

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS  
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E  
SISTEMAS  
NÍVEL DOUTORADO**

**DOUGLAS RAFAEL VEIT**

**IMPACTOS DA MANUFATURA ADITIVA NOS SISTEMAS PRODUTIVOS E SUAS  
REPERCUSSÕES NOS CRITÉRIOS COMPETITIVOS**

**São Leopoldo  
2018**

DOUGLAS RAFAEL VEIT

**IMPACTOS DA MANUFATURA ADITIVA NOS SISTEMAS PRODUTIVOS E SUAS  
REPERCUSSÕES NOS CRITÉRIOS COMPETITIVOS**

Tese apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção e Sistemas, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Daniel Pacheco Lacerda

Coorientador: Prof. Dr. Ricardo Augusto Cassel

São Leopoldo

2018

V428i Veit, Douglas Rafael.  
Impactos da manufatura aditiva nos sistemas produtivos e suas repercussões nos critérios competitivos / Douglas Rafael Veit. – 2018.  
348 f.: il. ; 30 cm.

Tese (doutorado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, 2018.  
"Orientador: Prof. Dr. Daniel Pacheco Lacerda ;  
coorientador: Prof. Dr. Ricardo Augusto Cassel."

1. Manufatura aditiva. 2. Sistemas produtivos. 3. Critérios competitivos. I. Título.

CDU 658.5

DOUGLAS RAFAEL VEIT

**IMPACTOS DA MANUFATURA ADITIVA NOS SISTEMAS PRODUTIVOS E SUAS  
REPERCUSSÕES NOS CRITÉRIOS COMPETITIVOS**

Tese apresentada como requisito parcial para a  
obtenção do título de Doutor em Engenharia de  
Produção e Sistemas, pelo Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia de Produção e  
Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos  
Sinos – UNISINOS

Aprovada em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/2018

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Ph.D. Henrique Luiz Corrêa - Rollins College

---

Prof. Ph.D. Rafael Teixeira - College of Charleston

---

Prof. Dr. André Luís Korzenowski - Universidade do Vale do Rio dos Sinos

---

Prof. Dr. José Antonio Valle Antunes Júnior - Universidade do Vale do Rio dos Sinos

---

Prof. Ph.D. Ricardo Augusto Cassel - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Visto e permitida a impressão

São Leopoldo,

---

Orientador: Prof. Dr. Daniel Pacheco Lacerda

## **AGRADECIMENTOS**

Foram 4 anos difíceis, de conquistas, perdas e realizações. Começo agradecendo a Deus, por nunca me faltar e sempre me guiar pelos caminhos corretos que me propiciaram crescimento pessoal e profissional.

À minha esposa Veridiana Veit, agradeço por estar ao meu lado em todos estes momentos, entendendo todos as noites e finais de semana sacrificados, e sempre me incentivando e trazendo uma palavra de incentivo ao longo deste período. Te amo muito.

Quero agradecer aos meus pais pelo esforço e preocupação em me dar condições de estudar em boas instituições desde o “jardim da infância”, nunca deixando de cobrar resultados positivos nos estudos e na vida.

Aos professores, grandes mestres que tive ao longo de toda minha vida de estudante, por todo aprendizado e lições repassadas. Há um pouco de cada um de vocês em mim, podem ter certeza.

Aos meus colegas do Doutorado pela parceria e coleguismo dedicados ao longo desta jornada, em especial à grande amiga Simone Knak que sempre dedicou alguns minutos do seu tempo para me incentivar e apoiar naqueles momentos mais complicados. Nos conhecemos há pouco, mas parece que são anos. Muito obrigado por tudo e espero que possamos continuar assim para sempre.

Aos professores Junico Antunes, Jacome Barbosa, Altair Klippel, Carlos Hilgert e André Seidel por terem me orientado nos meus primeiros passos na Engenharia de Produção.

Ao meu amigo e exemplo Luiz Henrique Pantaleão, sempre presente e disposto a ajudar em minha jornada profissional e continua sendo referência como profissional e como pessoal. Panta, obrigado por tudo mais uma vez.

Aos grandes amigos e irmãos do GMAP | UNISINOS pela parceria, amizade e apoio a todo instante. Agradeço aos que estão e aos que nos deixaram por fatos da vida, mas que não tenho dúvidas, poderei contar sempre. Obrigado Aline Dresch, Maria Isabel Morandi, Fábio Piran, Pedro Lima, Tobias Kunrath e Kimberly Borba. Aos que nos “abandonaram”, Secundino Corcini, Dieter Goldmeyer, Luis Felipe Camargo meu muito obrigado hoje e sempre. Vocês são mais que colegas, são da família.

Agradeço em especial ao Professor Luis Henrique Rodrigues, pelas aprendizagens geradas a cada momento de dúvida ou discussão. Vou continuar “emitindo os sons” que me ensinaste durante nossa convivência. Estamos juntos!

Agradeço ao GMAP | UNISINOS e à UNISINOS, pelo apoio financeiro ao doutorado. Esse investimento não foi em vão, podem ter certeza! Muito obrigado!

Agradeço a cada um dos meus alunos dos Cursos de Gestão da Produção Industrial e da Engenharia de Produção. Obrigado pelas discussões em sala de aula a cada momento que falávamos do assunto da tese e a todas as palavras de apoio durante esta etapa. Obrigado pela presença na “Minha Tese em 180 segundos” e pela torcida! Vocês são demais!

Obrigado Professor Ph.D. Ricardo Augusto Cassel por ter aceitado o processo de coorientação. Obrigado pelas ligações, palavras de incentivo e por deixar o ambiente “mais descontraído” quando as coisas estavam complicadas. Valeu Alemão!

Para finalizar, um agradecimento que não é apenas desta tese, é um agradecimento para a vida. Professor, Orientador e Amigo Daniel Pacheco Lacerda, obrigado por tudo que fizeste por mim. Se hoje chego até essa etapa, é porque sempre tive teu apoio. Profissionalmente, desde a indicação para meu primeiro emprego na Engenharia de Produção até a coordenação dos Cursos de Gestão da Produção Industrial e Engenharia de Produção da UNISINOS, academicamente, sendo meu orientador no Mestrado e Doutorado. Uma vez ouvi de você a seguinte frase: “Só cobro de quem eu sei que pode render! ”. Desde este momento entendi que todas as cobranças eram para me tornar um profissional melhor. Capitão, obrigado por me conduzir até aqui! Espero ter o mesmo brilhantismo e sucesso em minha trajetória!

“Sorrio e conto nos dedos: um, as pessoas são boas; dois, todo conflito pode ser removido. Três, toda situação, não importa o quanto pareça complexa inicialmente, é extremamente simples. Quatro, toda situação pode ser melhorada substancialmente; nem mesmo o céu é o limite. Cinco, todos podem alcançar uma vida completa. Seis, há sempre uma solução do tipo ganha-ganha. Preciso continuar a contagem?”

*Eliyahu Moshe Goldratt (1947 – 2011)*

## RESUMO

As ferramentas relacionadas à Manufatura Avançada estão se desenvolvendo rapidamente e irão transformar o futuro dos sistemas de produção. O paradigma de produção será alterado para o desenvolvimento, fabricação e a comercialização de novos produtos a partir do uso destas tecnologias. Nesse contexto, uma das tecnologias tratadas com maior atenção no que tange aos sistemas produtivos é a Manufatura Aditiva. Este trabalho identificou os impactos da utilização da Manufatura Aditiva pelos sistemas produtivos e suas repercussões nos critérios competitivos. Para atender a este objetivo, foram utilizados Métodos Múltiplos de Pesquisa. Inicialmente, foi realizada uma revisão sistemática da literatura no tema em questão. Dessa revisão, emergiram proposições a respeito dos impactos e suas repercussões na competitividade das organizações, utilizados como base para o questionário das entrevistas. Este questionário foi aplicado a três grupos de entrevistados distintos: Fabricantes e Representantes da Manufatura Aditiva (Brasil e EUA), Usuários da tecnologia (Brasil, EUA e Alemanha) e Representantes de Governos nacionais (Brasil e EUA). Tanto para a literatura quanto para as entrevistas realizou-se a análise de conteúdo procurando identificar as convergências e divergências entre as análises. Ainda, para confrontar estes resultados com a prática, foram realizados dois estudos de campo e um estudo de caso. Como resultados, destaca-se que a utilização da Manufatura Aditiva é um caminho sem volta. Seus benefícios partem da redução do tempo de atravessamento desde o processo de desenvolvimento de produto até a fabricação, além da viabilidade de novos modelos de negócios. Barreiras como a velocidade de impressão e a qualidade final (aparência) devem ser solucionadas em breve, devido ao avanço da tecnologia, propiciando às organizações maior competitividade em um conjunto significativo de critérios competitivos.

**Palavras-chave:** Manufatura Aditiva.Sistemas Produtivos.Critérios Competitivos.



## ABSTRACT

The tools related to Advanced Manufacturing are developing rapidly and will transform the future of production systems. From these technologies the production paradigm will be changed for the development, manufacture and commercialization of new products. In this context, one of the technologies most carefully addressed in production systems is Additive Manufacturing. This research aimed to identify the impacts of the use of the Additive Manufacturing on the production systems and its repercussions on the competitive criteria. To achieve this goal, Multiple Research Methods were used. Initially, a systematic literature review on the subject was carried out. From this review, propositions emerged about the impacts of the additive manufacturing on the production systems and their repercussions on the competitiveness of organizations. These propositions were the basis for the elaboration of the interview questionnaire, which was applied to three different groups: Manufacturers and Representatives of the Additive Manufacturing (Brazil and USA), Users of the technology (Brazil, USA and Germany) and Representatives of national governments (Brazil and USA). For both the literature and the interviews findings, content analysis was carried out in order to identify the convergences and divergences between them. In order to compare these results with the empirical reality, two field studies and one case study were carried out. As a result, it is emphasized that the use of Additive Manufacturing is a path with no return. Its benefits include the reduction of lead time, from the product development to the manufacturing product development, and the viability of new business models. Barriers such as speed of print and final quality (appearance) should be solved soon, due to the technology improvement, giving organizations greater competitiveness in a significant set of criteria.

**Keywords:** Additive Manufacturing. Production Systems. Competitive Criteria.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Conceito da Empresa a Partir do Sistema de Manufatura Avançada .....	21
Figura 2: Mercado de Produtos e Serviços de Manufatura Aditiva até 2020 .....	25
Figura 3: Desenho da Pesquisa .....	26
Figura 4: Equipamentos de Manufatura Aditiva Instalados por País entre 1988 a 2011 (% do Total Global) .....	30
Figura 5: Representatividade dos Temas dos Trabalhos Estudados .....	31
Figura 6: Horizonte Temporal dos Artigos Selecionados .....	39
Figura 7: Vendas de Equipamentos de Manufatura Aditiva .....	41
Figura 8: Pêndulo Representativo da Condução de Pesquisas Científicas.....	48
Figura 9: Método de Trabalho .....	52
Figura 10: Entrevistados pela Técnica “Bola de Neve” .....	56
Figura 11: Notação do Mapeamento de Perdas de Shingo - MFP .....	60
Figura 12: Procedimentos de Análise de Conteúdo .....	62
Figura 13: Relação das Categorias de Análise dos Sistemas Produtivos .....	63
Figura 14: Representação da Análise Categorical no Software ATLAS.ti.....	68
Figura 15: Equação de Ponderação das Frequências Observadas .....	69
Figura 16: Síntese das Análises Realizadas na Pesquisa .....	72
Figura 17: Tecnologias de Manufatura Aditiva .....	78
Figura 18: Relação do Sistema de Produção e Sistema de Manufatura .....	89
Figura 19: Total das Incidências Positivas nas Categorias dos Sistema Produtivos (Frequência Absoluta) – Literatura .....	102
Figura 20: Total das Incidências Negativas nas Categorias dos Sistema Produtivos (Frequência Absoluta) - Literatura.....	103
Figura 21: Comparativo do Total das Frequências Absoluta e Ponderada das Repercussões Positivas nas Categorias de Análise dos Critérios Competitivos.....	125
Figura 22: Comparativo do Total das Frequências Absoluta e Ponderada das Repercussões Negativas nas Categorias de Análise dos Critérios Competitivos ...	126
Figura 23: Comparativo entre as Frequências Absoluta e Ponderada Referentes aos Impactos Positivos nos Sistemas Produtivos .....	145
Figura 24: Comparativo entre as Frequências Absoluta e Ponderada Referentes aos Impactos Negativos nos Sistemas Produtivos.....	146

Figura 25: Comparativo do Total das Frequências Absoluta e Ponderada das Repercussões Positivas nos Critérios Competitivos .....	201
Figura 26: Comparativo do Total das Frequências Absoluta e Ponderada das Repercussões Negativas nos Critérios Competitivos .....	202
Figura 27: Critérios Competitivos mais Impactados pelas Categorias do Sistema Produtivo (Frequência Absoluta e Ponderada).....	240
Figura 28: Impactos nas Categorias dos Sistemas Produtivos que Repercutem no Critério Competitivo Custos.....	241
Figura 29: Impactos nas Categorias dos Sistemas Produtivos que Repercutem no Critério Competitivo Velocidade .....	244
Figura 30: Impactos nas Categorias dos Sistemas Produtivos que Repercutem no Critério Competitivo Velocidade .....	245
Figura 31: Impactos nas Categorias dos Sistemas Produtivos que Repercutem no Critério Competitivo Qualidade.....	247
Figura 32: Impactos nas Categorias dos Sistemas Produtivos que Repercutem no Critério Competitivo Qualidade.....	248
Figura 33: Impactos nas Categorias dos Sistemas Produtivos que Repercutem no Critério Competitivo Sustentabilidade .....	250
Figura 34: Impactos nas Categorias dos Sistemas Produtivos que Repercutem no Critério Competitivo Inovação .....	251
Figura 35: Vista Aérea do Instituto de Estudos Avançados (IEAv).....	255
Figura 36: Stratasys Fortus 900mc .....	256
Figura 37: Mapeamento Perdas (Shingo) – Processo Forjado.....	268
Figura 38: Mapeamento Perdas (Shingo) – Processo MIM.....	269
Figura 39: Tempo de Evolução Tecnológico da Manufatura Aditiva .....	292
Figura 40: Adaptação da Matriz Volume x Variedade para os Impactos da Manufatura Aditiva .....	293
Figura 41: Síntese das Relações entre os Impactos da Manufatura Aditiva nos Sistemas Produtivos e suas Repercussões nos Critérios Competitivos.....	303

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Resultados das Buscas nas Bases de Dados Seleccionadas.....	38
Quadro 2: Relação dos Entrevistados.....	57
Quadro 3: Empresas Seleccionadas para os Estudos de Campo e Estudo de Caso .	59
Quadro 4: Definição das Categorias de Análise Referentes aos Sistemas Produtivos .....	64
Quadro 5: Definição das Categorias de Análise Referentes aos Critérios Competitivos.....	65
Quadro 6: Definição das Categorias de Análise “a posteriori” Referentes à Análise de Conteúdo das Entrevistas .....	67
Quadro 7: Resultado da Análise de Frequência das Entrevistas e da Literatura .....	69
Quadro 8: Matriz de Relação de Impactos Categorias de Análise dos Sistemas Produtivos x Categorias de Análise dos Critérios Competitivos.....	70
Quadro 9: Síntese das Técnicas de Manufatura Aditiva – Vantagens e Desvantagens .....	87
Quadro 10: Proposições Referentes aos Impactos da Manufatura Aditiva nos Sistemas Produtivos.....	90
Quadro 11: Proposições das Repercussões da Manufatura Aditiva nos Critérios Competitivos.....	96
Quadro 12: Análise dos Totais de Frequência Absoluta e Ponderada dos Impactos da Manufatura Aditiva nos Sistemas Produtivos na Literatura .....	101
Quadro 13: Síntese dos Impactos da Manufatura Aditiva na Categoria Desenvolvimento de Produto .....	104
Quadro 14: Síntese dos Impactos da Manufatura Aditiva na Categoria Engenharia de Processos.....	107
Quadro 15: Síntese dos Impactos da Manufatura Aditiva na Categoria Fornecedores .....	109
Quadro 16: Síntese dos Impactos da Manufatura Aditiva na Categoria Marketing e Vendas .....	111
Quadro 17: Síntese dos Impactos da Manufatura Aditiva na Categoria Matéria-Prima .....	112
Quadro 18: Síntese dos Impactos da Manufatura Aditiva na Categoria PCP .....	114

Quadro 19: Síntese dos Impactos da Manufatura Aditiva na Categoria Recursos Financeiros.....	116
Quadro 20: Síntese dos Impactos da Manufatura Aditiva na Categoria Recursos Financeiros.....	118
Quadro 21: Síntese dos Impactos da Manufatura Aditiva na Categoria Tempos e Métodos .....	119
Quadro 22: Análise Cruzada entre os Impactos da Manufatura Aditiva e as Categorias de Análise dos Sistemas Produtivos.....	121
Quadro 23: Análise dos Totais de Frequência Absoluta e Ponderada das Repercussões da Manufatura Aditiva nos Critérios Competitivos.....	125
Quadro 24: Síntese das Repercussões da Manufatura Aditiva no Critério Competitivo Custo.....	128
Quadro 25: Síntese das Repercussões da Manufatura Aditiva no Critério Competitivo Desempenho de Entrega .....	130
Quadro 26: Síntese das Repercussões da Manufatura Aditiva no Critério Competitivo Velocidade.....	132
Quadro 27: Síntese das Repercussões da Manufatura Aditiva no Critério Competitivo Flexibilidade .....	133
Quadro 28: Síntese das Repercussões da Manufatura Aditiva no Critério Competitivo Qualidade.....	135
Quadro 29: Síntese das Repercussões da Manufatura Aditiva no Critério Competitivo Sustentabilidade na Literatura.....	137
Quadro 30: Síntese das Repercussões da Manufatura Aditiva no Critério Competitivo Inovação.....	138
Quadro 31: Análise Cruzada entre as Repercussões da Manufatura Aditiva e as Categorias de Análise dos Critérios Competitivos.....	140
Quadro 32: Total da Frequência Absoluta e Ponderada dos Impactos da Manufatura Aditiva nos Sistemas Produtivos .....	144
Quadro 33: Síntese dos Impactos da Manufatura Aditiva no Desenvolvimento de Produtos.....	150
Quadro 34: Síntese dos Impactos da Manufatura Aditiva na Engenharia de Processos.....	153
Quadro 35: Síntese dos Impactos da Manufatura Aditiva em Fornecedores .....	155
Quadro 36: Síntese dos Impactos da Manufatura Aditiva em Marketing e Vendas.....	159

