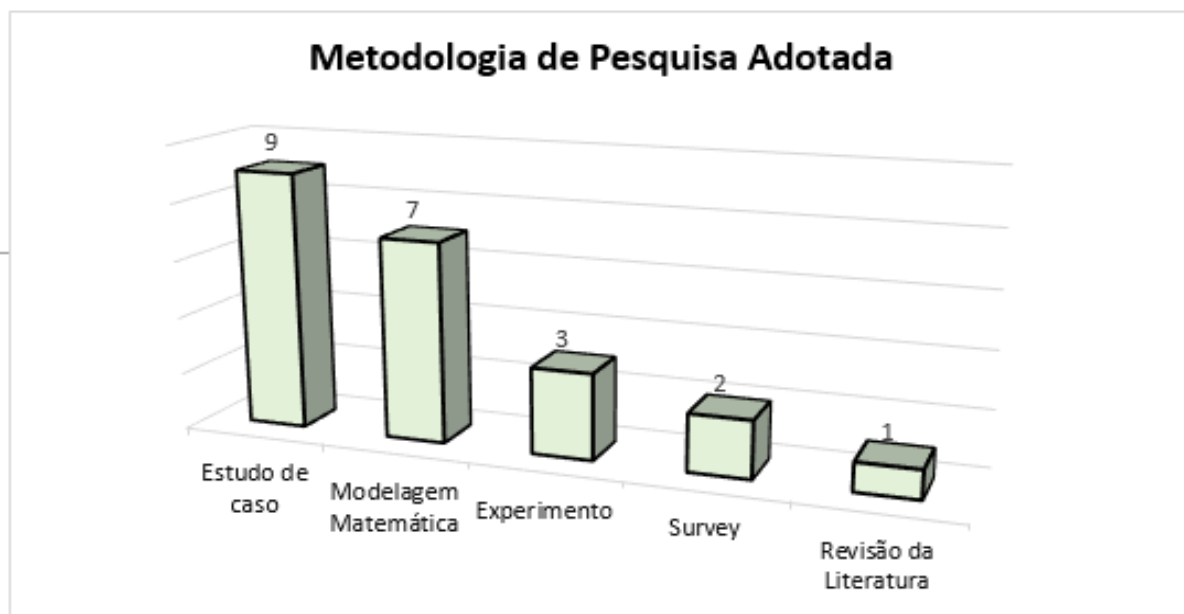


Fonte: Elaborado pelo autor

A distribuição dos artigos por periódicos demonstra a tendência de artigos apresentados em publicações voltadas para projetos de engenharia de máquinas ou para periódicos dedicados a sustentabilidade, onde o aspecto reciclagem/reutilização tem um destaque importante.

Para concluir, o Gráfico 5 a seguir apresenta a distribuição dos artigos por assunto referente a metodologia de pesquisa utilizada.

Gráfico 5: Característica das Metodologias de Pesquisa Aplicadas nos Artigos Selecionados



Fonte: Elaborado pelo autor

Com referência as metodologias utilizadas nos artigos selecionados, pode-se notar uma utilização de estudos de caso e de modelagem matemática no desenvolvimento dos textos dos trabalhos acessados. Isto se deve, provavelmente, por razão da característica do tema da pesquisa que explora, de maneira intensa aspectos técnicos sobre máquinas-ferramenta.

2.4 REVISÃO SISTEMÁTICA

A partir dos resultados obtidos na revisão sistemática, como relevância para este estudo, deve-se levar em conta a possibilidade de considerar o conceito de reutilização de estruturas existentes para o universo de máquinas-ferramenta de grande porte, tais como mandriladoras, fresadoras, centros de usinagem, tornos universais e verticais, prensas em geral, etc. Baseado neste princípio, a revisão sistemática desenvolvida partiu da caracterização de máquina-ferramenta, onde o elemento de trabalho (a ferramenta) pode ser trocado a cada fase de operação definida pelo processo de fabricação. Dentro desse conceito e para efeito do estudo de caso a ser aplicado, uma prensa para peças estampadas de carroceria se enquadra nesta classificação.

Para efeito de Revisão Sistemática foram utilizados Critérios de Exclusão e de Inclusão aplicados aos artigos selecionados via pesquisa com palavras chave como ferramenta de busca nas bases de dados. Os Critérios de Inclusão, são representados por perguntas eliminatórias específicas. Estas perguntas referem-se a citações ou comentários, incluídos nos textos dos artigos, quanto à sua caracterização como máquinas-ferramenta, além da inclusão de referências a conceitos de Economia Circular e desenvolvimento de discussões sobre viabilidade técnica, econômica, ambiental e/ou comercial sobre o tema tratado no estudo. Estes critérios, assim como a estruturação da busca em bases de dados está explicada no próximo capítulo – Metodologia.

Com o intuito de agrupar os artigos selecionados conforme sua característica e assegurar sua tipificação de acordo com a área de interesse abordada pelos artigos, estes foram agrupados em três categorias, sendo o Bloco 1 - Projetos de Desenvolvimento para Remanufatura, o Bloco 2 - Caracterização do Ambiente de Negócios e o Bloco 3 - Processos para Remanufatura de Máquinas-Ferramenta. Estes artigos estão apresentados no Quadro 1: Artigos Selecionados pelo Critério de Inclusão, a seguir.

Na sequência estão explanadas as avaliações realizadas nos artigos selecionados que atenderam afirmativamente as perguntas referentes a equipamentos caracterizados como máquinas-ferramenta e/ou seus componentes, em conjunto com conceitos de Economia Circular e que abordam questões de viabilidade técnica, econômica, ambiental e/ou comercial. Estas caracterizações configuram os artigos aqui identificados como alinhados com o tema central desse estudo. As considerações a seguir demonstram estas caracterizações, conforme estabelecido no Critério de Inclusão adotado.

Dos 22 artigos selecionados pela revisão da literatura, 10 foram escolhidos a partir do grupo de palavras chave utilizados na busca via a base de dados “Scopus”. Esses trabalhos atenderam aos Critérios de Inclusão descritos no Capítulo 3 – Metodologia.

O restante dos artigos selecionados (12 artigos), foram escolhidos por um método de “Bola de Neve”, utilizando-se como base os 10 artigos anteriores selecionados a partir das palavras chave em pesquisa em base de dados ar já

mentionado. O critério de seleção obedeceu ao Critério de Inclusão utilizado, com o foco em complementariedade do assunto tratado no artigo fonte para a pesquisa em “Bola de Neve”.

A razão para a extensão da abrangência da pesquisa sistemática baseia-se na ideia de complementar os conceitos tratados nos 10 artigos inicialmente selecionados, para assegurar uma maior abrangência da pesquisa. A análise dos artigos por “Bola de Neve” foi realizada por meio de uma pesquisa nas referências dos artigos iniciais e escolhidos conforme seu alinhamento com o assunto tema do artigo inicial utilizado.

Olhando sob o ponto de vista da divisão em três blocos de artigos, descritos anteriormente, o Bloco 1 abrange 8 artigos, o Bloco 2 contém 5 artigos e o Bloco 3 demonstra 9 artigos.

2.4.1 Bloco 1 – Projetos de Desenvolvimento para Remanufatura

O Bloco 1 é caracterizado por 8 artigos que representem Projetos de Desenvolvimento de Máquinas-Ferramenta com preocupação futura com a possibilidade de remanufatura. Fazem parte deste bloco os artigos de 1 até 8, descritos no Quadro 1 apresentado no final desse capítulo, intitulado “Artigos Selecionados pelo Critério de Inclusão”.

O primeiro artigo deste bloco (item1) apresenta o desenvolvimento de uma análise dos benefícios econômicos, ambientais e sociais a partir de estratégias de remanufatura de produtos usados. Este estudo apresenta as dificuldades experimentadas pela remanufatura na reciclagem de produtos mecânicos, que são colocados como passíveis de reaproveitamento somente quando sua remanufaturabilidade é considerada relevante em termos de custos. Desta forma apresenta uma análise dos benefícios de forma totalmente abrangente, incluindo ganhos ambientais e sociais (GONG *et al.*, 2022).

O segundo (item 2) trabalho identificado apresenta um estudo sobre a possibilidade de remanufatura de máquinas-ferramenta ainda em serviço, o que passa a garantir um desempenho dos processos de remanufatura que trazem como resultado um desempenho acima do esperado para equipamentos remanufaturados. Os projetos para remanufatura de máquinas em serviço fica definido como um novo

modelo de remanufatura baseado no monitoramento e diagnóstico, o que é diferente de uma remanufatura tradicional de um equipamento usado ou ainda de fabricação de um equipamento novo conforme é amplamente mencionado na literatura disponível (DU *et al.*, 2022).

Da mesma forma, no terceiro (item 3) artigo é proposto um método de desenvolvimento de um algoritmo com base em A-TLBO – Teaching-Learning-Based Optimization que aparece aplicado em um estudo de caso. Esse estudo de caso se aplica a uma máquina ferramenta (Torno Mecânico Universal), usada para validação de sua viabilidade técnica, considerando a reutilização de componentes usados para adaptação em novos projetos. Dentro dos conceitos de uma Economia Circular a reutilização de componentes usados em novos projetos reafirma sua escolha para fazer parte deste bloco de artigos. (WANG *et al.*, 2019).

Na sequência, o quarto (item 4) artigo aparece como redefinição de componentes com o objetivo de incrementar o valor recuperado via identificação dos gargalos de desmontagem e sua remoção para facilitar o processo de reutilização das partes recuperadas. Este artigo foi selecionado via “bola de neve” (CONG *et al.*, 2017).

O quinto (item 5) artigo apresenta um estudo de viabilidade técnica com uma metodologia de projeto baseado em sistemas modulares para uma futura destinação para remanufatura de máquinas-ferramenta, facilitando sua desmontagem após o término de sua vida útil – EoL (WANG *et al.*, 2014).

Na sequência o sexto (item 6) artigo apresenta, no contexto de uma verificação de viabilidade técnica, uma teoria de projeto axiomático aliado a conceitos de QFD – Quality Function Deployment para facilitar um futuro reuso em remanufatura de máquinas-ferramenta. A partir de conceitos de uma Economia Circular, os pressupostos básicos que norteiam esse estudo são a utilização de máquinas-ferramenta e para tanto sugere uma revisão dos projetos originais com sua reconfiguração com foco na otimização e standardização de suas funções (DU *et al.*, 2013).

O sétimo (item 7) artigo determina a necessidade de projetos integrados ao processo de definição de projeto de equipamentos como um fator de viabilização de fatores operacionais. O objetivo principal deste artigo é o desenvolvimento de um projeto voltado para a habilitação da futura remanufatura. A questão, para muitas

empresas não é simplesmente como os resíduos gerados após o final da vida do produto pode ser reduzido e tratado com responsabilidade, mas como estes resíduos podem vir a ser uma fonte geradora de lucro. Esse artigo também é originário da metodologia “bola de neve” (HATCHER *et al.*, 2013).

Por fim, neste bloco 1 o oitavo (item 8) artigo versa sobre projetos integrados ao processo de remanufatura baseado no perfil técnico dos produtos. Esta estratégia, quando posta em prática, facilitaria os processos de remanufatura quando do final da vida útil desses equipamentos. A realidade atual indica na direção oposta, onde não é dada a devida atenção ao futuro dos equipamentos a serem colocados fora de uso, ou por obsolescência ou pelo término de sua vida de serviço. Este artigo foi selecionado via metodologia “bola de neve” (ZWOLINSKI *et al.*, 2006).

2.4.2 Bloco 2 – Caracterização do Ambiente de Negócios

No Bloco 2 estão alocados 5 artigos que definem a Caracterização do Ambiente de Negócios, particularmente voltados para estruturas de produto consideradas como ETO – *Engineering-to-Order* também identificados como projetos sob encomenda ou ainda projetos customizados. Fazem parte deste bloco os artigos de 9 até 13, descritos no quadro apresentado no final desse capítulo, intitulado “Artigos Selecionados pelo Critério de Inclusão”.

O primeiro (item 9) artigo deste bloco diz respeito a promoção da aplicação de uma remanufatura verde por meio de um estudo de caso tendo como base uma fábrica de máquinas-ferramenta na China. Para efeito de aplicação dos conceitos de sustentabilidade e de controle de geração de resíduos e de excessivo consumo de energia o empreendimento foi totalmente replanejado adicionando uma avaliação da vida remanescente de componentes e produtos, implantação de manufatura aditiva nos processos de produção, incrementar o monitoramento e readequação do controle de qualidade. O artigo apresenta as reduções no consumo de energia e a redução na geração de poluentes nos processos de fabricação. Cita também o aumento da capacidade produtiva e o aumento da reutilização de componentes remanufaturados. (SONG *et al.*, 2023).

Na sequência, o segundo (item 10) artigo desse bloco mostra o desenvolvimento de um método integrado de avaliação da remanufaturabilidade de

máquinas-ferramenta, analisando as viabilidades econômica, tecnológica e ambiental e apresenta alternativas e possibilidades de utilização (DU *et al.*, 2012).

O próximo artigo, o terceiro (item 11) desse bloco, cita a implantação de uma manufatura ágil, via a apresentação de estruturas organizacionais que favorecem a dinâmica do processo produtivo. O objetivo é o atingimento de um ciclo virtuoso que associa a satisfação do cliente, com o advento da customização dos produtos de maneira a atender as necessidades e expectativas do mercado sendo enfocadas como conceitos chaves para um modelo de negócio vencedor. Desta maneira a agilidade baseia-se em 4 princípios: entregar valor para os clientes; estar pronto para mudanças; valorização do conhecimento e habilidades humanas; e estar apto para formar parcerias virtuais. Esse artigo também tem sua origem na metodologia “bola de neve” (GUNASEKARAN, 2010).

O quarto (item 12) artigo do bloco 2 estuda, via uma pesquisa tipo “*survey*”, uma estrutura de decisão para remanufatura no mercado pós-venda. A pesquisa visa fornecedores de equipamentos originais envolvidos com fabricantes originais na produção de veículos automotivos de que fornecem peças e componentes remanufaturadas para o mercado pós-venda, os quais incluem o mercado de assistência técnica autorizada pelo fabricante do equipamento original, assim como para o mercado pós-venda independente. Artigo originário da metodologia “bola de neve” (SUBRAMONIAM *et al.*, 2010).

Seguindo a sequência o quinto e último (item 13) artigo desse bloco apresenta uma revisão do estado da arte para projetos baseados em famílias de produtos e no desenvolvimento de produtos a partir de plataformas únicas, que garantem a possibilidade de altas taxas de customização de produtos. Este trabalho foi organizado de acordo com vários tópicos em relação a famílias de produtos incluindo assuntos fundamentais e suas definições, carteira de produtos, posicionamento de uma família de produtos, projeto de uma família de produtos baseado em plataforma, fabricação e produção assim como gerenciamento da cadeia de suprimentos. Artigo originário da metodologia “bola de neve” (JIAO *et al.*, 2007).

2.4.3 Bloco 3 - Processos para Remanufatura de Máquinas-Ferramenta

O Bloco 3 apresenta 9 artigos que dizem respeito a Processos para Remanufatura de Máquinas-Ferramenta. Fazem parte deste bloco os artigos de 14 até 22, descritos no quadro apresentado no final desse capítulo, intitulado “Artigos Seleccionados pelo Critério de Inclusão”.

O primeiro (item 14) artigo deste bloco apresenta um estudo de caso de remanufatura de máquina ferramenta (Torno Mecânico Universal), e desenvolve, com uma proposição de um modelo de avaliação, o resultado da análise de viabilidade econômica dessa operação, associado a possibilidades técnicas do processo de remanufatura, não se esquecendo dos aspectos ambientais envolvidos. Em torno destes aspectos estão as políticas restritivas ambientais associadas a crescente demandas de produtos “verdes”. Conforme o estudo, a viabilidade e a efetividade do modelo proposto para o planejamento do sistema de remanufatura baseado em tomada de decisão inteligente fica provada usando-se a avaliação de análise de caso de remanufatura para uma máquina ferramenta (ZHANG *et al.*, 2021).

Na sequência está apresentada o segundo (item 15) artigo, que apresenta uma análise de um trabalho que se utiliza de uma Retificadora Cilíndrica Universal para o desenvolvimento de um estudo de viabilidade técnica e comercial, enfatizando também o aspecto ambiental. A caracterização de sua viabilidade é desenvolvida via associação de todos os custos gerados e que estão relacionados aos atributos citados. Para tanto, sua determinação na análise baseia-se na metodologia AHP – Critérios Analíticos Hierárquicos (LING & HE, 2019).

O terceiro (item 16) artigo deste bloco apresenta, dentro do conceito de avaliação de viabilidade econômica, um dos artigos seleccionados que discute a importância da rede logística no sentido da captação dos equipamentos a serem submetidos a remanufatura. Este assunto também é tratado no âmbito da análise da remanufatura de máquinas-ferramenta assim como a redistribuição desses produtos na direção do usuário final, após o seu processamento na central de operacionalização do processo de remanufatura (JIANG *et al.*, 2017).

O quarto (item 17) artigo discute o aumento significativo de desenvolvimento na manufatura de peças e componentes associada a uma exagerada utilização de recursos naturais, o que direciona a um grande número de produtos usados que não

são utilizados na sua plenitude (por ex., partes de veículos automotivos e de máquinas-ferramenta). Estas ações levam ao então denominado desperdício. A utilização, via remanufatura, destes produtos usados podem aproveitar os valores residuais destes componentes. Este artigo apresenta uma metodologia de caracterização de otimização do processo de planejamento para remanufatura destes produtos. Artigo originário da metodologia “bola de neve” (WANG *et al.*, 2017).

No quinto (item 18) artigo os autores realizam uma revisão do assunto encontrado nas publicações acadêmicas endereçando questões em relação a consciência ambiental na manufatura e na recuperação de produtos (ECMPRO). A consciência ambiental e as normas e regulamentos para reciclagem tem colocado pressão nos fabricantes e consumidores, forçando-os a produzir e dar a correta destinação dos produtos em final de vida de forma ambientalmente responsável. Esse artigo explora as possibilidades de processos ambientalmente amigáveis, processos de desmontagem, projetos para reciclagem, análise de ciclos de vida e seleção de materiais. Artigo originário da metodologia “bola de neve” (ILGIN & GUPTA, 2010).

O sexto (item 19) artigo apresenta uma revisão da literatura na direção de aplicações de projetos com características axiomática. O modelo desenvolvido para um projeto com características axiomáticas envolve 4 estágios no projeto de máquinas: a definição dos requisitos funcionais; a criação dos parâmetros de projeto; a análise das soluções de projeto adotadas e o controle da solução final. Artigo originário da metodologia “bola de neve” (KULAK *et al.*, 2010).

O sétimo (item 20) artigo é apresentada uma revisão da literatura associada a necessidade de futuras pesquisas relacionadas fatores estratégicos de pós-venda no mercado automotivo em casos de remanufatura. O suporte pós-venda se refere a atividades associadas com produtos e serviços (por ex. peças de reposição ou revisões cobertas pela garantia do produto original) após a venda inicial de um produto. Enquanto os conceitos de remanufatura e de logística reversa passam a ganhar popularidade na prática, a literatura disponível sobre o assunto e a teoria voltada aos tomadores de decisões estratégicas demonstram-se bastante limitadas. Artigo originário da metodologia “bola de neve” (SUBRAMONIAM *et al.*, 2009).

O oitavo (item 21) artigo a seguir explora as medidas de sustentabilidade na área social e sua aplicação nas decisões da cadeia de suprimentos. Sustentabilidade

reconhece a interdependência entre os sistemas ambiental, econômico e social. A definição de uma responsabilidade social corporativa geralmente advoga um comportamento ético em relação a estes sistemas. Este artigo revisa métricas, indicadores e estruturas utilizadas para avaliar impactos sociais e iniciativas relativas à sua capacidade de avaliar a sustentabilidade social das cadeias de suprimentos. Artigo originário da metodologia “bola de neve” (HUTCHINS & SUTHERLAND, 2008).

Por fim, o artigo final (item 22) demonstra o desenvolvimento de projeto para remanufatura, com diretrizes que oferecem apoio a uma manufatura sustentável. O desenvolvimento de uma abordagem sustentável para a manufatura tornou-se uma preocupação global crítica. Por definição, remanufatura é um processo utilizado para trazer produtos usados para o estado funcional “como novo” cobertos por garantias correspondentes. Desta forma pode ser ao mesmo tempo lucrativa e menos prejudicial ao meio ambiente, quando comparado a manufatura tradicional, via redução de aterros sanitários, reduzindo a utilização de material virgem, de energia e de trabalho especializado utilizado na produção. Artigo originário da metodologia “bola de neve” (IJOMAH et al., 2007).

A seguir o Quadro 1, apresenta os 22 artigos selecionados pelo Critério de Inclusão definido no Capítulo 3 – Metodologia considerados nessa pesquisa.

Este quadro está subdividido em três blocos, atendendo à subdivisão aqui apresentada. A maneira de distinguir os artigos foi agrupando-os por assunto tratado no texto dos trabalhos selecionados. Não foi utilizado o tipo de abordagem descrita na seção 2.1 desta pesquisa e os trabalhos que tratam de Remanufaturabilidade estão distribuídos pelos três blocos aqui determinados. A montagem do quadro obedeceu ao critério de data de publicação, começando pela data de publicação mais recente até a mais antiga, por bloco de assunto conforme a subdivisão aqui apresentada. Não foram separados os artigos por origem de pesquisa, seja por selecionamento via Palavras Chave ou por pesquisa em “Bola de Neve”.

Quadro 1: Artigos Seleccionados pelo Critério de Inclusão

#	Autor(es)	País de Origem	Periódico da Publicação	Ano da Publicação	Características do Artigo	Práticas de Economia Circular	Aspectos de Viabilidade	Metodologia de pesquisa utilizada	Tipo de Equipamento	Indicações nos textos dos Artigos
1	Gong et al.	China	Mathematics	2022	Grupo A - Projetos de Desenvolvimento para Remanufatura	Remanufatura	Econômica, Ambiental e Social	Modelagem Matemática	Produtos Mecânicos	Modelo de decisão para estratégias de remanufatura de máquinas e componentes
2	Du et al.	China	Environment, Development and Sustainability	2022		In-Service Machine Tools Remanufacturing	Economia de recursos	Estudo de caso	Torno Horizontal de Grande Porte	Desenvolvimento de estrutura organizacional para remanufatura em serviço
3	Wang et al.	China	Procedia CIRP	2019		Reutilização de componentes para Remanufatura	Econômica	Modelagem Matemática	Torno Universal	Modelo de Reprojetado Orientado para Reuso de Equipamentos Mecânicos
4	Cong et al.	USA	Procedia CIRP	2017		Reprojeto para remanufatura	Técnica	Estudo de caso	Hard Disk de Máquina Ferramenta	Reprojeto para Melhoria do Valor Agregado Considerando Gargalos de Desmontagem
5	Wang et al.	China	Procedia CIRP	2014		Desmontagem para Remanufatura	Técnica e Comercial	Estudo de Caso	Torno Horizontal CNC	Projeto Modular para Desmontagem e Remanufatura de Máquinas Ferramenta
6	Du et al.	China	Journal of Cleaner Production	2013		Remanufatura	Técnica	Estudo de Caso	Torno Universal	Método de Reprojetado para Reuso com Aplicação de Teorias de Projeto Axiomático
7	Hatcher et al.	UK	Journal of Cleaner Production	2013		Projeto para Remanufatura	Técnica Econômica e Ambiental	Experimento	Máquinas Ferramenta	Integração do Projeto de Remanufatura dentro do Processo de Engenharia
8	Zwolinski et al.	França	Journal of Cleaner Production	2006		Remanufaturabilidade	Técnica e Ambiental	Modelagem Matemática	Máquinas Ferramenta	Projetos Integrados para Produtos Remanufaturáveis
9	Song et al.	China	Environmental Science and Pollution Research	2023	Grupo B - Caracterização do Ambiente de Negócios (ETO - Engineering-to-Order)	Green Remanufacturing	Econômica e Ambiental	Estudo de caso	Fabricante de Máquinas ferramenta	Melhorias na linha de produção de máquinas ferramenta remanufaturadas
10	Du et al.	China	Journal of Cleaner Production	2012		Remanufaturabilidade	Técnica Econômica e Ambiental	Experimento	Fresadora Portal de Grande Porte	Método Integrado de Avaliação de Remanufaturabilidade
11	Gunasekaran	UK	International Journal of Production Research	2010		Desenvolvimento de Remanufatura Ágil	Técnica e Econômica	Modelagem Matemática	Máquinas Ferramenta	Estrutura para Implementação e Viabilização de Manufatura Ágil
12	Subramoniam et al.	USA	Journal of Cleaner Production	2010		Serviço pós-vendas e Remanufatura	Técnica Econômica e Ambiental	Estudo de Caso	Fornecedores de Máquinas Ferramenta	Estrutura de Planejamento Estratégico para Remanufatura Pós-Venda
13	Jiao et al.	USA	Journal of International Manufacturing	2007		Remanufatura	Técnica	Modelagem Matemática	Máquinas Ferramenta	Família de Produtos e Desenvolvimento de Plataforma Base

Continuação do Quadro 1: Artigos Seleccionados pelo Critério de Inclusão

14	Zhang et al.	China	Journal of Cleaner Production	2021	Grupo C - Processos para Remanufatura de Máquinas Ferramenta	Remanufatura e Reutilização	Econômica e Ambiental	Estudo de caso	Torno Universal	Integração de Fatores Econômicos e Ambientais em Processos de Remanufatura
15	Ling & He	China	Plos One	2020		Remanufatura	Técnica Econômica e Ambiental	Estudo de caso	Retificadora Horizontal	Análise de Viabilidade de Remanufatura em uma Retificadora Usada
16	Jiang et al.	China	IEEE Access	2017		Remanufatura	Econômica	Estudo de caso	Centro de Usinagem	Projeto de Rede de Logística Reversa para Remanufatura
17	Wang et al.	China	Journal of Cleaner Production	2017		Remanufatura e Reutilização	Técnica e Econômica	Modelagem Matemática	Eixo e Coroa sem-fim	Metodo para Otimização do Planejamento de Processos de Remanufatura
18	Ilgin & Gupta	Turquia	Journal of Environmental Management	2010		Produto para Remanufatura	Técnica e Ambiental	Survey	Máquinas Ferramenta	Manufatura Ambientalmente Consciente e Recuperação de Produtos
19	Kulak et al.	Turquia	Expert Systems with Applications	2010		Projeto para Remanufatura	Técnica	Survey	Máquinas Ferramenta	Aplicação dos Princípios de Projeto Axiomático
20	Subramoniam et al.	USA	Journal of Cleaner Production	2009		Remanufatura	Técnica e Ambiental	Revisão da Literatura	Máquinas Ferramenta	Fatores Estratégicos de Pós-Venda para Remanufatura no Mercado Automotivo
21	Hutchins & Sutherland	USA	Journal of Cleaner Production	2008		Remanufatura e Reuso	Ambiental	Modelagem Matemática	Máquinas Ferramenta	Medidas de Sustentabilidade Social e Aplicações na Cadeia de Suprimentos
22	Ijomah et al.	UK	Robotics and Computer-Integrated Manufacturing	2007		Remanufatura	Técnica e Ambiental	Experimento	Piças de Máquinas Ferramenta	Diretrizes de Remanufatura para Apoio de uma Manufatura Sustentável

Fonte: Elaborado pelo Autor.

3 ABORDAGEM METODOLÓGICA

Este capítulo tem como objetivo abordar as metodologias de pesquisa utilizadas neste estudo, explicitando as formas de pesquisa que dizem respeito ao tema do trabalho. As metodologias de pesquisa a serem utilizadas no desenvolvimento desse estudo subdivide-se em três subsistemas de forma a atender os requisitos desse estudo.

O primeiro grupo representa a metodologia utilizada para o desenvolvimento de uma revisão bibliométrica e sistemática do tema proposto para este trabalho. Isto se dá no sentido de selecionar artigos publicados em periódicos internacionais que possam representar o assunto principal do estudo, caracterizando dessa maneira a literatura existente sobre o tema escolhido.

O segundo grupo estabelece um método de pesquisa a ser utilizado no desenvolvimento da porção qualitativa do trabalho, na qual se procura definir as possibilidades técnica, comercial e econômica na utilização dos elementos estruturais de prensas usadas e descontinuadas, para fabricação de máquinas novas. O método escolhido é o Método Delphi, em que 10 especialistas expressam suas opiniões e conhecimentos de forma anônima sobre um problema complexo.

O terceiro grupo explora a porção quantitativa da pesquisa, propondo um algoritmo que possa explicitar uma comparação entre custos de fabricação de máquinas-ferramenta e seus respectivos prazos para execução da produção desses equipamentos. Os termos de comparação deverão ser definidos por custos e prazos típicos para obtenção do equipamento em estudo, colocando em confronto dados de produção de um equipamento novo e uma situação em que se utiliza elementos estruturais originários de equipamentos descontinuados de uso por obsolescência tecnológica, retirados destas máquinas.

Com o objetivo de aplicar os algoritmos desenvolvidos, foi desenvolvido um estudo de caso como meio de comprovação da possibilidade de utilização dos algoritmos sugeridos como demonstração de sua eficácia. Esta comprovação acontece a partir dos resultados obtidos na simulação realizada, demonstrando, via comparação, destes resultados. Neste caso foi utilizado uma prensa de estamparia para carroceria de veículos automotores em geral na aplicação do exemplo. A estrutura do algoritmo foi definida pelo autor da pesquisa e o teste com dados do

estudo de caso foram levantados junto aos 10 especialistas consultados, na porção qualitativa desse trabalho, e que participaram da pesquisa via entrevistas semiestruturadas no Método Delphi citado no segundo grupo desta descrição da metodologia.