Quadro 37: Síntese dos Impactos da Manufatura Aditiva na Categoria Matéria-Prima .....	161
Quadro 38: Síntese dos Impactos da Manufatura Aditiva na Categoria PCP .....	164
Quadro 39: Síntese dos Impactos da Manufatura Aditiva na Categoria Recursos Financeiros.....	167
Quadro 40: Síntese dos Impactos da Manufatura Aditiva na Categoria Sistema de Manufatura .....	172
Quadro 41: Síntese dos Impactos da Manufatura Aditiva na Categoria Tempos e Métodos .....	176
Quadro 42: Análise de Frequência Absoluta por Grupo de Especialistas .....	177
Quadro 43: Síntese dos Aspectos Convergentes, Divergentes e Complementares entre os Grupos de Entrevistados.....	183
Quadro 44: Frequência Absoluta da Análise Complementar do Grupo Formuladores de Políticas Públicas .....	186
Quadro 45: Comparativo Geral dos Impactos entre as Categorias de Análise (Entrevistas x Literatura) .....	191
Quadro 46: Síntese da Análise Comparativa entre as Entrevistas e a Literatura ....	195
Quadro 47: Síntese da Análise Geral por Entrevistados .....	200
Quadro 48: Síntese das Repercussões da Manufatura Aditiva no Critério Competitivo Custo.....	207
Quadro 49: Síntese das Repercussões da Manufatura Aditiva no Critério Competitivo Desempenho de Entrega .....	209
Quadro 50: Síntese das Repercussões da Manufatura Aditiva no Critério Competitivo Flexibilidade .....	212
Quadro 51: Síntese das Repercussões da Manufatura Aditiva no Critério Competitivo Inovação.....	214
Quadro 52: Síntese das Repercussões da Manufatura Aditiva no Critério Competitivo Qualidade .....	217
Quadro 53: Síntese das Repercussões da Manufatura Aditiva no Critério Competitivo Sustentabilidade.....	220
Quadro 54: Síntese das Repercussões da Manufatura Aditiva no Critério Competitivo Velocidade.....	223
Quadro 55: Análise de Frequência Absoluta por Grupo de Entrevistados .....	223

Quadro 56: Síntese dos Aspectos Convergentes, Divergentes e Complementares entre os Grupos de Entrevistados.....	229
Quadro 57: Comparativo Geral das Repercussões entre as Categorias de Análise - Entrevistas x Literatura.....	232
Quadro 58: Síntese da Análise Comparativa entre as Entrevistas e a Literatura Referente às Repercussões nos Critérios Competitivos .....	237
Quadro 59: Relação entre as Categorias dos Sistemas Produtivos e Critérios Competitivos.....	239
Quadro 60: Relação dos Impactos e Repercussões Encontrados no Campo com as Entrevistas e a Literatura .....	259
Quadro 61: Relação dos Impactos e Repercussões Encontrados no Campo com as Entrevistas e a Literatura .....	264
Quadro 62: Comparação entre o Processo Forjado e o Processo MIM .....	269
Quadro 63: Relação dos Impactos e Repercussões Encontrados no Estudo de Caso com as Entrevistas e a Literatura .....	271
Quadro 65: Comparação das Perdas do Sistema Toyota com os Impactos da Manufatura Aditiva .....	288
Quadro 66: Impactos da Manufatura Aditiva - Hoje x Futuro.....	290
Quadro 67: Possíveis Modelos de Negócio com a Manufatura Aditiva .....	297
Quadro 68: Relação dos Critérios Competitivos na Manufatura Aditiva .....	299

## LISTA DE SIGLAS

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
AM	<i>Additive Manufacturing</i> – Manufatura Aditiva
ASMT	<i>American Society for Testing and Materials</i>
ATLAS.ti®	Propriedade da <i>Scientific Software Development</i>
ATO	<i>Assemble To Order</i>
B2B	<i>Business-To-Business</i>
B2C	<i>Business-To-Customer</i>
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BRICS	Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CNC	<i>Computer Numeric Control</i>
CTA	Centro Técnico Aeroespacial
CTA	Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial
DCTA	Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial
DEPED	Departamento de Pesquisas e Desenvolvimento
EBM	<i>Electron Beam Melting</i> - Fusão por Feixe de Elétrons
EMBRAPII	Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial
ETO	<i>Engineer To Order</i>
FDM	<i>Fused Deposition Modeling</i> - Fusão por Deposição de Material
GAO	<i>Government Accountability Office</i>
IEAv	Instituto de Estudos Avançados
JIT	<i>Just in Time</i>
LENS	<i>Laser Engineered Net Shaping</i>
LOM	<i>Laminated Object Manufacturing</i>
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MDIC	Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior e Serviços
MES	<i>Manufacturing Execution System</i>
MFP	Mecanismo da Função Produção
MIM	<i>Metal Injection Molding</i> (processo de injeção de metal)
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>



MTO	<i>Make To Order</i>
MTS	<i>Make To Stock</i>
NTSC	<i>National Science and Technology Council</i>
PCP	Planejamento e Controle de Produção
PIB	Produto Interno Bruto
Senai	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SIBRATEC	Sistema Brasileiro de Tecnologia
SL	Stereolitografia
SLA	<i>Stereolithography</i>
SLS	<i>Selective Laser Sintering</i>
SLS	Sinterização Seletiva a Laser
STL	<i>Stereolithography</i>
STP	Sistema Toyota de Produção
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
UNISINOS	Universidade do Vale do Rio dos Sinos

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>20</b>
1.1 OBJETO E PROBLEMA DE PESQUISA.....	24
1.2 OBJETIVOS .....	36
<b>1.2.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>36</b>
<b>1.2.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>36</b>
1.3 JUSTIFICATIVA .....	37
<b>1.3.1 Contribuições Científicas</b> .....	<b>37</b>
<b>1.3.2 Contexto Empresarial</b> .....	<b>41</b>
1.4 DELIMITAÇÕES.....	43
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	44
<b>2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	<b>47</b>
2.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	47
2.2 MÉTODO DE TRABALHO .....	51
2.3 COLETA DE DADOS .....	54
2.4 ANÁLISE DOS DADOS.....	61
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>74</b>
3.1 MANUFATURA ADITIVA.....	74
<b>3.1.1 A Evolução da Manufatura Aditiva</b> .....	<b>75</b>
<b>3.1.2 As Tecnologias de Manufatura Aditiva</b> .....	<b>77</b>
3.1.2.1 Fusão por Deposição de Material.....	79
3.1.2.2 Estereolitografia (SLA) .....	80
3.1.2.3 Poly Jet.....	81
3.1.2.4 Sinterização Seletiva a Laser .....	82
3.1.2.5 Fusão por Feixe de Elétrons (EBM) .....	83
3.1.2.6 Laser Engineered Net Shaping (LENS).....	83
3.1.2.7 Impressão 3D Aglutinante (3DP).....	84
3.1.2.8 Prometal .....	85
3.1.2.9 <i>Laminated Object Manufacturing</i> (LOM).....	86
<b>3.1.3 Tecnologias de Manufatura por Injeção</b> .....	<b>88</b>
3.2 SISTEMAS PRODUTIVOS.....	88
3.3 CRITÉRIOS COMPETITIVOS .....	92

3.4 MANUFATURA ADITIVA E OS CRITÉRIOS COMPETITIVOS.....	98
<b>4 ANÁLISE DA LITERATURA SOBRE OS IMPACTOS DA MANUFATURA ADITIVA NOS SISTEMAS PRODUTIVOS E SUAS REPERCUSSÕES NOS CRITÉRIOS COMPETITIVOS.....</b>	<b>101</b>
4.1 IMPACTOS DA MANUFATURA ADITIVA NOS SISTEMAS PRODUTIVOS.....	101
4.1.1 Desenvolvimento de Produto.....	103
4.1.2 Engenharia de Processos.....	105
4.1.3 Fornecedores.....	107
4.1.4 Marketing e Vendas.....	109
4.1.5 Matéria-Prima.....	112
4.1.6 Planejamento e Controle de Produção.....	113
4.1.7 Recursos Financeiros.....	115
4.1.8 Sistema de Manufatura.....	116
4.1.9 Tempos e Métodos.....	118
4.2 REPERCUSSÕES DA MANUFATURA ADITIVA NOS CRITÉRIOS COMPETITIVOS.....	124
4.2.1 Custo.....	127
4.2.2 Desempenho de Entrega.....	129
4.2.3 Velocidade.....	131
4.2.4 Flexibilidade.....	132
4.2.5 Qualidade.....	134
4.2.6 Sustentabilidade.....	136
4.2.7 Inovação.....	138
<b>5 AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DA MANUFATURA ADITIVA NOS SISTEMAS PRODUTIVOS.....</b>	<b>144</b>
5.1 ANÁLISE PERCEPTIVA DOS ESPECIALISTAS.....	144
5.1.1 Desenvolvimento de Produto.....	146
5.1.2 Engenharia de Processos.....	150
5.1.3 Fornecedores.....	154
5.1.4 Marketing e Vendas.....	156
5.1.5 Matéria-Prima.....	160
5.1.6 Planejamento e Controle de Produção (PCP).....	162
5.1.7 Recursos Financeiros.....	165
5.1.8 Sistema de Manufatura.....	168

<b>5.1.9 Tempos e Métodos</b> .....	<b>173</b>
<b>5.2 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ESPECIALISTAS</b> .....	<b>177</b>
<b>5.2.1 Aspectos Convergentes e Complementares</b> .....	<b>177</b>
<b>5.2.2 Aspectos Divergentes</b> .....	<b>181</b>
<b>5.2.3 Síntese dos Aspectos Convergentes, Divergentes e Complementares entre os Grupos de Especialistas</b> .....	<b>181</b>
<b>5.2.4 Análise Complementar do Grupo Formadores de Políticas Públicas</b> ..	<b>186</b>
<b>5.3 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS ESPECIALISTAS E A LITERATURA</b> ..	<b>191</b>
<b>5.3.1 Aspectos Convergentes e Complementares</b> .....	<b>192</b>
<b>5.3.2 Divergências</b> .....	<b>194</b>
<b>5.3.3 Síntese da Análise Comparativa</b> .....	<b>194</b>
<b>6 AVALIAÇÃO DAS REPERCUSSÕES DOS IMPACTOS DA MANUFATURA ADITIVA NOS CRITÉRIOS COMPETITIVOS</b> .....	<b>200</b>
<b>6.1 ANÁLISE PERCEPTIVA DOS ESPECIALISTAS</b> .....	<b>200</b>
<b>6.1.1 Custo</b> .....	<b>203</b>
<b>6.1.2 Desempenho de Entrega</b> .....	<b>207</b>
<b>6.1.3 Flexibilidade</b> .....	<b>210</b>
<b>6.1.4 Inovação</b> .....	<b>213</b>
<b>6.1.5 Qualidade</b> .....	<b>215</b>
<b>6.1.6 Sustentabilidade</b> .....	<b>217</b>
<b>6.1.7 Velocidade</b> .....	<b>221</b>
<b>6.2 ANÁLISE POR GRUPO DE ESPECIALISTAS</b> .....	<b>223</b>
<b>6.2.1 Aspectos Convergentes e Complementares</b> .....	<b>224</b>
<b>6.2.2 Aspectos Divergentes</b> .....	<b>227</b>
<b>6.2.3 Síntese dos Aspectos Convergentes, Divergentes e Complementares entre os Grupos de Entrevistados</b> .....	<b>228</b>
<b>6.3 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS ESPECIALISTAS E A LITERATURA</b> ..	<b>232</b>
<b>6.3.1 Aspectos Convergentes e Complementares</b> .....	<b>233</b>
<b>6.3.2 Divergências</b> .....	<b>235</b>
<b>6.3.3 Síntese da Análise Comparativa</b> .....	<b>236</b>
<b>6.4 AVALIAÇÃO INTEGRADA DOS IMPACTOS E REPERCUSSÕES DA MANUFATURA ADITIVA</b> .....	<b>239</b>
<b>6.4.1 Custo</b> .....	<b>241</b>
<b>6.4.2 Velocidade</b> .....	<b>243</b>

<b>6.4.3 Flexibilidade.....</b>	<b>245</b>
<b>6.4.4 Qualidade .....</b>	<b>246</b>
<b>6.4.5 Desempenho de Entrega .....</b>	<b>248</b>
<b>6.4.6 Sustentabilidade.....</b>	<b>249</b>
<b>6.4.7 Inovação.....</b>	<b>251</b>
<b>7 AVALIAÇÕES EMPÍRICAS DA UTILIZAÇÃO DA MANUFATURA ADITIVA ....</b>	<b>254</b>
7.1 ESTUDO DE CAMPO 1: O INSTITUTO DE ESTUDOS AVANÇADOS (IEAV).	254
7.2 ESTUDO DE CAMPO 2: EMPRESA AERONÁUTICA .....	260
7.3 ESTUDO DE CASO: EMPRESA DE ARMAS .....	266
<b>8 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>274</b>
8.1 IMPLICAÇÕES NOS SISTEMAS PRODUTIVOS .....	274
8.2 IMPLICAÇÕES NOS CRITÉRIOS COMPETITIVOS.....	280
8.3 SÍNTESE DAS DISCUSSÕES E RELEVÂNCIA DOS RESULTADOS .....	285
<b>9 CONCLUSÕES .....</b>	<b>305</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>310</b>
<b>APÊNDICE A: PROTOCOLO DE REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA...</b>	<b>324</b>
<b>APÊNDICE B: LISTA DOS ARTIGOS SELECIONADOS .....</b>	<b>326</b>
<b>APÊNDICE C: ROTEIRO DE ENTREVISTAS – IMPACTOS DA MANUFATURA ADITIVA NOS SISTEMAS PRODUTIVOS .....</b>	<b>334</b>
<b>APÊNDICE D: ROTEIRO DE ENTREVISTAS – REPERCUSSÕES DA MANUFATURA ADITIVA NOS CRITÉRIOS COMPETITIVOS .....</b>	<b>337</b>
<b>APÊNDICE E: TERMO DE CONSENTIMENTO E LIVRE ESCLARECIDO .....</b>	<b>340</b>
<b>APÊNDICE F: ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DOS IMPACTOS NA MANUFATURA ADITIVA NOS SISTEMAS PRODUTIVOS NA LITERATURA .....</b>	<b>342</b>
<b>APÊNDICE G: ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DAS REPERCUSSÕES DA MANUFATURA ADITIVA NOS CRITÉRIOS COMPETITIVOS NA LITERATURA</b>	<b>344</b>
<b>APÊNDICE H: ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DOS IMPACTOS NA MANUFATURA ADITIVA NOS SISTEMAS PRODUTIVOS DE ACORDO COM OS ENTREVISTADOS.....</b>	<b>346</b>
<b>APÊNDICE I: ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DAS REPERCUSSÕES DA MANUFATURA ADITIVA NOS CRITÉRIOS COMPETITIVOS - ENTREVISTAS ..</b>	<b>347</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A capacidade e a velocidade para inovar contribuem para o desenvolvimento econômico dos países, em geral, e das empresas, em específico. Adicionalmente, há outros fatores que contribuem para este desenvolvimento: i) demografia; ii) o comércio internacional; iii) a globalização das cadeias de suprimento; iv) a demanda por energia e recursos naturais; e v) especialmente, o crescimento da infraestrutura digital (WEF, 2016).

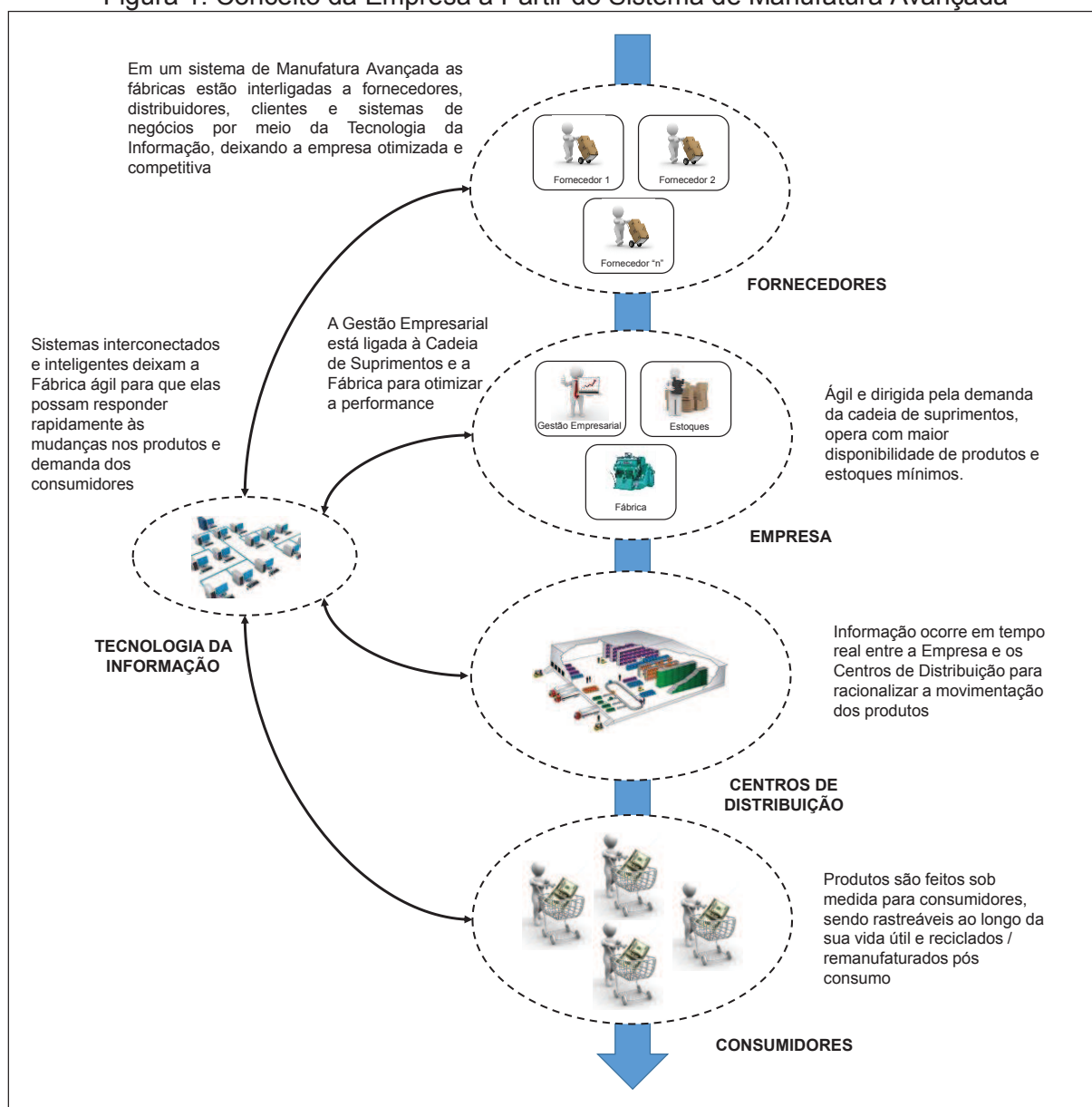
O crescimento da infraestrutura digital, que tem por características a equitatividade, colaboração e a integração, poderá mudar a maneira como as empresas produzirão, comercializarão e entregarão seus bens e serviços no futuro (RIFKIN, 2016). Desde o fim da II Guerra Mundial, a dimensão tecnológica está no foco das políticas públicas de países que têm por objetivo principal promover a capacitação da indústria para de criar novos produtos e processos (GODIN, 2008). Além disso, o desenvolvimento tecnológico e da economia baseada na tecnologia é um tema emergente no que tange ao setor industrial de países desenvolvidos economicamente, como os Estados Unidos, por exemplo (TASSEY, 2008).

Tanto para países desenvolvidos quanto para aqueles em desenvolvimento, a manufatura desempenha um papel significativo em nível internacional (LONG et al., 2017). Cabe dizer ainda que, com o acelerado processo de globalização e a economia baseada no conhecimento, o setor industrial passou da fabricação tradicional para a fabricação global, inteligente e sustentável (LONG et al., 2017). Assim, temas como tecnologia e inovação são fundamentais para a estratégia nacional de desenvolvimento econômico, social e, notoriamente, para o setor industrial (KUPFER, 2010). Por exemplo, documentos estratégicos do Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia dos Estados Unidos (2012) citam tecnologias que podem apoiar o desenvolvimento do setor industrial, com destaque para o conceito de Manufatura Avançada (FORD, 2014; STRAUSS, 2015).

Segundo o *The Economist* (2016), as ferramentas relacionadas à Manufatura Avançada estão se desenvolvendo rapidamente e transformarão o futuro da manufatura. O *National Science and Technology Council* (NSTC, 2012) define os Sistemas de Manufatura Avançada como uma família de atividades que dependem do uso e coordenação de automação, informação, computação, software, sensores

e redes. Sistemas de Manufatura Avançada fazem o uso de novos materiais e capacidades emergentes habilitadas pelas ciências físicas e biológicas, como por exemplo, a nanotecnologia, química e biologia. Trata-se de novas maneiras para a fabricação de produtos existentes, bem como para a fabricação de novos produtos a partir de tecnologias novas e avançadas (NTSC, 2012). A Figura 1 ilustra o conceito de empresa a partir da utilização dos sistemas de manufatura avançada.

Figura 1: Conceito da Empresa a Partir do Sistema de Manufatura Avançada



Um sistema de Manufatura Avançada opera de maneira interconectada com os consumidores, fornecedores e os centros de distribuição por meio da Tecnologia da Informação. Verifica-se que a Tecnologia da Informação pode ser considerada o

elo entre as etapas do Sistema de Produção (IDA, 2012). Nesse sentido, existem duas tecnologias que devem ser destacadas no que tange aos sistemas de manufatura avançada: i) a tecnologia da informação ao longo do Sistema de Produção; e ii) a Manufatura Aditiva (IDA, 2012).

Ford (2014) afirma que a Manufatura Aditiva (*Additive Manufacturing* – AM) é um conjunto de tecnologias emergentes que fabrica objetos tridimensionais diretamente de modelos digitais por meio de um processo de adição de material, que podem ser polímeros, cerâmica ou metais. Pearsons (2015) simplifica ao definir a Manufatura Aditiva como um processo de produção camada a camada para confeccionar objetos em 3D a partir de modelos. Para esta pesquisa, o conceito adotado para Manufatura Aditiva é o de Ford (2014) que cita o conjunto de tecnologias, uma vez que a Manufatura Aditiva pode ser representada pela *Stereolithography (SLA)*, *Selective Laser Sintering (SLS)*, *Laminated Object Manufacturing (LOM)*, entre outros. Assim, a Manufatura Aditiva não é considerada apenas um processo de fabricação.

A Manufatura Aditiva difere-se dos processos de fabricação tradicionais conhecidos como “subtrativos” como, por exemplo, a perfuração, fresagem e a usinagem (PEARSONS, 2015). Os processos de fabricação tradicionais criam peças ou produtos por meio da remoção de material. A Manufatura Aditiva, por sua vez, produz uma peça a partir do depósito de camadas sucessivas de material, geralmente, sem a utilização de moldes e que pode reduzir os resíduos ao processo de fabricação (FORD, 2014).

O conceito da Manufatura Aditiva não é recente e tem se desenvolvido ao longo dos últimos 30 anos (MELLOR; HAO; ZHANG, 2014). No final da década de 1980, universidades e grandes empresas industriais começaram a utilizar a Manufatura Aditiva, inicialmente chamada de prototipagem rápida. Entretanto, o custo dos equipamentos e dos materiais, além das aplicações limitadas, impediu o acesso prático, ou seja, nas atividades dos sistemas produtivos das empresas neste período (MILLER, 2014).

O setor de saúde, na década de 1990, foi um dos poucos que se beneficiou da tecnologia. O *Wake of Regenerative Medicine* nos Estados Unidos usou a Manufatura Aditiva para imprimir estruturas em três dimensões, reproduzindo órgãos humanos (PRINCE, 2014). Ainda no campo da Medicina, nos anos 2000, a Manufatura Aditiva revolucionou a criação de próteses para seres humanos.



Ainda neste período, foram direcionados estudos voltados para a identificação de novos materiais que pudessem ser utilizados na Manufatura Aditiva, assim como os polímeros. Cabe mencionar, outrossim, que titânio e o alumínio, por exemplo, começaram a ser utilizados em meados dos anos 2000 (WANG et al., 2004; LI; SOAR, 2007).

Entre a década de 1980 e os anos 2000, uma das preocupações que emergiu sobre a Manufatura Aditiva tratava da inflexibilidade dos equipamentos e materiais. Esta preocupação provocou o desenvolvimento de estudos que proporcionaram o uso de tecnologias híbridas para materiais (MALONE; LIPSON, 2007; KARUNAKARAN et al., 2010).

Nota-se que os principais estudos entre o final da década de 1980 e os anos 2010 tratavam de vertentes da Manufatura Aditiva relacionada com materiais e máquinas, não sendo observados estudos relacionados com os sistemas produtivos. Após o ano de 2010, começam a ser realizados estudos acerca das vantagens na aplicação da Manufatura Aditiva em detrimento dos processos tradicionais. Por exemplo, Ford (2014) mostra como a Manufatura Aditiva está sendo aplicada nos EUA e que mudanças a Manufatura Aditiva exigirá das empresas americanas em termos de estrutura. Além disso, Ford (2014) detalha a influência da Manufatura Aditiva na competitividade dos Estados Unidos.

Em síntese, a história da Manufatura Aditiva pode ser segregada em quatro correntes. A primeira é a prototipagem, ou seja, sua utilização de maneira tímida, principalmente por universidades, para a criação de protótipos, porém com custos elevados de equipamentos e de materiais. A segunda trata das aplicações da Manufatura Aditiva. As pesquisas procuravam mostrar onde a Manufatura Aditiva poderia ser empregada no contexto das empresas, especialmente na área médica. Ao verificar que as aplicações eram pertinentes, a terceira corrente de pesquisas voltou-se aos materiais e equipamentos. Com a demanda por equipamentos em expansão, os preços reduzem, e a restrição é transferida ao alto custo e à variedade dos materiais que podem ser utilizados na Manufatura Aditiva. A corrente de estudos mais recente está voltada para a preocupação da substituição da Manufatura Aditiva aos processos de fabricação ditos “tradicionais”.

Este novo modelo de manufatura está crescendo exponencialmente (RIFKIN, 2016). Esta visão é corroborada por uma pesquisa datada de 2014 com mais de 100 empresas de manufatura (D’AVENI, 2015). No momento da pesquisa, 11% das

empresas haviam mudado parte do seu volume de produção para a Manufatura Aditiva (D'AVENI, 2015). Cabe destacar que, de acordo com analistas do Gartner, a tecnologia é considerada uma "corrente principal" quando atinge um nível de adoção de 20% (D'AVENI, 2015).

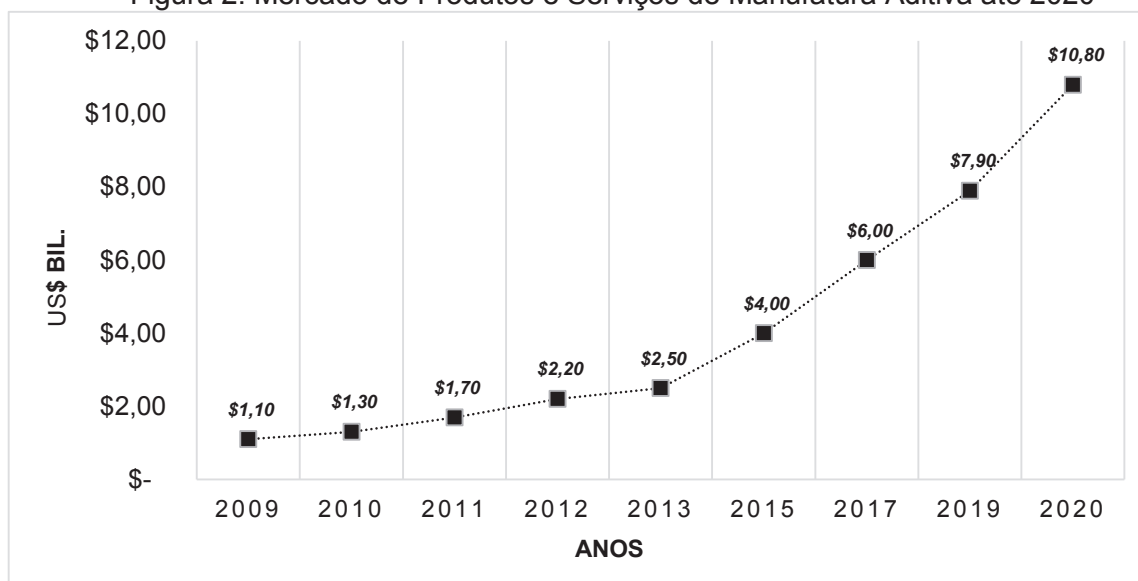
Com base nesses dados, as empresas encontram-se no limiar de uma transição do sistema de produção tradicional para um sistema de Manufatura Aditiva além da simples produção de protótipos (HARRIS, 2012). Essa transição é o renascimento da fabricação, situação em queo modelo tradicional de manufatura voltado para a produção em massa não é mais a verdade absoluta. Além disso, as tecnologias da Manufatura Aditiva começam a mudar as barreiras à entrada como as economias de escala, por exemplo (PICKETT, 2015).

Diante do contexto apresentado, desenvolve-se o conjunto de razões que sustentam a relevância do tema desta pesquisa: i) a busca constante da competitividade e da produtividade pelas empresas; ii) a importância do desenvolvimento de tecnologias e de inovações para a estratégia nacional de desenvolvimento do país; iii) a importância dada à Manufatura Aditiva por países desenvolvidos como Estados Unidos e Alemanha, por exemplo; e iv) a preocupação com o futuro da manufatura tradicional a partir da utilização da Manufatura Aditiva. Apoiado nestas razões, o presente trabalho situa-se na temática de compreensão da Manufatura Aditiva no âmbito dos Sistemas de Produção. A seguir, serão apresentados o objeto e o problema de pesquisa desta tese.

## 1.1 OBJETO E PROBLEMA DE PESQUISA

O mercado global de produtos e serviços de Manufatura Aditiva atingirá US\$ 10,8 bilhões em todo o mundo até 2020, levando em consideração os padrões anteriores de ciclicidade, e sem considerar outra recessão global ou desastres naturais imprevistos (WOHLERS ASSOCIATES, 2014). Esta evolução econômica do mercado de produtos e serviços de Manufatura Aditiva pode ser visualizada na Figura 2.

Figura 2: Mercado de Produtos e Serviços de Manufatura Aditiva até 2020



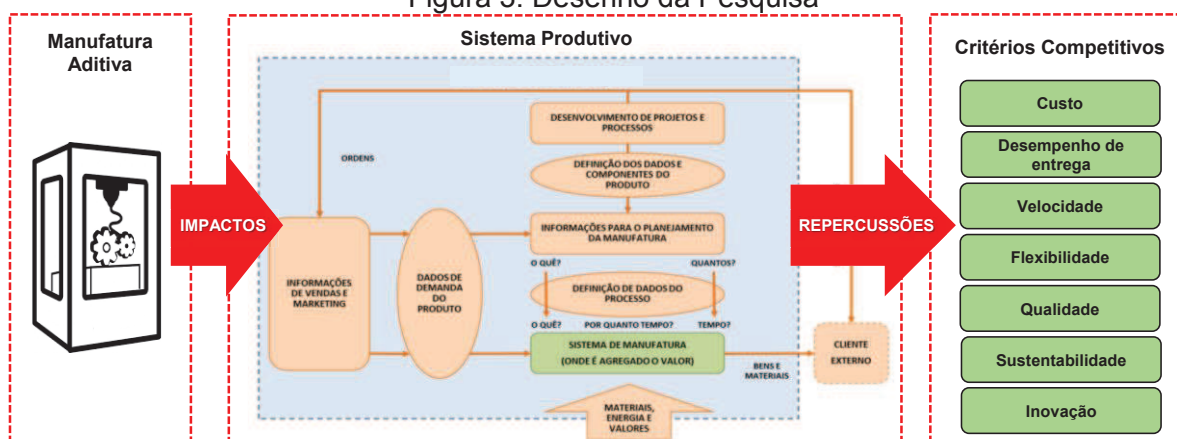
Fonte: Adaptado pelo autor a partir de Wohlers Associates (2014)

Essa participação da Manufatura Aditiva pode ser complementada por meio de pesquisa realizada com mais de 100 fabricantes industriais nos Estados Unidos. Esta pesquisa revelou que dois terços destes fabricantes estavam implementando as tecnologias de Manufatura Aditiva em seus métodos de produção (PICKETT, 2015).

Em termos cronológicos, evidencia-se que este desenvolvimento das tecnologias de Manufatura Aditiva era percebido por Huang et al. (2013). Progressos significativos estavam ocorrendo e gerando expectativa de que a Manufatura Aditiva poderia revolucionar a indústria de transformação, proporcionando benefícios para a sociedade, em geral, e para as empresas, em particular. Dentre estes benefícios, destaca-se a produção em lotes menores ou mesmo unitários, a flexibilidade e a velocidade de fabricação, por exemplo (HUANG et al., 2013).

Assim, se por um lado evidencia-se o crescimento da utilização das tecnologias de Manufatura Aditiva e uma tendência desse movimento, por outro lado emergem as preocupações sobre o que estas tecnologias de Manufatura Aditiva podem trazer às organizações, para o crescimento industrial e para os governos (FORD, 2014). Com base nesse contexto geral, a Figura 3 apresenta o desenho da pesquisa desta tese.

Figura 3: Desenho da Pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor

As tecnologias de Manufatura Aditiva não impactam apenas o sistema de manufatura das empresas, mas todo o Sistema de Produção. Segundo Black (1998), um Sistema de Produção engloba a área de manufatura e todas as áreas de apoio da organização, contemplando desde a entrada dos pedidos até o recebimento dos valores pagos pelo cliente. De acordo com Ford (2014), é difícil prever em detalhes como a Manufatura Aditiva, que ainda está emergindo, afetará as empresas e seus sistemas produtivos.

Nesse sentido, destaca-se a visualização dos sistemas produtivos sob o ponto de vista do Mecanismo da Função Produção. Para Antunes et al. (2008), deve-se entender o Mecanismo da Função Produção como dois fluxos distintos e inter-relacionados, que sugerem os conceitos da função processo e da função operação. A função processo refere-se ao fluxo de materiais ou produtos, em diferentes estágios de produção, nos quais pode-se observar a transformação gradativa da matéria-prima em produto acabado (ANTUNES et al., 2008). Dessa forma, verifica-se que o sistema produtivo será impactado de maneira ampla, uma vez que os produtos serão fabricados com apenas um recurso, encurtando em demasia o fluxo do objeto do trabalho. Vale advertir que as perdas existentes entre as operações (sujeito do trabalho) também serão afetadas com a diminuição da quantidade de operações.