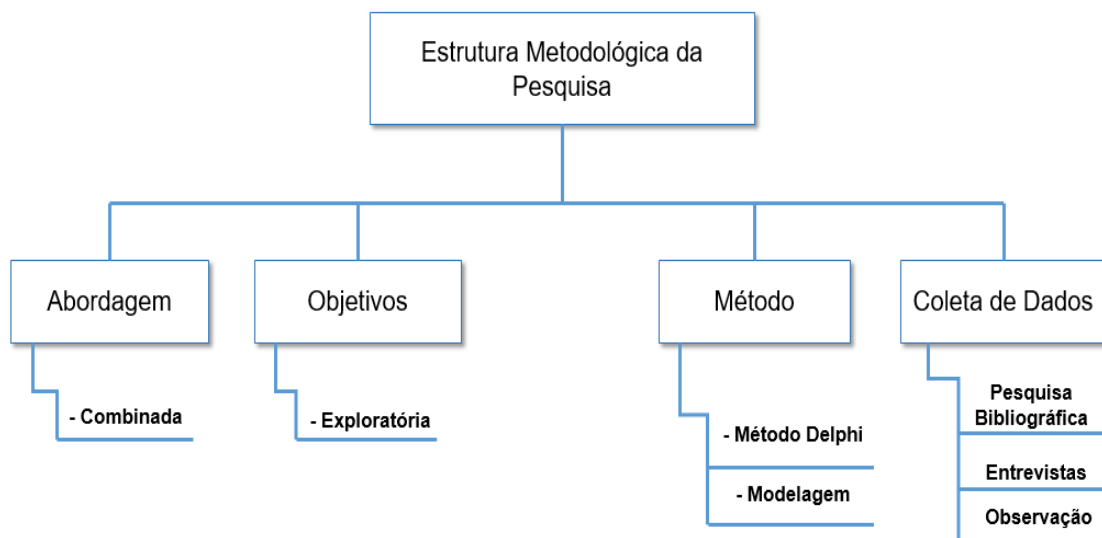
3.1 ESTRUTURA METODOLÓGICA DA PESQUISA

Quanto à sua natureza, este estudo tem uma caracterização de pesquisa aplicada, que conforme a definição de Marconi & Lakatos (2010) a pesquisa aplicada, de campo ou empírica é aquela utilizada com o objetivo de conseguir informações e/ou conhecimento acerca de determinado problema para o qual se procura uma resposta, uma hipótese que se queira comprovar ou descobrir novos fenômenos ou uma relação entre eles.

A estrutura metodológica da pesquisa é composta por uma abordagem que se define como pesquisa combinada, utilizando-se de uma porção qualitativa e uma quantitativa. Uma pesquisa combinada é a utilização das abordagens qualitativa e quantitativa de forma combinada em um mesmo projeto de pesquisa (CRESWELL, 2009). Sob o ponto de vista dos objetivos este estudo tem um carácter de pesquisa exploratória. No que diz respeito aos métodos utilizados, na porção qualitativa foi aplicado o Método Delphi no desenvolvimento das entrevistas com especialistas e na parte quantitativa foi desenvolvido uma modelagem para o cálculo dos custos de produção e dos prazos de fornecimento. Para sedimentar o resultado dos métodos aplicados foi realizado uma análise de sensibilidade com um estudo de caso, cujo resultado está apresentado no Capítulo 4 deste trabalho. Para Nakano (2012) uma modelagem usa técnicas matemáticas para descrever o funcionamento de um sistema produtivo ou alguma de suas partes.

Para a coleta de dados foi acessado uma pesquisa bibliográfica, foram levadas a cabo entrevistas com especialistas de forma presencial e foi utilizada a prática de observação sobre o tema da pesquisa (MARCONI & LAKATOS, 2010). A figura 5, a seguir fornece uma representação da estrutura de pesquisa desenvolvida para o tema proposto neste estudo, apresentando o tipo de abordagem utilizada, o objetivo da pesquisa, os métodos utilizados e as formas de coleta de dados. Esta representação caracteriza o tipo de pesquisa realizada.

Figura 5: Representação da Estrutura Metodológica da Pesquisa



Fonte: O autor

No sentido de facilitar a compreensão do tema desenvolvido, segue um pequeno resumo deste estudo. Esta pesquisa tem como tema principal a fabricação de máquinas-ferramenta utilizando elementos estruturais existentes que tenham como origem equipamentos usados. Esses elementos estruturais deverão apresentar características físicas, topológicas e geométricas semelhantes aos elementos que deverão compor o projeto das novas máquinas e que estejam destinados ao descarte. Estas estruturas devem ser passíveis de adaptações para atenderem as características físicas e geométricas do novo equipamento. Devem também estar em perfeitas condições de utilização para atendimento dos requisitos do equipamento a que se destinam. Dentro do universo de máquinas-ferramenta, foram escolhidas prensas de estamparia para componentes destinados à montagem de carroceria de veículos automotores. Estas prensas são de alta capacidade de força e de dimensões apropriadas para produção de peças grandes, podendo ser de acionamento mecânico ou hidráulico. Este tipo de equipamento tem sua aplicação concentrada na indústria automobilística e em seus fornecedores de peças estampadas. O trabalho pretende explorar a possibilidade de utilização dessas estruturas tendo como base aspectos de uma Economia Circular para sustentação do tema desse trabalho.

3.2 REVISÃO BIBLIOMÉTRICA E SISTEMÁTICA DA LITERATURA

A Revisão da Literatura levada a cabo neste trabalho traz como foco principal identificar artigos publicados em periódicos acadêmicos reconhecidamente importantes, para trazer a luz o que está sendo discutido, na academia, em relação a remanufatura de máquinas-ferramenta e como este assunto está sendo tratado neste âmbito.

A Revisão da Literatura é definida como um meio sistemático de coletar e sintetizar as pesquisas existentes (TRANFIELD, DENYER & SMART, 2003). A tarefa de realizar uma Revisão da Literatura para proporcionar informações sobre as políticas e práticas de qualquer disciplina é o objetivo chave de uma pesquisa para as comunidades profissionais e acadêmicas (TRANFIELD, DENYER & SMART, 2003). A Revisão de Literatura desempenha um papel importante no embasamento para todos os tipos de pesquisa (SNYDER, 2019). Revisão da Literatura, como metodologia de pesquisa, contribui de maneira significativa para o desenvolvimento conceitual, metodológico e temático em diferentes campos do conhecimento (PAUL & CRIADO, 2020).

Uma Revisão Bibliométrica analisa uma extensa quantidade de pesquisas publicadas de forma abrangente, via utilização de ferramentas estatísticas, para, desta forma, compreender tendências e citações de um assunto em particular, organizando estas informações por ano, país, autor, periódico, método, teoria e problema de pesquisa (PAUL & CRIADO, 2020).

O objetivo de uma Revisão Sistemática é a de identificar todas as evidências empíricas que se encaixam em critérios de inclusão pré-definidos para responder questões de uma pesquisa particular ou de alguma hipótese levantada (SNYDER, 2019).

Uma Revisão Sistemática opta por adotar processos científicos que sejam transparentes e replicáveis, usando-se o detalhamento de tecnologias na intenção de minimizar tendências relacionadas em literaturas, via exaustivos estudos, publicados ou não, o que proporciona uma orientação no sentido da verificação para a tomada de decisão, conclusões e procedimentos por parte dos revisores (TRANFIELD, DENYER & SMART, 2003).

Desta forma, faz-se necessário a adoção de um método de pesquisa. Este método encontra-se descrito na seção 3.3 desse trabalho. Como definição, este método fica caracterizado por Marconi & Lakatos, p.65 (2010), que declara que um método é o conjunto de atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objetivo – conhecimentos válidos e verdadeiros – traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando as decisões do cientista.

Para concluir, uma Revisão da Literatura serve de base para o desenvolvimento do conhecimento, cria diretrizes para definições de políticas e de regulamentação prática, oferece evidências de resultados, e, se bem conduzida, tem a capacidade de gerar novas ideias e mostrar direcionamento em um campo de conhecimento em particular (SNYDER, 2019).

3.3 METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA E SISTEMÁTICA

O desenvolvimento da pesquisa no âmbito da revisão bibliométrica e sistemática está baseada em palavras-chave, alinhados ao tema do trabalho. Essas palavras chave foram escolhidas conforme o conhecimento específico do assunto principal, por parte do autor. A primeira palavra chave diz respeito aos termos relacionados a remanufatura, sendo acessado nas bases de dados como “Remanufat*”, o que garante que sejam considerados todas as variações existentes sobre tema. A segunda palavra está associada a “Economia Circular” e a terceira a “Máquinas-Ferramenta”. A escolha das palavras-chaves seguiu o critério de relevância de seu significado dentro do assunto determinante para o tema da pesquisa.

Desta maneira, a definição das palavras-chave escolhidas seguiu a seguinte composição:

“Remanufact” or “Circular Economy” and “Machine Tools”*

3.3.1 Base de Dados Pesquisada

A procura foi realizada somente em língua inglesa. A partir das palavras-chaves apresentadas, foi acessada a base de dados Scopus, selecionando na

pesquisa as características “*Article Title, Abstract e Keywords*” como configuração de busca. Não foi incluído limitação de data para considerar os artigos pesquisados.

3.3.2 Revisão Bibliométrica e Sistemática

Tomando como base Cassia *et al.* (2020, p. 806), foi utilizado como critério de seleção dos artigos com referência ao tema central da pesquisa. A tabela 1 “*Methodological procedures adopted in the literature review*”, apresentada no texto original do artigo citado, pressupõe a revisão da literatura utilizando o método de análise de conteúdo, especificamente nas atividades de organização, codificação e categorização (CASSIA *et al.*, 2020). Neste quadro estão apontadas as atividades indicadas como procedimentos metodológicos na revisão da literatura: Objetivos, Termos de Procura, Âmbito da Pesquisa, Critérios de Inclusão, Critérios de Exclusão, Critérios de Validação Metodológica, Resultados e Processamento de Dados.

Tendo como base a tabela citada no parágrafo anterior, em Cassia *et al.* (2020, p. 806) e adaptando seu conteúdo, mas mantendo a formatação original, o resultado é apresentado a seguir:

Quadro 2: Descrição dos Procedimentos Metodológicos

Procedimentos Metodológicos adotados na Revisão da Literatura

Objetivos	Identificar publicações em periódicos associados a remanufatura de máquinas ferramentas em final de vida, utilizando critérios de Economia Circular
Termos de Procura	"Remanufact*"; "Circular Economy"; "Machine Tools"
Âmbito da Pesquisa	Base de Dados "Scopus"
Critérios de Inclusão	Artigos referenciados aos pressupostos específicos da Pesquisa
Critérios de Exclusão	Artigos com origem em publicações que não sejam em periódicos e/ou não publicados em Inglês
Critérios de Validação de Metodologia	Verificação através de critérios de inclusão e exclusão
Resultados	Descrição da Pesquisa e Registro dos procedimentos utilizados
Processamento dos Dados	Compilação dos artigos selecionados conforme os critérios estabelecidos para inclusão e exclusão, em planilha contendo os dados de cada artigo selecionado

Fonte: Elaborado pelo Autor com base em Cassia *et al.* (2020, p. 806)

Na aplicação dos **Critérios de Inclusão e Exclusão**, o resultado da quantidade (22) de artigos apresentados, no Quadro 1 – “Artigos Seleccionados pelo Critério de Inclusão” no final do Capítulo 2, estão descritos neste quadro. Para tanto foram submetidos à análise 170 artigos seleccionados via o conjunto de palavras-chave.

Por ordem de prioridade foram considerados, primeiramente, os **Critérios de Exclusão**.

Os **Critérios de Exclusão** baseiam-se em dois níveis.

O primeiro nível diz respeito a análise dos assuntos tratados nos artigos seleccionados a partir das palavras chave escolhidas para identificação dos artigos e submetidos a base de dados “Scopus”. A escolha da “Scopus” como base única de dados a ser pesquisada tem como motivo o fato dessa base de dados contemplar um grande número de bases de dados que foram incorporadas na “Scopus” nos últimos anos, abrangendo, portanto, um amplo espectro de pesquisa, o que garante uma representação confiável e ampla dentro deste universo. O critério de análise procura identificar a consistência dos assuntos abordados usando o Título do artigo, o Resumo do apresentado e das Palavras Chaves utilizadas. Da mesma maneira considera somente artigos publicados na Língua Inglesa, por sua capacidade de penetração nas camadas acadêmicas em torno do mundo.

O segundo nível classifica os artigos como publicados em periódicos internacionais, eliminando-se outras formas de veiculação.

Com base nestes critérios, analisando os artigos com base no primeiro nível do Critério de Exclusão apresentam-se 94 artigos do total de 170 que não se enquadram como habilitados para fazerem parte do conjunto de trabalhos a serem considerados. Restando, portanto 76 artigos.

Em segundo lugar só são elegíveis artigos publicados em periódicos acadêmicos internacionais. Desta seleção, 44 artigos pertencem a outras formas de veiculação que não publicados em periódicos, como por exemplo, anais de conferências, trabalhos para seminários, artigos apresentados em simpósios, etc. Dos 76 remanescentes restando, portanto, 32 artigos publicados em periódicos.

Restaram 32 artigos para a seleção final, sendo avaliados pelo **Critério de Inclusão**.

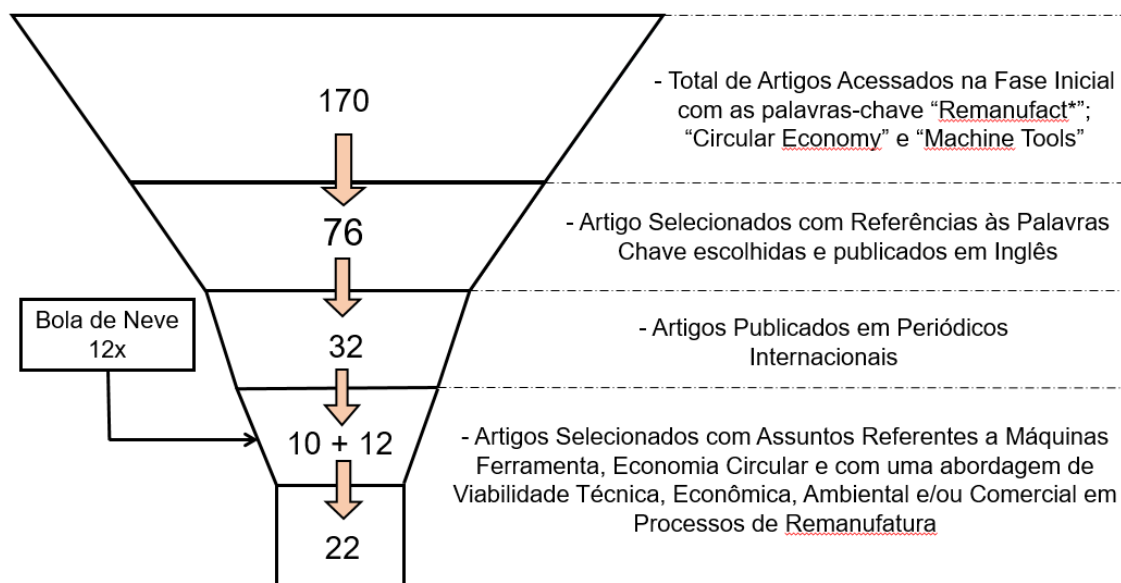
O **Critério de Inclusão** ficou estabelecido a partir de 3 questões específicas eliminatórias, apresentadas no item 3.3.4 deste trabalho. Estas questões têm como objetivo identificar um conjunto de artigos, que, dentro dos critérios adotados, se identificam como representativos do tema central desta pesquisa, qual seja a reutilização de elementos estruturais usados para fabricação de novos equipamentos.

Foram selecionados 10 artigos que atendem a estes requisitos, do total de 170 inicialmente considerados. Foram somados a estes 10, mais 12 artigos com o intuito de alargar os horizontes da pesquisa, utilizando a metodologia de pesquisa denominada “bola de neve”. A aplicação deste método concorreu com a utilização das referências contidas nos 10 artigos selecionados primeiramente, via análise do conteúdo dos trabalhos citados e, desta forma selecionou-se estes 12 artigos adicionais que apresentam relevância em relação ao tema da pesquisa. Desta maneira o assunto da pesquisa foi considerado suficientemente abrangente.

A análise de conteúdo dos artigos foi realizada a partir da avaliação dos textos destes artigos, tomando como base as perguntas específicas aqui apresentadas. Esta avaliação considerou a existência de evidências claras colocadas no texto de cada artigo, justificando explicitamente a resposta afirmativa para cada uma das três questões. Estas justificativas estão colocadas na planilha dos artigos selecionados, indexados pelas perguntas relacionadas, e descritas neste trabalho, no capítulo 2 Revisão da Literatura: item 2.4 Revisão Sistemática, subitens 2.4.1, 2.4.2 e 2.4.3.

Esta configuração foi baseada na estrutura do fluxo de informações apresentado em Moher *et al.*, (2010, p 339). Fica determinado, na Figura 7: Representação do Fluxo de Informações, a seleção dos artigos a serem considerados na pesquisa, como resultado da revisão sistemática da literatura, incluindo aqui os artigos derivados da pesquisa com a técnica de “bola de neve”. O resultado mostrou a distribuição a seguir:

Figura 6: Seleção de Artigos a partir da Revisão da Literatura

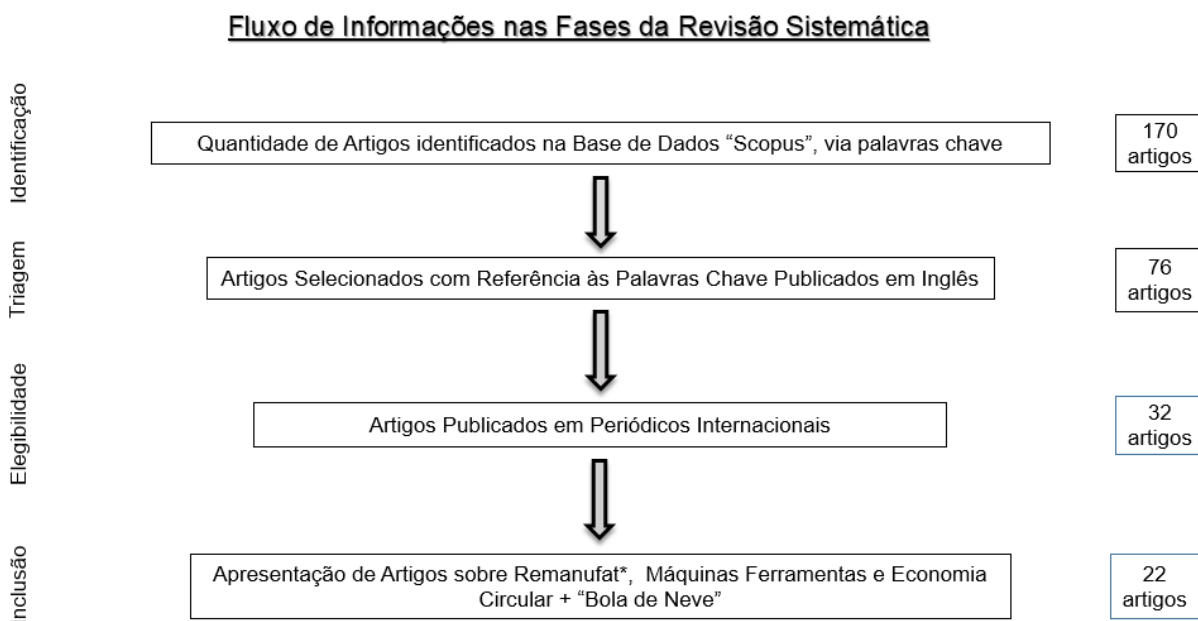


Fonte: Elaborado pelo autor com base em Oliveira Neto *et al.* (2018, p. 1631)

3.3.3 Critérios de Seleção

A estrutura montada considera 4 níveis de seleção para o fluxo de informações sendo: Identificação; Triagem; Elegibilidade e Inclusão (MOHER *et al.*, 2010). A figura 7, a seguir apresenta de maneira condensada os passos da sequência de atividades para a revisão sistemática a partir da seleção de artigos na revisão da literatura.

Figura 7 - Representação do Fluxo de Informações



Fonte: Elaborado pelo Autor com base em Moher *et al.* (2010, p 339)

3.3.4 Critérios de Seleção - Perguntas Específicas

Foram desenvolvidas 3 perguntas específicas para selecionar os artigos a serem considerados no desenvolvimento da tese. Essas três questões são definitivas para a escolha dos artigos, ou seja, a resposta para a questão deve ser afirmativa. Seguem as perguntas utilizadas:

- 1) O artigo selecionado se refere a equipamentos caracterizados como Máquinas-Ferramenta?
- 2) O artigo selecionado trata de conceitos de Economia Circular?
- 3) O artigo aborda temas de viabilidade técnica, econômica, ambiental e/ou comercial em projetos de Remanufatura, de forma ampla no sentido do termo?

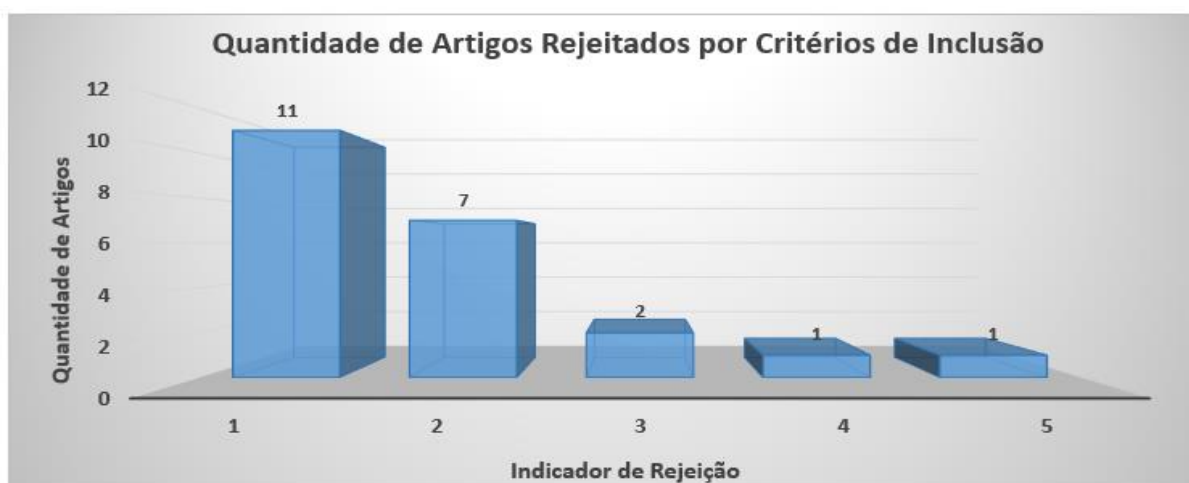
3.3.5 Artigos Não Selecionados – Elegibilidade

A partir do Critério de Inclusão, ficou estabelecido que a seleção dos artigos considerados pertinentes ao tema central da tese fique vinculada ao alinhamento do assunto quando tratado pelos artigos. O assunto discorrido pelo artigo em julgamento precisa atender aos pressupostos de uma análise sistemática do texto, usando-se como critério de inclusão a caracterização de respostas afirmativas às questões

relativas a equipamentos considerados como máquinas-ferramenta e seus componentes. Essa caracterização deve estar associada a conceitos de Economia Circular. Da mesma forma, devem representar estudos de viabilidade técnica, econômica, ambiental e/ou comercial em projetos de Remanufatura (Questões 1, 2 e 3). Desta maneira, chegou-se a uma exclusão de 22 artigos integrantes do grupo de 32 indicados após os estágios de identificação, triagem e elegibilidade representados na figura de Representação do Fluxo de Informações.

O Gráfico 6 a seguir apresenta a distribuição dos 22 artigos não selecionados do grupo escolhido de 32 trabalhos. Foram considerados 5 grupos de artigos conforme as respostas dadas às questões indicadas anteriormente e definidas como classificatórias.

Gráfico 6: Representação de Artigos Não Selecionados



Item	Quantidade	Identificação dos Artigos Rejeitados pelo Critério de Inclusão
1	11	Não fazem citação a Economia Circular
2	7	Não fazem citação a Máquinas Ferramenta e a Economia Circular
3	2	Não fazem citação a Economia Circular e a Remanufatura
4	1	Não faz citação a Máquina Ferramenta e Remanufatura
5	1	Não faz citação a Máquinas Ferramentas, Economia Circular e a Remanufatura

Fonte: Elaborado pelo Autor

Representação dos motivos de não utilização dos artigos vinculados ao conteúdo dos textos, tendo como base as questões eliminatórias definidas pelo Critério de Exclusão.

Dos 32 artigos selecionados pelo Critério de Exclusão, foram eliminados 22 desses, que estão citados no quadro anterior com justificativas para sua eliminação. Estas justificativas têm como base as três questões eliminatórias estabelecidas no Critério de Inclusão. Após a eliminação, foram incluídos 12 artigos pelo critério de “Bola de Neve” para complementação da definição de temas vinculados á esta tese.

O quadro a seguir demonstra a distribuição dos 22 artigos não selecionados pelo Critério de Inclusão adotado, e estão descritos aqui como resumo do texto apresentado.

Quadro 3: Artigos Rejeitados pelo Critério de Inclusão

#	Nome do Artigo	Artigos sobre Máquinas Ferramenta	Práticas de Economia Circular	Viabilidade Técnica, Econômica, Ambiental e/ou Comercial em Remanufatura
1	Research on the Friction and Wear Performance of Remanufactured Shaft Parts of Failed Machine Tools	SIM	NÃO	SIM
2	A Novel Method for Residual Life Assessment of Used Parts: a Case Study of Used Lathe Spindles	SIM	NÃO	SIM
3	Reliability Allocation Method for Remanufactured Machine Tools based On Fuzzy Evaluation Importance and Failure Influence	SIM	NÃO	SIM
4	Review of Life Cycle Models for Enhancing Machine Tools Sustainability: Lessons, Trends and Future Directions	SIM	NÃO	SIM
5	Performance Analysis of and Test Research on Decommissioned Milling Machine Spindle after Repair	SIM	NÃO	SIM
6	Modelling and Simulation of Surfacing Welding Remanufacturing for Tunnel Boring Machine Disc Cutter	SIM	NÃO	SIM
7	An Integrated Decision-making Method for Selecting Machine Tool Guideways Considering Remanufacturability	SIM	NÃO	SIM
8	Decision-making Method of Heavy-duty Machine Tool Remanufacturing based on AHP-entropy Weight and Extension Theory	SIM	NÃO	SIM
9	A New Modularization Method of Heavy-duty Machine Tool for Green Remanufacturing	SIM	NÃO	SIM
10	Failure Mode, Effects and Criticality Analysis of Remanufactured Machine Tools in Service	SIM	NÃO	SIM
11	Optimal Strategy to Deal with Decision Making Problems in Machine Tools Remanufacturing	SIM	NÃO	SIM

Continuação do Quadro 3: Artigos Rejeitados por Critério de Inclusão

12	Investigation on Structural Mapping Laws of Sensitive Geometric Errors Oriented to Remanufacturing of Three-Axis Milling Machine Tools	NÃO	NÃO	SIM
13	Data-Driven Remanufacturability Evaluation Method of Waste Parts	NÃO	NÃO	SIM
14	Research on Module Partition for Remanufacturing Parts to be Assembly	NÃO	NÃO	SIM
15	An Integrated Approach for Remanufacturing Job Shop Scheduling with Routing Alternatives	NÃO	NÃO	SIM
16	An Optimization Method for the Remanufacturing Dynamic Facility Layout Problem with Uncertainties	NÃO	NÃO	SIM
17	Remanufacturing the Pinion: An Application of a New Design Method for Spiral Bevel Gears	NÃO	NÃO	SIM
18	A Disassembly Capability Planning Model for the Make-to-Order Remanufacturing System	NÃO	NÃO	SIM
19	The Customer Satisfaction-oriented Planning Method for Redesign Parameters of Used Machine Tools	SIM	NÃO	NÃO
20	The Analysis of Key Technologies for Sustainable Machine Tools Design	SIM	NÃO	NÃO
21	Development and Validation of a Tool for the Integration of Circular Economy in Industrial Companies: Case Study of 30 Companies	NÃO	SIM	NÃO
22	A Methodological Approach for Designing and Sequencing Products Families in Reconfigurable Disassembly Systemas	NÃO	NÃO	NÃO

Fonte: Elaborado pelo Autor

3.4 PORÇÃO QUALITATIVA DA PESQUISA

Esta seção apresenta um breve descritivo das características da metodologia de pesquisa via o Método Delphi, selecionado como ferramenta de pesquisa para esta fase desse estudo.

Conforme estabelecido no início desse capítulo, o segundo subsistema aqui citado caracteriza a porção qualitativa do trabalho e para tanto foi escolhido o Método Delphi. A escolha desse método tem como objetivo determinar a viabilidade técnica e comercial da utilização de elementos estruturais pertencentes a equipamentos usados e postos fora de uso, na fabricação de máquinas-ferramenta novas. Esta verificação será realizada via consulta a especialistas nas áreas de projeto, fabricação e vendas de máquinas-ferramenta. Como foco de pesquisa deverá ser utilizado a indústria de prensas de carroceria, sendo estes equipamentos aplicados nas instalações de estamparia das indústrias automobilísticas e suas correlatas.

3.4.1 Pesquisa Qualitativa

A pesquisa qualitativa está firmada em entrevistas semiestruturadas, realizada com especialistas em projeto, comercialização e fabricação de prensas de carroceria para estampagem de peças para a indústria automobilística. Para tanto foram realizadas entrevistas com especialistas colaboradores de um tradicional fabricante destes equipamentos. As entrevistas foram agrupadas em três grupos de formulários, subdivididos de acordo com a área de interesse a ser analisada, conforme segue:

- Projetos e Desenvolvimento de Produto, denominada Engenharia de Produto.
- Vendas, Gerenciamento de Projetos e Assistência Técnica Pós-Venda, denominada Área Comercial.
- Suprimentos, Planejamento de Produção, Métodos e Processos, Produção e Controle de Qualidade, denominada Fabricação.

Para estes três grupos foram desenvolvidos formulários específicos dedicados a cada tema aqui descrito, obedecendo esta subdivisão. Estes formulários contemplam afirmações que caracterizem a questão de pesquisa, qual seja analisar

sob o ponto de vista dos especialistas escolhidos a viabilidade técnica, comercial e de custos e prazos na obtenção dos produtos objeto deste estudo.

Como referência, segue a Questão de Pesquisa:

Como avaliar a viabilidade de reaproveitamento de componentes estruturais existentes para fabricação de novas prensas de carroceria, atendendo aos preceitos de uma Economia Circular e atendendo a um Desenvolvimento Sustentável?

As afirmações colocadas em discussão foram analisadas por uma escala *Likert* de 5 posições seguidas de comentários pertinentes à formulação da assertiva a ser considerada. A escala *Likert* de 5 posições utilizada é composta de:

- 1) Concordo plenamente 2) Concordo parcialmente 3) Não tenho posicionamento
- 4) Discordo parcialmente 5) Discordo plenamente

Com o intuito de esclarecer o âmbito da pesquisa referente à esta porção qualitativa, foi explicado aos entrevistados, como informação introdutória, via uma apresentação utilizando-se o *software Power Point da Microsoft*, as bases e objetivos do estudo em andamento. Esta explanação introduziu conceito superficial de Sustentabilidade e Economia Circular que atuam como suporte e direcionamento para o desenvolvimento deste trabalho. Nesta explanação, também foi apresentado alguns conceitos genéricos da Metodologia Delphi a ser utilizada para compilar as opiniões recolhidas nas entrevistas.

Foram realizadas entrevistas com o Diretor de Operações da empresa consultada, com 3 especialistas em Desenvolvimento de Projetos de Prensas de Carroceria, 3 especialistas da área Comercial, sendo um deles cliente/usuário de máquinas-ferramenta, e 3 especialistas da área de Fabricação.

Por força do cargo ocupado e pela extensa experiência em relação ao tema estudado, o Diretor de Operações respondeu aos três formulários apresentados.

3.4.2 O Método Delphi

Estudos com a utilização do Método Delphi são geralmente aplicados para desenvolver cenários futuros, tanto pela academia e pela indústria, quanto por órgãos governamentais (MELANDER, 2018). Dessa forma, e sugerindo que, quando se

depara com uma incerteza futura em relação ao tema em estudo, define-se como importante reunir opiniões de especialistas com o objetivo do atingimento de um consenso sobre determinado assunto, processo, solução ou assunto correlato (DURANCE & GODET, 2010). A discussão sobre a viabilidade de utilização destes elementos de máquinas, via utilização do Método Delphi se realizará por entrevistas semiestruturadas com a ajuda de questionários pré-elaborados. A interação das respostas obtidas pelo questionário apresenta-se como particularmente importante, por razão de que estudos que utilizam o Método Delphi procuram atingir um consenso nas respostas dadas pelo grupo entrevistado (LINSTONE & TUROFF, 1975).

Fica claro a importância das respostas na elaboração de um cenário futuro que caracterize o resultado qualitativo da pesquisa.

Conforme Durance & Godet (2010), um cenário não é uma realidade futura, mas, ao invés, são considerados meios de representação nos quais a intenção é esclarecer ações presentes à luz de um futuro desejável e possível. Colocado de uma maneira simples, um cenário é uma descrição (usualmente de um futuro possível) onde se assume a intervenção de diversos eventos chave ou de condições que deverão assumir uma posição entre o instante da situação original e o momento no qual o cenário será estabelecido (DURANCE & GODET, 2010). Para completar, construir cenários envolve a identificação de tendências e incertezas (MELANDER, 2018). Como uma das definições disponíveis na literatura pesquisada, um cenário é a descrição de um futuro possível, provável, desejável ou ainda indesejável (DURANCE & GODET, 2010), e da mesma maneira, o desenvolvimento de um cenário se constitui em uma importante ferramenta a caracterizar as incertezas do futuro, e é preciso preparar-se para múltiplos futuros plausíveis (LINSTONE & TUROFF, 1975).

Colocando o foco na metodologia a ser utilizada na porção qualitativa da pesquisa, a técnica Delphi foi selecionada para desenvolver a parcela da pesquisa de campo com o intuito de confirmar a viabilidade da utilização de estruturas de prensas usadas no projeto e fabricação de novas prensas.

O nome *Delphi* foi cunhado por Kaplan em 1950 (WOUDENBERG, 1991, p. 132) que foi o líder de um programa de pesquisa da *Rand Corporation* com o objetivo de melhorar a utilização da opinião de especialistas, na elaboração das tomadas de

decisão na *Rand Corporation* logo após a Segunda Grande Guerra Mundial (LOO, 2002).

A origem do nome vem da mitologia grega a partir da ideia da possibilidade de previsão do futuro por um oráculo na cidade de Delfos, em um templo pagão dedicado ao deus Apolo, na Grécia antiga.

Outro ponto de vista, cita o desenvolvimento desse método pela empresa *Rand Corporation* que desenvolveu esta metodologia entre as décadas de 1950 e 1960. Esta metodologia era destinada a prevenir e se prepara contra as ameaças a que estavam expostas a segurança nacional dos Estados Unidos da América, durante a guerra fria (LUND, 2020; PILL, 1971).

De acordo com Dalkey (1969), a técnica *Delphi* é um método de suscitar e refinar opiniões apresentadas por um grupo. Ainda conforme Dalkey (1969) esse procedimento contempla três características, a saber:

1) Respostas Anônimas – a opinião dos membros do grupo de especialistas entrevistados, além do anonimato fica caracterizado por respostas com o suporte de um questionário formal.

2) Interação e Controle das Respostas – a interação é efetiva na condução de um exercício sistemático de diversas interações com um cuidadoso controle das respostas entre as fases da entrevista.

3) Tratamento Estatístico das Respostas do Grupo – A opinião do grupo é definida como uma opinião individual agrupada apropriadamente em conjunto, a partir do final da entrevista.

Estas características são projetadas para minimizar um possível efeito influenciador por parte de eventuais indivíduos dominantes presentes no grupo de especialistas, evitar comunicações irrelevantes e/ou submeter-se parte do grupo a pressões em direção ao consenso.

De acordo com Pill (1971), a partir destes pressupostos gerais a aplicação desta metodologia deve seguir os seguintes passos:

a) A técnica *Delphi* deve ser usada em situações de alto nível de incertezas e deve ser considerada como de difícil de ser avaliada a aplicabilidade de sua proposição.

b) Deve ser possível a aplicação da Técnica *Delphi* em conjunto com procedimentos concretos que se apresentam distantes do mundo real.

c) Sua eventual utilização deve ser avaliada por seu desempenho, ao invés de por qualquer análise abstrata de seu mérito.

d) Pesquisas com a Técnica *Delphi* devem destacar seus aspectos psicológicos em termos de comunicação, ao invés de elementos e termos matemáticos.

Os resultados da porção qualitativa da pesquisa foram buscados via consulta a especialistas em projetos de máquinas-ferramenta e em profissionais com experiência na área de vendas, gestão de projetos e serviços pós-venda também voltados para o mercado de máquinas-ferramenta. Como já mencionado anteriormente, para um levantamento de dados e opiniões a respeito do assunto a ser estudado nesse trabalho, serão consultados profissionais especialistas atuantes em fabricantes de prensas de carroceria para estampagem de peças em chapas de aço. Serão consultados profissionais vinculados a fabricantes de prensas mecânicas e hidráulicas, com atuação em Engenharia de Produto, profissionais da Área Comercial e da Área de Fabricação. Prensas de estamparia para carroceria de veículos automotores são consideradas, pelo mercado, como máquinas-ferramenta.

A lógica dos procedimentos da técnica *Delphi* baseia-se primariamente no velho adágio que afirma que “Duas cabeças pensam melhor do que uma só”, quando não existe uma definição exata do conhecimento disponível (DALKEY, 1969). Com a utilização do método *Delphi* de levantamento de dados, a seleção dos especialistas a serem consultados deverá utilizar critérios baseados em artigos publicados em periódicos que tratam desse assunto específico. Segundo Lund, (2021), uma seleção criteriosa de especialistas para um estudo com o método *Delphi* apresenta-se como muito importante. Estes indivíduos não devem ser selecionados baseados nas eventuais relações com o pesquisador (AVELLA, 2016; HANSSON *et al*, 2000). Tampouco, estes participantes precisam ser necessariamente membros de destaque em suas áreas de atuação (AVELLA, 2016). Melhor que isto, especialistas, quando

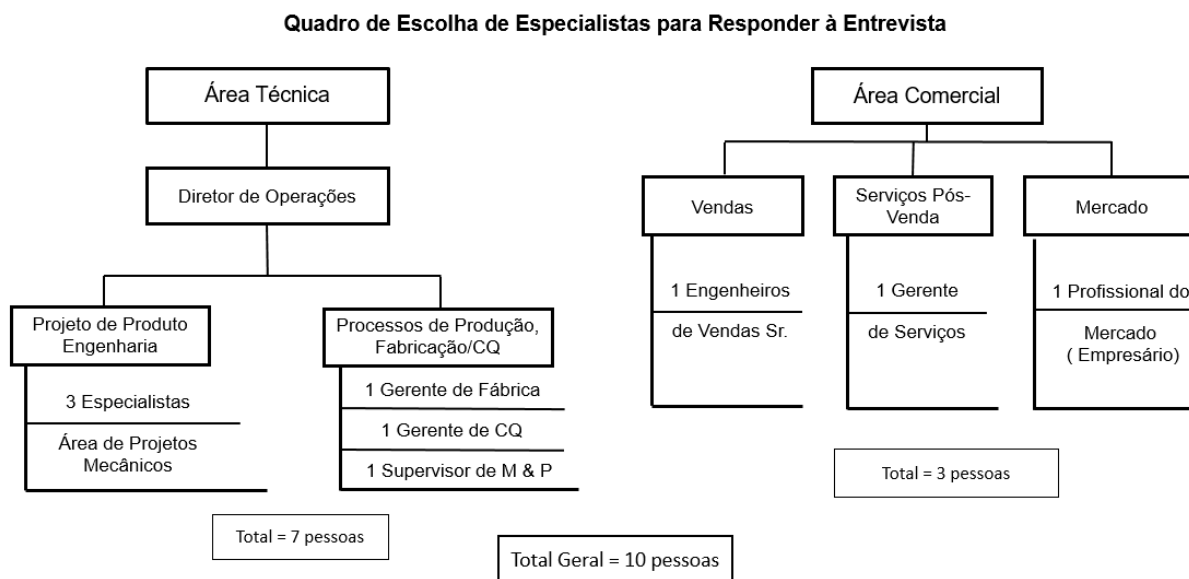
participam de um estudo via a Técnica *Delphi*, devem ser profissionais com um profundo conhecimento e bastante experiência em relação ao tópico estudado (BAKER *et al*, 2006; WELTY, 1972).

Ainda no que diz respeito à seleção de especialistas a serem entrevistados, dois métodos para identificação destes profissionais parecem ser apropriados (LUND, 2020). Pessoas empregadas em posições relevantes em instituições também relevantes, no que concerne a questão de pesquisa, e/ou autores de publicações acadêmicas de tópicos relevantes para a questão de pesquisa (LUND, 2020).

Apesar de não haver uma definição da quantidade ideal do número de participantes de uma pesquisa para o Método *Delphi* (LUND, 2020), baseados em alguns estudos, existe uma indicação de que esta quantidade fique entre 14 e 36 especialistas para o primeiro ciclo de questionamento (LUND, 2020) e devem ser considerados apropriados para a produção de pesquisas publicáveis (LUND, 2020).

Baseado nas afirmações citadas anteriormente, a escolha dos participantes nas entrevistas planejadas para avaliação das possibilidades técnica e comercial da proposta de utilização de estruturas de máquinas-ferramenta usadas para a fabricação de novos equipamentos, que representa a pergunta central da pesquisa, fica estabelecida conforme segue na figura 8:

Figura 8: Distribuição dos Respondentes



Fonte: Elaborado pelo Autor

A Figura 8 mostra as áreas das empresas participantes da pesquisa na escolha dos especialistas para responderem a entrevista para a complementação da fase qualitativa do estudo, via Método *Delphi*.

Conforme Poirer & Robinson (2013), o método *Delphi* é uma forma estruturada e controlada de interação e comunicação, utilizando-se de um grupo de pessoas – tipicamente especialistas em um determinado assunto a ser estudado – para averiguar um resumo de suas opiniões, e para determinar se existe um consenso em relação a estes pontos de vista.

Ao longo do tempo, o método *Delphi* foi desenvolvido, incorporando uma série de variantes ou modificações na direção de uma metodologia mais qualitativa em sua natureza (POIRER & ROBINSON, 2013). Desta maneira esta técnica ficou voltada para entender as diferenças de opinião, ao invés de concorrer para uma resposta considerada correta (POIRER & ROBINSON, 2013). Entre estas variantes pode-se incluir as seguintes possibilidades:

- “*Police Delphi*” – objetiva a identificação de uma gama de perspectivas de futuro para o tema em discussão (TUROFF, 1975).

- “*Disaggregative Police Delphi*” – foca principalmente em como e por que desenvolvimentos previsíveis podem ocorrer (TAPIO, 2003).

- “*Imen-Delphi*” – procura explorar as reações pessoais dos membros de um painel (PASSIG, 1997).

- “*Argument Delphi*” – esta variante se apresenta mais interessada no processo desenvolvido pelo debate propriamente dito (KUUSI, 1999).

- Por fim os estudos de Zins, (2007), desenvolvidos via um painel constituído por estudiosos em ciência da informação, na tentativa de encontrar um consenso em algumas questões relativas a esta disciplina. Descrita com “*Critical Delphi*”, esta variante foca no entendimento dos participantes sobre os conceitos e as inter-relações entre estes conceitos (ZINS, 2007).

A utilização dessas variantes envolve o desenvolvimento da porção qualitativa da pesquisa e podem estar associadas entre si buscando um resultado que ajude esclarecer a questão de pesquisa (POIRER, 2012). As características das possíveis variantes repousam nas modificações que cada estudo desenvolve com o objetivo de otimizar o processo de investigação para o tema em estudo (POIRER, 2012).

Olhando para o objeto principal determinado pela questão de pesquisa, existe uma clara indicação que a variante a ser adotada deva ser definida como a denominada “*Argument Delphi*”, onde esta abordagem tem seu foco em objetos futuros de características técnicas (KUUSI, 1999). Entretanto, este formato é descrito como uma variação da variante “*Policy Delphi*” por estar mais preocupada com os argumentos propostos do que com a procura de um consenso, e pressupõe a exploração da transparência do conhecimento e sua negociação em um ambiente competitivo (POIRER, 2012)

3.5 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A partir do desenvolvimento da parcela qualitativa da pesquisa levada a cabo por entrevistas semiestruturadas foi realizado um estudo de caso para testar os dados levantados nestes desenvolvimentos. Este desenvolvimento contou com o uso da técnica Delphi para levantamento das opiniões dos especialistas na área específica do tema deste estudo. Foi também desenvolvida a definição de algoritmos de comparação entre duas situações para caracterização da porção quantitativa da pesquisa.

Tendo como base a pergunta de pesquisa, um estudo de caso foi utilizado apresentando as características técnicas e comerciais para projeto e fabricação de máquinas-ferramenta com a utilização de estruturas obtidas de equipamentos semelhantes usados comparativamente ao desenvolvimento de uma máquina nova a partir do “zero”. Os dados foram obtidos durante as discussões com especialistas nas entrevistas já mencionada anteriormente.

A base deste estudo de caso é referente a uma prensa de estamparia para peças de carroceria de veículos automotores, equipamento típico utilizado pela indústria automobilística em geral.

O estudo de caso é um estudo de carácter empírico que investiga um fenômeno atual no contexto da vida real, geralmente considerando que as fronteiras entre o fenômeno e o contexto onde se insere não são claramente definidos (YIN, 2010). Dentre os benefícios principais da condução de um estudo de caso estão a possibilidade de desenvolvimento de novas teorias e de aumentar o entendimento sobre eventos reais e contemporâneos (CAUCHICK MIGUEL & SOUZA, 2012). Além disso, muitos conceitos contemporâneos em engenharia de produção e, principalmente, na gestão de operações foram desenvolvidos por meio de estudo de casos (SOUZA, 2005).

O método de estudo de casos pode ser utilizado para diferentes tipos de investigação (VOSS *et al*, 2002). Para o caso deste trabalho, nesta situação específica a indicação entre os tipos apresentados por Voss *et al*, (2002), o que melhor se enquadra está definido no item “Exploração”.

Exploração: Nas fases iniciais de uma investigação, é possível usar um ou mais casos para desenvolver ideias e perguntas de investigação (VOSS *et al*, 2002).

Apesar da sua versatilidade, o método de estudo de caso é especialmente apropriado e poderoso – e distingue-se nisto de outros métodos – para investigações exploratórias e de construção de teorias (CAUCHICK MIGUEL & SOUZA, 2012).

Para completar esta configuração, para os estudos de casos, cinco componentes de um projeto de pesquisa são especialmente importantes:

1. As questões do estudo;
2. As proposições, se houver;
3. A(s) unidade(s) de análise;
4. A lógica que une os dados às proposições; e
5. Os critérios para interpretar as constatações. (YIN, 2010)

Para este trabalho foi escolhido como estudo de caso – projeto, fabricação, montagem e posta em marcha de uma prensa para peças estampadas em chapa de aço para fabricação de carrocerias de veículos automotores. O destino final deste equipamento é uma indústria automobilística. Neste caso, pretende-se que os 5 componentes para um projeto de pesquisa aqui citados serão atendidos de maneira satisfatória.

4. RESULTADOS DAS ENTREVISAS REALIZADAS NA PESQUISA

Os resultados desta pesquisa são baseados em dois aspectos distintos, sendo o primeiro o desenvolvimento de uma pesquisa qualitativa por meio de entrevistas semiestruturadas com especialistas em projeto, fabricação e comercialização de máquinas-ferramenta. Como segundo aspecto, o desenvolvimento de uma porção quantitativa com a montagem de um algoritmo que represente, de forma comparativa, os custos e prazos decorrentes da utilização da formatação sugerida pela pesquisa com e sem a reutilização de estruturas de equipamentos usados em projetos de máquinas novas.

4.1 PORÇÃO QUALITATIVA DA PESQUISA

Como estabelecido no Capítulo 3 – Metodologia de Pesquisa, Seção 3.4 – Porção Qualitativa da Pesquisa, o tema central desta pesquisa está baseado em entrevistas semiestruturadas e foi subdividido em três grupos conforme as características dos especialistas entrevistados.

Dessa forma foram desenvolvidos três formulários, cada um específico para cada grupo de atuação.

4.1.1 Grupo Engenharia de Produto

As afirmações a serem julgadas pelos entrevistados nesse grupo incluem conceitos que discutem as situações que caracterizem a reutilização de estruturas usadas em máquinas novas. Nesse primeiro grupo estão alocadas afirmações pertinentes ao projeto do produto e estas são submetidas a profissionais especializados em projetos de prensas para componentes de carroceria de veículos automotores

Para este grupo, o **Formulário 1 – Engenharia de Produto** (apresentado no Apêndice 1), contém 10 afirmações que foram submetidas a análise de três especialistas dedicados ao desenvolvimento do Projeto do Produto, mais a participação do Diretor de Operações.

Esses especialistas estão identificados como: D1 – Diretor de Operação. E1 – Projetista Sênior dedicado a projetos de sistemas hidráulicos, pneumática e lubrificação, atuando como líder de projetos de prensas de grande porte para estampagem de peças de carroceria. E2 – Projetista Sênior para projetos mecânicos

de prensas de grande porte para estampagem de peças de carroceria. E3 – Projetista Sênior para projetos de prensas em geral atuando como consultor de projetos mecânicos.

As afirmações submetidas a esse grupo são descritas a seguir.

A primeira afirmação coloca a necessidade de implementar uma abordagem sustentável a partir do desenvolvimento do projeto do produto. Todos os 4 respondentes afirmaram concordar plenamente com o exposto na primeira afirmação.

D1 afirma que na empresa que ele atua existe uma busca contínua na direção do desenvolvimento de projetos que privilegiem equipamentos com menor consumo de energia, e cita que o governo também está atento a este tópico inclusive com uma linha de incentivo do BNDES para financiamentos. E1, em seus comentários, afirma que sempre devemos pensar em reduzir impactos ambientais na manufatura ou na criação de equipamentos. Contribuir para a conservação dos recursos naturais, minerais, etc. é um dever da sociedade, e que boas práticas de produção, reaproveitamento de materiais e troca de experiências podem fazer com que alcancemos um bom resultado. E2 coloca que organizações modernas tem um papel fundamental na capilaridade e influência de seu público diante das novas tendências de mercado. Dentro deste contexto e mediante um aumento constante na degradação do nosso planeta, é necessário repensarmos e nos adaptarmos para a perpetuação da nossa espécie. Também existem pressões globais voltadas a preservação do meio ambiente e de outros aspectos sustentáveis. Estes movimentos indicam que as empresas se adequem a essa nova tendência mundial, para poderem continuar vivas dentro de um mercado cada vez mais competitivo, além de apresentarem aos seus clientes uma preocupação com o mundo ao seu redor. E3 afirma que os aspectos ambientais e de sustentabilidade, com certeza devem ser sempre considerados, e cada vez mais com maior ênfase. Parte importante neste aspecto é a eficiência, o aproveitamento máximo dos recursos e energia disponíveis, minimizando a geração de rejeitos e gerando menos resíduos para o meio ambiente, reduzindo desta forma o uso de recursos finitos do planeta. Fazer mais com menos faz toda a diferença.

Em seguida, a segunda afirmação, explora a viabilidade da reutilização de estruturas usadas em novos projetos a partir de sua concepção inicial. D1 e E2 concordam parcialmente com a afirmação E1 concorda plenamente e E3 afirma não ter um posicionamento em relação a este tema.

Conforme D1, no segmento de prensas de carrocerias existem estruturas de máquinas com até 20 anos de funcionamento em perfeito estado, sem trincas,

desgastes excessivos de algumas superfícies, mas por outro lado, há uma tendência neste setor de utilizar os equipamentos novos no limite das especificações técnicas, ou seja, operar majoritariamente com capacidades próximas e velocidades maiores, tornando preocupante a manutenção das estruturas que já realizaram milhares de ciclos. No caso de prensas, talvez seja possível reclassificar uma estrutura usada inicialmente dimensionada de 1000T para 800T. E1 colocou que para o produto do segmento em que ele atua talvez não seja muito fácil sua reutilização por ser um produto customizado, mas mesmo assim ele acredita que seja uma boa prática. Para produtos seriados a possibilidade é muito maior, em função da quantidade disponível e um reaproveitamento pode se tornar mais atrativo. Monoblocos ou partes podem ser reaproveitados e se necessário podem sofrer pequenas alterações aplicando-se uma reengenharia. E2 afirma que se houver uma inspeção minuciosa das condições ao qual o equipamento se encontra sua estrutura pode ser reutilizada sob algumas condições específicas de projeto. E3 afirma que é um caso para estudo e análise aprofundados. O uso dessas partes deve satisfazer as considerações de sustentabilidade, da eficiência energética e do uso dos recursos. Se for possível usar o corpo de uma máquina para torna-lo mais eficiente, aumentar a produtividade, reduzir o gasto de recursos e energético, dentro do balanço econômico seria viável e até desejável.

A terceira afirmação aborda os projetos customizados (*ETO's – Engineering-to-Order*) como eventuais dificultadores para a implementação da proposta colocada. D1 e E3 concordam parcialmente com a afirmação, enquanto E1 e E2 concordam totalmente.

D1 afirma que no seu segmento de atuação, a repetição de projetos ETO's, quando acontecem, se dão em um prazo pequeno, em até 5 anos, logo a reutilização será pouco provável, mas não impossível. E1 afirma que produtos customizados podem ser reaproveitados, e que apesar das dificuldades deve-se ter em mente que uma possibilidade de redução de consumo de materiais, preservação do meio ambiente, redução das emissões de carbono, etc. E2 coloca que em se tratando de equipamentos customizados a modernização destes equipamentos e as novas exigências para aumento de produção sempre serão colocadas em discussão. Nestes casos a reutilização de estruturas de equipamentos antigos se torna estatisticamente menos favorável, e, portanto, quanto maiores forem as restrições e customizações solicitadas pelos clientes, menores serão as chances de reutilização de peças existentes. Entretanto para um determinado público específico, isto se faz possível.

E3 afirma que dentro das premissas atuais fica muito difícil fazer um projeto que atenda o reuso de estruturas existentes, aliado a soluções modernas de automação, por exemplo. Mas engenharia é desenvolvimento. A necessidade traz inovações. Para fazer o que é proposto é necessário trabalho de desenvolvimento, de se abrir para novos conceitos e soluções, nunca perdendo de vista o exposto na primeira afirmação deste formulário.

A similaridade topológica entre as partes a serem reutilizadas, facilitaria a reutilização de partes usadas, conforme a quarta afirmação. D1 e E1 concordam plenamente com o afirmado nesta colocação. E2 e E3 concordam parcialmente.

D1 não fez comentário. E1 afirma que quando se trata de faces planas similares ou bem próximas, largura x profundidade, o aproveitamento passa a ser mais fácil e atrativo. É considerado que sempre que pequenas alterações, adaptações, usinagens são atividades que não podem descartar a possibilidade de aproveitamento. Colunas de prensas, considerando um item vertical, a adaptação torna-se mais fácil pois pode-se calçar ou até mesmo cortar para se adequar a um determinado curso ou abertura. E2 afirma que essa colocação está parcialmente correta, pois algumas partes tendem a se adaptarem mais facilmente devido à similaridade, porém outras poderão ser descartadas devido ao seu alto custo de adequação. Para E3, depende muito da idade do equipamento. Equipamentos já automatizados podem ser renovados e é desejável que sejam. A automação tem vida útil e as prensas duram muito mais. Então uma reforma com automação mais moderna e mais eficiente é possível e desejável, inclusive com aumento da produção e redução do consumo de energia. Isto é uma realidade e é fato por exemplo nas prensas tipo *crossbar*. Para equipamentos mais antigos deveriam ser desenvolvidos novas soluções.

A modularização de projetos facilita a reutilização das estruturas usadas, conforme a quinta afirmação. Todos os respondentes concordam plenamente com a afirmação que cita projetos desenvolvidos de forma modular.

D1 cita que mesmo para projetos customizados a modularização mostra-se fundamental, para facilitar todo o processo produtivo, desde a fase de engenharia até o pós-venda. Para E1 partes modulares ou pequenas partes são mais fáceis de adaptações. Olhando para prensas, se compararmos um corpo monobloco com uma prensa tripartida, pode haver a possibilidade de aproveitar mesa, colunas, mas não o cabeçote. Se fosse monobloco talvez não haveria a possibilidade de aproveitamento. E2 afirma que estruturas modulares são mais fáceis de serem manipuladas e

retrabalhadas individualmente, tornando a decisão de sua reutilização ou não mais fácil de ser tomada individualmente. E3 concorda plenamente, embora possam existir casos que requeiram novas soluções.

A sexta afirmação discute as boas práticas de engenharia na reutilização de partes usadas em novos projetos. Todos os respondentes concordam plenamente com a afirmação.

D1 concorda por conta da possibilidade de aplicação de ferramentas para simular e analisar as mais diferentes condições de operação, assim como também existem novos equipamentos capazes de verificar a integridade dimensional e estrutural de peças usadas. E1 argumenta que deve ser utilizado qualquer chance de aproveitamento e que deve ser embasado em cálculos e ensaios não destrutivos. O entendimento desta conclusão está embasado em uma boa verificação das condições atuais da estrutura aliada a um cálculo. Esta prática irá fornecer a sustentação técnica para um aproveitamento consciente e responsável. E2 aponta que toda reutilização de estruturas deve ser passada por um processo de verificação técnica tanto no aspecto dimensional quanto no aspecto da integridade do material através de ensaios adequados. E3 afirma que este é um quesito muito importante, onde as normas atuais são muito mais criteriosas e restritivas visando a segurança e algumas vezes até a eficiência. Em um projeto de reutilização, sempre deve ser considerado que em equipamentos antigos muitas dessas normas não existiam, ou ainda eram menos abrangentes e menos restritivas.

A sétima afirmação coloca em foco o desempenho operacional de máquinas novas com inclusão de componentes usados. Esta afirmação apresentou uma dispersão de opiniões muito abrangente. D1 discorda parcialmente, E1 discorda plenamente, E2 concorda parcialmente e E3 não tem um posicionamento sobre o assunto.

D1 discorda porque é possível manter a estrutura a ser reutilizada em pleno estado de funcionamento através de simulações, análise de tensões e verificações do seu estado atual. Pode-se considerar uma redução de carga solicitante para uma garantia adicional de sanidade e confiabilidade. E1 não enxerga nenhuma implicação no desempenho operacional do equipamento, pois está se tratando de estruturas e não de componentes que irão ser responsáveis pelo desempenho operacional. Este especialista vê o desempenho associado a nova elétrica/eletrônica embarcada, nova hidráulica, até mesmo a um novo mecanismo. Dessa forma conclui que o corpo da prensa em si não remete a uma perda de desempenho. E2 coloca que dificilmente

uma estrutura antiga possa ser reutilizada para trabalhar dentro de sua capacidade original nas condições de produção exigidas pelo mercado hoje em termos de *output* e de flexibilidade de produção (área de ferramenta e curso disponível), sendo, desta forma, necessário seu redimensionamento e adaptação para uma nova realidade de produção. E3 afirma que, dependendo da idade do equipamento e das soluções tecnológicas disponíveis, pode-se até aumentar a produtividade, com menos gasto de energia. No caso das prensas *crossbar* antigas podemos trocar a automação e aumentar a produtividade. Trocando o aparelho de repuxo reduzimos o gasto energético drasticamente.

Máquinas novas com componentes usados tem sua vida útil prejudicada conforme a oitava afirmação. Também nesta afirmação a dispersão mostrou-se bastante significativa. D1 e E2 discordam parcialmente, E1 discorda plenamente, E3 concorda parcialmente.