Sob este ponto de vista, faz-se necessário entender, de maneira ampla e sistêmica, os impactos que a implantação da manufatura acarretará nos sistemas produtivos. Destaca-se que a manufatura será mais flexível (LONG et al., 2017), o que poderá fazer com que as empresas passem de uma lógica de produção em massa para a customização em massa (BERMAN, 2012; FORD, 2014). Outro

benefício atribuído à Manufatura Aditiva está atrelado à redução de estoques (ATTARAN, 2017). No entanto, todas essas características são tratadas de forma isolada, sem relação com o sistema produtivo como um todo. É necessário entender se todos os sistemas produtivos podem ser beneficiados com essas vantagens, independentemente de suas características, como por exemplo, tipo de produto, volume de produção e variedade do mix.

Essa preocupação é ampliada para outros elementos dos sistemas produtivos, como as relações de marketing e vendas, por exemplo. A partir de um modelo de fabricação descentralizado e mais próximo dos consumidores (ATTARAN, 2017; NELSON et al., 2017), o impacto pode atingir até mesmo os modelos de negócio, de maneira significativa. Sendo assim, entender estes impactos faz-se necessário para que as empresas compreendam como a Manufatura Aditiva pode alterar o perfil de negócio e determinar o sucesso da organização (FRAZIER, 2014).

Estes impactos, avaliados individualmente, podem não traduzir significativamente os benefícios gerados pela Manufatura Aditiva. Do ponto de vista econômico, por exemplo, a simples troca de um equipamento por outro não será viável devido ao custo (FRAZIER, 2014). Contudo, analisar todos os impactos desde o desenvolvimento do produto até o mesmo ser entregue ao cliente final pode viabilizar a Manufatura Aditiva. Este fato é corroborado ao observar que a Manufatura Aditiva favorece os pequenos lotes de produção e que o aumento do custo de matérias-primas específicas é compensado por uma redução dos custos fixos associados à fabricação convencional (FRAZIER, 2014). Quanto menos estes impactos forem entendidos de maneira ampla e sistêmica, maiores serão os riscos de as empresas negligenciarem a adoção da Manufatura Aditiva pelos sistemas produtivos.

Estes impactos, por sua vez, repercutirão nos critérios competitivos, fazendo com que as organizações tenham que repensar suas estratégias de operações (D'AVENI, 2015). Os critérios competitivos são os fatores avaliados pelos clientes quando da decisão de compra. Cada um destes fatores é preponderante para a decisão, possuindo uma relevância diferente na decisão do consumidor (SKINNER, 1974). Entretanto, da mesma maneira que os impactos nos sistemas produtivos, não foi verificado na literatura uma análise conjunta das repercussões da Manufatura Aditiva nos critérios competitivos.

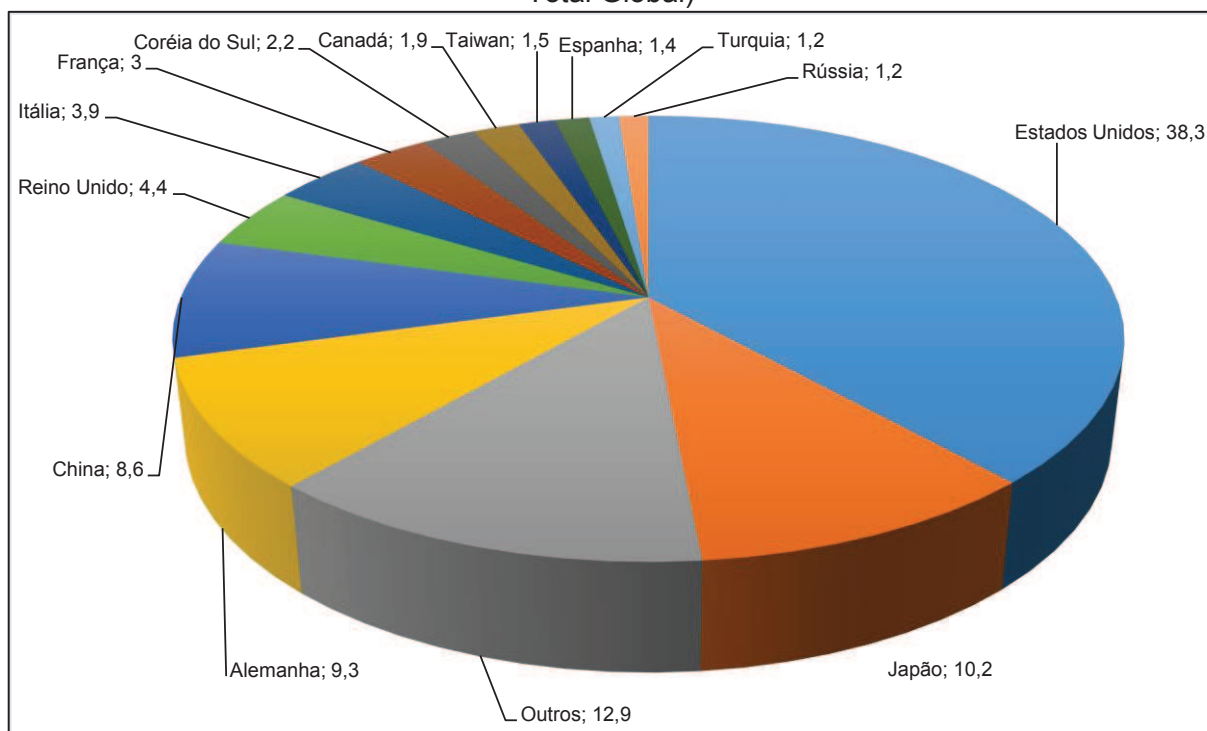
O critério competitivo Custo, por exemplo, discutido por um conjunto de autores (FRAZIER, 2014; MISHRA, 2013; SALLES; GYI, 2013) aborda o quanto a Manufatura Aditiva pode repercutir neste critério, porém não verifica outros critérios que possam ser impactados. Os trabalhos que mais se aproximam desta análise apresentam benefícios e limitações da Manufatura Aditiva e que podem ser relacionados com um conjunto maior de critérios competitivos (BERMAN, 2012; FORD, 2014; LONG et al., 2017). No entanto, tratam apenas do ponto de vista do ambiente de produção, não destacando o ponto de vista da competitividade. Índícios apresentados nesses trabalhos apontam que a Manufatura Aditiva pode fazer com que a empresa se torne competitiva em critérios não possíveis com o uso da manufatura tradicional. Essas incompatibilidades operacionais existentes entre diferentes critérios competitivos são definidas como *trade-offs* (TEIXEIRA et al., 2014). Berman (2012), por exemplo, afirma que a Manufatura Aditiva pode oferecer produtos personalizados e de custo reduzido, provocando uma mudança nos modelos tradicionais de manufatura.

Diante do exposto até aqui, resta evidente a falta de uma análise conjunta das repercussões da Manufatura Aditiva nos Critérios Competitivos, não contribuindo para identificar a possibilidade da Manufatura Aditiva ajudar a superar o *trade-off* existentes na manufatura tradicional. Assim, o objeto de pesquisa desta tese concentra-se nos impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos e suas repercussões nos critérios competitivos.

Ao não entender os potenciais impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos e suas repercussões na competitividade das empresas, de maneira sistêmica, atores como governo, por exemplo, podem não tratar o assunto com a devida importância. Nesse sentido, a inexistência de políticas governamentais no Brasil pode prejudicar a evolução da Manufatura Aditiva, pois os esforços serão realizados individualmente pelas empresas, sem suporte e segurança do governo. Ford (2014) destaca que um tipo de ação de responsabilidade do governo é a aproximação das Universidades e das entidades públicas e privadas para convergir esforços em pesquisas no desenvolvimento da Manufatura Aditiva. Cabe destacar que essas ações de aproximação entre Empresas e Universidades são consideradas específicas para os Estados Unidos, país que representa 38,1% dos equipamentos de Manufatura Aditiva implantadas no mundo no período de 1988 a 2011, como pode ser visualizado na Figura 4.



Figura 4: Equipamentos de Manufatura Aditiva Instalados por País entre 1988 a 2011 (% do Total Global)



Fonte: Adaptado pelo autor a partir de Wohlers, Wohlers Report (2012, p.20)

Observando a Figura 4 sob o prisma da Indústria Nacional, verifica-se que o Brasil não se posiciona entre os países com maior número de equipamentos de Manufatura Aditiva instalados pelas organizações. Isso pode ser entendido como uma oportunidade para os próximos anos e pode ser efeito da falta de conhecimento de quão disruptiva é a Manufatura Aditiva. De acordo com Kupfer (2010), as questões envolvendo tecnologia e inovação são fundamentais para uma estratégia de desenvolvimento econômico e social, especialmente no que tange ao setor industrial.

Assim, verifica-se que o Brasil se encontra atrasado em relação a países desenvolvidos e também a parceiros em desenvolvimento, como é o caso da Rússia e da China, que compõem o BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul), juntamente com Brasil e África do Sul. O Brasil está negligenciando as tecnologias de Manufatura Aditiva e isso pode provocar a perda de competitividade da indústria brasileira.

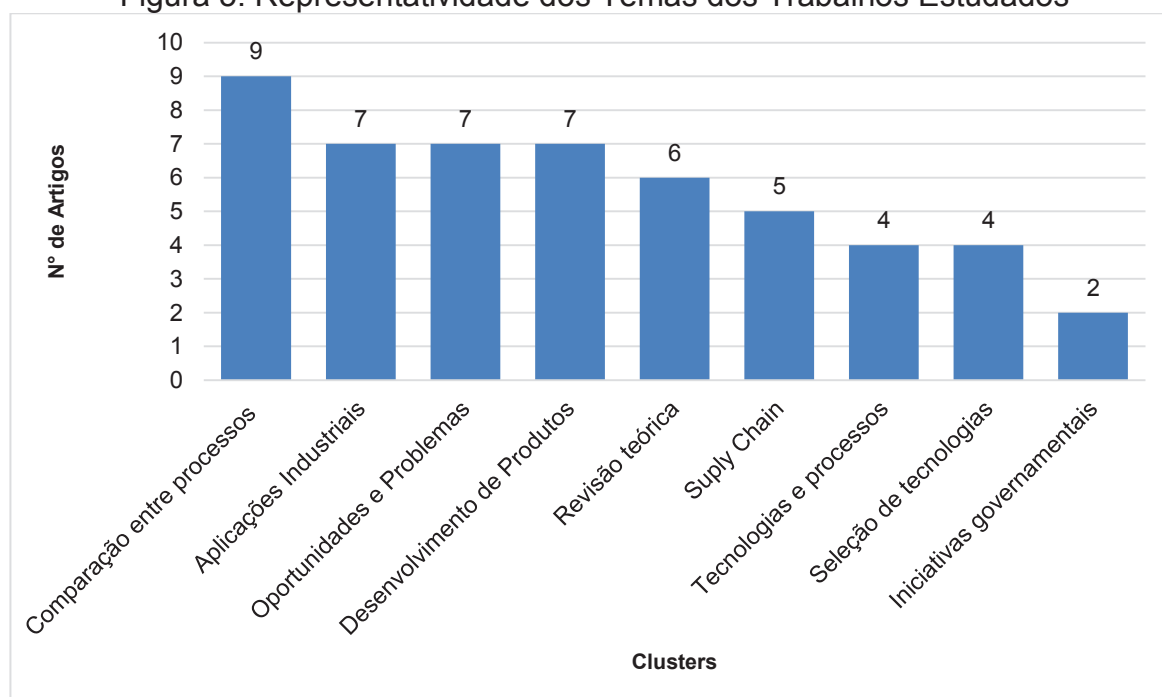
Sob o ponto de vista dos aspectos sociais, discute-se que a utilização da Manufatura Aditiva pelas empresas pode provocar a redução dos postos de trabalho (HUANG et al., 2013). Como a Manufatura Aditiva desenvolve o produto a partir do desenho, adicionando material, não sendo necessário o fluxo por mais operações,



tornando o processo enxuto, os postos de trabalho na manufatura tendem à redução (PICKETT, 2015). Assim, emerge a discussão referente ao desemprego. Mais uma vez, a análise local da implantação da Manufatura Aditiva pode levar a este entendimento, mas, ao identificar os impactos nos sistemas produtivos como um todo, percebe-se que esta afirmação pode não ser uma verdade absoluta, visto que novas funções e especialidades podem surgir a partir do uso das tecnologias de Manufatura Aditiva. Esta perspectiva corrobora a necessidade de um estudo amplo dos impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos e principalmente suas repercussões nos critérios competitivos.

Do ponto de vista da literatura, para o desenvolvimento desta pesquisa, um conjunto de artigos foi estudado. Estes trabalhos podem ser segmentados em *clusters* a partir dos temas de pesquisa de cada estudo. A Figura 5 ilustra a representatividade de cada um desses *clusters*.

Figura 5: Representatividade dos Temas dos Trabalhos Estudados



Fonte: Elaborado pelo autor

Dentre os trabalhos estudados, o maior *cluster* refere-se à utilização da Manufatura Aditiva nos processos produtivos (DING; BAO, 2016; GARDINER, 2015; GIANNITELLI et al., 2015; JONES; WIMPENNY; GIBBONS, 2015; MANOGHARAN; WYSK; HARRYSSON, 2016; PETRICK; SIMPSON, 2013; PICKETT, 2015; PRINCE, 2014; WITHERS, 2010). Estes trabalhos comparam a utilização das tecnologias de

Manufatura Aditiva em relação aos processos tradicionais de fabricação. Se por um lado apresentam aspectos específicos relacionados à manufatura propriamente dita, destacando como ela pode ser considerada uma ruptura aos modelos de fabricação tradicionais, por outro lado destacam como a Manufatura Aditiva pode ser utilizada como um complemento aos processos tradicionais de fabricação (DING; BAO, 2016; GIANNITELLI et al., 2015; MANOGHARAN; WYSK; HARRYSSON, 2016; PICKETT, 2015). Assim, esses estudos tratam apenas perspectivas do ponto de vista dos sistemas de manufatura, não relacionando essas comparações e combinação de processos ao sistema produtivo como um todo. Logo, infere-se que não contribuem para uma análise sistêmica a respeito dos impactos da tecnologia.

Outro *cluster* significativo encontrado na literatura versa sobre aplicações industriais da Manufatura Aditiva. Cabe destacar que estes estudos apenas descrevem como a Manufatura Aditiva pode ser utilizada para a fabricação de produtos ou peças em diferentes tipos de indústrias. Vale observar que a indústria médica apresenta maior representatividade com casos específicos aplicados à fabricação de próteses (LONG et al., 2017; ABURAIA; MARKL; STUJA, 2014; HENGSBACH; LANTADA, 2014; OVERTON, 2014; READE, 2011). Outras aplicações são apresentadas na indústria de calçados e joias (SMITH, 2014) e cerâmica e vidro (WRAY, 2014). Além disso, entre estes estudos, encontra-se uma pesquisa que mostra oportunidades de aplicações da Manufatura Aditiva na indústria americana (D'AVENI, 2015). Estes trabalhos apresentam, de maneira geral, as vantagens da Manufatura Aditiva, principalmente na fabricação de produtos customizados.

Dentre este conjunto de trabalhos, o estudo proposto por Long et al. (2017) investigou o impacto potencial da Manufatura Aditiva na solução de problemas relacionados ao desenvolvimento da manufatura chinesa. Para tal, apresentou a situação atual e os principais problemas da manufatura na China e analisou o impacto potencial da Manufatura Aditiva para seu desenvolvimento. No trabalho em questão, não foram demonstrados os procedimentos metodológicos utilizados na condução da pesquisa, sendo descritos apenas aspectos teóricos e algumas informações que revelam onde a Manufatura Aditiva está sendo empregada na manufatura chinesa. Isso prejudica a análise da pesquisa realizada e não permite, por exemplo, a efetivação de estudos similares comparando as indústrias de outros países. Ainda, não discute como a Manufatura Aditiva pode deixar a manufatura

chinesa mais competitiva e nem sob quais critérios competitivos essa competitividade será sustentada.

Nessa mesma linha, inserem-se os estudos específicos que abordam a aplicação da Manufatura Aditiva no desenvolvimento de produtos (FARISH, 2015; GOODRICH, 2014; LECKLIDER, 2017; PATERSON et al., 2015; SALLES; GYI, 2013; ZHAI; LADOS; LAGOY, 2014). Todos estes estudos apresentam as vantagens da Manufatura Aditiva no desenvolvimento de produtos. Dentre estes trabalhos, o estudo apresentado por Zhai, Lados e Lagoy (2012) destaca que, com a Manufatura Aditiva, a imaginação do profissional é o limite para a criatividade. Isso significa que a Manufatura Aditiva pode criar formas e geometrias não possíveis com o uso da manufatura tradicional. Tanto os estudos que apresentam casos de aplicação quanto os estudos que apresentam as vantagens da Manufatura Aditiva no desenvolvimento de produtos estão relacionados com etapas específicas dos sistemas de produção. Outra vez, as análises são realizadas localmente, não observando seus impactos no sistema como um todo. É sabido, contudo, que estas análises locais podem mascarar potenciais benefícios ou até mesmo limitações da Manufatura Aditiva em outras etapas dos sistemas produtivos, dificultando a tomada de decisão da adoção da tecnologia pelas empresas.

Estudos que discutem oportunidades e problemas da Manufatura Aditiva (ALBERTI; DA SILVA; OLIVEIRA, 2016; BECHMANN, 2014; BERMAN, 2012; COHEN; GEORGE; SHAW, 2014; CRANE; TUCKERMAN; NIELSON, 2011; KIETZMANN; PITT; BERTHON, 2015; SCOTT, 2013) são destacados pela literatura, porém não relacionam oportunidades e problemas a alguma etapa dos sistemas produtivos. Da mesma forma não mostram como estas oportunidades ou problemas podem repercutir nos critérios competitivos. Os estudos são interessantes apenas do ponto de vista de esclarecer as perspectivas da Manufatura Aditiva, *per se*.

Um conjunto de revisões teóricas sobre Manufatura Aditiva também foi encontrado na literatura (FRAZIER, 2014; HUANG et al., 2013; MISHRA, 2013; PELESHENKO et al., 2017; STRAUSS, 2015; WONG; HERNANDEZ, 2012b). Estas revisões apresentam um panorama geral sobre a Manufatura Aditiva, contemplando suas características, tipos de processo e apresentando alguns exemplos de aplicação. Difere-se destes trabalhos a revisão apresentada por Huang et al. (2013). Essa revisão da literatura tem seu foco específico nos impactos sociais derivados da utilização da Manufatura Aditiva. Estes impactos são abordados no

sentido da sustentabilidade sócio ambiental, repercussão esta causada pelo menor consumo de material, energia e menor desperdício conferidos pelas tecnologias de Manufatura Aditiva. Do ponto de vista das repercussões da Manufatura Aditiva nos critérios competitivos, esse estudo destaca exclusivamente uma análise do critério sustentabilidade, porém a análise não evolui para os demais critérios competitivos.

Os estudos do *cluster* definido como *Supply Chain* (KHAJAVI; PARTANEN; HOLMSTRÖM, 2014; KIEVIET; ALEXANDER, 2015; NANNEY; COTTELEER, 2015; ATTARAN, 2017; THOMAS, 2016) são aqueles que mais se aproximam de parte do objeto de estudo desta pesquisa. Esses trabalhos discutem como as cadeias de abastecimento serão impactadas pela Manufatura Aditiva. Estes impactos são tratados do ponto de vista de estoques, redução dos tempos de abastecimento e até descentralização da manufatura, porém não avaliam como esses impactos podem repercutir na competitividade das organizações e como estas informações podem auxiliar as empresas a decidirem pela adoção da Manufatura Aditiva de maneira assertiva.

Dentre estes trabalhos, Attaran (2017) apresenta um estudo que evidencia os impactos da Manufatura Aditiva na cadeia de suprimentos, comparando com o atual modelo da manufatura tradicional. No artigo, são apresentados impactos em quatro critérios da cadeia global de suprimentos: custo, velocidade, qualidade e meio ambiente. Cabe destacar, ainda, que esta análise é realizada apenas do ponto de vista da teoria, não verificando estes resultados com especialistas e nas empresas. Este ponto, contudo, apresenta um viés teórico da pesquisa e não discute a parte empírica para validação dos resultados da teoria.

Estudos que apresentam e descrevem as tecnologias de Manufatura Aditiva (STANEK et al., 2011; URBONAITĖ; KIBIRKŠTIS; MILIŪNAS, 2013; VAEZI; SEITZ; YANG, 2013; GO; HART, 2017) formaram o quarto *cluster* de artigos utilizados nesta pesquisa. Esses estudos foram importantes no sentido de entender que a Manufatura Aditiva é representada por um conjunto de tecnologias diferentes. No entanto, apresentam, basicamente, as diferenças entre as tecnologias de Manufatura Aditiva metálica e termoplástica e suas variações, destacando as vantagens e desvantagens de cada tecnologia, especificamente no que se refere ao equipamento, não fazendo relação com os sistemas produtivos.

O último *cluster* identificado apresenta um conjunto de trabalhos desenvolvido pelo governo dos Estados Unidos apresentando iniciativas governamentais

relacionadas à Manufatura Aditiva e à indústria americana (FORD, 2014; PEARSONS, 2015). Entre estes trabalhos está o estudo apresentado por Ford (2014). Tal material explora o desenvolvimento e aplicação da Manufatura Aditiva, bem como iniciativas para sua implantação nos Estados Unidos. De forma genérica, também menciona iniciativas relacionadas à Manufatura Aditiva que vem ocorrendo em países como China, Japão e Alemanha. Apesar de discutir o efeito da Manufatura Aditiva em atividades de produção das empresas, em particular, e da indústria americana, em geral, o estudo discute efeitos da Manufatura Aditiva na cadeia de abastecimento e principalmente evidencia a Manufatura Aditiva como ferramenta para alterar os sistemas de produção em massa para customização em massa. O que o estudo não leva em consideração é que os sistemas de produção em massa podem continuar existindo e, isto acontecendo, não abordam a viabilidade do uso da Manufatura Aditiva para estes modelos produtivos.

Em síntese, os trabalhos destacados na literatura, em sua maioria, apresentam aspectos isolados relacionados ao uso da Manufatura Aditiva pelas organizações. Impactos relacionados aos benefícios que a Manufatura Aditiva propicia aos processos de desenvolvimento de produtos e como os sistemas de manufatura podem ser impactados são abordados de maneira local, o que pode prejudicar a análise para definição da adoção da Manufatura Aditiva pelas organizações. Uma análise local pode representar investimentos realizados de maneira errada pela falta de conhecimento dos impactos globais nos sistemas produtivos. Além disso, esses impactos repercutem na maneira como as empresas podem definir sua estratégia de manufatura. Todos os estudos que se assemelham ao objeto de pesquisa desta tese não apresentam claramente os procedimentos para a condução da pesquisa e são, em sua maioria, estudos teóricos.

Por fim, definem-se os argumentos expostos para sustentar o problema de pesquisa desta tese sob o ponto de vista gerencial e acadêmico, a saber: i) a falta de uma análise dos impactos da utilização das tecnologias de Manufatura Aditiva nos Sistemas de Produção como um todo; ii) a falta de uma análise conjunta das repercussões da Manufatura Aditiva nos Critérios Competitivos, não contribuindo para a identificação da possibilidade de a Manufatura Aditiva ajudar a superar os *trade-offs*; iii) a falta de uma análise de quais são os desafios da indústria a partir da utilização das tecnologias de Manufatura Aditiva; iv) a inexistência de políticas governamentais no Brasil que possam prejudicar a evolução da Manufatura Aditiva

e, por consequência, a competitividade das empresas nacionais; e v) os impactos sociais, mais especificamente a preocupação com a redução dos postos de trabalho a partir da adoção da Manufatura Aditiva pelas empresas. Com base nos argumentos apresentados nesta seção, apresenta-se a seguinte questão de pesquisa:

**Quais os impactos da utilização da Manufatura Aditiva nos Sistemas Produtivos e suas repercussões nos Critérios Competitivos?**

## 1.2 OBJETIVOS

Apresentam-se, neste tópico, o objetivo geral e os objetivos específicos oriundos desta pesquisa.

### 1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar os impactos da utilização da Manufatura Aditiva nos Sistemas Produtivos e suas repercussões nos critérios competitivos.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar criticamente a literatura e a visão dos especialistas sobre a Manufatura Aditiva e suas relações com os Sistemas Produtivos e os Critérios Competitivos.
- Evidenciar empiricamente os impactos da Manufatura Aditiva nos Sistemas Produtivos e suas repercussões nos Critérios Competitivos.
- Explicitar o potencial da Manufatura Aditiva para os Sistemas Produtivos e os Critérios Competitivos.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Esta seção objetiva evidenciar as razões que sustentam a relevância desta tese. Para isso, dois sentidos principais foram apresentados: i) as contribuições científicas; e ii) o contexto empresarial. A justificativa deste trabalho apresenta o caráter de originalidade da tese e suas contribuições para a academia e para as organizações.

#### 1.3.1 Contribuições Científicas

Relevância é entendida como a relação entre dois elementos. O primeiro elemento é o documento, a pesquisa, a informação que está sendo comunicada e o segundo elemento é o leitor, a comunidade, ou seja, aquele que tem um problema ou uma lacuna a ser respondida. (MIZZARO, 1997). A relevância é definida, também como um fenômeno dinâmico. A relevância de uma pesquisa, texto ou informação, por exemplo, está associada ao momento em que está sendo produzida e/ou acessada (MIZZARO, 1997).

Diante dessas informações, os seguintes critérios foram considerados para destacar a relevância desta pesquisa: i) o tema estar sendo abordado pela comunidade acadêmica na qual está inserido; ii) os trabalhos publicados apresentarem lacunas que possam ser pelo menos parcialmente respondidas por esta pesquisa; iii) a originalidade, ou seja, não terem sido localizados trabalhos que respondam adequadamente à questão de pesquisa aqui formulada.

Para verificação desses critérios, foi realizado o procedimento de revisão sistemática de literatura proposto por Morandi e Camargo (2015). O procedimento teve início com a elaboração do protocolo de revisão sistemática da literatura que é apresentado no Apêndice A deste estudo. O termo de busca utilizado foi “*Additive Manufacturing / Manufatura Aditiva*”, sem recorte temporal, por se tratar de um termo recente (surgiu no final da década de 70 e início da década de 80) e ter por objetivo verificar as publicações que, além de se relacionar com a questão de pesquisa deste trabalho, ajudam na compreensão mais ampla do tema. Definidos os termos de

busca, os mesmos foram pesquisados nas bases: Periódicos Capes, EBSCO HOST e Scielo. Todas as bases foram acessadas a partir do site da biblioteca da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS.

Para as três bases acessadas, o índice de busca selecionado foi o texto completo, justificando-se pelo mesmo critério de procura ampla utilizado quanto aos termos de busca. Além disso, não foi definido recorte temporal, para que pudesse ser verificada a evolução das pesquisas na área. Para o Portal de Periódicos da Capes, com o texto completo, foram encontrados 20.122 títulos, porém foi observado que muitos deles não estavam alinhados nem mesmo com o tema da pesquisa. Sendo assim, a busca foi revisada por “tópico” e o mesmo termo (*Additive Manufacturing/Manufatura Aditiva*) foi selecionado.

Com a pesquisa realizada, a primeira etapa consistiu na análise dos títulos dos artigos encontrados. Assim, foram selecionados aqueles estudos que estavam alinhados à questão de pesquisa da tese. Após a leitura dos títulos, um segundo recorte foi realizado. Foram lidos os *abstracts* dos estudos e, a partir dessa leitura e alinhamento destes à questão de pesquisa, foram definidos os estudos para a leitura completa. No Quadro 1, os resultados encontrados após a leitura dos títulos e a seleção dos estudos para leitura completa são apresentados, organizados pelas bases selecionadas previamente.

Quadro 1: Resultados das Buscas nas Bases de Dados Selecionadas

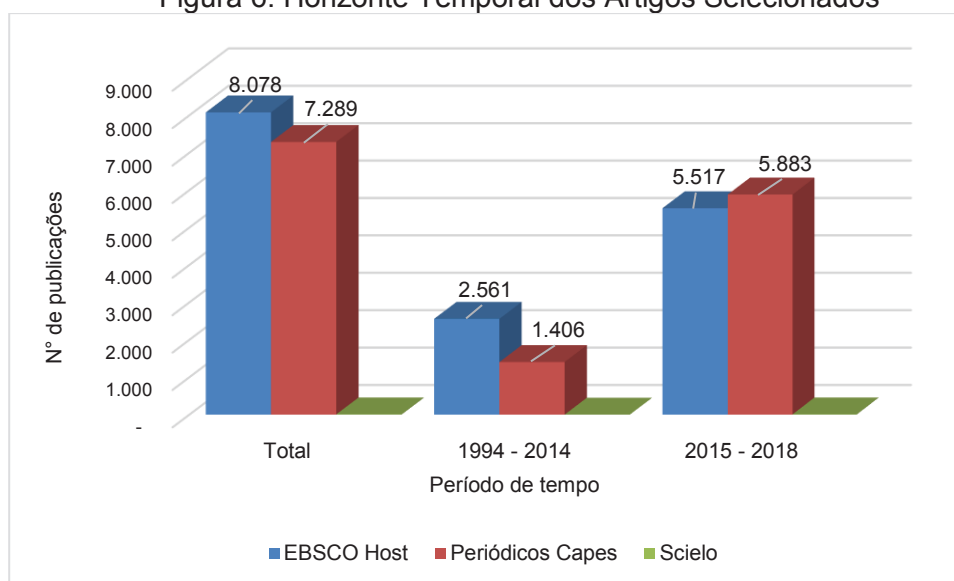
Termo de Busca: <i>Additive Manufacturing</i> OR Manufatura Aditiva					
Base de Dados	Índice de Buscas	Localizados	Títulos Selecionados	<i>Abstracts</i> Selecionados	Texto completo para leitura
Capes	<i>Texto</i>	7.289	1.863	287	32
EBSCO Host	<i>Texto</i>	8.078	1.031	132	49
Scielo	<i>Texto</i>	7	0	0	0
<b>TOTAL</b>	-	<b>28.192</b>	<b>2.894</b>	<b>419</b>	<b>81</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

Para destacar o primeiro critério de relevância adotado por esta pesquisa, apresenta-se o horizonte temporal dos estudos encontrados. Estes resultados são ilustrados na Figura 6.



Figura 6: Horizonte Temporal dos Artigos Selecionados



Fonte: Elaborado pelo autor

Observa-se que a maior parte dos estudos identificados apresenta recorte temporal entre os anos de 2015 a 2018, o que permite inferir que o tema de pesquisa é de interesse atual da academia. Dessa forma, esta pesquisa atende o primeiro critério de relevância, que se refere a estar sendo abordado pela comunidade acadêmica na qual está inserido. A relação dos títulos lidos na íntegra é apresentada no Apêndice B.

Observa-se que os estudos encontrados tratam de comparações da Manufatura Aditiva com os modelos tradicionais de manufatura (DING; BAO, 2016; GARDINER, 2015; GIANNITELLI et al., 2015; JONES; WIMPENNY; GIBBONS, 2015; MANOGHARAN; WYSK; HARRYSSON, 2016; PETRICK; SIMPSON, 2013; PICKETT, 2015; PRINCE, 2014; WITHERS, 2010); discutem a Manufatura Aditiva na aplicação de uma peça ou componente específico em determinado tipo de indústria (LONG et al., 2017; ABURAIA; MARKL; STUJA, 2014; HENGSBACH; LANTADA, 2014; OVERTON, 2014; READE, 2011); ou apenas no processo de desenvolvimento de produtos (FARISH, 2015; GOODRICH, 2014; LECKLIDER, 2017; PATERSON et al., 2015; SALLES; GYI, 2013; ZHAI; LADOS; LAGOY, 2014). Discutem ainda aspectos relacionados à cadeia de abastecimento (KHAJAVI; PARTANEN; HOLMSTRÖM, 2014; KIEVIET; ALEXANDER, 2015; NANNEY; COTTELEER, 2015; ATTARAN, 2017; THOMAS, 2016) e às políticas governamentais a partir das vantagens e desvantagens da Manufatura Aditiva (FORD, 2014; PEARSONS, 2015).

Os resultados encontrados mostram uma das principais limitações destes estudos no que se refere à utilização da Manufatura Aditiva pelas organizações. Tal limitação versa sobre a falta de uma relação destas tecnologias aditivas com os sistemas produtivos como um todo. As abordagens abrangem a manufatura em si, porém não relaciona os resultados com as demais áreas dos sistemas produtivos. Para além dos sistemas produtivos, evidencia-se, também, a falta de relação entre o sistema produtivo e a competitividade das organizações, emergindo a necessidade de estudos que analisem os impactos da Manufatura Aditiva de maneira sistêmica e relacionada não apenas ao ambiente de produção, mas sim à estratégia de produção. Nesse sentido, esta conclusão permite inferir que esta pesquisa atende o segundo critério de relevância adotado: os trabalhos publicados apresentam lacunas que possam ser, pelo menos parcialmente, respondidas por esta pesquisa.

Com o objetivo de verificar o caráter de originalidade desta tese, e assim avaliar o terceiro critério de relevância, foram identificados na leitura os 81 artigos selecionados. São trabalhos que se assemelhavam ao objeto de pesquisa proposto por este estudo. Os trabalhos apresentados por Ford (2014), Long et al. (2017) e Attaran (2017) apresentam traços discutidos por esta pesquisa, porém não abordam os seguintes aspectos que indicam como esta tese pode contribuir em termos acadêmicos: i) não evidenciam os impactos positivos e negativos relacionados ao uso da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos; ii) não analisam a repercussão destes impactos do ponto de vista dos critérios competitivos; e iii) não triangulam os resultados observando a literatura, especialistas e aplicações empíricas.

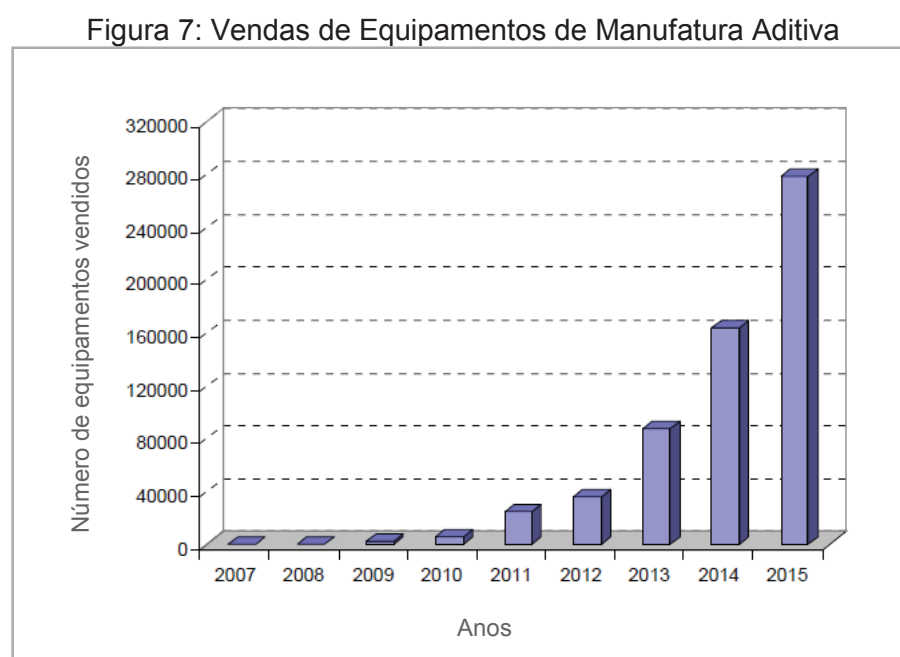
Desse modo, destacam-se os aspectos citados como contribuições adicionais aos trabalhos realizados até o momento. Assim sendo, esta pesquisa avança no sentido de avaliar como a Manufatura Aditiva pode impactar nos sistemas produtivos e que repercussões estes impactos apresentam nos critérios competitivos e, por consequência, na estratégia das organizações.