Para D1 valem os mesmos comentários da afirmação anterior, somente fica indicado que hoje em dia os equipamentos estão sendo utilizados no limite de suas capacidades, logo as peças estruturais já não têm mais vida infinita. E1 não concorda com a afirmação pois os componentes a serem reaproveitados terão passado por avaliação criteriosa para sua utilização e que as eventuais partes de desgaste fixadas nestas estruturas podem ser substituídas e desempenhar como novas. Também questiona qual a vida útil destes componentes. Quantos anos? Cita inclusive a depreciação em 15 ou 20 anos que caracterizariam que o equipamento estaria pago e com valor zerado. E2 coloca que estruturas antigas devem passar por um processo de reavaliação detalhada quanto a sua integridade e condições estruturais das peças, além de serem redimensionadas para limitações de carga e velocidade. Para E3 a reutilização com referência a vida útil fica vinculada a idade do equipamento que está sendo discutido. Uma automação, em média, dura 10 anos. Já uma prensa tende a durar pelo menos 30 anos. Adicionado a este fato está a subutilização dos sistemas de prensagem o que deve elevar a vida de uma prensa para, por volta de 50 anos. Com a reutilização de estruturas em máquinas novas e com a elevação das velocidades de trabalho tem-se como consequência uma vida útil menor.

A nona e penúltima afirmação estabelece que componentes usados oferecem vantagens técnicas ao equipamento. A maioria dos respondentes discordam plenamente do afirmado (D1, E1 e E2). E3 concorda parcialmente.

D1 afirma não enxergar nenhuma vantagem tecnológica sob o ponto de vista técnico ao equipamento. Da mesma forma E1 também não vê nenhuma vantagem

técnica na reutilização de estruturas existentes. E2 também só enxerga vantagens comerciais, de prazo e a garantia de geração de menor prejuízo ambiental gerado nos processos de obtenção destas peças. E3 coloca um ponto de vista sob uma ótica diferente. Caso a origem da peça a ser reutilizada for de um fabricante tradicional, provavelmente estes componentes foram calculados para uma vida útil extensa, mesmo sob severas condições de trabalho. Neste caso temos uma vantagem técnica na sua reutilização.

Por fim, a décima e última afirmação indica uma restrição técnica impeditiva na reutilização de componentes usados em máquinas novas. Três dos respondentes discordam plenamente da afirmação colocada (D1, E1 e E2). E3 concorda parcialmente.

Para D1 não devem existir restrições técnicas caso as peças forem aprovadas após análises estruturais, simulações e testes não destrutivos. E1 não vê impedimentos, somente os cuidados com as verificações recomendadas já citados em outras afirmações. Para E2 não há restrições técnicas mediante um novo redimensionamento com algumas limitações. E3 afirma que depende do equipamento, da idade deste, e das soluções tecnológicas disponíveis. Sempre é possível desenvolver soluções, o que requer engenharia e muita vontade, além de um *sponsor*. No final das contas sempre serão os *stakeholders* que decidem e mandam. Estes decidem com base no custo, no lucro possível e nas demandas legais. Existe também o fator de *marketing*, aquele investimento que traz retorno por atender anseios da sociedade.

Com as afirmações aqui citadas as questões que envolvem a caracterização da utilização de peças estruturais usadas para serem aplicadas em novos projetos fica esquadrihada segundo a opinião de especialistas que acumulam experiência em definir tecnicamente as possibilidades desta aplicação, considerando suas vantagens, desvantagens e limitações em uma eventual aplicação prática.

As respostas ao formulário apresentado aos especialistas de Engenharia de Projeto estão apresentadas no quadro 4, a seguir.

Quadro 4: Respostas dos Especialistas de Engenharia de Produto

Tabela de Respostas - Engenharia de Produto										
	1) Abordagem Sustentável Incluída no Projeto	2) Viabilidade da Reutilização de Estruturas Usadas	3) Equipamentos Customizados Dificultam a Remanufatura	4) A Similaridade Topológica Facilita a Adaptabilidade de Componentes Usados	5) Projetos Modulares Facilitam a Remanufatura	6) Viabilidade Técnica com Boas Práticas de Engenharia	7) Reutilização Prejudica o Desempenho Operacional	8) Reutilização Prejudica a Vida Útil do Equipamento	9) Reutilização Oferece Vantagens Técnicas	10) Reutilização Impõe Restrições Técnicas
D1	1	2	2	1	1	1	4	4	5	5
E1	1	1	1	1	1	1	5	5	5	5
E2	1	2	1	2	1	1	2	4	5	5
E3	1	3	2	2	1	1	3	2	3	2
- Respostas indicadas pela escala Likert.										
- D1 - Diretor de Operações; E1 - Projetista Senior; E2 - Projetista Senior; E3 - Projetista Senior										

Fonte: Desenvolvido pelo Autor.

4.1.2 Grupo Área Comercial

Neste grupo estão levantados pontos de conflitos comerciais que eventualmente possam existir quando da implementação do conceito de remanufaturabilidade. Esta característica se apresenta via reutilização de componentes usados de máquinas existentes aplicados em projetos de máquinas novas.

O Formulário 2 – Área Comercial – Vendas/Gerenciamento de Projetos

(apresentado no Apêndice 2), contem 12 afirmações que foram submetidas a 3 especialistas mais o Diretor de Operações, sendo: C1 - Engenheiro de Vendas dedicado a indústria automobilística, profissional com 15 anos de dedicação ao desenvolvimento de propostas técnicas e comerciais para a venda de prensas de carroceria na indústria automobilística. C2 - Gerente de Assistência Técnica Pós-Venda atendendo serviços em garantia, projetos de manutenção preventiva e corretiva e reformas de prensas para a indústria automobilística, com atuação anterior em coordenação de projetos de máquinas novas. C3 - Cliente de máquinas-ferramenta proprietário de uma indústria usuária destes equipamentos. D1 – Diretor de Operações. As afirmações submetidas a esse grupo são descritas a seguir.

A primeira afirmação coloca a necessidade de implementar uma abordagem sustentável a partir do desenvolvimento do projeto do produto e foi colocada nos três formulários independentemente da caracterização da área consultada. D1 concorda plenamente com a primeira afirmação. C1 concorda plenamente com a primeira afirmação. C2 também concorda plenamente com o exposto. C3 também concorda com a primeira afirmação.

D1 não fez nenhuma afirmação sobre esta colocação por já ter comentado nas respostas da área de Engenharia de Produto. C1 afirma que, cada vez mais as empresas têm que ter esta preocupação. As empresas de capital aberto estão preocupadas com este tema também, pois cada vez mais estão sendo pressionadas pelos investidores. C2 define a afirmação como sendo clara, não requerendo comentários adicionais. C3 coloca que cada vez mais os impactos ambientais e a sustentabilidade possuem relevância em decisões. No que se refere a máquinas-ferramenta estes pontos também são muito importantes pois estes equipamentos são de alto custo.

A segunda afirmação estabelece a forma positiva como o mercado percebe a iniciativa de reutilizar peças estruturais usadas em máquinas novas. D1 alega não ter um posicionamento sobre o assunto. C1 concorda plenamente com o tema colocado. C2 não tem um posicionamento definido sobre o assunto abordado. C3 discorda parcialmente do assunto discutido.

D1 afirma que nunca existiu este tipo de abordagem com os clientes de novos equipamentos. C1 coloca que as empresas comprariam um produto desta forma, desde que o preço seja bem mais atrativo afirma que a prática de reutilização de estruturas usadas em novos projetos não é muito comum nesse mercado e com garantia do equipamento. C2 afirma que, em relação a reutilização de estruturas usadas em equipamentos novos, nunca foi consultado para avaliar esta possibilidade. “Num primeiro momento acredito que o Cliente teria restrições”, e que quando esse se propõe a fazer um investimento da monta de uma prensa, a tendência seria para ter um equipamento completamente novo. Caso um fabricante renomado apresente esta alternativa de utilização de partes usadas e em se garantindo sua funcionalidade, apresentando um apelo de economia nos custos de fabricação (e no preço final) com um adicional de caracterização como sustentável talvez o cliente se interesse. Acrescenta que “Precisa ser comprovada esta tese”. C3 afirma que a prática de reutilização de estruturas usadas em novos projetos não é muito comum nesse mercado, e que ele mesmo nunca teve uma oferta com esta possibilidade.

A terceira afirmação considera a remanufaturabilidade como uma possibilidade a ser explorada pelos envolvidos nas discussões técnica/comercial desta utilização. D1 alega não ter um posicionamento sobre este assunto e C1 e C3 concordam plenamente com a afirmação. C2 concorda parcialmente.

D1 complementa que esta abordagem nunca foi praticada. C1 repete seus comentários colocados na proposição anterior. C2 afirma que seria uma boa prática. “Em termos comerciais é necessário entender o contexto do cliente e seu respectivo projeto para se afirmar esta prática”. C3 afirma que existe uma grande possibilidade de economia de recursos e diminuição de investimentos se for possível a reutilização de estruturas de máquinas usadas.

A quarta afirmação inclui a sustentabilidade com sua porção social dentro dos atributos referentes a sua aplicabilidade na indústria de máquinas-ferramenta. D1

concorda parcialmente com a afirmação. C1 e C3 concordam plenamente e C2 concorda plenamente.

D1 afirma que já existe uma preocupação com a sustentabilidade, mas a cadeia de suprimentos ainda é fortemente cobrada por custo competitivo, prazo e qualidade. C1 repete seus comentários colocados na segunda proposição. C2 afirma que “na grande maioria dos ambientes de negócios a sustentabilidade se apresenta proeminentemente importante”. Também confirma que na indústria de máquinas e equipamentos esta afirmação apresenta-se como verdadeira. C3 coloca que nos últimos anos a sustentabilidade vem aumentando sua importância.

A quinta afirmação refere-se ao desenvolvimento de uma consciência ambiental sugerindo a recuperação de componentes usados para serem aplicados em novos produtos. D1 não tem um posicionamento claro em relação ao tema proposto. C1 e C3 concordam plenamente com o afirmado e C2 concorda plenamente.

D1 coloca que, apesar de não ter posicionamento definido neste tema, tanto na manufatura como na seleção dos materiais e componentes a empresa em que ele atua está cada vez mais alinhada com as preocupações ambientais, evitando a contaminação dos ambientes e a utilização de materiais não prejudiciais ao ser humano. C1 afirma que para o caso do cliente ao saber desta intenção aceitaria o produto, desde que a garantia seja igual ao de um produto novo e com preço bem mais atrativo em relação ao produto novo. C2 entende que a afirmação é verdadeira na sua concepção genérica e que é preciso avaliar “caso-a-caso”. C3 afirma que a economia de recursos, a diminuição de desperdícios e minimizar custos sempre serão pontos-chaves.

A sexta afirmação diz respeito aos pressupostos definidos para um projeto de máquina com inclusão de componentes remanufaturados. D1 não tem posicionamento definido em relação a esta questão. C1 e C3 concordam plenamente com a afirmação e C2 concorda parcialmente.

D1 não colocou nenhum comentário. C1 afirmou que sempre é necessária uma avaliação crítica da engenharia, a qual será a base para justificar a qualidade do produto frente ao cliente. C2 entende que “pode” e não, necessariamente “deve” considerar uma avaliação de remanufatura. “Isto durante a fase de concepção do

projeto”, sendo necessário considerar as condições de e circunstâncias de um cenário específico. C3 coloca que, em uma máquina ferramenta, sua estrutura representa 70% do material empregado em sua construção, e se for possível reaproveitar, teremos ganhos diretos e indiretos na cadeia produtiva.

A sétima afirmação leva em consideração os eventuais ganhos em custos de projeto e fabricação quando da reutilização de componentes usados. D1 discorda plenamente da afirmação. C1 e C3 concordam plenamente com o assunto colocado e C2 concorda plenamente.

D1 não fez nenhum comentário sobre esta afirmação. C1 coloca que o produto deva ser mais barato que um novo, com um prazo de fornecimento mais curto e com garantia de um produto novo, ou muito próxima de um novo. C2 considera justa a ideia de compartilhamento dos ganhos com o cliente, uma vez que, esse esteja disposto a aceitar o recebimento de um equipamento novo tendo embutido neste, o conceito de partes reutilizadas em seu equipamento. “Esse apelo deve ser utilizado como incentivo para a aceitação desta oportunidade” C3 explica que uma empresa está sempre buscando redução de custos, e na compra de equipamentos não é diferente.

Da mesma forma que na afirmação anterior, a oitava frase cita os eventuais ganhos em prazo de fornecimento do equipamento novo, na situação de reutilização de componentes usados. D1 concorda parcialmente com a afirmação. C1 e C3 concordam plenamente. C2 concorda plenamente.

D1 coloca que no segmento de atuação da empresa pesquisada existem diversos itens com longo prazo de fornecimento, logo fica difícil avaliar se os componentes reutilizados serão mesmo os únicos gargalos de prazo, que uma vez eliminados, reduziriam o tempo total de fornecimento. C1 coloca que, cada vez mais os clientes precisam dos equipamentos em prazo recorde, acredito que prazos mais curtos podem viabilizar a venda deste tipo de produto. C2 afirma que “certamente os ganhos em prazo podem influenciar positivamente na decisão de utilização de estruturas usadas” C3 afirma que o ciclo de produção dos produtos está cada vez menor e que o tempo de lançamento de novos produtos for drasticamente reduzido impacta diretamente no prazo para o fornecimento de máquinas.

A nona afirmação apresenta a necessidade, ou não de requisitos especiais de garantia do produto. D1, C1 e C2 concordam plenamente com essa afirmação. C3 concorda parcialmente.

D1 expõe que os termos de garantia serão afetados pela reutilização de peças usadas, dificultando, desta forma, aceitação por parte do cliente. C1 acredita que os clientes aceitariam esta solução, porém com a garantia de um novo, o que força uma análise crítica de engenharia. C2 não adicionou nenhum comentário. C3 afirma que tudo vai depender de uma análise do equipamento que vai ser reutilizado. Existem peças de alta criticidade que talvez não sejam aproveitadas, mas em peças que possam ser ensaiadas e que possam ser certificadas, o respondente não vê problema que possam dificultar sua aceitação.

A décima afirmação discute a possibilidade de limitações de uso do produto novo quando utilizados componentes usados. D1 concorda parcialmente com a afirmação. C1, C2 e C3 concordam plenamente.

D1 afirma que a utilização de peças usadas pode limitar a capacidade do equipamento, mas esta prática pode reclassificar as capacidades nominais do equipamento citado, eliminando problemas de desempenho. C1 afirma que esta prática pode ser aceita por parte do cliente desde que atenda suas necessidades e expectativas. C2 não adicionou nenhum comentário. C3 coloca que a tecnologia de usinagem vem evoluindo constantemente e esta evolução tem impactado a forma construtiva das máquinas de usinagem. Caso uma estrutura antiga não puder ser aceitar algumas especificações, isto pode comprometer sua utilização.

A décima primeira frase afirma que devem existir diferenças de garantias oferecidas entre um produto novo sem a reutilização de componentes usados e um com a reutilização. D1 concorda plenamente com o afirmado nesta questão. C1 e C3 concordam parcialmente e C2 discorda plenamente.

D1 pensa que as garantias devam ser diferentes, reduzidas para o produto com estruturas usadas, mas por lado haveria uma compensação financeira na aquisição do bem. C1 coloca que se a diferença de preço entre o produto novo e o equivalente com componentes usados for grande, acredito que o cliente aceitaria uma garantia reduzida, caso contrário se a diferença do preço não for tão expressiva, a

garantia reduzida não seria aceita. C2 para o ponto de vista do respondente “não cabe considerar períodos menores de garantia, pois, além de terem naturalmente custos altos, estes equipamentos apresentam extrema complexidade de movimentação e instalação, portanto não devem ter garantia menor que a de 24 meses”. Ainda afirma que, caso a utilização destes componentes não comportem uma garantia igual à do restante do equipamento estas peças não podem ser utilizadas. C3 afirma que, “de acordo com sua experiência, as estruturas das máquinas possuem uma longevidade muito superior aos outros componentes”. Cita como exemplos, guias lineares, rolamentos, engrenagens, fusos e toda a porção eletrônica.

A décima segunda e última afirmação explora uma eventual vantagem, caso o cliente possua máquinas usadas que possam fornecer componentes para a utilização em equipamentos novos. D1 discorda plenamente da afirmação colocada. C1 não tem posicionamento definido sobre este assunto. C2 concorda parcialmente e C3 concorda plenamente.

D1 afirma que este talvez seja o maior motivador para adoção desta prática. C1 coloca que não tem uma visão clara sobre o assunto. C2 afirma que esta afirmação é verdadeira, e que dependerá muito da característica do cliente e das condições que cercam o projeto e cita como exemplo “Clientes *Tier*, pode ter dificuldade em apresentar esta característica aos seus Clientes finais (*OEM's – Original Equipment Manufacturer*). C3 argumenta que muitas vezes equipamentos antigos já estejam depreciados e talvez serão vendidos como sucata. Com a possibilidade de serem reutilizados a economia para a empresa será ainda maior.

Da maneira como foi apresentado, o aspecto comercial para aceitação pelo mercado, quando da utilização de componentes usados em equipamentos novos, está explorado pelos especialistas envolvidos na pesquisa. A forma como foi abordado o assunto procura esclarecer o pensamento, principalmente por parte do mercado, em relação ao proposto pelo estudo. Este pensamento fica expressado na opinião dos especialistas envolvidos nessa pesquisa, por meio do Formulário 2 apresentado.

As respostas ao formulário apresentado aos especialistas da Área Comercial estão apresentadas no quadro 5, a seguir.

Quadro 5: Respostas de Especialistas da Área Comercial

Tabela de Respostas - Área Comercial												
	1) Abordagem Sustentável Incluída no Projeto	2) O Mercado Percebe de Forma Positiva a Reutilização de Componentes	3) Boas Práticas Comerciais Revelam a Possibilidade de Reutilização de Componentes	4) Decisões na Cadeia de Suprimentos Revelam a Importância da Sustentabilidade	5) A Consciência Ambiental Deve Servir de Base para Manufatura	6) Projetos de Máquinas Ferramenta Devem Aplicar Conceitos de Remanufatura	7) Repasse de Ganhos em Custos para o Cliente	8) Ganhos em Prazo Influenciam na Decisão em Reutilizar Componentes	9) Requisitos especiais para Critérios de Garantia	10) Critérios de Desempenho Podem Gerar Requisitos Especiais de Operação	11) Deve Existir Diferenças nas Garantias de um Produto Remanufaturado	12) A Existência de Equipamentos Descontinuados Pode Alavancar Decisões para Remanufatura
D1	1	3	3	2	3	3	5	2	1	2	1	5
C1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3
C2	1	3	2	1	1	2	1	1	1	1	5	2
C3	1	4	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1
- Respostas indicadas pela escala Likert.												
- D1 - Diretor de Operações; C1 - Engenheiro de Vendas; C2 - Gerente de Serviços; C3 - Cliente de Máquinas Ferramentas												

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

4.1.3 Grupo Fabricação

Neste último grupo estão colocados os pontos principais referentes a fabricação de prensas para peças de carroceria para a indústria de veículos automotores. As afirmações incluídas neste grupo procuram esclarecer as questões que possam ser consideradas críticas no processo de fabricação de equipamentos de estampagem. Dentro deste espectro apresenta-se temas que envolvem a cadeia de suprimentos focando a reutilização de estruturas existentes de máquinas usadas no que diz respeito a logística necessária, os aspectos de desenvolvimento de processos de fabricação, de planejamento, de controle de qualidade e de produção propriamente dita.

O **Formulário 3 – Fabricação** (apresentado no Apêndice 3), contém 12 afirmações que foram submetidas a 3 especialistas mais o Diretor de Operações, sendo: F1 – Gerente de Produção tendo atuado como Supervisor e Chefe de Departamento de Métodos e Processos por 10 anos, ocupando agora a Gerência de Produção por 5 anos. F2 – Chefe de Departamento de Caldeiraria e Soldagem exercendo esta função a 5 anos, tendo atuado anteriormente em desenvolvimento de processos de solda por 8 anos. F3 – Chefe de Departamento de Controle de Qualidade a 20 anos tendo iniciado como Engenheiro de Qualidade. As afirmações submetidas a esse grupo são descritas a seguir.

A primeira afirmação coloca a necessidade de implementar uma abordagem sustentável a partir do desenvolvimento do projeto do produto. Os quatro respondentes concordam plenamente com a importância de considerar-se uma abordagem sustentável a partir da elaboração do projeto inicial do equipamento a ser fabricado.

D1 afirmou que a empresa em que atua já estipula metas de utilização de processos com menor consumo de energia, prioriza a utilização de energias advindas de fontes renováveis e tem como política uma disposição/redução de resíduos gerados pelo processo produtivo. O respondente F1 lembrou que: “além dos aspectos econômicos/comerciais temos que nos preocupar cada vez mais em qual herança que deixaremos para as gerações futuras”. F2 afirmou que a adoção de uma consciência sustentável tem sua importância através da pressão dos *stackholders* e que esta ação se demonstra via declarações de Visão do Negócio, Missão e Políticas Internas, adoção de Selos Verdes e de Certificações Internacionais. Esta pressão, *a priori*, leva

a conclusão que esta conscientização pode também trazer benefícios econômicos tais como redução no consumo de energia, aumento da eficiência dos processos, bem-estar dos operadores e da sociedade e até melhoria na reputação e competitividade da empresa. F3 lembrou que este assunto tem entrado na pauta de grandes conglomerados corporativos de forma consciente e responsável, visando diminuir desperdícios, otimizar a utilização de recursos e direcionar o descarte de forma adequada.

A segunda afirmação define a capacidade técnica do Departamento de Métodos e Processos e do Controle de Qualidade em realizar as tarefas necessárias para as adaptações propostas pela Engenharia de Produto. D1, F2 e F3 concordam parcialmente com a afirmação oferecida para análise. F1 concorda plenamente

Para D1 talvez sejam necessários investimentos em equipamentos de controle de qualidade e dispositivos de fabricação para assegurar os requisitos de projeto. Para F2 existem algumas limitações em alguns casos específicos de reutilização de estruturas usadas em função da evolução tecnológica experimentada nos últimos anos. Como exemplo este cita a utilização de acionamentos servo assistidos onde as variações de velocidade geram solicitações até então não consideradas. Cita também a obsolescência de alguns processos de corte e conformação o que gera equipamentos com características topológicas totalmente diversa das máquinas atuais. Estes fatos podem limitar a reutilização de algumas estruturas, mas não inviabilizando o uso de outras. F3 sugere que seja realizado um estudo de *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) para analisar todas as fases do processo e mitigar possíveis riscos ocultos. F1 acredita que, dentro do contexto apresentado, as áreas citadas não enfrentaram dificuldades.

A terceira afirmação junta os conceitos de remanufatura aos fatores operacionais normais na fabricação de máquinas novas. Todos os especialistas consultados concordam plenamente com a afirmação apresentada.

D1 não apresentou nenhum comentário adicional. F1 comentou que a análise inicial deve ser realizada pela Engenharia de Produto e que de posse desta análise inicial pode ser estimado os custos envolvidos para concluir-se pela viabilidade do processo. F2 cita que o chamado *Design for Manufacturing* é essencial nesse mercado, e para o caso de reaproveitamento de estruturas usadas torna-se ainda mais relevante por conta das restrições de fabricação impostas pelo Departamento de Métodos e Processos para o projeto com estas características. Sugere que, já na

etapa inicial do novo projeto os departamentos de Engenharia de Produto e de Métodos e Processo trabalhem em conjunto nas definições necessárias para levar adiante a solução assumida. F3 afirmou que cada vez mais a Engenharia de Produto deve avaliar a remanufatura com um olhar diferenciado, principalmente na questão do valor agregado, otimizando recursos, prazos e custos de fabricação.

A quarta afirmação cita a facilidade que uma rede logística oferece na reutilização de componentes estruturais. Nesta afirmação os respondentes declararam que, ou concordam plenamente – F2 e F3, ou concordam parcialmente – F1 ou ainda são indiferentes quanto o assunto colocado – D1.

D1 afirma não ter entendido o questionamento, F1 coloca que, na sua opinião os projetos devem nascer com o conceito da remanufaturabilidade. F2 argumenta que o conceito de *Design for Manufacturing* torna-se essencial no negócio de prensas, e que no caso de aproveitamento de estruturas usadas fica ainda mais relevante. Coloca também que na etapa inicial do projeto os departamentos de Métodos & Processos trabalhem em conjunto com a Engenharia de Produto no quesito de “fatores operacionais de fabricação”. F3 afirma que uma logística reversa facilitaria o fluxo e a busca de potenciais materiais/equipamentos para serem submetidos aos conceitos de remanufatura.

A quinta afirmação explora a importância do balanço energético nos processos de fabricação de equipamentos de estamparia. Todos os respondentes escolheram a opção de concordância plena com a ideia exposta. D1 concorda plenamente, mesmo que a reutilização tenha uma participação pequena em comparação a quantidade de peças produzidas. F1 concorda plenamente e não relacionou nenhum comentário. F2 considerou que o processo de reutilização de estruturas usadas pode ser muito vantajoso devido à redução da geração de resíduos, redução no consumo de energia e de matérias primas necessárias. Afirmou também que ao se comparar com uma manufatura tradicional, é necessário considerar o consumo de energia dispendido em processos como desmobilização e limpeza dos componentes a serem reaproveitados, mas que em geral deve existir um saldo extremamente positivo. Outro fator importante a ser considerado é a disponibilidade da matéria prima e a demanda do material necessário para fabricação de componentes novos que via de regra sofre com dificuldades de abastecimento assim como aumentos sucessivos no preço. F3 colocou que deveríamos sempre pensar no reaproveitamento dos materiais e na otimização dos recursos.

A sexta afirmação sugere que o departamento de Controle de Qualidade tenha capacitação técnica e organizacional suficiente para atender as verificações necessárias, no que diz respeito à ensaios não destrutivos, para garantir a usabilidade das peças usadas na fabricação de máquinas novas. D1 concordou parcialmente com a afirmação. Os outros três respondentes concordaram plenamente – F1, F2 e F3.

D1 colocou a eventual possibilidade de investimentos em equipamentos de avaliação e controle para verificação das condições técnicas das estruturas usadas para a garantia de sua sanidade na reutilização, assim como na possível necessidade de capacitação da mão de obra para operacionalização destas tarefas. F1 concordou plenamente e não fez comentários. F2 indica que os END – Ensaios Não Destrutivos são capazes de identificar eventuais micro trincas ou mesmo falhas estruturais. A evolução natural destas técnicas, tais como ensaio por ultrassom com equipamento de *phase array* garante uma ótima confiabilidade. Em casos de tensões internas residuais encontradas, estas podem ser resolvidas com tratamentos térmicos de alívio de tensões localizado ou pleno. F3 afirmou que a equipe de controle de Qualidade está habilitada para verificações em todos os processos de verificação que, eventualmente, se fizerem necessários, seguindo normas e procedimentos de maneira a atender plenamente a Engenharia de Produto.

Da mesma forma que a afirmação anterior, a sétima frase estabelece que o departamento de Controle de Qualidade está apto técnica e organizacionalmente para atender os requisitos de verificação dimensional para aprovar a reutilização de estruturas usadas em máquinas novas. Todos os respondentes concordam plenamente com a afirmação colocada.

D1 afirmou que quanto a verificações dimensionais a empresa encontra-se 100% capacitada. F1 concorda plenamente e não colocou nenhum comentário. F2 também concordou plenamente e citou processos de avaliação dimensional tais como a utilização de *Laser Tracker*, *Scanners* Tridimensionais de Superfície, fotogrametria, que atendem a levantamentos dimensionais de grandes componentes com cada vez maior precisão e confiabilidade. F3 afirma que a empresa tem uma sala de metrologia com instrumentação completa, com os equipamentos calibrados e aferidos com certificação da RBC – Rede Brasileira de Calibração. Estão em curso investimentos em novos aparelhos tais como *Laser Tracker*, Braços de Medição 3D e *softwares* para medição de perfis de engrenamento.

A oitava frase estabelece que a estrutura de fabricação é suficientemente proficiente para realizar as adaptações requeridas pela engenharia, no caso de reutilização de estruturas usadas em máquinas novas. Todos os quatro respondentes afirmaram que concordam plenamente.

D1 não fez nenhum comentário. F1 afirmou que, até o momento, nunca enfrentou dificuldades em adaptar-se as solicitações feitas por Métodos & Processos, até porque estas áreas, Produção e Métodos trabalham juntas. F2 afirma que no caso da caldeiraria e solda a empresa tem um grupo de profissionais habilitados para realizar qualquer intervenção em adaptação de estruturas usadas assim como a fabricação de novos componentes e encontram-se aptos a realizar um trabalho de Engenharia Industrial condizente com a necessidade que possa se apresentar para qualquer operação para adaptação de estruturas usadas para remanufatura. F3 esclarece que a empresa possui um parque fabril totalmente adaptado para produtos de bens de capital (para caldeiraria, solda, usinagem e montagem).

A nona afirmação especifica que o Departamento de Métodos e Processos é habilitado para analisar, avaliar e indicar as disposições de adequação definidas pelo Controle de Qualidade. Todos os especialistas concordam plenamente com a afirmação aposta no formulário.

D1 não fez nenhum comentário. F1 também não colocou nenhuma consideração. F2 afirma que a empresa possui uma equipe experiente e qualificada para analisar qualquer tipo de estrutura de prensas, e coloca que a empresa é considerada referência dentro do grupo a que pertence para desempenhar estas atividades. A versatilidade desta equipe fica demonstrada nas atividades já realizadas nas áreas de projetos de prensas, fabricação de peças de óleo e gás, hidro geração de energia, indústria de papel e celulose e energia eólica. F3 afirma que a empresa possui departamentos de Engenharia de Projetos e de Engenharia Industrial para atender as demandas apresentadas.

A décima afirmação define que as adaptações requeridas pela Engenharia de Produto nas estruturas usadas devem ser analisadas, avaliadas e implementadas pelos Departamentos de Métodos e Processos e pela Fabricação. Todos os especialistas concordaram plenamente com afirmação colocada.

D1 não fez nenhum comentário. F1 também não fez nenhuma colocação. F2 reforçou a necessidade de aplicação de um nível mais rigoroso de verificações e operações de adaptação de estruturas usadas do que na condição de fabricação de

peças novas. Este comportamento diz respeito ao possível risco de defeitos ocultos associados a fadiga natural de uma estrutura usada. F3 discorreu que faz todo sentido esta afirmação onde Engenharia – Projeta. Métodos & Processos – define a forma de Fabricação. A Fabricação – Executa e o Controle de Qualidade – Inspecciona.

A décima primeira frase estabelece que falhas e defeitos encontrados devem ser analisados e avaliados pelo departamento de Métodos e Processos que deve indicar as disposições adequadas para sua correção ou descarte. D1 e F1 concordam parcialmente, F2 concorda plenamente e F3 discorda parcialmente.

D1 sugere que os defeitos e falhas encontrados devem ser analisados pelo departamento de Engenharia de Produto, associado a Métodos & Processos e ao Controle de Qualidade. F1 afirma que algumas falhas e defeitos devem ser avaliadas em conjunto com a Engenharia de Produto. F2 coloca que esta abordagem é a mesma utilizada na reforma e recuperação de máquinas usadas. Em situações em que o retrabalho envolve zonas críticas das estruturas e/ou alterações no produto deve-se envolver a Engenharia de Produto. F3 descreve a organização das tarefas nesse quesito como: As falhas são identificadas/avaliadas pelo Controle de qualidade, a disposição deve ser dada pela Engenharia de Produto, pois é área que possui profissionais competentes para a avaliação de desvios e propor alternativas. A área de Métodos & Processos fica como área de apoio para viabilizar as disposições dadas pela Engenharia de Produto.

A décima segunda afirmação declara que a Fabricação está tecnicamente apta para desenvolver as tarefas necessárias para adequação das estruturas usadas a serem aplicadas nos novos equipamentos. Todos os respondentes concordaram plenamente com a afirmação apresentada.

D1 não colocou nenhum comentário. F1 também não fez nenhum comentário. F2 não fez nenhum comentário. F3 descreveu que não existe, a seu ver, nada que não possa ser feito em relação a estruturas de prensas e que a fabricação tem condições de “transformar” com o apoio de outras áreas competentes.

Desta maneira fica definida a capacitação técnica e operacional das áreas voltadas a fabricação, assegurando sua capacidade física de realizar os trabalhos propostos pela Engenharia de Produto quando da reutilização de componentes estruturais usados em novos equipamentos. Este grupo de afirmações tem como objetivo assegurar que uma reutilização deverá ter sua adaptabilidade e segurança

da implementação garantidos por uma organização que se disponha a colocar em prática o oferecido por esta pesquisa.

As respostas ao formulário apresentado aos especialistas da Fabricação estão apresentadas no quadro 6, após o item 4.1.4.

4.1.4 Considerações sobre a Pesquisa Qualitativa

Como resultado da porção qualitativa dessa pesquisa é possível afirmar que o nicho de mercado de máquinas-ferramenta, aqui representada por especialistas envolvidos em projeto, comercialização e fabricação de prensas para carroceria destinadas a indústria automotiva, não apresentava nenhuma referência ao tema proposto por esse estudo. Além disso, até a apresentação dessa proposta, por ocasião da realização das entrevistas com os especialistas consultados, estes não tinham demonstrado qualquer intenção em considerar a possibilidade de utilização de elementos estruturais existentes, originários de equipamentos descomissionados, para compor o escopo inicial de novos projetos.

Nota-se também, o baixo conhecimento sobre as questões levantadas a respeito de aspectos de uma Economia Circular, assim como de atitudes voltadas para um Desenvolvimento Sustentável. Deve-se acrescentar que estes conceitos, apesar de não representarem uma novidade absoluta para este grupo de especialistas, não tem sido levado em consideração por este segmento da atividade industrial.

Considerando as respostas e opiniões recolhidas nas entrevistas, deve-se ter em foco que, apesar dos aspectos aqui apresentados, a possibilidade proposta pode significar uma atitude positiva por parte dos envolvidos nas discussões em um futuro próximo.

Quadro 6: Respostas dos Especialistas da Área de Fabricação

Tabela de Respostas - Fabricação												
	Abordagem Sustentável incluída no Projeto	Capacitação Técnica dos Departamentos de Métodos & Processos e de Controle de Qualidade	Projetos com Remanufatura Devem Utilizar Fatores Operacionais de Fabricação	Rede Logística Reversa Auxilia em Projetos com Remanufatura	Projetos com Remanufatura Devem Considerar o Consumo de Energia do Processo de Fabricação	O Controle de Qualidade Deve Definir Procedimentos Técnicos de END	O Controle de Qualidade tem Capacitação Técnica para Inspeções Dimensionais	A Fabricação tem Estrutura Técnica Suficiente para Realizar as Adaptações Requeridas	Departamento de Métodos e Processos Deve Analisar as Correções Necessárias	Departamento de Métodos e Processos Deve Avaliar as Adaptações Requeridas	Departamento de Métodos e Processos Deve Considerar as Disposições Definidas pelo C.Q.	Fabricação está Apta para Realizar as Adequações das Peças
D1	1	2	1	3	1	2	1	1	1	1	2	1
F1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1
F2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
F3	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1
- Respostas indicadas pela escala Likert.												
- D1 - Diretor de Operações; F1 - Gerente de Produção; C2 - Chefe de Calderaria e Soldagem; C3 - Chefe de Controle de Qualidade												

Fonte: Desenvolvido pelo autor

5 PROPOSTA DE ALGORITMOS PARA ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA REMANUFATURA

5.1 PORÇÃO QUANTITATIVA DA PESQUISA

No que diz respeito a avaliação da viabilidade econômica da aplicação da solução proposta, esta, deverá ser sustentada pela porção quantitativa da pesquisa. Esta parcela do estudo será suportada pelo desenvolvimento de algoritmos comparativos representando as variáveis de custo e de prazo entre a obtenção do equipamento a partir de uma forma convencional de produção e a forma sugerida com a utilização de elementos estruturais usados em máquinas descontinuadas em serviço. Desta maneira, deverão ficar esclarecidos os resultados obtidos, utilizando-se esses algoritmos desenvolvidos na determinação dos custos decorrentes de uma forma tradicional de projeto e fabricação a partir do “zero” versus a utilização de estruturas pré-existentes, assim como o impacto nos prazos de fabricação, comparando-se as duas formas apresentadas.

5.1.1 Desenvolvimento dos Algoritmos

Na porção quantitativa dessa pesquisa foram elaborados dois algoritmos para avaliar as variáveis de Custos de Produção e dois algoritmos para avaliação de Prazos de Fabricação envolvidos na fabricação de máquinas-ferramenta, na maneira como é descrito nos objetivos deste estudo. Estas formatações têm como variáveis de produção aquelas usualmente pertencentes a configuração de custos de produção e de prazos de fornecimento e são colocadas em confronto comparativo entre um modelo e outro.

Os modelos Custos de Produção e de Prazos de Fabricação citados foram desenvolvidos para duas situações aqui descritas e se apresentam como: Projeto e Fabricação de Equipamento Novo sem base de referência anterior, e Projeto e Fabricação de Equipamento Novo com a utilização de estruturas usadas de máquinas-ferramenta existentes que servirão como base de referência para o projeto, sendo, se necessário, acrescidas das devidas adaptações necessárias para esse novo projeto.

Estas duas situações estão identificadas nas figuras a seguir como: A) Projeto a partir do “ZERO” e B) Reutilização de Componentes.

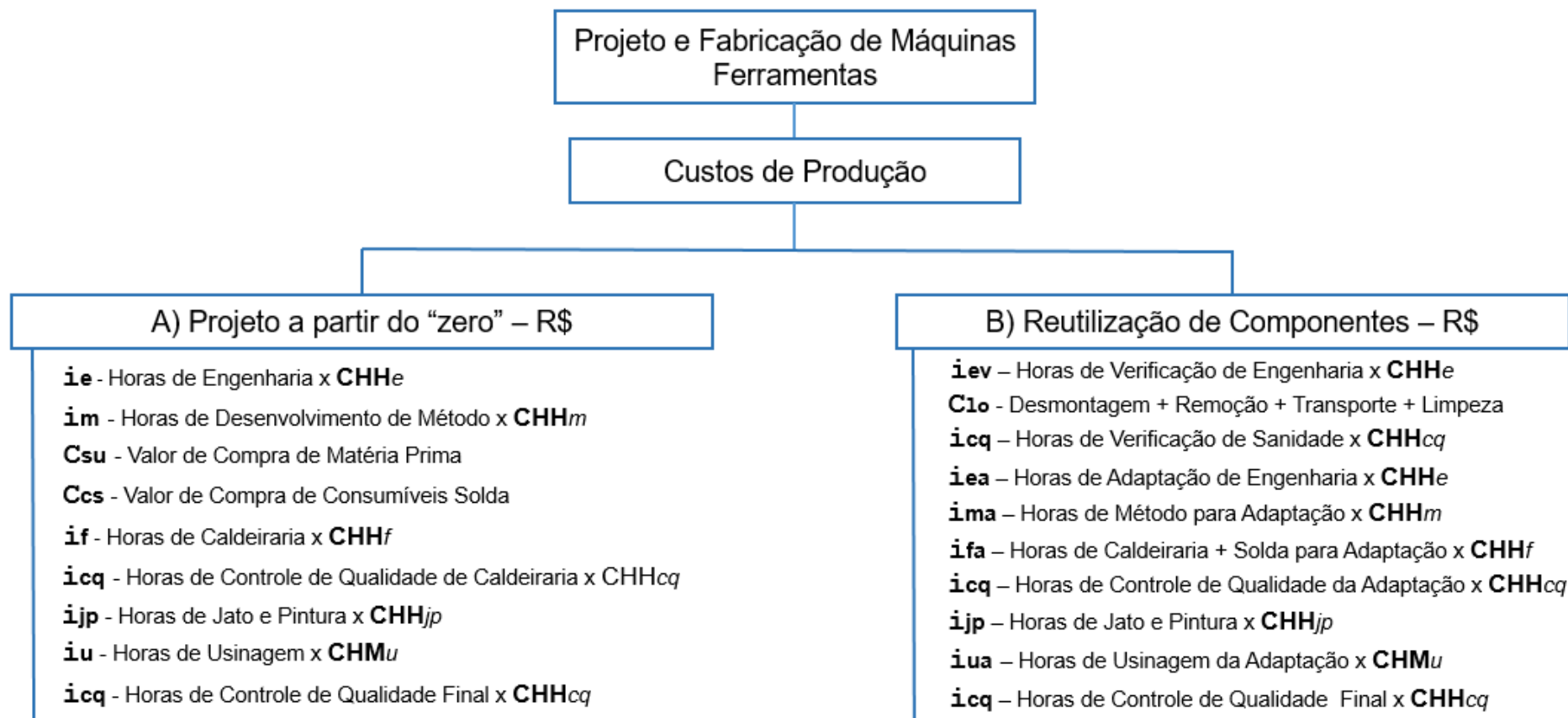
Apresenta-se, portanto, uma configuração para Custos de Produção com duas situações, sendo uma com <Projeto a partir do “ZERO”> para fazer a comparação com as variáveis oriundas de um modelo com <Reutilização de Componentes>. Da mesma forma vão ser apresentadas equações comparativas para Prazos de Fabricação, também verificados sob as mesmas duas situações aqui mencionadas.

5.1.2 Avaliação de Custos de Produção

As variáveis que interferem nos Custos de Produção estão discriminadas nos próximos Quadros 7 e 8, válidos para os grupos A e B consecutivamente. Estas variáveis representam as operações necessárias para a realização das tarefas de projeto e fabricação do equipamento em questão, no sentido da obtenção dos componentes objeto deste estudo e que virão incorporar o produto final a ser desenvolvido. Estes componentes estão limitados às estruturas que compõe o conjunto final da máquina ferramenta a que se destina este trabalho, conforme já citado no Capítulo 1 desta pesquisa. Pretende-se que os algoritmos aqui apresentados sejam aplicáveis a quaisquer tipos de máquinas-ferramenta com características sob encomenda, também conforme descrito anteriormente.

A Figura 9 apresenta uma configuração do desenvolvimento dos algoritmos que fornecem elementos para a realização das avaliações com o objetivo de permitir uma comparação conclusiva em relação a Custos de Produção.

Figura 9: Desenvolvimento de Algoritmos de Comparação de Custos de Produção

**Notas:**

- 1) Os índices iniciados por (**i**) representam variáveis em Número de Horas Trabalhadas. Os índices iniciados por (**C**) representam Custos em R\$.
- 2) Os indicadores (**CHH** e **CHM**) representam Custo Hora Homem (em R\$) e Custo Hora Máquina (em R\$), respectivamente.

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

O quadro 7 , apresenta as definições para as variáveis de Custos de Produção a serem utilizadas nas operações de projeto e fabricação para o Grupo A representando, desta maneira, a opção de realizar um <Projeto a partir do “Zero”>, conforme apresentado na Equação 1.

Quadro 7: Definições dos Indicadores das Variáveis de Custos de Produção para o Grupo A

Quadro de Definições de Indicadores de Variáveis para Custos de Produção - Grupo A
ie - Quantidade de Horas de Engenharia de Produto
im - Quantidade de Horas para Desenvolvimento de Métodos de Fabricação e Programação de Produção
if - Quantidade de Horas de Fabricação - Caldeiraria e Soldagem
icq - Quantidade de Horas de Controle de Qualidade para Verificações de Caldeiraria, Soldagem, Usinagem e Final
ijp - Quantidade de Horas para Jateamento e Pintura
iu - Quantidade de Horas para Usinagem
Csu - Custo de Compra de M.P., Recebimento, Estocagem, Controle de Qualidade e Administração de Suprimentos
Ccs - Custo de Consumíveis de Soldagem
CHHe - Custo Hora Homem de Engenharia de Produto
CHH_m - Custo Hora Homem de Método de Fabricação
CHH_f - Custo Hora Homem de Fabricação - Caldeiraria e Soldagem
CHH_{cq} - Custo Hora Homem de Controle de Qualidade
CHH_{jp} - Custo Hora Homem de Jato e Pintura
CHMu - Custo Hora Máquina de Usinagem

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

A primeira equação é composta por 6 elementos multiplicadores que representam os custos em reais (R\$) resultantes das operações envolvidas na produção das estruturas típicas do Grupo A – Projeto a partir do “ZERO”, e duas parcelas de custo de operações de suprimentos de matérias primas e de consumíveis de caldeiraria. Totalizando dessa maneira 8 elementos de cálculo descritos a seguir.

Estas parcelas são:

i) Custo de Engenharia do Produto que é calculado multiplicando-se o número de horas de Engenharia utilizada X Custo-Hora-Homem de Engenharia (**ie** x **CHHe**);

ii) Custo de Desenvolvimento de Métodos de Fabricação que é calculado multiplicando-se o número de horas de Metodização para fabricação das estruturas

conforme o grupo A X Custo-Hora-Homem de Engenharia de Métodos e Processos ($i_m \times CHH_m$);

iii) Custo de Fabricação – Caldeiraria e Soldagem – que é calculado multiplicando-se o número de horas necessárias para Caldeiraria e Solda utilizadas na fabricação das estruturas em estudo X Custo-Hora-Homem de Fabricação ($i_f \times CHH_f$);

iv) Custo de Jato e Pintura que é calculado multiplicando-se o número de horas de Jato e de Pintura dispendido nas estruturas fabricadas X Custo-Hora-Homem de Jato de Granalha de Aço e de Pintura ($i_{jp} \times CHH_{jp}$);

v) Custo de Usinagem das Estruturas que é calculado multiplicando-se o número de horas necessárias de Usinagem das estruturas X Custo-Hora-Máquina do equipamento de usinagem utilizado ($i_u \times CHM_u$);

vi) Custo Geral do Controle de Qualidade incorrido durante todo o processo de produção das peças estudadas que é calculado multiplicando-se número de horas utilizadas pelo Controle de Qualidade X Custo-Hora-Homem de Controle de Qualidade ($i_{cq} \times CHH_{cq}$).

vii) Custos Total de Suprimentos de Matéria Prima, considerando o Custo de Fornecimento da Matéria Prima, de Recebimento, de Estocagem, de Controle de Qualidade de Recebimento, e da Administração de Compras, que devem ser somadas às demais parcelas aqui discriminadas. Este Custo fica representado por (**Csu**).

viii) Custos de Suprimentos dos Materiais de Adição de Caldeiraria e Soldagem, tais como arames e eletrodos de solda, gases de solda e de corte, etc. que, também deverão ser acrescentados no cômputo total dos custos Todos estes materiais devem ter mesmo tratamento dos materiais produtivos comprados, descritos no item anterior. Este Custo fica representado por (**Ccs**).

Como observação fica esclarecido que:

a) O Custo-Hora-Homem de Caldeiraria pode, em alguns casos, ser diferente do Custo-Hora-Homem de Soldagem. Nesta avaliação eles foram considerados iguais. Casos sejam diferentes devem ser consideradas duas parcelas distintas, respeitando-se as diferenças de **CHH** – Custo Hora Homem de Caldeiraria e de Soldagem.

b) Os Custos de Controle de Qualidade são distribuídos ao longo do processo de fabricação, sendo nesta equação considerados como 70% das horas são gastas com a inspeção de Caldeiraria, Soldagem e Usinagem e 30% como Controle de Aprovação Final das Estruturas.

C) Para o cálculo do Custo Total de Suprimentos (**Csu**), nesse algoritmo deve ser adicionado 5% do valor da compra de Matéria Prima de forma a suportar os custos de Recebimento, de Estocagem, de Controle de Qualidade de Recebimento e de Administração de Compras. Da mesma forma deverá ser considerado 5% de acréscimo ao valor de Compra dos Consumíveis de Soldagem (**Ccs**).

Desta maneira a equação representativa dos Custos de Produção para o grupo A deverá ser:

Equação 1:

A) Projeto a partir do “ZERO”

$$\text{Custo de Produção (A)} = \sum_{n=1}^6 (i_n \times CH_n) + C_{su} + C_{cs} \quad \text{Eq. 1}$$

Da mesma forma que apresentado no Quadro 5, o Quadro 6 apresenta as definições para as variáveis de Custos de Produção descritas na coluna do Grupo B – Reutilização de Componentes, constante na Figura 9. Essas variáveis serão utilizadas nas operações de projeto de verificação e de adaptação, quando necessárias, e de fabricação para este grupo de atividades. As avaliações dos custos destas atividades estão demonstradas na Equação 2.

Quadro 8: Definições dos Indicadores das Variáveis de Custos de Produção para o Grupo B

Quadro de Definições de Indicadores de Variáveis para Custos de Produção - Grupo B
i_{ev} - Quantidade de Horas de Engenharia de Produto para Verificação de Aplicabilidade
i_{ma} - Quantidade de Horas para Desenvolvimento de Métodos de Fabricação para Adaptações
i_{fa} - Quantidade de Horas de Fabricação para Adaptações
i_{ea} - Quantidade de Horas de Engenharia de Produto para Adaptações
i_{ua} - Quantidade de Horas de Usinagem para Adaptações
C_{lo} - Custo de Desmontagem, Remoção, Transporte e Limpeza (Logística)
CHH_e - Custo Hora Homem de Engenharia de Produto
CHH_m - Custo Hora Homem de Método de Fabricação
CHH_f - Custo Hora Homem de Fabricação - Caldeiraria e Soldagem
CHH_{cq} - Custo Hora Homem de Controle de Qualidade
CHH_{jp} - Custo Hora Homem de Jato e Pintura
CHM_u - Custo Hora Máquina de Usinagem

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

A segunda equação é composta por 6 elementos multiplicadores que representam os custos em reais (R\$) resultantes das operações envolvidas na produção das estruturas típicas do grupo B – Reutilização de Componentes, acrescida de uma parcela que representa o custo de Logística para disponibilizar as estruturas a serem utilizadas neste formato de produção (Grupo B).

Estas parcelas são:

i) Custo de Engenharia de Produto para Avaliação das Estruturas para viabilizar tecnicamente sua utilização, que é calculado multiplicando-se o número de horas de Engenharia utilizadas X Custo-Hora-Homem de Engenharia (**i_{ev} x CHH_e**);

ii) Custo Geral do Controle de Qualidade incorrido durante todo o processo de produção das peças estudadas que é calculado multiplicando-se número de horas utilizadas pelo Controle de Qualidade X Custo-Hora-Homem de Controle de Qualidade (**i_{cq} x CHH_{cq}**).

iii) Custo de Engenharia de Produto para desenvolvimento das adaptações que se façam necessárias para o novo projeto, que é calculado multiplicando-se o número de horas de Engenharia utilizadas X Custo-Hora-Homem de Engenharia (**i_{ea} x CHH_e**);

iv) Custo de Desenvolvimento de Métodos de Fabricação para as adaptações necessárias, que é calculado multiplicando-se o número de horas de Metodização para fabricação das estruturas conforme o grupo B X Custo-Hora-Homem de Engenharia de Métodos e Processos ($i_{ma} \times CHH_m$);

v) Custo de Fabricação para as adaptações necessárias – Caldeiraria e Soldagem – que é calculado multiplicando-se o número de horas necessárias para Caldeiraria e Solda utilizadas nas adaptações das estruturas em estudo X Custo-Hora-Homem de Fabricação ($i_{fa} \times CHH_f$);

vi) Custo de Usinagem das adaptações necessárias que é calculado multiplicando-se o número de horas necessárias de Usinagem das adaptações X Custo-Hora-Máquina do equipamento de usinagem utilizado ($i_{ua} \times CHM_u$).

vii) Custo Total da Logística para colocar em ordem utilização as estruturas escolhidas para reutilização. Estes custos incluem a Desmontagem do equipamento usado, a Remoção destas estruturas para a empresa que vai reutiliza-las, o Transporte essas peças, a Limpeza (Jato e Pintura) e o Controle de Qualidade para verificação da sanidade desses componentes. Esse Custo está representado na equação 2 como (**Clo**).

Como observação fica esclarecido que:

a) Os custos elencados como sendo derivados das operações de adaptações são considerados somente quando estas se fizerem necessárias. Caso as estruturas escolhidas não sejam modificadas o número de horas utilizados deve ser “zero”, anulando-se estes custos. As variáveis envolvidas nesta nota são ($i_{ea} \times CHH_e$); ($i_{ma} \times CHH_m$); ($i_{fa} \times CHH_f$) e ($i_{ua} \times CHM_u$).

b) Os Custos de Controle de Qualidade são distribuídos ao longo de todo o processo de produção das estruturas a serem reutilizadas e subdivididos como: 35% das horas consideradas utilizadas na verificação da sanidade das peças a serem reutilizadas: 35% das horas consideradas nas inspeções durante o processo de fabricação e usinagem das adaptações requeridas e 30% como Controle de Aprovação Final das Estruturas. Caso não sejam necessárias adaptações, deverão ser consideradas somente 35% das horas de verificação da sanidade das peças mais 10% para inspeção final para Aprovação das Estruturas.

c) Não foi considerado um eventual preço de venda das máquinas usadas pois na maioria dos casos o proprietário original destes equipamentos postos à disposição para descarte, normalmente paga para retirada e disposição destas máquinas.

Equação 2:

B) Projeto com Reutilização de Componentes

$$\text{Custo de Produção (B)} = \sum_{n=1}^7 (i_n \times CH_n) + C_{10} \quad \text{Eq.2}$$

As duas colunas representadas na Figura 9 – Desenvolvimento de Algoritmos de Comparação de Custos de Produção (A e B) demonstram as parcelas de cálculo nas equações comparativas de Custos de Produção referentes as variáveis envolvidas no escopo desse estudo. Para efeito de melhor universalização das equações de comparação, deve-se considerar algumas diferenças entre definições distintas referentes a estruturas de custos que se apresentam diversas entre as empresas. Como colocado nas observações anteriores, estas diferenças ficam por conta de conceitos de estrutura de custos diversos entre as organizações. Algumas variáveis são tratadas de forma distintas entre as empresas, ficando estas determinações dependentes de definições de suas características, seguindo a conceituação contábil de cada empresa.

Por exemplo, algumas empresas consideram as Horas de Metodização e Programação como rateadas no CHM ou CHH a que se refere esta tarefa. Portanto, neste caso, o índice i_m deve ser considerado zero. Assim, da mesma forma, o CHH_m . Este mesmo efeito fica válido para as empresas que consideram que o custo de Controle de Qualidade embutido nos Custos Hora Homem (CHH) ou Custos Hora Máquina (CHM). Desta maneira e para estas situações o índice i_{cq} e o CHH_{cq} também são considerados igual a zero.

Não é objetivo, aqui neste estudo, discorrer sobre as razões destas diferenças. Fica por conta destas empresas definirem se os custos de Métodos & Processos e Programação e/ou de Inspeções de Controle de Qualidade deverão ser considerados como Custos Diretos ou Indiretos, com Agregação de Valor ao Produto

Final ou sem Agregação de Valor ao Produto Final, ou ainda, se o Cliente paga por estas tarefas ou simplesmente elas fazem parte integrante do produto.

5.1.3 Avaliação de Prazos de Fornecimento

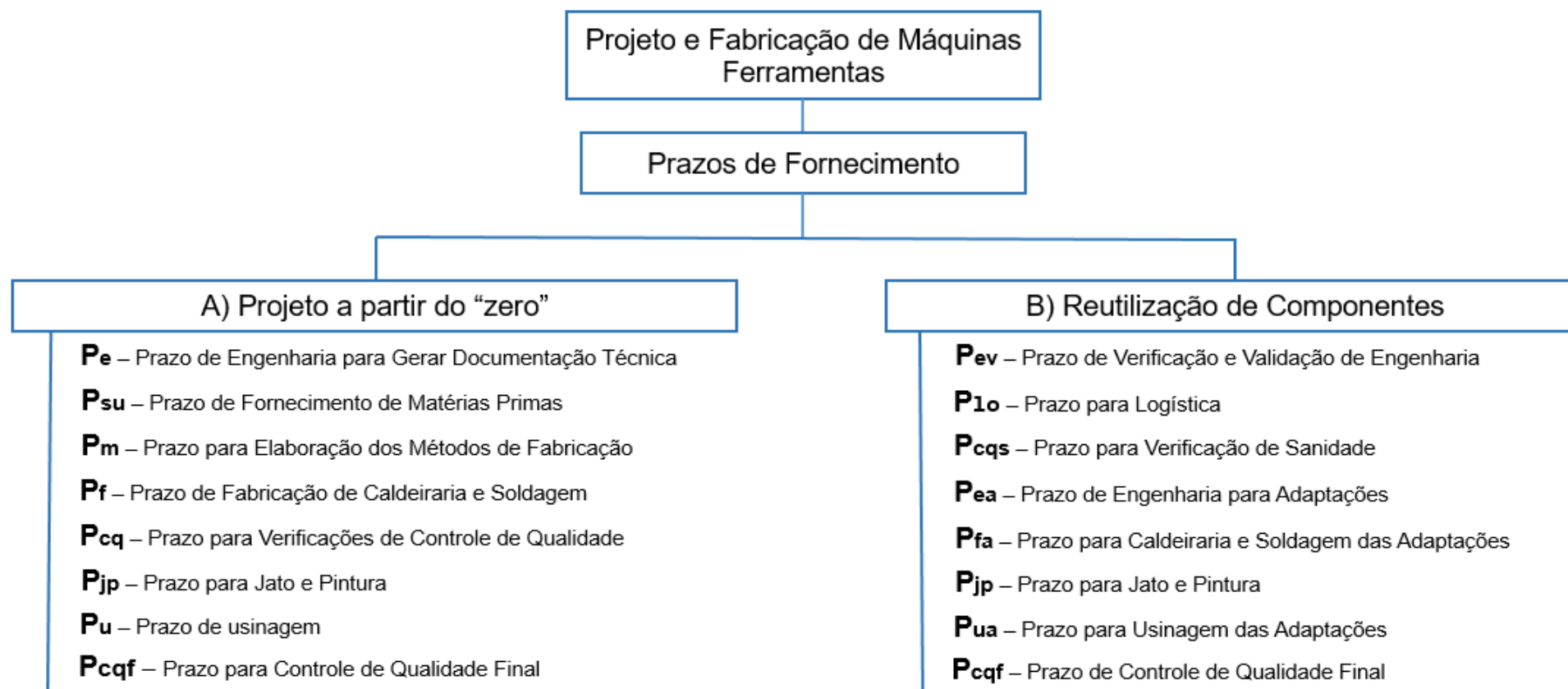
Da mesma forma como foi apresentado pelo item 5.1.2, aqui serão considerados dois casos: A) Projeto a partir do “ZERO” e B) Projeto com Reutilização de Componentes.

Nesse item, para os algoritmos desenvolvidos, os prazos estão representados em semanas. Para unificar as unidades de tempo, deve-se considerar que uma semana fica representada por 5 dias de trabalho para efeito de somatória de tempo total de uma operação discriminada. Desta forma a unidade base do cálculo a ser utilizada nos algoritmos deve ser “semana”.

Quando da utilização dos algoritmos apresentados, deve ser considerado um planejamento de produção que se aproxime da realidade do desenvolvimento e fabricação de determinado equipamento. Olhando para o fluxo de atividades a serem desempenhadas, a programação de produção deve admitir que os tempos de espera, ou intervalos entre as operações necessárias para realização das tarefas estabelecidas, ou ainda o tempo dispendido em operações sem agregação de valor tais como esperas, movimentação, etc., deverão ser levados em conta de maneira uniforme. Os tempos a serem considerados para as duas situações serão os mesmos, tanto para o Grupo A – Projeto a partir do “ZERO” quanto para o grupo B – Projeto com Reutilização de Componentes. Isto significa que estes tempos não interferem nos resultados obtidos pela aplicação dos algoritmos de prazos a que está submetido esta avaliação.

A figura 10 a seguir apresenta uma configuração do desenvolvimento dos algoritmos que fornecem elementos para a realização das avaliações com o objetivo de permitir uma comparação conclusiva em relação a Prazos de Fornecimento.

Figura 10: Desenvolvimento de Algoritmos de Comparação de Prazos de Fornecimento

**Notas:**

- 1) Os prazos são dimensionados em semanas. Para efeito de comparação, as semanas serão consideradas com 5 dias trabalhados.
- 2) Os intervalos de espera entre operações serão considerados iguais para as duas situações apresentadas (Colunas A e B).
- 3) **Pea**, **Pfa** e **Pua** – Prazos para adaptações devem ser considerados somente quando necessários.

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

O Quadro 9 , a seguir apresenta as definições para as variáveis utilizadas nas operações de projeto e fabricação para o Grupo A representando a situação de Prazos de Fornecimento, definindo, desta maneira a opção de realizar um projeto a partir do “zero” (Grupo A), conforme apresentado na Equação 3 colocada a seguir.