As contribuições desta tese corroboram a ideia de que a Manufatura Aditiva está se tornando parte de um ecossistema de fabricação. Pode combinar vários materiais, máquinas subtrativas, automação de fábrica e modelos tradicionais de fabricação (GARDINER, 2015). Dessa forma, mesmo que complementando a manufatura tradicional, estudos que auxiliem preparação para a escolha das tecnologias de Manufatura Aditiva e seus impactos nas empresas devem ser

agilizados, uma vez que o auge dessa tecnologia deve ocorrer em cinco a dez anos (COHEN; GEORGE; SHAW, 2014).

### 1.3.2 Contexto Empresarial

As vendas de equipamentos de Manufatura Aditiva apresentaram evidente crescimento nos últimos. A Figura 7 ilustra esta afirmação, destacando o total de equipamentos de Manufatura Aditiva vendidos entre os anos de 2007 a 2015. Equipamentos de Manufatura Aditiva metálica, de porte industrial, tiveram um incremento na participação total destas vendas. Cerca de 808 máquinas de Manufatura Aditiva metálica foram vendidas em 2015, o que representa crescimento de 46,9% em relação a 2014, quando 550 máquinas desta tecnologia foram vendidas (CAFFREY; WOHLERS; CAMPBELL, 2016). Verifica-se, ainda, que o crescimento da unidade de vendas de impressoras 3D de mesa continuou em alta em 2015, aumentando 88% em relação ao ano de 2014. O crescimento médio das vendas unitárias nos últimos quatro anos (2012-2015) foi de 87,3%(CAFFREY; WOHLERS; CAMPBELL, 2016).



Fonte: Caffrey, Wohlers e Campbell (2016, p.4)

Em uma evolução de aproximadamente 20 anos, as receitas oriundas dos produtos e serviços a partir da Manufatura Aditiva apresentaram um salto de US\$ 100 milhões para US\$ 1,8 bilhões de dólares (WOHLERS ASSOCIATES, 2014). Resta evidente que a tendência não é a estagnação. Empresas com executivos experientes que conseguirem sensibilizar, preencher lacunas de talentos e construir as capacidades organizacionais necessárias terão destaque no mercado e se beneficiarão do avançada Manufatura Aditiva (COHEN; GEORGE; SHAW, 2014). Entretanto, para se beneficiarem efetivamente desse avanço, torna-se importante entender como a Manufatura Aditiva pode contribuir para o resultado das organizações. Nessa perspectiva, a tese sustentada por esta pesquisa visa fornecer informações relevantes para que os executivos possam optar, com maior assertividade, pelo uso das tecnologias de Manufatura Aditiva em seus sistemas produtivos.

A primeira contribuição para as organizações trata de apresentar uma análise dos impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos como um todo, ou seja, identificar impactos positivos e negativos relacionados ao uso da tecnologia não apenas na manufatura, mas sim em todas as áreas que a apoiam. A redução do tempo de desenvolvimento de produtos, apontada como um dos impactos positivos da Manufatura Aditiva (FORD, 2014; LECKLIDER, 2017), além de afetar a área de desenvolvimento de produtos da empresa, também atinge as relações de marketing e vendas, pois o produto poderá ser lançado e vendido de maneira antecipada. Da mesma forma, afeta os recursos financeiros da empresa, visto que as receitas podem ser antecipadas. Esse exemplo traduz a importância da contribuição da análise dos impactos da Manufatura Aditiva nas áreas do sistema produtivo de maneira ampla, e não apenas isolada.

Outro aspecto que corrobora a contribuição desta pesquisa para as empresas está associado à questão da mão de obra. Se a análise for realizada apenas no ponto de vista da manufatura, existe preocupação generalizada com a diminuição dos postos de trabalho devido à Manufatura Aditiva necessitar menos trabalho de produção (SHULMAN; SPRADLING; HOAG, 2012). Contudo, ao avaliar o sistema produtivo como um todo, parte dessa mão de obra operacional, a ser reduzida pelo uso da Manufatura Aditiva no sistema de manufatura, será compensada por mão de obra especializada, necessária para suportar a nova tecnologia (PICKETT, 2015).

A segunda contribuição desta pesquisa para as organizações está relacionada à análise das repercussões dos impactos da Manufatura Aditiva nos critérios competitivos e, por consequência, na estratégia da organização. A Manufatura Aditiva pode permitir às empresas serem competitivas em mais de um critério, tornando-se uma ferramenta que pode auxiliar na redução ou até mesmo na eliminação dos *trade-offs*. Essa discussão, entretanto, necessita que as repercussões (positivas ou negativas) dos impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos sejam avaliadas de maneira global e sistêmica; permitindo, assim, que todos os critérios possam ser analisados em conjunto para uma mesma organização.

Destaca-se que a tese defendida por esta pesquisa, que argumenta no sentido de tornar evidente para as organizações as alterações que podem ocorrer a partir da utilização da Manufatura Aditiva pelos sistemas produtivos e suas repercussões nos critérios competitivos, está alinhada com a necessidade apresentada pelo fórum de Manufatura Aditiva organizado pelo GAO<sup>1</sup> e assistido pela *National Academies* dos Estados Unidos realizada em 2014 que identificou como principais problemas a serem sanados para a futura utilização da Manufatura Aditiva os seguintes pontos: i) os *trade-offs*; ii) os desafios da indústria; iii) os setores do sistema produtivo afetados pelo desenvolvimento da Manufatura Aditiva nas empresas; e iv) as políticas governamentais (PEARSONS, 2015).

Por fim, esta tese contribui no sentido de levar os resultados desta análise da Manufatura Aditiva tanto nos sistemas produtivos quanto nos critérios para além das empresas. A tese defendida neste trabalho atente tanto as empresas quanto o governo do potencial disruptivo desta tecnologia em relação aos modelos de produção tradicionais e o quanto ela não deve ser negligenciada por esses atores. Discutidas as contribuições, a próxima seção apresenta as delimitações que determinam os limites de aplicação desta pesquisa.

#### 1.4 DELIMITAÇÕES

---

<sup>1</sup>Government Accountability Office dos Estados Unidos.

Nesse momento, procura-se explicitar as principais delimitações, ou seja, os aspectos que não fazem parte do escopo desta pesquisa. Cabe destacar que o trabalho não vai abordar os tipos de sistemas produtivos (*Make to Stock* - MTS, *Assemble To Order* - ATO, *Engineer To Order* - ETO, *Make To Order* - MTO). A análise, portanto, será realizada tomando como base a representação genérica dos sistemas produtivos proposta por Black (1998). Dito de outro modo, os sistemas produtivos serão analisados de maneira ampla e podem estar sendo negligenciados detalhes específicos.

O trabalho não vai analisar as relações entre as categorias de análise dentro de um mesmo grupo. Serão analisados apenas os impactos da Manufatura Aditiva nas categorias de análise dos sistemas produtivos e não as relações entre as categorias. Da mesma maneira, serão analisadas as repercussões da Manufatura Aditiva nos critérios competitivos, não sendo analisadas as relações entre os critérios.

Não serão realizadas avaliações quantitativas relacionadas aos impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos e suas repercussões nos critérios competitivos. Essa delimitação se deve ao fato de as unidades estudadas não autorizarem o uso de dados quantitativos por se tratar de uma tecnologia considerada como um diferencial competitivo. Na mesma linha, devido à falta de dados disponibilizados pelas organizações, não serão realizadas análises do ponto de vista econômico.

Apenas um estudo de caso foi feito. Devido a restrições de visitação e observa o, dois estudos de campo foram realizados (um estudo de campo em um Instituto de Pesquisa do Ministério da Defesa e o outro em uma empresa Aeronáutica), que implicam análises em menor profundidade que os estudos de caso, porém foram necessários devidos às restri es apresentadas pelas organiza es.

Na análise dos impactos da Manufatura Aditiva e suas repercussões nos critérios competitivos do ponto de vista da literatura, não serão analisadas as categorias que emergirem *aposteriore*a partir da análise de conteúdo das entrevistas.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

No Capítulo 1, são apresentados os aspectos introdutórios desta tese. Estes aspectos apresentam o tema no qual o trabalho busca contribuir, contextualizando a temática historicamente e sua recente aplicação nas organizações e na academia. O problema de pesquisa é apresentado na sequência, o qual motiva a realização do trabalho e encontra a contribuição da pesquisa. Os objetivos são explicitados, destacando como a questão de pesquisa será respondida. Ainda nesta seção são apresentadas as justificativas para a pesquisa, que foram divididas em duas etapas: a justificativa contribuição científica que visa esclarecer a importância desta pesquisa para a academia e a justificativa empresarial mostrando a utilidade da mesma no ambiente organizacional.

No segundo capítulo desta tese, são apresentados os procedimentos metodológicos utilizados para a condução do trabalho. O enfoque é a escolha do método de pesquisa, ou seja, a definição e a justificativa para a utilização do método, no caso os métodos múltiplos de pesquisa, representados pelos estudos de campo e de caso. Com o método de pesquisa definido, apresenta-se o método de trabalho e como os dados serão coletados e analisados. Este capítulo será apresentado logo após a introdução do trabalho, pois abordará os procedimentos adotados para a realização da análise de conteúdo da literatura no que tange aos impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos e as repercussões nos critérios competitivos. Essa análise será apresentada no capítulo 4 desta tese e tem como objetivo complementar o referencial teórico.

O referencial teórico é o terceiro capítulo desta tese. Nele, serão tratados tópicos que auxiliam o entendimento dos conceitos utilizados nesta pesquisa. Está estruturado, basicamente, em três linhas distintas, partindo das definições gerais da Manufatura Aditiva, a sua relação com os sistemas de produção e com os critérios competitivos. Neste capítulo, são apresentadas as proposições sugeridas a partir da literatura e que serão testadas por meio da análise dos especialistas e dos estudos empíricos de caso e de campo. Será apresentada ainda uma síntese das pesquisas sobre Manufatura Aditiva.

Para iniciar as análises dos dados, o quarto capítulo apresenta a análise da literatura sobre os impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos e as repercussões destes impactos nos critérios competitivos. Esta análise complementa o referencial teórico apresentado no capítulo 3.

O quinto capítulo desta tese apresenta a avaliação dos impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos sob a ótica dos especialistas. Estes especialistas estão segmentados em três grupos, a saber: fabricantes e representantes de equipamentos de Manufatura Aditiva, usuários e formuladores de políticas públicas. É realizada, por conseguinte, a análise de conteúdo das entrevistas e a comparação desta análise entre os grupos de especialistas e também com a literatura.

O capítulo 6 trata da avaliação das repercussões da Manufatura Aditiva nos critérios competitivos. As entrevistas são novamente analisadas sob a ótica dos critérios competitivos e também comparados entre os grupos de entrevistados e com a literatura. Ainda, é realizada uma análise integrada dos impactos nos sistemas produtivos e as repercussões nos critérios competitivos.

No sétimo capítulo desta tese, são apresentados os dois estudos de campo e o estudo de caso realizados. Os estudos de campo foram realizados em uma empresa aeronáutica que utiliza a Manufatura Aditiva, em seu sistema de manufatura, imprimindo as peças e entregando as mesmas na linha de montagem. O segundo estudo de campo foi direcionado em um instituto de pesquisa que utiliza a Manufatura Aditiva para o desenvolvimento de produtos. O estudo de caso foi realizado em uma empresa que utiliza uma tecnologia similar à Manufatura Aditiva, o processo de injeção de metal (*Metal Injection Moulding* - MIM). Esta empresa foi escolhida pela similaridade do processo e por se caracterizar por uma produção em grandes lotes.

As discussões dos resultados são apresentadas no oitavo capítulo desta tese. Neste capítulo, são analisadas as proposições geradas a partir da literatura e as contribuições da pesquisa. Por fim, o capítulo 9 apresenta as conclusões desta tese.



## 2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

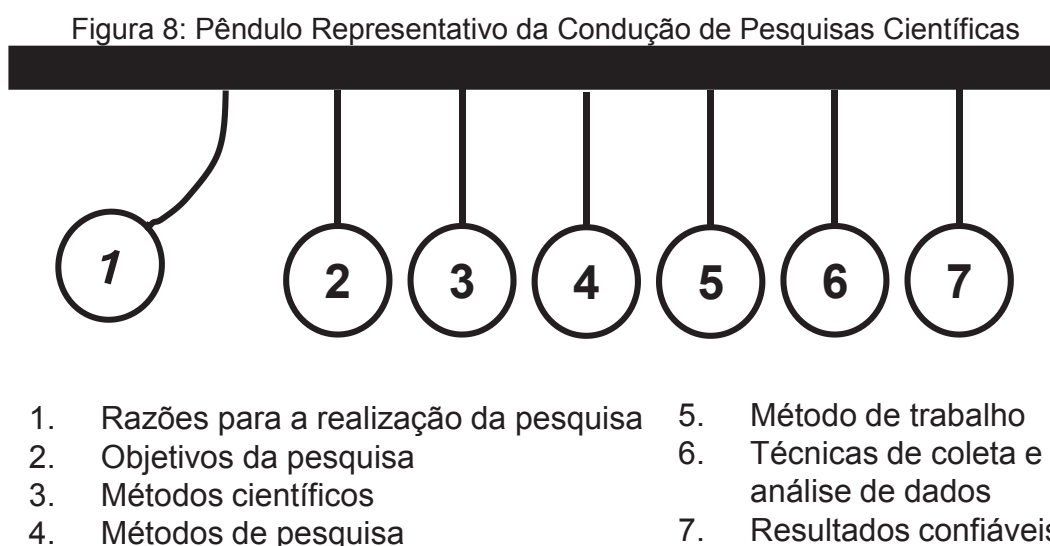
O progresso da ciência e o avanço do conhecimento científico se viabilizam com o uso da pesquisa, seja para comprovar determinadas teorias, seja para propor soluções para eventuais problemas(DRESCH et al., 2015). Sendo assim, a pesquisa pode ser definida como uma investigação sistemática voltada ao desenvolvimento ou ao refinamento de teorias e à resolução de problemas(DRESCH et al., 2015). Desse modo, para desenvolver a pesquisa científica, procedimentos devem ser seguidos com o objetivo de garantir rigor, relevância e buscar o resultado. Nesse sentido, para assimilar ou desenvolver o conhecimento científico, é preciso fazer uso de um método(LAKATOS; MARCONI, 2011). Neste capítulo, apresentam-se os procedimentos aplicados para a condução deste estudo: método científico, método de pesquisa, método de trabalho e as técnicas de coleta e análise de dados.

### 2.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

A organização das atividades de condução da pesquisa é fundamental para o avanço da ciência. Os cuidados na condução da pesquisa conferem rigor e asseguram à compreensão dos interessados no tema da pesquisa. O maior rigor metodológico assegura a validade da pesquisa e seu reconhecimento como um estudo confiável e bem conduzido (DRESCH et al., 2015).

Diante do que foi exposto, cabe explicar que a pesquisa foi conduzida por meio de uma abordagem qualitativa. A pesquisa qualitativa considera que existe uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números(SILVA; MENEZES, 2005). A pesquisa qualitativa utiliza dados textuais, de análise interpretativa e independente(BAUER; GASKELL, 2002). Nesse sentido, um conjunto de entrevistas com especialistas e avaliações empíricas por meio de estudos de caso e de campo fornecerão informações qualitativas para a avaliação da relação da Manufatura Aditiva com os sistemas produtivos e critérios competitivos.

Para identificar a estratégia utilizada na condução desta pesquisa, será utilizado o pêndulo representativo da condução de pesquisas científicas, proposto por Dresch et al. (2015). Este modelo para definição da estratégia é ilustrado na Figura 8.



Fonte: Adaptado pelo autor a partir de Dresch et al. (2015)

A razão para realizar esta pesquisa surgiu da necessidade de avaliar quais serão os impactos da utilização da Manufatura Aditiva sobre os sistemas produtivos das organizações e suas repercussões nos critérios competitivos. A Manufatura Aditiva é uma realidade, mas ainda pouco se sabe sobre seu potencial para as organizações. A pesquisa existe para gerar entendimento sobre algo, sendo motivada pelas seguintes razões: i) curiosidade humana; ii) necessidade de prever o comportamento de alguma entidade; e iii) necessidade de mudar o comportamento de alguma entidade (MANSON, 2006).

Sendo assim, satisfazer a curiosidade do pesquisador e dos profissionais de produção sobre a entrada das tecnologias de Manufatura Aditiva no seu ambiente de trabalho, a necessidade de visualizar o que acontecerá com os sistemas produtivos com a entrada das tecnologias de Manufatura Aditiva e a necessidade de entender como as empresas devem se preparar para a Manufatura Aditiva como tecnologia para os sistemas produtivos são consideradas as razões para a realização desta pesquisa. Uma revisão sistemática da literatura foi realizada como ponto de partida da operacionalização desta pesquisa. Esta revisão corroborou as razões para a realização do presente estudo, uma vez que se observou que a literatura negligencia

os impactos que a Manufatura Aditiva pode ocasionar nos sistemas de produção das organizações, principalmente sob o ponto de vista dos critérios competitivos.