Quadro 9: Definições dos Indicadores das Variáveis de Prazos de Fornecimento – Grupo A

Quadro de Definições de Indicadores de Variáveis para Prazos de Fornecimento - Grupo A
P_e - Prazo de Engenharia de Produto para Geração de Documentação Técnica - Desenhos e Especificações
P_{su} - Prazo de fornecimento de Matérias Prima para Fabricação
P_m - Prazo para Elaboração de Métodos de Fabricação
P_f - Prazo de Fabricação para Caldeiraria e Soldagem
P_{cq} - Prazo para Verificações de Controle de Qualidade
P_{jp} - Prazo para Jato e Pintura
P_u - Prazo para Usinagem
P_{cqf} - Prazo para Qualidade Final - Aprovação para Montagem

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

A terceira equação (equação para avaliação de prazos para o grupo A definido no Quadro 9) é composta por 8 variáveis que representam os prazos necessários para realização das operações definidas pela Engenharia de Produto e por Métodos & Processos. A unidade utilizada é “semana” e deve ser considerada para todo o cálculo. As Equações de prazos são formatadas como uma somatória simples e estão representadas a seguir. As definições das variáveis estão definidas no Quadro 9.

Equação 3:

A) Projeto a partir do “ZERO”

$$\text{Prazo de Fornecimento (A)} = \sum_{n=1}^8 (P_n) \quad \text{Eq. 3}$$

O Quadro 10 define as variáveis de Prazos de Fabricação que incidem na opção de reutilização de estruturas existentes para serem reaproveitadas em novos projetos, conforme colocado na Equação 4, na sequência.

Quadro 10: Definições dos Indicadores das Variáveis de Prazo de Fornecimento – Grupo B

Quadro de Definições de Indicadores de Variáveis par Prazos de Fornecimento -Grupo B	
P_{ev}	Prazo de Verificação e Validação de Engenharia de Produto - Escolha de Estruturas para Reutilização
P_{lo}	Prazo para Logística das Estruturas Escolhidas para Reutilização - Desmontagem, Remoção, Transporte e Limpeza
P_{cqs}	Prazo de Verificação de Sanidade das Estruturas Escolhidas para Reutilização
P_{ea}	Prazo de Engenharia de Produto para Definição Eventual de Adaptações
P_{fa}	Prazo de Caldeiraria e Soldagem das Adaptações Definidas pela Engenharia de Produto
P_{jp}	Prazo para Jato e Pintura
P_{ua}	Prazo para Usinagem das Adaptações Definidas pela Engenharia de Produto
P_{cqs}	Prazo para Qualidade Final - Aprovação para Montagem

Fonte: Desenvolvido pelo autor

A quarta equação (equação para avaliação de prazos para o grupo B definido no Quadro 10) é composta por 8 variáveis que representam os prazos necessários para realização das operações definidas pela Engenharia de Produto e por Métodos & Processos. A unidade utilizada é “semana” e deve ser considerada para todo o cálculo. As Equações de prazos são formatadas como uma somatória simples e estão representadas a seguir. As definições das variáveis estão definidas no Quadro 10.

Assim como para a avaliação de Custos de Produção, para os Prazos de Fornecimento, caso não sejam necessárias operações de adaptação, estes prazos devem ser considerados como “zero”. Estas variáveis são P_{ea} ; P_{fa} e P_{ua} .

Para efeito de prazos de Controle de Qualidade devem ser considerados que serão gastos 40% do tempo destinado às verificações de sanidade das estruturas escolhidas para reutilização, 30% do tempo de destinados às inspeções de processos de fabricação das adaptações, quando houver, e 30% do tempo para inspeção na aprovação final do componente. Se não existirem adaptações a serem implementadas o percentual de inspeções para avaliar estas operações deverá ser desconsiderado, diminuindo o prazo destinado ao Controle de Qualidade.

Equação 4:

B) Projeto com Reutilização de Componentes

$$\text{Prazo de Fornecimento (B)} = \sum_{n=1}^8 (P_n) \quad \text{Eq. 4}$$

Tanto na formatação de Custos de Produção quanto na avaliação de Prazos de Fornecimento existem diversas variantes que se comportam de maneira a atender aos pressupostos de cada usuário. Estas diferenças devem ser consideradas quando da aplicação dos algoritmos de comparação de Custos de Produção e de Prazos de Fornecimento.

5.2 RESULTADOS DA PORÇÃO QUANTITATIVA DA PESQUISA

Na porção quantitativa dessa pesquisa foram elaborados dois algoritmos constituídos de 4 equações para avaliar as variáveis envolvidas na fabricação de máquinas-ferramenta, na maneira como é descrito nos objetivos deste estudo. Estas formulações têm como variáveis de produção aquelas usualmente pertencentes a configuração de Custos de Produção e de Prazos de Fornecimento e são colocadas em confronto comparativo entre um modelo e outro.

Os modelos citados foram desenvolvidos para duas situações aqui descritas e se apresentam como: Projeto e Fabricação de Equipamento Novo sem base de referência anterior, e Projeto e Fabricação de Equipamento Novo com a utilização de estruturas usadas de máquinas-ferramenta existentes que servirão como base de referência para o projeto. Quando necessário, estas estruturas serão acrescidas das devidas adaptações necessárias para esse novo projeto. Estas duas situações estão identificadas na Figura 9 da seção 5.1.2 – Desenvolvimento de Algoritmos de Comparação de Custos de Produção e Figura 10 da seção 5.1.3 – Desenvolvimento de Algoritmos de Comparação de Prazos de Fabricação, e estão identificadas como: A) Projeto a partir do “ZERO” e B) Reutilização de Componentes.

Apresenta-se, portanto uma configuração para Custos de Produção com duas situações, sendo uma com <Projeto a partir do “ZERO”>, comparando-se com as variáveis oriundas do modelo com <Reutilização de Componentes>. Da mesma forma

vão ser apresentadas equações comparativas para Prazos de Fabricação, também verificados sob as mesmas duas situações aqui mencionadas.

5.2.1 Avaliação de Custos de Produção

As variáveis que interferem nos Custos de Produção, como descrito no item 5.2, estão discriminadas no Quadro 7 – Definições dos Indicadores de Variáveis de Custos de Produção para o Grupo A, apresentado na seção 5.1.2 - Avaliação de Custos de Produção. Estas variáveis representam as operações de produção necessárias para a realização das tarefas de projeto e fabricação de estruturas de máquinas-ferramenta a partir do “zero” – Grupo A. Estes componentes estruturais virão incorporar o produto final a ser desenvolvido. Estes componentes estão limitados às estruturas que compõe o conjunto final da máquina ferramenta a que se destina este trabalho, conforme já citado no Capítulo 1 desta pesquisa.

Da mesma forma, as variáveis que interferem nos Custos de Produção, para a situação em que se pretende reutilizar componentes existentes em máquinas semelhantes, estão indicadas no Quadro 8 – Definições dos Indicadores das Variáveis de Custos de Produção para o Grupo B, também apresentado na seção 5.1.2 do Capítulo 5. Estas variáveis representam as operações de produção necessárias para reutilização destes componentes, incluindo aqui, caso seja necessário, o desenvolvimento de adaptações que se façam necessárias para o aproveitamento das estruturas usadas.

Pretende-se que os algoritmos aqui apresentados sejam aplicáveis a quaisquer tipos de máquinas-ferramenta com características sob encomenda, também conforme descrito anteriormente.

5.2.2 Avaliação de Prazos de Fornecimento

Da mesma forma que apresentado pelo item 5.2.1, aqui, para a avaliação de Prazos de Fornecimento serão considerados duas situações: A) Projeto a partir do “ZERO” e B) Projeto com Reutilização de Componentes.

Nos algoritmos desenvolvidos, os prazos estão representados em semanas. Para unificar as unidades de tempo, deve-se considerar que uma semana fica representada por 5 dias de trabalho para efeito de somatória de tempo total de uma

operação discriminada. Desta forma a unidade base do cálculo a ser utilizada nos algoritmos deve ser “semana”.

Não são considerados como dia trabalhado, uma quantidade de horas dispendidas em determinada operação que atinja o limite de até 4 horas. Este critério se deve ao fato da baixa significância deste número de horas diante do tempo total de operação para este tipo de produto. Os prazos naturais de projeto e fabricação tem, em média duração de meses, o que caracteriza esta atividade como sendo de longo “*lead time*”.

No evento da utilização dos algoritmos apresentados, deve ser considerado um planejamento de produção que se aproxime da realidade do desenvolvimento e fabricação de determinado equipamento. Olhando para o fluxo de atividades a serem desempenhadas, a programação de produção deve admitir que os tempos de espera, ou intervalos entre as operações necessárias para realização das tarefas estabelecidas, ou ainda o tempo dispendido em operações sem agregação de valor tais como esperas, movimentação, etc., deverão ser levados em conta de maneira igual para as duas situações aqui representadas. Os tempos a serem considerados para as duas situações serão os mesmos, tanto para o Grupo A – Projeto a partir do “ZERO”, quanto para o grupo B – Projeto com Reutilização de Componentes. Isto significa que estes tempos não interferem nos resultados obtidos através da aplicação dos algoritmos de prazos a que está submetido esta avaliação.

5.2.3 Considerações Gerais e Formatação dos Algoritmos

Para a formatação dos Custos de Produção e na avaliação dos Prazos de Fornecimento existem diversas variantes que se comportam de maneira distintas, de forma a atender aos pressupostos de cada usuário. Estas diferenças devem ser consideradas quando da aplicação do algoritmo de comparação de Custos de Produção e de Prazos de Fornecimento. As diferenças mencionadas têm como origem a caracterização das estruturas de custos que se pode verificar entre diversas empresas. Estas diferenças são resultado das práticas diversas que cada empresa assume a partir de suas necessidades de avaliação dos Custos de Produção e dos conceitos internalizados pela administração, que enxerga de maneira distinta as necessidades para cada processo dentro do fluxo produtivo. Normalmente, estes conceitos são vinculados a noção de operações com ou sem agregação de valor, que podem variar diante de diferentes interpretações.

As equações que são utilizadas na próxima seção 5.2.4 - Análise de Sensibilidade, estão reapresentadas aqui para facilitar a visualização na sua aplicação no estudo de caso a seguir.

Algoritmos Comparativos de Custos de Produção

A) Projeto a partir do “zero”

$$\text{Custo de Produção (A)} = \sum_{n=1}^6 (i_n \times CH_n) + C_{su} + C_{cs} \quad \text{Eq. 1}$$

B) Projeto com Reutilização de Componentes

$$\text{Custo de Produção (B)} = \sum_{n=1}^7 (i_n \times CH_n) + C_{10} \quad \text{Eq.2}$$

Algoritmos Comparativos de Prazos de Fornecimento

A) Projeto a partir do “ZERO”

$$\text{Prazo de Fornecimento (A)} = \sum_{n=1}^8 (P_n) \quad \text{Eq. 3}$$

B) Projeto com Reutilização de Componentes

$$\text{Prazo de Fornecimento (B)} = \sum_{n=1}^8 (P_n) \quad \text{Eq. 4}$$

Com o auxílio das equações agora apresentadas, será feito, na sequência, um estudo fictício de caso, baseado em dados estimados para componentes estruturais de prensas mecânicas para estampagem de peças de carroceria de veículos automotores, para avaliação do comportamento das variáveis aqui definidas com o objetivo de avaliar o comportamento destes dados quando aplicados aos algoritmos desenvolvidos.

5.2.4 Análise de Sensibilidade

Para efeito da análise de sensibilidade dos algoritmos desenvolvidos foi realizado um exercício com um grupo de estruturas de prensas mecânicas para estampagem de peças de carrocerias para veículos automotores. O primeiro exercício foi realizado com uma estrutura denominada “um par de Colunas”, que fazem parte

do conjunto de elementos estruturais que serve de sustentação dos sistemas de acionamento e outras unidades auxiliares, garantindo o funcionamento do processo de prensagem. Esta escolha deve-se ao fato de que este componente representa de forma bastante significativa um componente estrutural e que se apresenta na maioria das prensas de carroceria.

Para efeito de aplicação dos algoritmos foram considerados dados de horas de engenharia e fabricação destas estruturas, assim como de prazos para realização das operações pertinentes aos processos a serem utilizados na produção. Estes dados são estimados e foram fornecidos pelos especialistas entrevistados na porção qualitativa deste estudo. São dados genéricos e servem somente para a avaliação do nível de sensibilidade do sistema de cálculo.

A base deste estudo de sensibilidade refere-se a uma Prensa de Simples Ação de 1.000Ton de força de prensagem com uma área de mesa de 4,5m x 2,25m.

Foram realizados dois cenários para poder visualizar a variação dos resultados em relação aos valores utilizados.

5.2.4.1 Cálculo do Custo de Produção para Grupos A e B – Cenários 1 e 2

- Simulação para o Cenário 1

- Cálculo dos Custos de Produção para Projeto a partir do “ZERO” (A) – Cenário 1

A quantidade de horas de fabricação (caldeiraria e soldagem) foram consideradas a partir do indicador do número de horas por tonelada (Horas/Ton) da peça a ser produzida. Para um peso de 35ton para o par de colunas (17,5ton cada) e um índice de 45h/ton, foi considerado um total de 1575h de fabricação – Caldeiraria e Soldagem. Portanto o indicador “***i_f***” o valor a ser considerado é de 1.575 horas.

Foram consideradas 300 horas de Engenharia de Projetos – “***i_e***”, 75 horas de metodização – “***i_m***”, 120 horas de Controle de Qualidade – “***i_{cq}***”, subdividas conforme descrito no Capítulo 3 Metodologia – seção 3.3.2.1 – Premissas - Item b. 150 horas de jato + pintura – “***i_{jp}***” e 35 horas de Usinagem Pesada – “***i_u***”.

Para o Custo de Compra de Matéria Prima (***C_{su}***) foi considerado: Preço da chapa de aço comprada em usina – US\$ 1000,00/ton. Foi também considerado um

rendimento líquido de corte de 70%. Foi incluído uma taxa de administração de compras de 5%. Por fim foi considerado um custo de recebimento da matéria prima, de estocagem e de controle de qualidade de recebimento como sendo 4% do valor da compra. A taxa de câmbio utilizada foi de 1 US\$ = R\$5,20. Desta forma o “**C_{su}**” ficou em R\$ 258.367,00 por conjunto de colunas (um par).

Para o Custo de Consumíveis de Soldagem – (**C_{cs}**) (Eletrodos, Arames de Solda, Fluxo para Arco Submerso, Gases para Proteção do Arco Elétrico e para Corte, etc), foi considerado uma quantidade de material depositado equivalente a 7% o peso final do componente fabricado. Foi considerado, também um custo médio de R\$ 15,00/kg de material de consumo. Desta forma o Custo de Material de Consumo de Soldagem – “**C_{cs}**”, ficou em R\$ 36.750,00.

Foram considerados os seguintes Custos-Hora-Homem e Custos-Hora-Máquina para completar os dados necessários para aplicação na Equação 1.

Custo hora homem de Engenharia de Produto = R\$ 165,00/hora

Custo hora homem de Metodização = R\$ 125,00/hora

Custo hora homem de Fabricação (Caldeiraria + Soldagem) = R\$ 92,00

Custo Hora Homem de Controle de Qualidade = R\$ 120,00/hora

Custo Hora homem de Jato + Pintura = R\$ 68,00/hora

Custo hora máquina de Usinagem Pesada = R\$ 450,00/hora.

Para facilitar a utilização do algoritmo, foi desenvolvido a tabela resumo, a seguir, contendo os valores a serem aplicados na Equação 1.

Tabela 1: Resumo das Variáveis de Custos de Produção para Grupo A – Cenário 1

Grupo A (Cenário 1)		
Variável	Horas (h)	Custo
ie	300	CHHe = R\$ 165,00
im	75	CHHm = R\$ 125,00
if	1575	CHHf = R\$ 92,00
icq	120	CHHcq = R\$ 120,00
ijp	150	CHHjp = R\$ 68,00
iu	35	CHMu = R\$ 450,00
Csu	zero	R\$ 258.367,00
Ccs	zero	R\$ 36.750,00
<i>Legenda: Definições das Variáveis de Custos conforme Quadro 7</i>		

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

Aplicando o algoritmo descrito na Equação 1 temos como resultado:

A) Projeto a partir do “zero”

$$\text{Custo de Produção (A)} = \sum_{n=1}^6 (i_n \times CH_n) + C_{su} + C_{cs} \quad \text{Eq. 1}$$

Aplicando o algoritmo descrito na Equação 1 temos como resultado:

$$\text{Custo de Produção (Grupo A)} = \text{R\$ 539.242,00}$$

- Cálculo dos Custos de Produção para Projeto com Reutilização de Componentes

(B) – Cenário 1

Como critério de definição para horas de fabricação (**i_{fa}**) alocadas nas adaptações dos componentes a serem reutilizados, caso sejam necessárias, considerou-se 15% das horas gastas em uma peça nova. Portanto o indicador de horas de fabricação para adaptações é de 240h.

Foram consideradas 80 horas de Engenharia de Projetos – “**i_{ev}**” para verificação de Engenharia de Projetos, a serem aplicadas nas avaliações da

aplicabilidade dos componentes a serem reutilizados para assegurar que possam atender às necessidades e requisitos técnicos do equipamento novo a ser fabricado. 30 horas de metodização das eventuais adaptações – “**i_{ma}**”, 120 horas de Controle de Qualidade – “**i_{cq}**”, subdividas consideradas como 50% das horas para verificação da sanidade das peças a serem reutilizadas, 20% para verificações das adaptações requeridas e 30% para verificações finais para aprovações, 150 horas de jato + pintura – “**i_{jp}**” e 15 horas de Usinagem Pesada – “**i_{ua}**”.

Para a variável “Custos de Desmontagem, Remoção, Transporte e Limpeza (Denominada genericamente como Logística - **C_{lo}**), foi considerado um custo total de R\$ 70.000,00. Estes custos devem cobrir os gastos com mobilização das equipes de desmontagem e remoção das peças na origem, transporte para a fábrica onde será realizada a fabricação da máquina nova, a limpeza e o preparo para adaptações, quando necessárias.

Os custos-hora-homem (**CHH**) e custos-hora-máquina (**CHM**) são os mesmos que os utilizados para o item anterior - Cálculo do Projeto a partir do “zero” (A) – Cenário 1.

Para facilitar a utilização do algoritmo, foi desenvolvido a tabela resumo, a seguir, contendo os valores a serem aplicados na Equação 2.

Tabela 2: Resumo das Variáveis de Custos de Produção para Grupo B – Cenário 1

Grupo B (Cenário 1)		
Variável	Horas - (h)	Custo - (R\$)
iev	80	CHHe = R\$ 165,00
ima	30	CHHm = R\$ 125,00
ifa	240	CHHf = R\$ 92,00
iea	100	CHHe = R\$ 165,00
iua	15	CHMu = R\$ 450,00
ijp	150	CHHjp = R\$ 68,00
icq	120	CHHcq = R\$ 120,00
C1o	zero	R\$ 70.000,00
<i>Legenda: Definições das Variáveis de Custos conforme Quadro 8</i>		

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

B) Projeto com Reutilização de Componentes

$$\text{Custo de Produção (B)} = \sum_{n=1}^7 (i_n \times CH_n) + C_{1o} \quad \text{Eq.2}$$

Aplicando o algoritmo descrito na Equação 2 temos como resultado:

$$\text{Custo de Produção (Grupo B)} = \text{R\$ 156.880,00}$$

Para o cenário 1 a comparação entre os valores calculados fica:

$$\text{Custo de Produção (A)} \leftrightarrow \text{Custo de Produção (B)}$$

$$\text{R\$ 539.242,00} \leftrightarrow \text{R\$156.880,00}$$

O objetivo da análise de sensibilidade é testar as equações desenvolvidas e verificar se os resultados obtidos apresentam índices compatíveis com a realidade. Os dados admitidos têm como base valores médios de custo de produção e de prazos de fabricação e tendem a representar uma ordem de grandeza dessas variáveis

experimentadas na operação real. Fica claro que podem existir diferenças de custos e prazos apresentados entre empresas, mas o resultado deve demonstrar números consistentes com a realidade. O resultado deve servir para oferecer segurança na aplicação dos algoritmos apresentados, e uma vez feito um exercício com valores obtidos das estruturas de custos e de prazos reais, esses devem indicar na direção de uma tomada de decisão consciente em relação a utilização ou não de estruturas usadas em novos projetos, conforme sugerido nesta pesquisa.

Considerando os valores assumidos neste primeiro exercício, fica claro que a opção por utilizar estruturas existentes oferece um ganho bastante significativo quando comparado com a fabricação destes elementos como novos. Olhando para os valores apresentados a grande diferença está na compra de matéria prima que representa aproximadamente 50% do custo total do produto. Como resultado final, para este cenário (cenário 1), os resultados mostram que a utilização de componentes usados tem um custo de 30% do valor do grupo A.

- Simulação para o Cenário 2

Para o Grupo A – Projeto a partir do zero, considerou-se o resultado igual ao apresentado no Cenário 1, portanto:

Tabela 3: Tabela Resumo das Variáveis de Custos de Produção para Grupo A – Cenário 2

Grupo A (Cenário 1)		
Variável	Horas (h)	Custo
ie	300	CHHe = R\$ 165,00
im	75	CHHm = R\$ 125,00
if	1575	CHHf = R\$ 92,00
icq	120	CHHcq = R\$ 120,00
ijp	150	CHHjp = R\$ 68,00
iu	35	CHMu = R\$ 450,00
Csu	zero	R\$ 258.367,00
Ccs	zero	R\$ 36.750,00
<i>Legenda: Definições das Variáveis de Custos conforme Quadro 7</i>		

A) Projeto a partir do “zero”

$$\text{Custo de Produção (A)} = \sum_{n=1}^6 (i_n \times CH_n) + C_{su} + C_{cs} \quad \text{Eq. 1}$$

Desta maneira os resultados de Custos de Produção para o Grupo A no Cenário 2 assume o mesmo resultado adotado para o cenário 1.

Custo de Produção (Grupo A) = R\$ 539.242,00

Para o Grupo B – Projeto com Reutilização de Componentes foram considerados as horas em dobro das admitidas no Cenário 1, com exceção das horas de jato e pintura que foram consideradas como 1,5 vezes as horas utilizadas no Cenário 1. Foi também considerado um valor para a Logística – **C₁₀** como sendo 1,5 vezes o valor admitido no Cenário 1 (R\$ 105.000,00). Os dados para cálculo foram considerados conforme a tabela seguinte.

Tabela 4: Tabela Resumo das Variáveis de Custos de Produção para Grupo B – Cenário 2

Grupo B (Cenário 2)		
Variável	Horas - (h)	Custo - (R\$)
iev	160	CHHe = R\$ 165,00
ima	60	CHHm = R\$ 125,00
ifa	480	CHHf = 92,00
iea	200	CHHe = R\$ 165,00
iua	30	CHMu = R\$ 450,00
ijp	225	CHHjp = R\$ 68,00
icq	240	CHHcq = R\$ 120,00
Clo	zero	R\$ 105.000,00
Legenda: Definições das Variáveis de Custos conforme Quadro 8		

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

B) Projeto com Reutilização de Componentes

$$\text{Custo de Produção (B)} = \sum_{n=1}^7 (i_n \times CH_n) + C_{10} \quad \text{Eq.2}$$

Desta maneira, o Custo de Produção, para o cenário 2, para a alternativa descrita no Grupo B, fica:

$$\text{Custo de Produção (Grupo B)} = \text{R\$ 273.660,00}$$

Para o cenário 2 a comparação entre os valores calculados fica:

$$\text{Custo de Produção (A)} \leftrightarrow \text{Custo de Produção (B)}$$

$$\text{R\$ 539.242,00} \leftrightarrow \text{R\$ 273.660,00}$$

Com a intenção de analisar a sensibilidade numérica das relações entre as duas situações apresentadas, foi desenvolvido um segundo cenário com valores para o grupo B majorados conforme explanado anteriormente nesta subseção. Mesmo apresentando valores sobre admitidos, para o grupo B o resultado ainda se mostra francamente favorável a utilização de componentes estruturais usados. Este resultado, aqui apresentado demonstra esta tendência.

5.2.4.2 Cálculo do Prazo de Fornecimento para os Grupos A e B

O cálculo das variáveis de prazos de fornecimento foi simulado somente para cenário único. As características das variáveis de prazo que reproduzem a realidade dos prazos de produção e que interferem no prazo final de fornecimento apresentam variações pequenas e oferecem possibilidades de controle e planejamento mais consistentes considerando-se as diferenças entre as possíveis empresas envolvidas no desenvolvimento do projeto e fabricação para os dois Grupos (A e B) estudados. A unidade de tempo utilizada na avaliação dos prazos de fornecimento através da utilização dos algoritmos é “semana”.

- Cálculo de Prazos de Fornecimento para Projeto a partir do “ZERO” (A)

Tabela 5: Resumo das Variáveis de Prazo de Fornecimento para Grupo A

Grupo A (Cenário 1 e 2)	
Variável	Prazo (Semana)
P_e	6
P_{su}	10
P_m	2
P_f	4
P_{cq}	1
P_{jp}	1
P_u	1
P_{cqf}	1
<i>Legenda: Definições das Variáveis de Prazos conforme Quadro 9</i>	

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

A) Projeto a partir do “ZERO”

$$\text{Prazo de Fornecimento (A)} = \sum_{n=1}^8 (P_n) \quad \text{Eq. 3}$$

Aplicando o algoritmo descrito na Equação 3, temos como resultado:

Prazo de Fornecimento (Grupo A) = 26 semanas

- Cálculo de Prazos de Fornecimento para Projeto com Reutilização de Componentes (B)

Tabela 6: Tabela Resumo das Variáveis de Prazo de Fornecimento para Grupo B

Grupo B (Cenário 1 e 2)	
Variável	Prazo (Semana)
P_{ev}	2
P_{Lo}	7
P_{cqs}	1
P_{ea}	2
P_{fa}	2
P_{jp}	1
P_{ua}	1
P_{cqf}	1
<i>Legenda: Definições das Variáveis de Prazos conforme Quadro 10</i>	

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

B) Projeto com Reutilização de Componentes

$$\text{Prazo de Fornecimento (B)} = \sum_{n=1}^8 (P_n) \quad \text{Eq. 4}$$

Aplicando o algoritmo descrito na Equação 4, o resultado é:

Prazo de Fornecimento (Grupo B) = 17 semanas

- O resultado comparativo entre as duas situações apresentadas é:

Prazo de Fornecimento (A) ↔ Prazo de Fornecimento (B)

26 semanas ↔ 17 semanas

Da mesma maneira que comentado para a situação de custos de produção, os prazos de fornecimento também mostraram ganho significativos em *lead time*, o

que na prática representa um incentivo precioso na direção de admitir a utilização de elementos estruturais existentes. Um ganho de 9 semanas no prazo de entrega, representando em torno de 30% de redução no prazo do componente terá um impacto positivo na direção de uma tomada de decisão. Com toda certeza, este ganho deverá ser muito bem apreciado. Via de regra os prazos de fornecimento carregam em seu bojo consequências representativas valiosas tanto para o fabricante do equipamento em questão quanto para o usuário. Estes fatores serão explorados de forma detalhada nas conclusões da pesquisa a serem apresentadas adiante.

6 DISCUSSÕES

Olhando para o universo de máquinas-ferramenta de grande porte, essas apresentam características típicas que são consideradas no âmbito dessa pesquisa. Entre essas características ficam em evidência o fato de que, corriqueiramente, estas máquinas são projetadas e fabricadas sob encomenda e, portanto, concebidas como sendo *Taylor Made* e consideradas como ETO's. Esta característica representa um projeto único desenvolvido a partir de especificações especialmente definidas para o produto em questão, tendo, portanto, um alto índice de customização.

Conforme Li et al. (2017), máquinas-ferramenta de grande porte são produtos que consomem grande quantidade de recursos naturais. Como exemplo, as estruturas em geral são peças obtidas a partir de fundidos em aço ou ferro fundido, ou ainda fabricados utilizando chapas de aço estrutural consumindo, portanto, grandes quantidades de matérias prima. Olhando sob o ponto de vista da composição dos materiais utilizados no produto, as estruturas representam, entre 60% e 70% em peso da máquina ferramenta (LI et al., 2017).

Para o caso da remanufatura, considerando a necessidade da estabilidade estática e dinâmica dos elementos estruturais candidatos a reutilização, estes apresentam-se, geralmente, em condições desconhecidas (DARABĂ, 2014). Antes do início do processo de remanufatura, os efeitos das reações de apoio e seus consequentes momentos gerados como consequência da operação, quando em serviço, sobre as estruturas reutilizadas, devem ser conhecidos (DARABĂ, 2014).

Nesta pesquisa, tendo em vista a Revisão da Literatura levada a cabo, e após a seleção dos artigos referenciados ao tema de remanufatura, os artigos selecionados foram agrupados em três blocos distintos por assunto. Sob o ponto de vista da caracterização da pesquisa, não foram identificados temas que atendessem o objetivo principal deste estudo. Este objetivo é apresentado como avaliação da viabilidade técnica, econômica e comercial do reuso de estruturas usadas em novos projetos, obedecendo aos preceitos de uma atividade ambientalmente correta.

Em consonância com este objetivo, foi desenvolvido uma porção qualitativa deste estudo utilizando-se de um conjunto de entrevistas com especialistas para a definição do objetivo proposto aqui. Para esta definição são agora analisados os resultados das entrevistas e colocados em confronto com os assuntos explorados nos artigos selecionados por meio da revisão da literatura. Assim como na seleção de

artigos oriundos da revisão da literatura, a porção qualitativa da pesquisa acessou, por meio das entrevistas já citadas, três áreas de interesse alinhadas com foco no atendimento do objetivo do estudo, também já mencionado aqui.

6.1 DISCUSSÃO SOBRE DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS PARA REMANUFATURA

Como primeiro tema da pesquisa qualitativa, foi desenvolvido o assunto de Desenvolvimento de Projetos para Remanufatura. As questões apresentadas nas entrevistas têm como princípio o esclarecimento, por parte dos respondentes, de opiniões desses relativas a sustentabilidade, a possibilidade de reuso de elementos estruturais oriundos de equipamentos em final de vida útil em novos projetos e sua pertinência em relação ao desempenho técnico como parte de um equipamento novo.

Como resultado, a maioria dos respondentes consideram como viável a reutilização dos componentes usados, desde que tomadas as devidas ações para garantir um resultado final positivo relativo ao equipamento novo fornecido, caracterizando como passível de sua aplicação nestes novos equipamentos. Dentro das respostas inclui-se o desempenho em relação as funções específicas a serem oferecidas para o usuário, a manutenção do desempenho operacional, a manutenção da vida útil como atributo característico de uma máquina nova e a equiparação das vantagens técnicas em relação a um projeto convencional, sem a imposição de restrições técnicas para os produtos que se utilizarem desta solução.

Para efeito de comparação, avaliando, agora, o conjunto de artigos selecionados pela revisão da literatura, o primeiro bloco de artigos dedicado a Projetos de Desenvolvimento para Remanufatura é composto por 8 artigos que exploram as diversas possibilidades de desenvolvimento de projetos de máquinas-ferramenta com a utilização de conceitos de remanufatura. Entre esses artigos aparecem discussões de como pode ser feito a reciclagem de componentes mecânicos, explorando diversas alternativas de reuso de componentes, sem, no entanto, citar a reutilização de estruturas existentes e nem sua aplicação em novos projetos de equipamentos desenvolvidos sob encomenda com características de produtos sob encomenda (CONG *et al.*, 2022; WANG *et al.*, 2019; CONG *et al.*, 2017).

Realizar uma modernização de máquinas-ferramenta ainda em serviço é uma outra possibilidade apresentada, com o objetivo de aumentar sua performance (DU *et*

al., 2022). Outros três artigos sugerem o desenvolvimento de projetos com o viés de facilitação do produto na desmontagem para viabilizar uma futura remanufatura no final de sua vida útil (WANG *et al.*, 2014; HATCHER *et al.*, 2013; ZWOLINSKI *et al.*, 2006), assim como projetos configurados com foco na otimização e standardização de suas funções operacionais (DU *et al.*, 2013).

Olhando para esse bloco, nenhum dos artigos citados se refere a utilização de elementos estruturais em novos projetos, cujos temas estão citados no início desta seção.

6.2 DISCUSSÃO SOBRE CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE DE NEGÓCIOS (ETO – ENGINEERING-TO-ORDER)

Como continuidade da pesquisa qualitativa, foi aplicado um questionário relacionado a temas de Caracterização do Ambiente de Negócios onde são discutidos aspectos comerciais vinculados ao assunto tema deste trabalho. Além do item sustentabilidade, comum aos três grupos de assuntos, este grupo discute as caracterizações comerciais para os equipamentos submetidos a processos de remanufatura.

Nas entrevistas são explorados assuntos como percepção do mercado quando da reutilização de estruturas usados em novos projetos, o impacto da consciência ambiental que o mercado apresenta, o aspecto econômico de um eventual repasse dos ganhos de custos gerados pelo reuso de elementos estruturais existentes, assim como ganhos em prazo de fornecimento, o estabelecimento de garantias extras para cobrir riscos até então inexistentes e a utilização de equipamentos disponíveis para serem endereçados para remanufatura, dentro do escopo previsto neste trabalho, como incentivo adicional para uma tomada de decisão na direção da remanufatura.

Em linhas gerais as opiniões sobre conceitos de sustentabilidade apresentam grande aceitação por parte do mercado, conforme afirmado pelas respostas dos especialistas. Quanto a aceitação do advento da remanufatura o mercado, aparentemente, não tem uma opinião definida sobre o assunto, mas também não demonstrou aversão à ideia. Caso sejam aceitos projetos que contemplem o reuso de elementos estruturais usados, os requisitos de garantia de desempenho e de

confiabilidade devem ser aplicados de forma específica. Os repasses de ganhos de custos e prazos são vistos como uma alavanca na direção da aceitação do proposto.

Comparando-se os resultados da pesquisa realizada com especialistas na área comercial com os artigos selecionados, contendo 5 artigos, tem como referência a Caracterização do Ambiente de Negócios no qual o objeto desta pesquisa está fundamentado.

Um artigo apresenta estudos que definem aspectos ambientais vinculados à fabricação de máquinas-ferramenta em um ambiente de remanufatura (SONG *et al.*, 2023). Outros artigos estão representados por estudos de análise de remanufaturabilidade, e da eficácia da implantação de uma remanufatura ágil voltada para estruturas organizacionais dinâmicas, assim como baseado em famílias de produtos desenvolvidos a partir de plataformas únicas (JIAO *et al.*, 2007; DU *et al.*, 2012; GUNASEKARAN, 2010). Por fim, neste bloco um estudo via uma pesquisa tipo *survey*, analisa uma estrutura de decisão para remanufatura de componentes automobilísticos usados no mercado pós-venda (SUBRAMONIAM *et al.*, 2010).

Da mesma forma que no bloco anterior, esse grupo não apresenta nenhuma aderência ao tema de reutilização de elementos estruturais usados em novos projetos.

6.3 DISCUSSÃO SOBRE PROCESSOS DE REMANUFATURA DE MÁQUINAS-FERRAMENTA

Por fim o bloco que analisa o aspecto de fabricação dos equipamentos submetidos a processos de reutilização de elementos estruturais em novos equipamentos. Este bloco inclui a cadeia de suprimentos, a capacidade técnica do departamento de Métodos e Processos em definir as condições de fabricação, a área de Planejamento em absorver as características específicas desta proposição, a expertise da Fabricação em atender os requisitos técnicos e sua capacidade operacional em desempenhar as funções necessárias à obtenção do produto. Finalmente a capacitação técnica e operacional do Controle de Qualidade em realizar todas as verificações de conformidade estabelecidas pelo Projeto para o completo atendimento dos requisitos e atributos do produto fabricado, atendendo as expectativas dos clientes envolvidos.

As respostas dos especialistas demonstram claramente a completa aptidão das áreas envolvidas neste bloco na direção do atendimento destas atribuições,

estabelecendo um regime de confiança onde o especificado pela Engenharia de Produto, o planejado e metodizado pelo possam ser devidamente atendidos pela Fabricação, fechando desta maneira o ciclo de Produção.

No que diz respeito aos artigos selecionados pela revisão da literatura, o terceiro bloco apresenta 9 artigos que dizem respeito a Processos para Remanufatura de Máquinas-Ferramenta. Neste bloco estão localizados artigos voltados para discussões sobre processos de produção e sugerem estudos de desenvolvimento de processos de remanufatura para equipamentos seriados ou as denominadas máquinas de catálogo, o que foge dos objetivos da pesquisa original (ZHANG *et al.*, 2021; LING & HE, 2019).

Discute também a importância de uma rede logística desenvolvida para captação dos equipamentos a serem direcionados para remanufatura (JIANG *et al.*, 2017). Estão expostos artigos que endereçam a questão da consciência ambiental, e discutem a quantidade de recursos naturais utilizados na obtenção de peças e componentes para máquinas-ferramenta (WANG *et al.*, 2017; ILGIN & GUPTA, 2010). Apresentam-se também artigos baseados em revisão da literatura associada a necessidades de futuras pesquisas para fatores estratégicos de pós-venda no mercado automotivo em casos de remanufatura (KULAK *et al.*, 2010; SUBRAMONIAM *et al.*, 2009).

Os dois últimos artigos exploram medidas de sustentabilidade na área social e definem diretrizes que oferecem apoio a uma manufatura sustentável (HUTCHINS & SUTHERLAND, 2008; IJOMAH *et al.*, 2007).

Fica estabelecido que, apesar dos artigos acessados terem uma ligação sólida com conceitos de remanufatura associados a uma economia circular e com viés claramente voltado para o desenvolvimento de atividades sustentáveis, nenhum dos artigos selecionados abrange os conceitos principais desta pesquisa, qual sejam, a possibilidade de reutilização de elementos estruturais em novos projetos de Máquinas-Ferramenta.

Sob o ponto de vista da porção qualitativa da pesquisa, as entrevistas realizadas com especialistas demonstraram a viabilidade técnica da reutilização destes elementos estruturais em novos projetos. Esta viabilidade está demonstrada nas respostas específicas do questionário submetido aos especialistas. A tabela de respostas referente a Engenharia de Produto está colocada no Quadro 9 da pesquisa.

Quanto ao aspecto comercial fica explicitado que, uma vez atendido as condições de desempenho, de suporte de uma garantia condizente com o equipamento apresentado e de vantagens em custo e prazos de fornecimento, o mercado deve aceitar estas possibilidades. A tabela de respostas referente à Área Comercial está colocada no Quadro 10 da pesquisa.

Por parte da Área de Fabricação não ficou demonstrado limitação operacional para desempenhar as tarefas características de uma remanufatura para o caso específico de verificações, utilização e possíveis adaptações das estruturas usadas a serem aplicadas em novos projetos.

Dessa forma fica claro a viabilidade de reuso destes componentes em projetos novos, garantindo sua aplicabilidade técnica, comercial e operacional na fabricação de novos equipamentos, utilizando-se desta alternativa. A tabela de respostas referente à Fabricação está colocada no Quadro 11 da pesquisa.

6.4 CONTRIBUIÇÕES

Tendo em vista o Objetivo Geral apresentado no item 1.3.1, a principal contribuição desse trabalho é a definição de um sistema de análise e avaliação no sentido de caracterizar a possibilidade de utilização de componentes estruturais existentes oriundos de máquinas-ferramenta que tenham sua utilização descontinuada. Estes componentes tem como destino a sua inclusão em novos projetos de equipamentos semelhantes. Quando se confronta com os artigos selecionados pela revisão da literatura descrita no Cap. 2 não aparece nenhum estudo com este enfoque. Este sistema é composto por duas etapas principais. A primeira diz respeito a uma análise sobre a possibilidade de uso das estruturas citadas em novos projetos. Esta análise deve ser feita por especialistas que atuam nas áreas específicas do assunto a ser tratado.

Existem três aspectos cruciais a serem avaliados. O aspecto de definição de projeto, onde as estruturas serão aplicadas. As questões relevantes a este ponto estão colocadas no Apêndice A deste trabalho, e fazem parte dos questionamentos que devem ser feitos aos especialistas das áreas específicas envolvidas no novo projeto. Estas questões tratam dos itens a serem considerados e definidos pela Engenharia de Produto quando da elaboração do projeto base. A Engenharia de Produto deve se sentir confortável tecnicamente, confiando que, em se tomando a

decisão da utilização destes componentes em um novo projeto, este equipamento, quando fabricado e posto em operação, irá demonstrar a confiabilidade requerida. Deverá ter seu desempenho configurado de acordo com o especificado pelo cliente, apresentar sua função operacional compatível com o previsto pelo usuário e demonstrar a possível utilização de acordo com sua capacidade máxima prevista pelas boas práticas de engenharia.

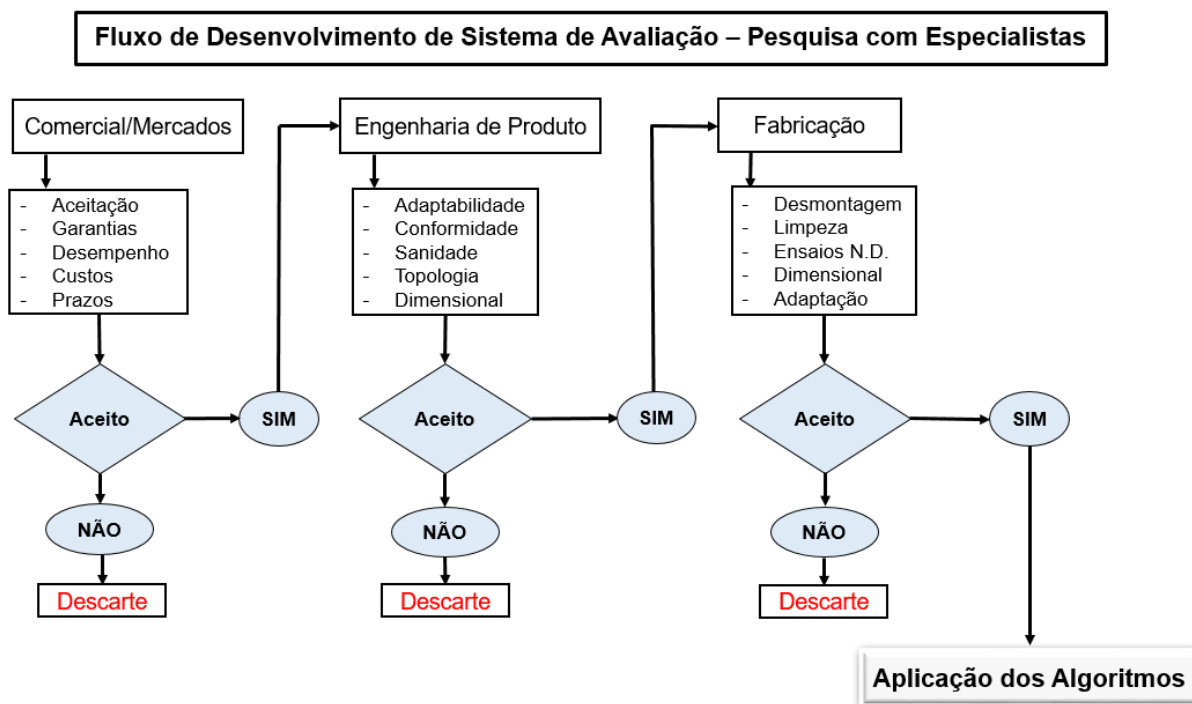
Após as definições assegurando a possibilidade de utilização de componentes estruturais existentes em novos projetos, por parte da Engenharia de Produto, é verificada a opinião do mercado em relação ao proposto. A área comercial do fabricante do equipamento em discussão (vendas), deve fazer um levantamento da opinião do mercado específico para o tipo de produto a ser ofertado e levantar dados de aceitação deste produto com a configuração que esta sendo sugerida por este trabalho. Idealmente deve ser avaliado o posicionamento do mercado em relação a garantia pós-venda oferecida pelo produto, e que esta seja compatível com o definido pela utilização de elementos existentes. Deve explicitar as vantagens relacionadas ao custo de fabricação comparativamente ao processo tradicional de um projeto a partir do “zero”, e ao eventual ganho no prazo de fornecimento para a situação proposta. As questões relativas a este tópico estão descritas no Apêndice B deste trabalho.

O aspecto voltado para a fabricação do produto em questão deve definir o que e como serão feitas as verificações de conformidade necessárias nos elementos estruturais a serem reaproveitados para garantir sua utilização em um eventual segundo ciclo de uso. Além das verificações de conformidade estrutural, deve ser possível realizar as adaptações previstas nestes elementos, para adequação ao novo projeto. Os departamentos de Métodos e Processos, Controle de Qualidade e da Fabricação propriamente dita devem estar aptos e se sentir seguros em desempenhar as operações previstas no intuito de atingirem o resultado esperado na reconfiguração dos elementos estruturais em discussão, para a perfeita adaptabilidade deste componentes no novo projeto. Estas verificações necessárias estão demonstradas no Apêndice C deste trabalho, servindo como base de análise por parte dos especialistas consultados.

De acordo com a Figura 11, a seguir, é demonstrado a sequência de atividades referentes a primeira etapa define o modelo para um sistema de análise e

avaliação para utilização ou não de elementos estruturais existentes para serem utilizados em novos projetos de máquinas-ferramenta.

Figura 11 – Modelo de Fluxo de Desenvolvimento – Pesquisa com Especialistas



Fonte: Desenvolvido pelo Autor

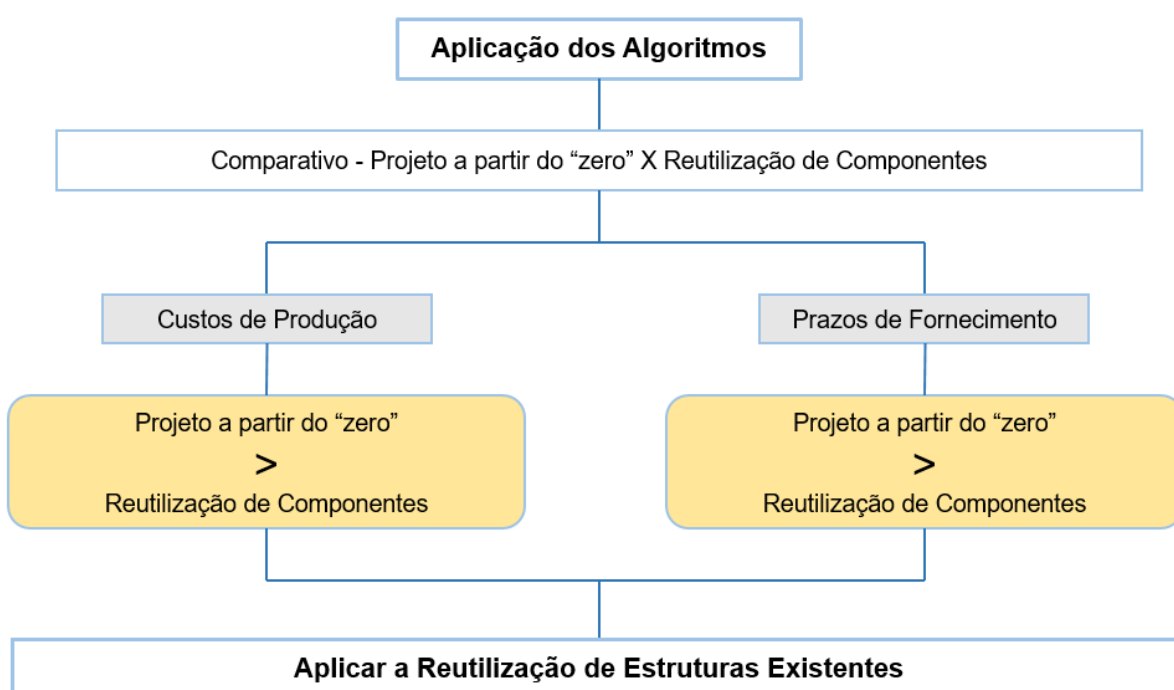
Após estes levantamentos e ficando caracterizada a possibilidade de utilização de elementos estruturais existentes, conforme a opinião levantada junto a especialistas das áreas afins para o estudo, a segunda etapa diz respeito ao cálculo comparativo de Custos de Produção e de Prazos de Fornecimento. Neste caso deve-se valer da porção quantitativa da pesquisa, via algoritmos desenvolvidos para tanto.

Os algoritmos apresentados demonstraram-se úteis quando alimentados com as variáveis representativas das condições propostas. As quatro equações desenvolvidas mostraram-se aplicáveis e foram testadas por meio de um estudo de caso. Os resultados concluem que as respostas perseguidas para uma tomada de decisão, ficam baseadas em dados facilmente identificáveis como válidos. Deve ficar claro que os dados inseridos nas equações apresentadas representem a realidade da contabilização de custos e prazos de cada empresa usuária deste sistema. É notório que existam diferenças de conceitualização entre diversas empresas e que este fato representa a liberdade com que estas empresas os assumem como praticáveis e úteis para a uma boa administração do processo produtivo. Alguns exemplo destas

diferenças estão descritas no Cap. 5, itens 5.1.2, nas observações colocadas em cada modelo de cálculo.

Estas condições direcionam a utilização destes algoritmos garantindo a sua utilização com segurança e confiabilidade, ficando por conta dos tomadores de decisão assumirem uma posição clara e segura. A seguir, a Figura 12 apresenta o fluxo de informações a serem obtidas a partir das equações representativas das variáveis da operação, que orientam a tomada de decisão para implementação da proposta colocada nesse trabalho.

Figura 12- Cálculo das Variáveis de Operações – Aplicação dos Algoritmos



Fonte – Desenvolvido pelo Autor

Uma vez completado o ciclo de pesquisa, pode ser assumido uma posição de utilização ou não da solução de utilização de elementos estruturais existentes em novos projetos proposto por esse estudo, usando como base os resultados das etapas de análise qualitativa e avaliação quantitativa aqui apresentados. Fica assim definido como avaliar a viabilidade de reaproveitamento de componentes estruturais existentes na fabricação de novas prensas de carroceria. Dessa forma, fica respondida a pergunta de pesquisa.

7 CONCLUSÕES

Os estudos selecionados pela revisão da literatura apresentam diversos aspectos relativos a remanufatura de máquinas-ferramenta. Porém, nenhum deles demonstra uma abordagem metodológica que possa orientar uma tomada de decisão de reutilização de componentes estruturais existentes. Todos os artigos pesquisados referem-se a vários aspectos de uma remanufatura. Nenhum deles envolve um projeto novo com base no aproveitamento de peças estruturais existentes. Não foi encontrada nenhuma tratativa que dispendesse atenção para o equacionamento das variáveis de custo de produção e de prazo de fornecimento que pudesse orientar os tomadores de decisão na direção correta no sentido de implementar o uso de elementos estruturais existentes em máquinas-ferramentas descontinuadas de serviço para serem reutilizadas em novos projetos. Da mesma forma, não foi identificada nenhuma discussão envolvendo especialistas em projeto, fabricação e comercialização de máquinas ferramentas com a reutilização de componentes estruturais existentes como base de um novo projeto.

A opinião de especialistas, apresentada aqui, assume um aspecto de vital importância na decisão de implementar ou não a solução proposta e confere ao estudo uma característica a ser considerada. Foram consideradas, não só as circunstâncias de Projeto de Produto, mas também aspectos comportamentais de mercado, com suas nuances, e também o necessário envolvimento da fabricação do produto projetado.

A partir do desenvolvimento dos algoritmos citados, este trabalho oferece uma sequência de equações que permite uma tomada de decisão embasada em resultados palpáveis representados numericamente e revestidos de uma confiabilidade a toda prova. O ineditismo e a originalidade dos algoritmos propostos representam um acréscimo valioso na eventual aplicação da possibilidade de reutilização de componentes existentes, estando completamente alinhados com os pressupostos de uma Economia Circular, contribuindo para um Desenvolvimento Sustentável. A partir da revisão da literatura, ficou evidenciado a falta de uma abordagem semelhante a desenvolvida nesta pesquisa.

Para os objetivos deste estudo, os resultados foram plenamente atingidos. A porção qualitativa esclareceu as circunstâncias para aceitação da utilização de elementos estruturais existentes para serem incorporados a novos projetos, e, mais

do que isso, podem servir como base inicial para definição de um novo projeto a ser desenvolvido. Nas três áreas entrevistadas, cada uma destas com suas peculiaridades, procurou-se explorar circunstâncias típicas de cada área de atuação, cobrindo o escopo de projeto e fabricação, de modo a identificar dificuldades e barreiras que inviabilizassem a propositura inicial deste trabalho. As respostas recebidas apresentaram um resultado positivo, desde que se tomem os cuidados indicados pelas respostas recebidas, para contornar eventuais impedimentos ou dificuldades para implementação da sugestão proposta.

Na porção quantitativa da pesquisa, os algoritmos apresentados demonstraram-se úteis quando alimentados com as variáveis representativas das condições propostas. As quatro equações desenvolvidas mostraram-se aplicáveis e foram testadas por meio de um estudo de caso. Os resultados demonstraram que as respostas recolhidas servem para uma tomada de decisão e estão vinculadas a resultados facilmente identificáveis como válidos. Estes resultados indicam na direção de custos de produção e de prazos de fornecimento. As equações devem ser alimentadas com variáveis que demonstrem posições representativas da realidade de cada fabricante. Independentemente dos dados de entrada, os resultados devem ser considerados fidedignos e podem orientar na tomada de decisão na direção de implementar ou não a alternativa de utilização de elementos estruturais em novos projetos de máquinas-ferramenta. Os resultados obtidos demonstram-se concludentes para uma forma comparativa entre duas situações, e que são apresentadas de forma simples e direta, o que caracteriza a utilidade das equações apresentadas.

Estas condições direcionam a aplicação destes algoritmos garantindo a sua utilização com segurança e confiabilidade, ficando por conta, dos tomadores de decisão, assumirem uma posição clara e objetiva.

Este trabalho contribui para a teoria, envolvendo a opinião de especialistas nas áreas de projeto, comercial e de fabricação. Os resultados numéricos de custos de produção e de prazos de fabricação estão habilitados nas equações matemáticas que representam a conclusão esperada deste estudo na forma matemática de definição da estrutura de análise da possibilidade de avaliação do proposto. Também contribui com a possibilidade prática de comparação entre variáveis que devam ser levadas em consideração quando da tomada de decisão para o caso de reutilização

de componentes usados tanto para o fabricante quanto para o comprador/usuário do produto em questão. Os algoritmos apresentados direcionam para uma tomada de decisão baseada em resultados comprovados, onde todas as partes interessadas podem auferir ganhos econômicos, ambientais e sociais. Qualitativamente, as entrevistas trazer à luz aspectos da opinião de profissionais envolvidos diretamente neste mercado, colocando à disposição suas opiniões sobre o assunto tratado.

A possibilidade de reutilização destes componentes, quando decidido por sua implementação, deverá trazer ganhos referentes ao meio ambiente por inibir a geração de resíduos para descarte, economia de energia e contribuir para o controle e diminuição da poluição ambiental em geral. Entre as consequências positivas, encontram-se a melhoria do meio ambiente afetando a sociedade como um todo. Outra consequência positiva é a diminuição da utilização de recursos naturais, tanto na geração de energia utilizada na fabricação desses componentes quanto no consumo de materiais primas não renováveis.

Sob o ponto de vista tecnológico, abre-se uma oportunidade de desenvolvimento de projetos de máquinas-ferramenta com uma abordagem diferenciada em relação ao comumente praticado. Utilizando-se de conceitos de Economia Circular, e tendo um direcionamento de uma atividade caracterizada por um Desenvolvimento Sustentável, este trabalho apresenta conclusões que vem acrescentar ganhos para a sociedade como um todo. Da maneira como foi apresentado, o resultado fica limitado a aplicação exclusiva a projeto e fabricação de máquinas-ferramenta produzidas por encomenda com características de projeto customizado.

Como possibilidades futuras para novos estudos, podem ser desenvolvidos trabalhos com o mesmo foco e na mesma direção para máquinas-ferramentas seriadas, normalmente classificadas como produtos de catálogo. Dessa maneira aproveitar estruturas existentes de equipamentos descomissionados, invertendo-se a orientação de desenvolvimento de projetos de produtos, usando como ponto de partida os componentes estruturais citados, já mencionados. Neste caso pode ser desenvolvido um modelo de negócios de retorno do equipamento usado para o fabricante, modelo este já praticado em outros seguimentos da atividade industrial. Também podem ser desenvolvidos estudos para reaproveitamento de equipamentos industriais existentes com o mesmo enfoque que é colocado neste trabalho. Em

instalações de infraestrutura, existem diversas possibilidades de reutilização de componentes destinados ao descarte que, eventualmente podem ser reaproveitados em novos projetos. Na construção civil em geral, fica bastante simples analisar a possibilidade de aproveitamento da estrutura dos prédios destinados ao desmanche e estudar soluções de reaproveitamento, sem a necessidade de desmonte das edificações.

Pode-se afirmar que existem inúmeras oportunidades a serem exploradas. Que este trabalho sirva de inspiração para estas ações.

REFERÊNCIAS

- AKBAR, M.; IROHARA, T. Scheduling for Sustainable Manufacturing: A Review. **Journal of Cleaner Production**. Japan, v. 205, p. 866-883. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.clepro.2018.09.100>.
- ANDRUE, J. J. The Remanufacturing Process. **Internal Paper from Manchester Metropolitan University**. In Ijomah *et al*, 2007. United Kingdom, 1995.
- AVELLA J. R. Delphi Panels: Research Design, Procedures Advantages, and Challenges. **International Journal of Doctoral Studies**. USA, v. 11, p. 305-321. 2016. Disponível em: <https://www.informingscience.org/Publications/3561>.
- AWASTHI, A.; SAXENA, K. K.; ARUN, V. Sustainable and Smart Metal Forming Manufacturing Process. **Materials Today: Proceedings**. India, v. 44, p. 2069-2079. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.177>.
- BAKER, J.; LOVELL, K.; HARRIS, N. How Expert are the Experts? An Exploration of “Expert” within Delphi Panel Technique. **Nurse Researcher**, v. 14, n. 1, p. 59-71. 2006.
- BANAITE, D.; TAMOŠIŪNIENĖ, R. Sustainable Development: The Circular Economy Indicators’ Selection Model. **Journal of Security and Sustainability Issues**. Lithuania, v. 6, n.2. 2016. Disponível em: [https://dx.doi.org/10.9770/jssi.2016.6.2\(10\)](https://dx.doi.org/10.9770/jssi.2016.6.2(10)).
- BURTON, I. Our Common Future. The World Commission on Environment and Development. **Science and Policy for Sustainable Development**. v.29, p. 25-29.
- CAO, H.; DU, Y.; LIU, F. A Disassembly Capability Planning Model for the Make-to-Order Remanufacturing System. **Journal of Advanced Manufacturing Systems**. China, v.7, n. 2, p. 329-332. 2008.
- CAUCHICK MIGUEL, P. A.; SOUZA, R. **O Método de Estudo de Caso na Engenharia de Produção**. In: CAUCHICK MIGUEL, P.A.C. (Coord.). **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 2ª Edição. Brasil: Elsevier, 2012.
- CASSIA, A. R.; COSTA, I.; da SILVA, V. H. C.; OLIVEIRA NETO, G. C. Systematic Literature Review for the Development of a Conceptual Model on the Relationship between Knowledge Sharing, Information Technology Infrastructure and Innovative Capability. **Technology Analysis & Strategic Management**. Brazil, v. 32, n. 7, p. 801-821. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09537325.2020.1714026>.
- CHENG, O.; GUO, Y.; GU, P. A New Modularization Method of Heavy-Duty Machine Tool for Green Remanufacturing. Disponível em: <https://doi.org.ez345.periodicos.capes.gov.br/10.1177/0954406217752025>.
- CONG, L.; ZHAO, F.; SUTHERLAND, J. W. Product Redesign for Improved Value Recovery via Disassembly Bottleneck Identification and Removal. **Procedia CIRP**. USA, v. 61, p. 81-86. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.216>.
- CRESWELL, J. W. **Research Design – Qualitative, Quantitative and Mixed Method Approaches**. 3ª Edição, USA: SAGE, 2009.
- DALKEY, N. An Experimental Study of Group Opinion: The Delphi Method. **Futures**. USA. 1969.
- DANIYAN, I.; MPOFU, K.; RAMATSETSE, B.; GUPTA, M. Review of Life Cycle Models for Enhancing Machine Tools Sustainability: Lessons, Trends and Future Directions.