Sendo assim, o objetivo desta pesquisa é classificado como exploratório. A pesquisa exploratória tem a finalidade de proporcionar maior familiaridade com o problema evidenciado, procurando torná-lo mais explícito ou construir hipóteses ou proposições (SILVA; MENEZES, 2005). Para esta pesquisa, procura-se tornar os impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos e suas repercussões nos critérios competitivos mais explícitos para as organizações, reduzindo as barreiras para sua implantação.

Nesta pesquisa, o positivismo é a filosofia adotada, uma vez que seu foco é trabalhar com a realidade social observável, semelhante aos resultados produzidos por cientistas naturais (SAUNDERS; LEWIS; HORNHILL, 2009). No caso em questão, caberá identificar os impactos decorrentes da utilização da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos das organizações e suas repercussões nos critérios competitivos. A estratégia de pesquisa utilizada parte dos dados da literatura existente para o desenvolvimento de hipóteses e/ou proposições. Estas hipóteses e/ou proposições serão testadas e confirmadas, no todo ou em parte, ou refutadas, levando a um maior desenvolvimento da teoria que, em seguida, pode ser testada por outras pesquisas (SAUNDERS; LEWIS; HORNHILL, 2009).

O método científico é definido como uma perspectiva de como o conhecimento é construído, sendo que sua escolha considera dois aspectos: o ponto de partida e o objetivo da pesquisa (DRESCH et al., 2015). O método científico identificado para este trabalho é o hipotético dedutivo. Neste método científico, o pesquisador parte de conhecimento teórico prévio e a partir dele propõe relações entre as variáveis encontradas.

A revisão sistemática da literatura proporcionou construir uma base de conhecimentos prévios sobre o tema da pesquisa. Nos trabalhos analisados, identificou-se o negligenciamento da literatura sobre os impactos que serão gerados pela utilização das tecnologias de Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos. Os impactos são tratados de maneira isolada, sem observar suas relações e consequências de maneira conjunta sob o ponto de vista dos critérios competitivos.

A combinação dos “comos” e “o quês” produz o modelo típico por meio do qual podem derivar proposições passíveis de serem testadas. Cabe destacar que a principal diferença entre proposições e hipóteses é que proposições envolvem

conceitos, enquanto hipóteses requerem medidas (WHETTEN, 2003). Para confirmar ou refutar na sua totalidade ou em parte, as proposições foram falseadas nos testes realizados por meio de múltiplos métodos de pesquisa, apresentados a seguir.

Esta pesquisa adotará múltiplos métodos de pesquisa, ou seja, fará uso dos estudos de campo e de estudo de caso. Estes dois métodos de pesquisa foram aplicados para realizar a última etapa do método hipotético dedutivo que são os testes de falseamento das proposições. Os estudos de campo e de caso foram realizados em empresas que utilizam as tecnologias de Manufatura Aditiva em seus sistemas produtivos. Ainda, foram realizadas entrevistas em empresas fabricantes e representantes de tecnologia de Manufatura Aditiva, usuários e formuladores de políticas públicas.

O estudo de campo é um método de pesquisa que procura o aprofundamento de uma realidade específica. É basicamente realizado por meio da observação direta das atividades do grupo estudado e de entrevistas com informantes para captar as explicações e interpretações do que ocorre naquela realidade (BERTO; NAKANO, 1998, 2000; FILIPPINI, 1997; LOWSON, 2002). O estudo de campo situa-se entre o levantamento amostral e o estudo de caso (LOWSON, 2002). Trabalha com amostras que permitem análises qualitativas e quantitativas sem se preocupar com a representatividade da amostra (FILIPPINI, 1997). A utilização deste método ocorre em função da restrição ao campo de pesquisa e acesso aos dados, pois as empresas que utilizam a Manufatura Aditiva em seus sistemas produtivos não permitem a observação e divulgação por completo da tecnologia que pode ser seu diferencial competitivo.

Além do estudo de campo, foi utilizado como parte dos métodos múltiplos de pesquisa o estudo de caso. Estudos de caso são apropriados quando necessita-se uma compreensão em profundidade de campos de pesquisa não completamente explorados (DUBÉ; PARÉ, 2003). Para esta pesquisa, optou-se pelo estudo de caso único e incorporado, transversal, pois potencializa a validade interna dos resultados (BARRATT; CHOI; LI, 2011; VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002). O estudo de caso foi realizado em uma empresa que possui uma tecnologia similar à Manufatura Aditiva e realiza produção em escala.

O emprego de múltiplos métodos de pesquisa é uma estratégia de pesquisa descrita como convergente, multimétodo, validação convergente ou triangulação

(AZEVEDO et al., 2013). Nota-se, entretanto, que existem diferentes formas de realizar a triangulação de dados(MANGAN; LALWANI; GARDNER, 2004). Para os fins desta pesquisa, será utilizada a triangulação de dados. Essa triangulação de dados teve origem em três fontes principais. A primeira fonte foi a análise de conteúdo da literatura, seguida das análises das entrevistas dos especialistas e dos resultados dos estudos de campo e de caso. A seguir, apresenta-se o método de trabalho utilizado na condução desta pesquisa.

## 2.2 MÉTODO DE TRABALHO

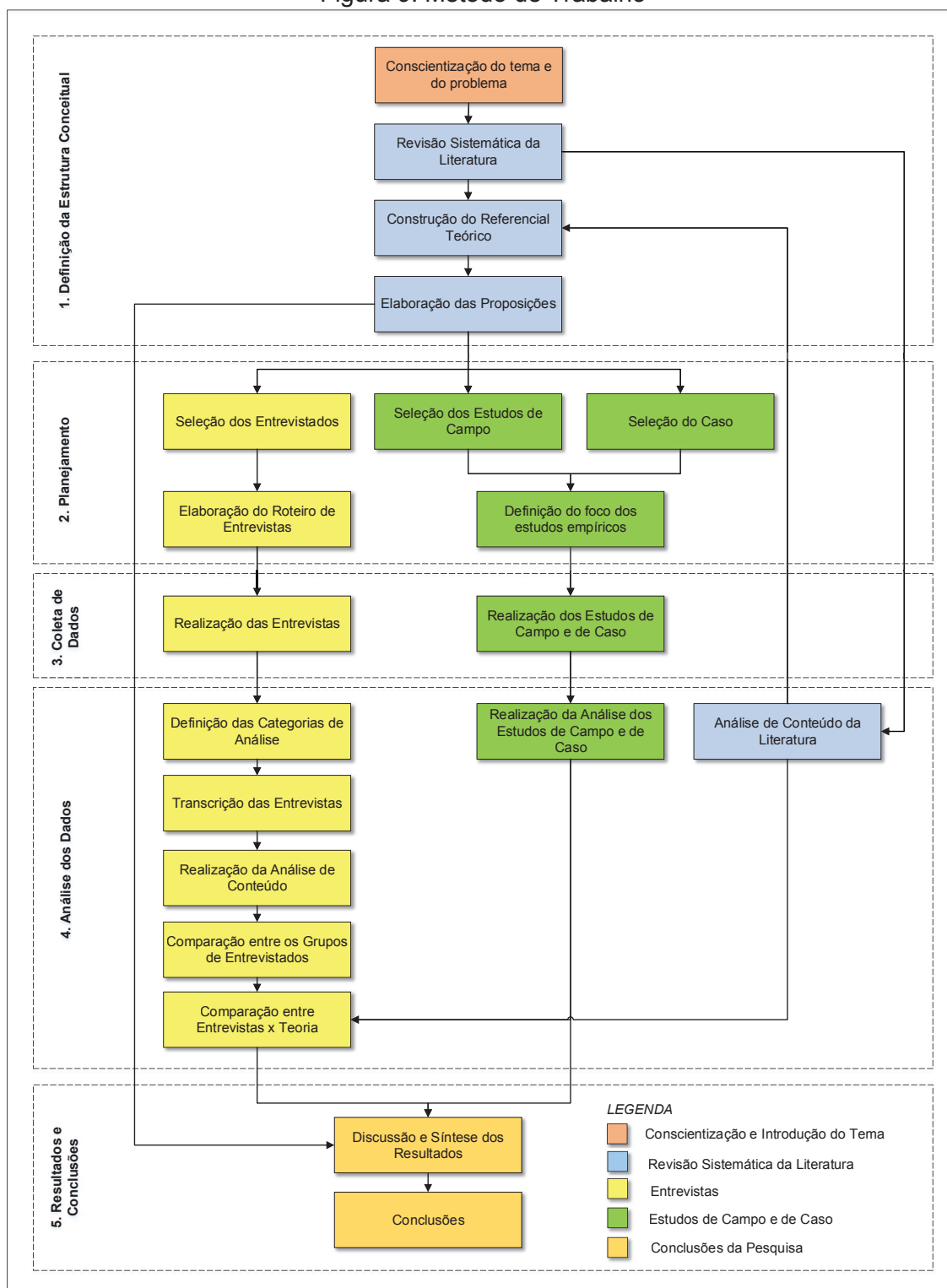
O método de trabalho é definido como uma sequência de passos lógicos que o pesquisador vai seguir, no desígnio de alcançar os objetivos da pesquisa(MARCONI; LAKATOS, 2010). Um método de trabalho permite maior clareza e transparência quanto à condução da pesquisa, o que possibilita que a sua validade seja reconhecida por outros pesquisadores(DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2015). A Figura 9 lista as etapas que foram realizadas para a condução desta pesquisa. O método de trabalho tem sua estrutura em concordância com as etapas do estudo de caso proposto por Cauchick Miguel (2012), por apresentar, por definição, mais rigor que os estudos de Campo.

De maneira geral, o método de trabalho está estruturado em cinco macro etapas distintas, a saber: i) definição da estrutura Conceitual; ii) planejamento das entrevistas e dos estudos de campo e de caso; iii) coleta de dados; iv) análise dos dados; e v) conclusões da pesquisa. Cada uma destas macro etapas do método de trabalho serão detalhadas a seguir.

A Definição da Estrutura Conceitual foi a primeira macro etapa do método de trabalho e iniciou pela conscientização e introdução do tema da pesquisa. Essa etapa foi apresentada no capítulo 1 desta tese. A identificação e justificativa do tema da pesquisa, bem como sua relevância tanto para as organizações quanto para a academia foram destacadas. Também no capítulo 1, foram apresentados os procedimentos e resultados da revisão sistemática da literatura (MORANDI; CAMARGO, 2015b) que deram suporte para a construção do referencial teórico, a elaboração das proposições e da definição do corpus de análise da pesquisa a partir

dos critérios de inclusão e exclusão dos estudos apresentados no protocolo de revisão sistemática da literatura. Ainda, na etapa de definição conceitual, foram definidas as categorias de análise para a realização da análise de conteúdo da literatura e das entrevistas.

Figura 9: Método de Trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor

O referencial teórico foi construído em duas etapas. A primeira etapa consolidou os conceitos básicos para a construção desta tese como Manufatura Aditiva, sistemas produtivos e critérios competitivos, além da apresentação de uma síntese dos estudos encontrados na revisão sistemática da literatura. A segunda etapa contemplou seleção dos estudos que fizeram parte do corpus de análise. Dito de outro modo, os estudos resultantes da revisão sistemática da literatura foram selecionados de acordo com os critérios de inclusão e exclusão apresentados no protocolo de revisão sistemática. Em seguida, foi realizada a análise de conteúdo da literatura. Esta análise de conteúdo identificou os impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos e suas repercussões nos critérios competitivos, apresentada no capítulo 4 desta tese. Ainda, a partir do corpus de análise, foram elaboradas as proposições a serem avaliadas sobre o objeto de pesquisa desta tese (impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos e suas repercussões nos critérios competitivos). Essa avaliação ocorreu na etapa de Discussão e Síntese dos Resultados.

Na macro etapa intitulada Planejamento, foi realizada a elaboração do roteiro para as entrevistas, que derivou do corpus de análise constituído a partir da revisão sistemática da literatura e das proposições formuladas para avaliação. Em seguida, foram selecionados os entrevistados para a realização da pesquisa. Em um primeiro momento, foram identificadas empresas fornecedoras e fabricantes de Manufatura Aditiva. Estas empresas foram convidadas, e aquelas que aceitaram participar das entrevistas indicaram clientes que fazem uso dos equipamentos de Manufatura Aditiva nos seus sistemas produtivos. Além disso, foi realizado contato com formuladores de políticas públicas do Brasil e dos Estados Unidos para identificar as percepções desses atores frente à tecnologia. A seleção dos estudos de campo também foi resultado de indicação das empresas fornecedoras das tecnologias de Manufatura Aditiva. O estudo de caso foi selecionado a partir de uma empresa que utiliza um processo similar à Manufatura Aditiva com características específicas.

Estas características de cada empresa selecionada levaram à definição do foco de cada um dos estudos de campo e do estudo de caso. O primeiro estudo de campo teve foco específico na aplicação da Manufatura Aditiva no desenvolvimento de produto e o segundo na utilização da Manufatura Aditiva no sistema de manufatura. O estudo de caso teve foco na avaliação dos resultados do processo em uma empresa caracterizada pela produção em grandes lotes.

Na macro etapa Coleta de Dados, as entrevistas foram realizadas, presencialmente ou virtuais, guiadas pelo roteiro elaborado na etapa anterior. Todas as entrevistas foram gravadas, tiveram duração média de uma hora, e posteriormente transcritas. Os estudos de campo e de caso foram realizados com visitas às empresas, entrevistas e observação direta da Manufatura Aditiva no foco específico de cada estudo.

Na macro etapa definida como Análise dos Dados a Partir das Entrevistas, emergiram categorias de análise *a posteriore*, que foram definidas para apoiar a análise do conjunto de especialistas. Na sequência, as entrevistas foram analisadas (Análise de Conteúdo) com auxílio do Software ATLAS.ti versão 8. Após analisados, os resultados das entrevistas foram comparados entre os grupos de entrevistados e com a análise de conteúdo da literatura, realizada na primeira macro etapa do método de trabalho, com o objetivo de identificar aspectos convergentes, complementares e divergentes entre os grupos de entrevistados e entre a prática e a teoria. As observações realizadas nos estudos de campo e de caso foram consolidadas e analisadas nesta etapa.

A última macro etapa da pesquisa é direcionada para a Discussão dos Resultados a partir da consolidação de todas as análises realizadas (Literatura, Estudos de Campo, Estudo de Caso e Entrevistas). Ao término das discussões, as conclusões desta tese foram apresentadas. A seguir, serão abordados os procedimentos de coleta dos dados.

### 2.3 COLETA DE DADOS

Esta seção tem como objetivo apresentar as fontes de dados deste estudo e as técnicas utilizadas para a coleta. Uma série de técnicas de coleta de dados são conhecidas e devem ser escolhidas de acordo com o objetivo e o método de pesquisa (DRESCH et al., 2015). Para esta pesquisa, as técnicas utilizadas foram as entrevistas em profundidade como fonte principal, e a observação direta como fonte complementar.

As entrevistas são consideradas uma das fontes mais importantes de evidência em estudos de caso (YIN, 2013) e, para os estudos de campo, é a técnica



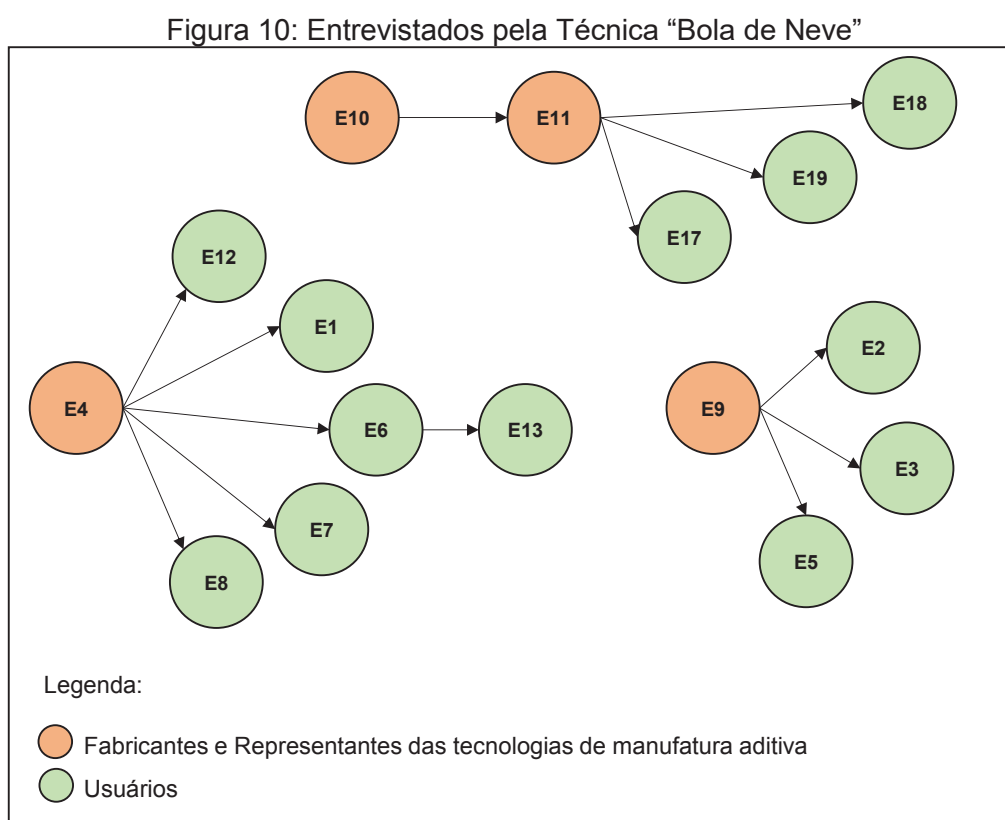
mais comum para captar as explicações e interpretações que ocorrem na realidade do ambiente de estudo (FILIPPINI, 1997). As entrevistas foram realizadas em profundidade, pois se define como uma entrevista aberta e versátil em sua estrutura de questões, o que permite explorar com maior amplitude os aspectos de interesse do pesquisador (YIN, 2013). Sendo assim, por meio das entrevistas em profundidade, procurou-se identificar indícios e evidências dos impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtos e suas repercussões nos critérios competitivos. A observação direta é o procedimento de coleta de dados que se utiliza dos sentidos na obtenção de dados de determinados aspectos da realidade (SILVA; MENEZES, 2005). Para estes estudos de campo e para o estudo de caso, utilizou-se a observação direta para investigar alguns comportamentos ou condições do ambiente estudado que apresentassem relevância para o desenvolvimento desta pesquisa.