Heliyon. South África, v. 7, e06790. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06790>.

DARABĂ, D. Static and Dynamic Verification of Machine Tools Before Remanufacturing. **Applied Mechanics and Materials.** Romania, v. 656, p. 458-466, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.656.458>.

DING, Z.; JIANG, Z.; ZHANG, H.; CAI, W.; LIU, Y. An Integrated Decision-Making Method for Selecting Machine Tool Guideways Considering Remanufacturability. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing.** China, v. 33, n. 7, p. 686-700. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/0951192X.2018.1550680>.

DING, W.; SONG, Z.; DING, S. Investigation on Structural Mapping Laws of Sensitive Geometric Errors Oriented to Remanufacturing of Three-Axis Milling Machine Tools. **Machines.** China, v. 10, n. 341. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/machines10050341>.

DU, Y.; CAO, H.; LIU, F.; LI, C.; CHEN, X. An Integrated Method for Evaluating the Remanufacturability of Used Machine Tool. **Journal of Cleaner Production.** China, v. 20, p. 82-91. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.clepro.2011.08.016>.

DU, Y.; CAO, H.; CHEN, X.; WANG, B. Reuse-oriented Redesign Method of Used Products based on Axiomatic Design Theory and QFD. **Journal of Cleaner Production.** China, v. 39, p. 79-86. 2013. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1016/j.clepro.2012.08.032>.

DU, Y.; LIAO, L.; WANG, L. Failure Mode, Effects and Criticality Analysis of Remanufactured Machine Tools in Service. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing.** China, v.18, n. 3, p. 425-434. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12541-017-005-2>.

DU, Y.; WU, G.; TANG, Y.; CAO, H.; LIU, S. Reliability Allocation Method for Remanufactured Machine Tools based on Fuzzy Evaluation Importance and Failure Influence. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology.** China, v. 8, p. 1616-1628. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40684-020-00264-w>.

DU, Y.; ZHENG, Y.; WU, G.; TANG, Y. Decision-Making Method of Heavy-Duty Machine Tool Remanufacturing based on AHP-entropy Weight and Extension Theory. **Journal of Cleaner Production.** China, v. 252, 119607. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.clepro.2019.119607>.

DU, Y.; HE, G.; LI, B.; ZHOU, Z.; WU, G. In-Service Machine Tool Remanufacturing: A Sustainable Resource-Saving and High-Valued Recovery Approach. **Environment, Development and Sustainability.** China, v. 24, p. 1335-1358. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01499-6>.

DURAN, D. C.; ARTENE, A.; GOGAN, L. M.; DURAN, U. The Objectives of Sustainable Development – Ways to Achieve Welfare. **Procedia Economics and Finance.** Romania, v. 26, p. 812-817. 2015. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)00852-7](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)00852-7).

DURANCE, P.; GODET, M. Scenario Building: Uses and Abuses. **Technological Forecasting & Social Change.** France, v. 77, p. 1488-1492. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2010.06.007>.

EGUIA, I.; LOZANO, S.; RACERO, J.; GUERRERO, F. A Methodological Approach for designing and Sequencing Product Families in Reconfigurable Disassembly Systems.

Journal of Industrial Engineering and Management. Spain, v. 4, n. 3, p. 418-435. 2011. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.3926/jiem.2011.v4n3.p418-435>.

ELKINGTON, J.; Cannibals with Forks – The Triple Bottom Line of 21st Century Business. **Capstone Publishing Limited.** Oxford Center for Innovation. England, p. 20. 1999.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the Circular Economy.** v. 1, p. 22. UK, 2012.

FENG, C.; HUANG, S. The Analysis of Key Technologies for Sustainable Machine Tools Design. **Applied Science.** China, v.10, n. 731. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app10030731>.

GONG, Q.; XIONG, Y.; JIANG, Z.; ZHANG, X.; HU, M.; CAO, Z. Economic, Environmental and Social Benefits Analysis of Remanufacturing Strategies for Used Products. **Mathematics.** China, v. 10, 3929. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/math10213929>.

GUNASEKARAN, A. Agile Manufacturing: Enablers and an Implementation Framework. **International Journal of Production Research.** United Kingdom, v. 36, n. 5, p. 1223-1247. 1998. Published online: 2010. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1080/002075498193291>.

GUSTAVSSON, S-O. Flexibility and Productivity in Complex Production Processes. **International Journal of Production Research.** Sweden, v. 22, n. 5, p. 801-808. 2007. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1080/00207548408942500>.

HATCHER, G. D.; IJOMAH, W. L.; WINDMILL, J. F. C. Integrating Design for Remanufacture into the Design Process: The Operational Factors. **Journal of Cleaner Production.** United Kingdom, v. 39, p. 200-208. 2013. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1016/j.clepro.2012.08.015>.

HANSSON, F.; KEENEY, S.; McKENNA, H. Research Guidelines for the Delphi Technique Research. **Journal of Advanced Nursing.** v. 32, n. 4, p.1008-1015. 2000.

HOLLANDER, M. C.; BAKKER, C. A.; HULTINK, E. J. Product Design in a Circular Economy: Development of a Typology of Key Concepts and Terms. **Journal of Industrial Ecology.** Netherland, v. 21, n. 3, p. 517-525. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jiec.12610>.

HUTCHINS, M. J.; SUTHERLAND, J. W. An Exploration of Measures of Social Sustainability and their Application to Supply Chain Decisions. **Journal of Cleaner Production.** USA, v. 16, p. 1688-1698. 2008. Disponível em: <https://doi:10.1016/j.clepro.2008.06.001>.

IJOMAH, W. I.; McMAHON, C. A.; HAMMOND, G. P.; NEWMAN, S.T. Development of Design for Remanufacturing. Guidelines to Support Sustainable Manufacturing. **Robotics and Computer – Integrated Manufacturing.** United Kingdom, v. 23, p. 712-719, 2007. Disponível em: <https://doi:10.1016/j.rcim.2007.02.017>.

ILGIN, M. A.; GUPTA, S. M. Environmentally Conscious Manufacturing and Product Recovery (ECMPRO): A Review of the State of Art. **Journal of Environmental Management.** Turkey, v. 91, p. 563-591. 2010. Disponível em: <https://doi:10.1016/j.envman.2009.09.037>.

JIAO, J.; SIMPSON, T. W.; SIDDIQUE, Z. Product Family Design Platform-based Product Development: a State-of-the-art Review. **Journal of Intelligent**

Manufacturing. Singapore, v. 18, n. 1, p. 5-29. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10845-007-0003-2>.

JIANG, X.; SONG, B.; LI, L.; DAI, M.; ZHANG, H. The Customer Satisfaction-Oriented Planning Method for Redesign Parameters of Used Machine Tools. **International Journal of Production Research.** China, v.57, n.4, p. 1146-1160. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1502483>.

JIANG, X.; LI, J.; LU, Y.; TIAN, G. Design of Reverse Logistic Network for Remanufacturing Waste Machine Tools based on Multi-objective Gray Wolf Optimization Algorithm. **IEEE Access.** China, v. XX. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3011509>>.

KE, Q.; LU, Y.; SONG, S. A Design Method of Predecisional Remanufacturing based on Structural Similarity. **Procedia CIRP.** China, v. 61, p. 206-211. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.237>>.

KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. Conceptualizing the Circular Economy: An Analysis of 114 Definitions. **Resource, Conservation & Recycling.** Netherlands, v. 127, p.221-232. 2017. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>>.

KULAK, O.; CEBI, S.; KAHRAMAN, C. Application of Axiomatic Design Principles: A Literature Review. **Expert Systems with Applications.** Turkey, v. 37, p. 6705-6717. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.03.061>.

KUUSI, O. Expertise in the Future use of Generic Technologies: Epistemic and Methodological Considerations Concerning Delphi Studies. **Report for the Government Institute for Economic Research.** Finland, Report n. VATT 59. 1999.

LABUCAY, I. Is there a Smart Sustainability Transition in Manufacturing? Tracking Externalities in Machine Tools over Three Decades. **Sustainability.** Germany, v. 13, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/s13010101>>.

LEI B.; CHENG, G.; LÖWE, H.; WANG, X. Remanufacturing the Pinion: An Application of a New Design Method for Spiral Bevel Gear. **Advances in Mechanical Engineering.** China, v. 2014, n. 257581. 2014. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1155/2014/257581>.

LEWANDOWSKI, C. E.; JIAO, J. R.; JOHANNESSON, H. A Two-stage Model of Adaptable Product Platform for Engineering-to-order Configuration Design. **Journal of Engineering Design.** Sweden, v. 26, n. 7-9, p. 220-235. 2015. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1080/09544828.2015.1021305>.

LI, L.; LI, C.; MA, H.; TANG, Y. An Optimization Method for the Remanufacturing Dynamic Facility Layout Problem with Uncertainties. **Discrete Dynamics in Nature and Society.** China, v. 2015, n. 685408. 2014. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1155/2015/685408>.

LI, L.; LI, C.; LI, L.; TANG, Y.; YANG, Q. An Integrated Approach for Remanufacturing Job Shop Scheduling with Routing Alternatives. **Mathematical Biosciences and Engineering.** China, v.16, n. 4, p. 2063-2085. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3934/mbe.2019101>.

LI, S.; RAO, J.; LIN, G.; ZHANG, W.; LIU, D. Quantitative Evaluation of Heavy Duty Machine Tools Remanufacturing Based on Modified Catastrophe Progression Method. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.** China, v. 265, 012029, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/265/1/012029>.

- LIEDER, M.; RACHID, A. Toward Circular Economy Implementation: A Comprehensive Review in Context of Manufacturing Industry. **Journal of Cleaner Production**. Sweden, v. 115, p. 36-51. 2016. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1016/j.clepro.2015.12.042>.
- LINSTONE, H. A.; TUROFF, M. The Delphi Method: Techniques and Applications. Editors Addison-Wesley Publishing Co. Inc. 1975.
- LING, T.; HE, Y. The Remanufacturing Evaluation for Feasibility and Comprehensive Benefit of Retired Grinding Machine. **PLOS ONE**. China, v. 15 n. 6, e0234603. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234603>.
- LIU, D.; LIU, W.; XU, S.; JIANG, X.; LI, S.; WANG, Z. A Novel Method for Residual Life Assessment of Used Parts: A case Study of Used Lathe Spindles. **Environmental Science and Pollution Research**. China. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-18435-w>.
- LIU, L.; QIAN, J. Performance Analysis of and Test Research on Decommissioned Milling Machine Spindle after Repair. **Ferroelectrics**. China, v. 581, n. 1, p. 32-39. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00150193.2021.1906111>.
- LIU, L.; XUDONG, Y.; XIAOMING, L.; SHENLI, W.; BINFENG, H.; ZIMENG, Y.; YILEI, W. Research on the Friction and Wear Performance of Remanufactured Shafts Parts of Failed Machine Tools. **Ferroelectrics**. China, v. 595, p. 163-171. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00150193.2022.2079467>.
- LIU, C.; CHEN, J.; CAI, W. Data-Driven Remanufacturability Evaluation Method of Waste Parts. **IEEE Transaction on Industrial Informatics**. China, v. 18, n. 7. 2022. Disponível em: <https://doi.org/TII.2021.3118466>.
- LOO, R. The Delphi Method: A Powerful Tool for Strategic Management. **An International Journal of Police Strategies & Management**. Canada, v. 25, n. 4, p. 762-769. 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1118/1363951021045677>.
- LUND, B. D. Review of the Delphi Method In Library and Information Science Research. **Journal of Documentation**. USA, v. 76, n. 4, p. 929-960. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/JD-09-2019-0178>.
- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. Ed. Atlas S.A. 7ª Edição, Brasil. 2010.
- MELANDER, L. Scenario Development in Transport Studies: Methodological Considerations and Reflexions on Delphi Studies. **Futures**. Sweden, v. 96, p. 68-78. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.futures.2017.11.007>.
- MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J.; ALTMAN, D. G.; The PRISMA Group. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The Prisma Statement. **International Journal of Surgery**. Canada, v. 8, p. 336-341. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2010.02.007>.
- MUNASINGHE, M. Environmental Economics and Sustainable Development. **World Bank Publications**. 1993.
- NAKANO, D. N. **Métodos de Pesquisa Adotados na Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. In: MIGUEL, P.A. C. (Coord.). **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**.
- NIEUWENHUIS, P. Prerequisites for a Sustainable Car Industry: In Paper presented to the 1996 Greening of Industry Network Conference. Germany. 1996, p. 25.

NIEUWENHUIS, P.; WELLS, P. The All-Steel Car Body as a Cornerstone to the Foundation of the Mass Production Car Industry, Industrial and Corporate Change. **The Automotive Industry and Environment**. Wood Head Publishing, UK. 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/C2013-0-17843-9>.

OICA – INTERNATIONAL ORGANIZATION OF MOTOR VEHICLES MANUFACTURERS. Annual Report, 2023.

OLIVEIRA NETO, G. C.; PINTO, L. F. R.; AMORIM, M. P. C.; GIANNETTI, B.F.; ALMEIDA, C. M. V. B. A Framework of Actions for Strong Sustainability. **Journal of Cleaner Production**. Brazil, v. 196, p. 1629-1643. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.clepro.2018.06.067>.

ORSATO, R. J.; WELLS, P. U-turn: The Rise and Demise of the Automotive Industry. **Journal of Cleaner Production**. France, v. 15, p. 994-1006. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.clepro.2006.05.019>.

PALEA, V.; SANTHIÀ, C. The Financial Impact of Carbon Risk and Mitigation Strategies: Insights from the Automotive Industry. **Journal of Cleaner Production**. Italy, v. 344, p. 131001. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.clepro.2022.131001>.

PANCHAL, R; SINGH, A.; DIWAN, H. Does Circular Economy Performance Lead for Sustainable Development? – A Systematic Literature Review. **Journal of Environmental Management**. India, v. 293, p. 112811. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenuman.2021.112811>.

PAUL, J.; CRIADO, A.R. The Art of Writing Literature Review: What do we know and what do we need to know? **International Business Review**. Porto Rico, USA, v. 29, p.101-107. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.busrev.2020.101717>.

PASSIG, D. Imen-Delphi: A Delphi Variant Procedure for Emergence. **Human Organization**, v. 56, n. 1, p. 53-63. 1997.

PILL, J. The Delphi Method: Substance, Context, A Critique and an Annotated Bibliography. **Socio-Economic, Planning, Science**. Canada, v. 5, p. 57-71. 1971.

POIRIER, E. S. R. Slow Information In Theory and Practice: A Qualitative Exploration into the Implications of a Slow Perspective of Human Information Behaviour. **Doctoral Thesis, City University of London**. 2012. Disponível em: <https://openaccess.city.ac.uk/id/eprint/19825/>.

POIRIER, E. S. R.; ROBINSON, L. Slow Delphi: An Investigation into Information Behavior and the Slow Movement. **Journal of Information Science**. London United Kingdom, v. 40, n. 1, p. 88-96. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0165551513506360>.

PUOZA, J. C.; UBA, F. Modelling and Simulation of Surface Welding Remanufacturing for Tunnel Boring Machine Disc Cutter. **Welding International**. Ghana, v. 36, n. 2, p. 1-17. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09507116.2021.1973353>.

REIKE, D.; VERMEULEN, W. J. V.; WITJES, S. The Circular Economy: New or Refurbished as CE 3.0? – Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options. **Resource, Conservation & Recycling**. Netherlands. v. 135, p. 246-264. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.027>.

SAAVEDRA, Y. M. B.; IRITANI, D. R.; PAVAN, A. L. R.; OMETTO. Theoretical Contribution of Industrial Ecology to Circular Economy. **Journal of Cleaner Production**. Brazil. v. 170, p. 1514-1522. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.clepro.2017.09.260>.

SCHULER. **Metal Forming Handbook**: Springer, 1998. ISBN 3-540-61185-1 Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.

SIMPSON, T. W.; D'SOUZA, B. S. Assessing Variable Levels of Platform Commonality within a Product Family using a Multiobjective Genetic Algorithm. **Concurrent Engineering: Research and Application**. USA, v. 12, n. 2. Jun. 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1063293X04044383>.

SNYDER, H. Literature Review as a Research Methodology: An Overview and Guidelines. **Journal of Business Research**. Norway, v. 104, p. 333-339. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.busres.2019.07.039>.

SONG, B.; JIANG, X.; WANG, S.; LIU, Q.; YU, T. The Promotion and Application of Green Remanufacturing: A Case Study in a Machine Tool Plant. **Environmental Science and Pollution Research**. China, v. 30, 40870-40885. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24722-x>.

SOUZA, R. Case Research in Operations Management. **EDEN Doctoral Seminar on Research Methodology in Operations Management**. Belgium. 2005.

STEINHILPER, R. Recent Trend and Benefits of Remanufacturing: from Closed Loop Businesses to Synergetic Networks. **IEEE**. 2001. 0-7695-1266-6/01.

SUBRAMONIAN, R.; HUISINGH, D.; CHINNAM, R. B. Remanufacturing for the Automotive Aftermarket-strategic Factors: Literature Review and Future Research Needs. **Journal of Cleaner Production**. USA, v. 17, p. 1163-1174. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.clepro.2009.03.004>.

SUBRAMONIAN, R.; HUISINGH, D.; CHINNAM, R. B. Aftermarket Remanufacturing Strategic Planning Decision-making Framework. **Journal of Cleaner Production**. USA, v. 18, p. 1575-1586. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.clepro.2010.07.022>.

SZÁSZ, L.; CSÍKI, O.; RÁCZ, B-G. Sustainability Management in the Global Automotive Industry: A Theoretical Model and Survey Study. **International Journal of Production Economics**. Romania, v. 235, 108085. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108085>.

TAPIO, P. Disaggregative Policy Delphi: Using Cluster Analysis as a Tool for Systematic Scenario Formulation. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 70, n. 1, p. 83-101. 2003.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a Methodology for Developing Evidence-informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. **British Journal of Management**. v. 14, p. 207-222. 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>.

TUROFF, M. The Policy Delphi. In: Linstone HA And Turoff M (eds). The Delphi Method: Techniques and Applications. Readings MA: Addison-Wesley, p.84-101. 1975.

ULLAH, S. M. S.; MUHAMMAD, I.; KO, T. J. Optimal Strategy to Deal with Decision Making Problems in Machine Tools Remanufacturing. **International Journal of**

Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology. South Korea, v. 3, n. 1, p.19-26. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40684-016-0003-9>.

URAIN, I.; EGUREN, J. A.; JUSTEL, D. Development and Validation of a Tool for the Integration of the Circular Economy in Industrial Companies: Case Study of 30 Companies. **Journal of Cleaner Production.** Spain, v. 370, n. 133318. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.clepro.2022.133318>.

VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. Case Research in Operations Management. **International Journal of Operations and production Management.** United Kingdom, v. 22, n. 2, p. 195-219. 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/01443570210414329>.

WANG, P.; LIU, Y.; ONG, S. K.; NEE, A. Y. C. Modular Design of Machine Tools to Facilitate Design for Disassembly and Remanufacturing. **Procedia CIRP.** China, v. 15, p. 443-448. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.06.085>.

WANG, H.; JIANG, Z.; ZHANG, X.; WANG, Y.; WANG, Y. A Fault Feature Characterization based Method for Remanufacturing Process Planning Optimization. **Journal of Cleaner Production.** China. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.clepro.2017.05.178>.

WANG, H.; JIANG, Z.; ZHANG, H.; WANG, Y. A Dynamic Information Transfer and Feedback Model for Reuse-oriented Redesign of Used Mechanical Equipment. **Procedia CIRP.** China. v. 80, p.15-20. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.01.034>.

WELT, G. Problems of Selecting Experts for Delphi Exercises. **The Academy of Management Journal.** USA, v. 15, n. 1, p. 121-124. 1972. Disponível em: <https://www.jstor.org/page/info/about/policies/terms.jsp>.

WOUDENBERG, F. An Evaluation of Delphi. **Technological Forecasting and Social Change.** v. 40, p. 131-150. 1991.

YIN, R. K. **Estudo de Caso:** Planejamento e Método. 4ª. Edição. Brazil: Bookman, 2010.

YIN, L.; YANG, F.; ZHU, F.; QIN, Q. Research on Module Partition for Remanufacturing Parts to be assembled. **South African Journal of Industrial Engineering.** China, v. 33, n. 1, p. 114-125. 2022. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.7166/33-1-2646>.

ZHANG, X.; XU, L.; ZHANG, H.; JIANG, Z.; CAI, W. Emergy based Intelligent Decision-making Model for Remanufacturing Process Scheme Integrating Economic and Environmental Factors. **Journal of Cleaner Production.** China, v.291, 125247. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.clepro.2020.125247>.

ZINS, C. Conception of Information Science. **Journal of the American Society for Information Science and Technology.** v. 58, n.3, p. 335-350. 2007.

ZWOLINSKI, P.; LOPEZ-ONTIVEROS, M-A.; BRISSAUD, D. Integrated Design of Remanufacturable Products based on Product Profiles. **Journal of Cleaner Production.** France, v. 14, p. 1333-1345. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.clepro.2005.11.028>.

APÊNDICE A – Engenharia de Produto

Formulário 1 - Engenharia de Produto

Baseado na apresentação oferecida gostaria de compilar as opiniões sobre o tema desta pesquisa.

A participação nesta pesquisa é realizada através da escolha de uma opção que melhor qualifica sua opinião em relação à afirmação colocada.

O objetivo principal é colher a impressão dos participantes sobre os temas colocados, levando-se em conta suas experiências e conhecimento profissional.

Escolha somente a alternativa que melhor represente sua opinião. Sinta-se à vontade para fazer quaisquer comentários pertinentes aos assuntos abordados.

Este formulário contém 10 afirmações que deverão ser consideradas nas respostas que representem sua opinião sobre o assunto abordado.

1) Dentro das organizações modernas, os aspectos ambientais, com uma abordagem sustentável, assumem uma importância cada vez maior e devem fazer parte integrante dos conceitos a serem considerados na caracterização do projeto do produto.

2) A reutilização de estruturas de prensas usadas no projeto e fabricação de novos equipamentos é viável do ponto de vista da Engenharia de Produto.

3) Projetos de Equipamentos Customizados (ETO – Engineering-to-Order) dificultam a utilização de estruturas de máquinas-ferramenta usadas, mas não inviabilizam sua aplicação.

4) A similaridade topológica de componentes estruturais usados facilita sua adaptabilidade em novos projetos.

5) Projetos modulares facilitam a remanufatura para reutilização de elementos estruturais usados, facilitando sua desmontagem e adaptação para aplicação em novos equipamentos.

6) É possível caracterizar a viabilidade técnica dessa utilização através de critérios de boas práticas de Engenharia.

Nota de Esclarecimento: Boas práticas de engenharia têm como sustentação decisões tomadas com base em Resultado de Cálculos de Dimensionamento, Atendimentos as Normas e Diretrizes da Legislação, Especificação de Utilização de Materiais e Componentes que representem o que existe de mais moderno em termos de tecnologia, entre outras.

7) A reutilização de estruturas de prensas usadas prejudica o desempenho operacional do equipamento.

8) A reutilização de estruturas de prensas usadas prejudica a vida útil do equipamento.

9) A reutilização de estruturas de prensas usadas oferece vantagens técnicas à máquina.

10) Existe restrição técnica impeditiva em reutilizar estruturas de prensas usadas.

APÊNDICE B - Mercado***Formulário 2 – Área Comercial – Vendas/Gerenciamento de Projetos***

Baseado na apresentação oferecida gostaria de compilar as opiniões sobre o tema desta pesquisa.

A participação nesta pesquisa é realizada através da escolha de uma opção que melhor qualifica sua opinião em relação à afirmação colocada.

O objetivo principal é colher a impressão dos participantes sobre os temas colocados, levando-se em conta suas experiências e conhecimento profissional.

Escolha somente a alternativa que melhor represente sua opinião. Sinta-se à vontade para fazer quaisquer comentários pertinentes aos assuntos abordados.

Este formulário contém 12 afirmações que deverão ser consideradas nas respostas que representem sua opinião sobre o assunto abordado.

1) Dentro das organizações modernas, os aspectos ambientais, com uma abordagem sustentável, assumem uma importância cada vez maior e devem fazer parte integrante dos conceitos a serem levados em conta, tanto pelo cliente quanto pelo fornecedor na tomada de decisão pelo fornecimento. Estes conceitos se aplicam também para máquinas-ferramenta.

2) O mercado de prensas percebe de forma positiva a possibilidade de utilização de estruturas de prensas usadas no projeto e fabricação de novas prensas.

3) Considera-se uma boa prática comercial a avaliação da possibilidade de remanufatura, utilizando-se em novos projetos, partes existentes, levando-se em conta os conceitos de remanufaturabilidade de máquinas-ferramenta usadas.

4) A sustentabilidade, sob o ponto de vista social, e sua aplicação nas decisões da cadeia de suprimentos, apresenta-se como de importância cada vez mais proeminente.

5) Deve-se, sempre que possível, aplicar conceitos de manufatura com base em uma consciência ambiental, objetivando, entre outros a recuperação de componentes ou peças oriundas de produtos similares usados.

6) A definição dos pressupostos de um projeto de máquina ferramenta deve considerar uma avaliação, análise e possível aplicação de remanufatura. Também os benefícios gerados devem ser considerados na definição desses pressupostos.

Nota de Esclarecimento: *Estes conceitos envolvem tipificação técnica do equipamento a ser fabricado, suas condições comerciais e seu prazo de fornecimento.*

7) Na circunstância da utilização de estruturas usadas, os eventuais ganhos nos custos de projeto e fabricação que possam ser repassados para o preço final do produto novo devem atuar como incentivo na aceitação desta oportunidade.

8) Os eventuais ganhos em prazo de fornecimento podem influenciar na decisão da utilização de estruturas usadas.

9) Quando da utilização de estruturas usadas em prensas novas, os critérios de garantia de produto podem gerar requisitos especiais para o equipamento fabricado nessas circunstâncias, dificultando sua aceitação.

10) Os critérios para desempenho do equipamento em uso, podem gerar requisitos especiais para o produto (p.ex. limitação de velocidades ou de carga em trabalho), dificultando sua aceitação.

11) Deveriam existir diferenças entre as garantias oferecidas por um produto totalmente novo e um equivalente com a utilização de estruturas usadas.

12) A possibilidade do cliente possuir equipamentos que possam servir para fornecer estruturas usadas na utilização de equipamentos novos, pode estimular uma decisão na direção de sua aceitação.

APÊNDICE C – Processos Produtivos

Formulário 3 – Fabricação

Este formulário engloba as áreas de Suprimentos, Planejamento, Métodos e Processos, Fabricação e Controle de Qualidade.

Baseado na apresentação oferecida gostaria de compilar as opiniões sobre o tema desta pesquisa.

A participação nesta pesquisa é realizada através da escolha de uma opção que melhor qualifica sua opinião em relação à afirmação colocada.

O objetivo principal é colher a impressão dos participantes sobre os temas colocados, levando-se em conta suas experiências e conhecimento profissional.

Escolha somente a alternativa que melhor represente sua opinião. Sinta-se à vontade para fazer quaisquer comentários pertinentes aos assuntos abordados.

Este formulário contém 12 afirmações que deverão ser consideradas nas respostas que representem sua opinião sobre o assunto abordado.

1) Dentro das organizações modernas, os aspectos ambientais, com uma abordagem sustentável, assumem uma importância cada vez maior e devem fazer parte integrante dos conceitos a serem considerados pela Fabricação na definição e implementação de seus processos de produção e controle.

2) Para um trabalho de eventual adaptação de estruturas usadas em novos projetos, os Departamentos de Métodos e Processos e de Controle de Qualidade não apresentam dificuldades para definir procedimentos necessários para atingir os objetivos preconizados pela Engenharia de Produto para habilitar a utilização destes componentes.

3) Os projetos integrados aos conceitos de remanufatura devem se utilizar de fatores operacionais de fabricação de maneira a viabilizar a utilização de estruturas usadas.

4) A existência de uma rede logística reversa ajuda no desenvolvimento de projetos com utilização de conceitos de remanufatura, facilitando sua operacionalização.

5) O modelo de tomada de decisão na direção da remanufatura deve considerar o consumo global de energia envolvido em seus processos operacionais.

6) O Departamento de Controle da Qualidade tem capacitação técnica e organizacional para realizar eventuais verificações de sanidade das estruturas usadas, via Ensaios Não Destrutivos, requeridas pela Engenharia de Produto.

7) O Departamento de Controle da Qualidade tem capacitação técnica e organizacional para realizar eventuais verificações dimensionais requeridas pela Engenharia de Produto.

8) A Fabricação possui uma estrutura técnica e organizacional adequada para realizar as operações de adaptação definidas pelo departamento de Métodos e Processos.

9) As eventuais correções necessárias para reutilização de estruturas usadas em novos projetos, encontradas e identificadas nas verificações realizadas Departamento de Controle da Qualidade, são passíveis de serem analisadas, avaliadas e indicadas suas disposições de forma adequada, pelo Departamento de Métodos e Processos.

10) As eventuais adaptações definidas e requeridas pela Engenharia de Produto nas estruturas usadas a serem utilizadas em novos projetos, devem ser analisadas, avaliadas e implementadas pelos Departamento de Métodos e Processos e pela Fabricação. Assim como sua devida verificação das implementações requeridas, a serem realizadas pelo Departamento de Controle da Qualidade.

11) As falhas e defeitos eventualmente encontrados pelo Departamento de Controle da Qualidade durante as verificações especificadas, devem ser analisados, avaliados, sendo indicado suas disposições adequadas pelo Departamento de Métodos e Processos.

12) A Fabricação como um todo está apta a desenvolver as tarefas necessárias para adequação das peças selecionadas das máquinas usadas para serem aplicadas em novos projetos.