Nesta etapa, foi realizada a construção do roteiro das entrevistas. Para tal feito, resgatou-se as proposições relacionadas aos impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos e suas repercussões nos sistemas produtivos, definidas no referencial teórico. Essas proposições conferiram lastro teórico para a construção das questões do roteiro de entrevistas. Os roteiros de entrevistas são apresentados nos Apêndice C (Impactos da Manufatura Aditiva nos Sistemas Produtivos) e Apêndice D (Repercussões da Manufatura Aditiva nos Critérios Competitivos).

Na seleção dos entrevistados, foram realizados contatos com empresas fabricantes e representantes das tecnologias de Manufatura Aditiva brasileiras. De um total de oito empresas contatadas, três responderam positivamente à possibilidade de fazer parte da pesquisa. Nestas três empresas, foram realizadas quatro entrevistas. Cabe destacar que estas quatro entrevistas formaram o grupo de fabricantes e representantes das tecnologias de Manufatura Aditiva.

A partir desta amostra de entrevistados, foi utilizada a técnica denominada “Bola de neve” para obtenção de mais contatos para as demais entrevistas. A técnica da “Bola de Neve” é aquela em que um entrevistado indica outro de seu relacionamento para também participar da amostra (GOODMAN, 1961). A técnica da “Bola de Neve” foi utilizada devido à dificuldade de encontrar profissionais e empresas que fizessem uso da Manufatura Aditiva. Sendo assim, os entrevistados do grupo Fabricantes e Representantes de Manufatura Aditiva indicaram empresas clientes que adquiriram algum tipo de tecnologia de Manufatura Aditiva para que o

grupo dos usuários da tecnologia pudesse ser formado. De um total de 23 indicações, 12 empresas aceitaram participar da pesquisa, compondo o grupo usuários. A Figura 10 apresenta o número definido para cada entrevistado e a relação entre eles. Destaca-se que o número de fontes da técnica da “Bola de Neve” ajuda a reduzir o viés da pesquisa. Caso todas os usuários fossem indicados por apenas uma das empresas, os resultados poderiam apresentar viés do ponto de vista daquela empresa fabricante das tecnologias de Manufatura Aditiva em específico. No caso em questão, foram evidenciadas três fontes primárias.



Fonte: Elaborado pelo autor

Ainda no processo de seleção dos entrevistados, foram realizados convites para cinco representantes do governo brasileiro, sendo três representantes do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) e dois representantes do Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior e Serviços (MDIC). Além disso, um representante do *The Global Federation of Competitiveness Councils*, dos Estados Unidos, órgão que tem como objetivo compartilhar as melhores práticas entre os conselhos e criar uma rede de líderes globais comprometidos com sua prosperidade nacional e a prosperidade do mundo, foi contatado para fazer parte da desta pesquisa. Dois representantes do MCTIC e o

representante dos Estados Unidos responderam positivamente e fizeram parte do grupo Formuladores de Políticas Públicas. Cabe destacar que os entrevistados têm relação direta com a Manufatura Aditiva ou manufatura avançada.

Dessa forma, a base para pesquisa foi composta por 19 entrevistados. Estes entrevistados foram agrupados em três grupos distintos: i) fabricantes e representantes das tecnologias de Manufatura Aditiva; ii) usuários da Manufatura Aditiva; e iii) formuladores de políticas públicas. O Quadro 2 apresenta os entrevistados que fizeram parte da pesquisa.

Quadro 2: Relação dos Entrevistados

Grupo	Entrevistados	Atuação	
Fabricantes e Representantes	E4	Erica Villas Boas Massini	MBA in Marketing. Gerente de Marketing da Stratasys, líder mundial em impressão 3D.
	E9	Rodrigo Krug	Graduando em Engenharia de Controle e Automação (PUCRS). CEO da Cliever Tecnologia, primeira empresa brasileira a fabricar impressoras 3D.
	E10	Henrique Anderson Knorst	Graduando em Engenharia de Controle e Automação (UFRGS). Gerente Geral da PrintUp 3D, startup de Manufatura Aditiva.
	E11	Juliana Breda Soares	Engenheira de materiais e atua na PrintUp 3D, startup de Manufatura Aditiva.
Usuários	E1	Diego Rodrigues Sant'Anna	Mestre em Engenharia Aeronáutica e Mecânica (ITA). Analista de Serviços Técnicos e Tecnológicos do Instituto Senai de Inovação Metalmeccânica.
	E2	Entrevistado 2	Coordenador de Produção de empresa de automação agrícola.
	E3	Entrevistado 3	Microempresário Forma 3D Projetos.
	E5	José Antonio Barata de Oliveira	Doutor em Engenharia Eletrotécnica. Coordenador do grupo de pesquisa Sistemas Industriais do UNINOVA - Instituto de Desenvolvimento de Novas Tecnologias e docente da Universidade Nova de Lisboa.
	E6	Entrevistado 6	Mestrando em Ciências e Tecnologias Espaciais, na área de Propulsão Espacial e Hipersônica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA. Colaborador do Instituto de Estudos Avançados (IEAv).

Grupo	Entrevistados		Atuação
	E7	Entrevistado 7	Gerente de Inovação e Produto de grande empresa do ramo calçadista (SP).
	E8	David Cislighi	<i>Market Development and Sales Manager</i> empresa multinacional de injeção de plásticos (EUA).
	E12	Entrevistado 12	Supervisor Técnico e Coordenador do Laboratório de Prototipagem – LPMD.
	E13	Entrevistado 13	Doutor em Engenharia Aeronáutica e Mecânica (ITA). Engenharia Aeroespacial, com ênfase no Desenvolvimento de Métodos e Processos de Fabricação de Peças Estruturais Metálicas para Aplicação Aeronáutica.
	E17	Sidnei Nazario Albino	Especialista em Engenharia de Produção e Sistemas (UNISINOS). Gerente de produção M.I.M – <i>Metal Injection Molding</i> .
	E18	Leopoldo Marder Junior	Engenheiro Mecânico e de Produto do setor de <i>Metal Injection Molding</i> (MIM) de empresa fabricante de armas.
	E19	Ricardo Oliveira	Engenheiro Mecânico e de Produto do setor de <i>Metal Injection Molding</i> (MIM) de empresa fabricante de armas.
Formuladores de Políticas Públicas	E14	Sérgio Knorr Velho	Mestre em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (UFRGS). Coordenador de Inovação em Tecnologias Estratégicas e Coordenação-Geral de Desenvolvimento e Inovação em Tecnologias Estratégicas – MCTIC.
	E15	Eliana Emediato de Azambuja	Graduada em Administração de Empresas. Coordenadora Geral no Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações – MCTIC.
	E16	Roberto dos Reis Alvarez	Doutor em Engenharia de Produção (UFRJ). <i>Dot connector, Chief Curiosity Officer, The Global Federation of Competitiveness Councils – USA.</i>

Fonte: Elaborado pelo autor

É importante destacar que todos os entrevistados assinaram o Termo de Ciência e Livre Esclarecido conforme Apêndice E. Os entrevistados que não autorizaram a publicação de seus nomes tiveram sua identidade substituída por Entrevistado “n”.

A seleção das empresas para os estudos de campo e de caso foi realizada utilizando a mesma técnica de “Bola de Neve” (GOODMAN, 1961). De um total de seis empresas indicadas, duas responderam positivamente para a realização dos estudos de campo. A terceira empresa, na qual foi realizado o estudo de caso, foi escolhida por ter um processo similar à Manufatura Aditiva, o processo de *Metal Injection Molding* (MIM), que não é considerada uma tecnologia de Manufatura Aditiva, mas tem comportamento similar e produz para grandes volumes. Além do comportamento similar e dos grandes volumes de produção, esta empresa foi escolhida por representar os resultados que podem ser gerados a partir do momento em que a Manufatura Aditiva eliminar as restrições que inviabilizam sua aplicação em empresas de produção em grandes lotes. As empresas, em que se realizaram os estudos de campo, foram escolhidas pela aplicação do processo de Manufatura Aditiva. A empresa aeronáutica utiliza a Manufatura Aditiva na manufatura de peças e o Instituto de Estudos Avançados utiliza a Manufatura Aditiva no desenvolvimento de produto. O Quadro 3 apresenta as empresas selecionadas para a realização dos estudos de campo e de caso.

Quadro 3: Empresas Selecionadas para os Estudos de Campo e Estudo de Caso

Procedimento Técnico	Foco	Descrição
Estudo de Campo	Manufatura Aditiva para Desenvolvimento de Produtos	Instituto de Estudos Avançados (IEAv) ligado ao Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial do Comando da Aeronáutica.
Estudo de Campo	Manufatura Aditiva na Manufatura	Empresa Aeronáutica que opera no Brasil.
Estudo de Caso	Tecnologia MIM para alto volume	Empresa ramo da Indústria Bélica que opera no Brasil.

Fonte: Elaborado pelo autor

Para os estudos de campo, foram realizadas duas visitas de um dia em cada uma das empresas. Nas visitas, foram realizadas entrevistas com os profissionais e observações diretas no processo relacionado à Manufatura Aditiva. A empresa na qual foi realizado o estudo de caso foi acompanhada durante o período de dois meses. Além de entrevistas e observação direta, foram acessados documentos como roteiro de produção e planilhas de indicadores, materiais pelos quais a empresa solicitou sigilo. Ainda, foi realizada a comparação de um produto pelo

sistema de produção tradicional utilizado antes do processo MIM e outro mapeamento, na mesma peça, no processo de injeção metálica utilizado atualmente. Para tal, foi utilizado o mapeamento de perdas proposto por Shingo no Mecanismo da Função Produção (SHINGO, 1996a). A escolha por esta notação se deu devido à possibilidade de identificação das perdas existentes em todo o fluxo do produto, desde a matéria-prima até o produto acabado, ou seja, avaliar o fluxo do objeto do trabalho no tempo e no espaço (função processo). Este mapeamento propiciou não só identificar o tempo de atravessamento, mas também analisá-lo qualitativa e quantitativamente. Neste estudo, devido à solicitação de confidencialidade por parte da empresa estudada, a análise se ateve à abordagem qualitativa. A notação utilizada é apresentada na Figura 11.

Figura 11: Notação do Mapeamento de Perdas de Shingo - MFP

Notação	Definição	Descrição
	Estoque de matéria-prima	Estoque total de matéria-prima.
	Processamento	Uma mudança física no material ou na sua qualidade (montagem ou desmontagem)
	Transporte	Movimento de materiais ou produtos, mudanças nas posições.
	Espera de lote	Durante as operações de um lote, enquanto uma peça é processada, outras se encontram esperando.
	Espera do processo	Um lote inteiro permanece esperando enquanto o lote pendente é processado, inspecionado ou transportado
	Inspeção	Comparação com um padrão estabelecido
	Estoque de produto acabado	Estoque total de produto acabado.

Fonte: Adaptado pelo autor a partir de Shingo (1996)

Ademais, definidas as técnicas de coleta de dados, a próxima seção apresenta os procedimentos adotados para a análise dos dados.

## 2.4 ANÁLISE DOS DADOS

Analisar os dados consiste em examinar, categorizar, classificar em tabelas, testar, ou até recombina as evidências quantitativas e qualitativas para tratar as proposições iniciais de um estudo (YIN, 2013). Nesta fase da pesquisa, é exigida a intuição criativa do pesquisador (BAUER; GASKELL, 2002). Para este estudo, a técnica utilizada para a análise dos dados é a Análise de Conteúdo.

A Análise de Conteúdo é definida como um conjunto de técnicas de análise das comunicações com o objetivo de obter, por meio de procedimentos sistemáticos e objetivos, a descrição das mensagens qualitativas ou quantitativas, que permitam a interferência de conhecimentos relativos às condições de recepção destas mensagens (BARDIN, 2011). Ainda, pode ser definida como o exame, categorização, tabulação, teste ou evidências recombina das de outra forma, para que se possa tirar conclusões baseadas empiricamente (YIN, 2013).

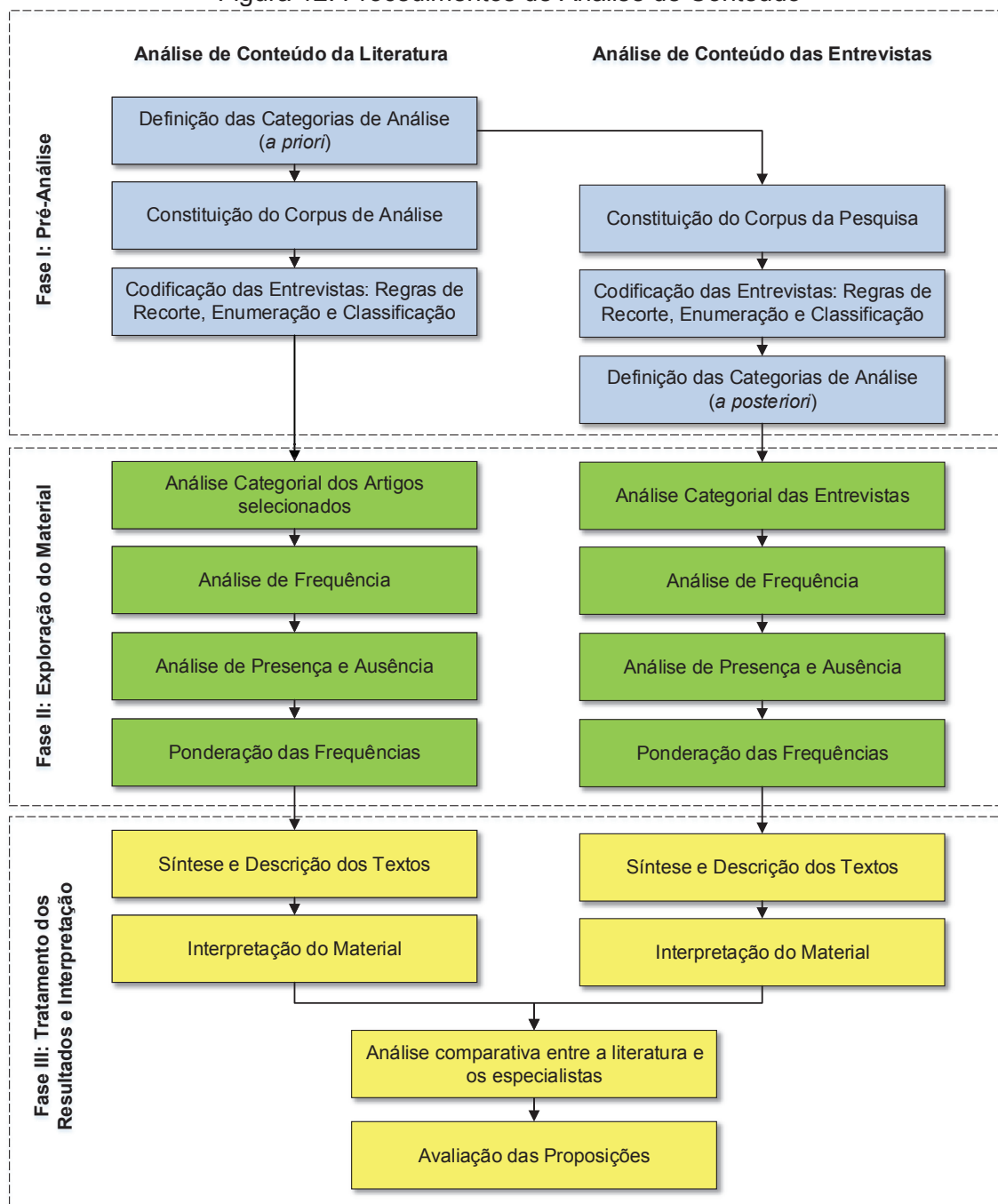
A técnica de análise de conteúdo pode apresentar um enfoque qualitativo ou quantitativo. Na abordagem qualitativa, o foco é a interpretação das características e dos padrões que estão por trás do conteúdo das mensagens e documentos (BARDIN, 2011). Para esta pesquisa, duas análises de conteúdo foram realizadas. A primeira foi a análise de conteúdo da literatura e a segunda das entrevistas com os especialistas. A Figura 12 ilustra os procedimentos realizados na condução das análises de conteúdo.

Cabe destacar que a análise de conteúdo da literatura foi realizada durante a macro etapa Definição da Estrutura conceitual apresentada no método de trabalho. Nesta etapa, durante as buscas teóricas e a revisão sistemática da literatura, foram identificados na literatura os conceitos e modelos que deram origem às categorias de análise “*a priori*”, tanto para os Sistemas Produtivos quanto para os Critérios Competitivos.

Estas categorias definidas “*a priori*” serão utilizadas tanto para a análise de conteúdo da literatura quanto para a análise de conteúdo das entrevistas dos especialistas em Manufatura Aditiva. Na representação da Figura 12, procurou-se evidenciar os pontos convergentes e divergentes realizados nas duas análises de conteúdo. As figuras estão posicionadas lado a lado apenas para fins de representação, pois as análises ocorreram em momentos diferentes. A análise de

conteúdo da literatura ocorreu durante a definição conceitual teórica da tese, complementando o referencial teórico. Já a análise de conteúdo das entrevistas ocorreu na macro etapa de Análise dos Dados de acordo com o método de trabalho.

Figura 12: Procedimentos de Análise de Conteúdo



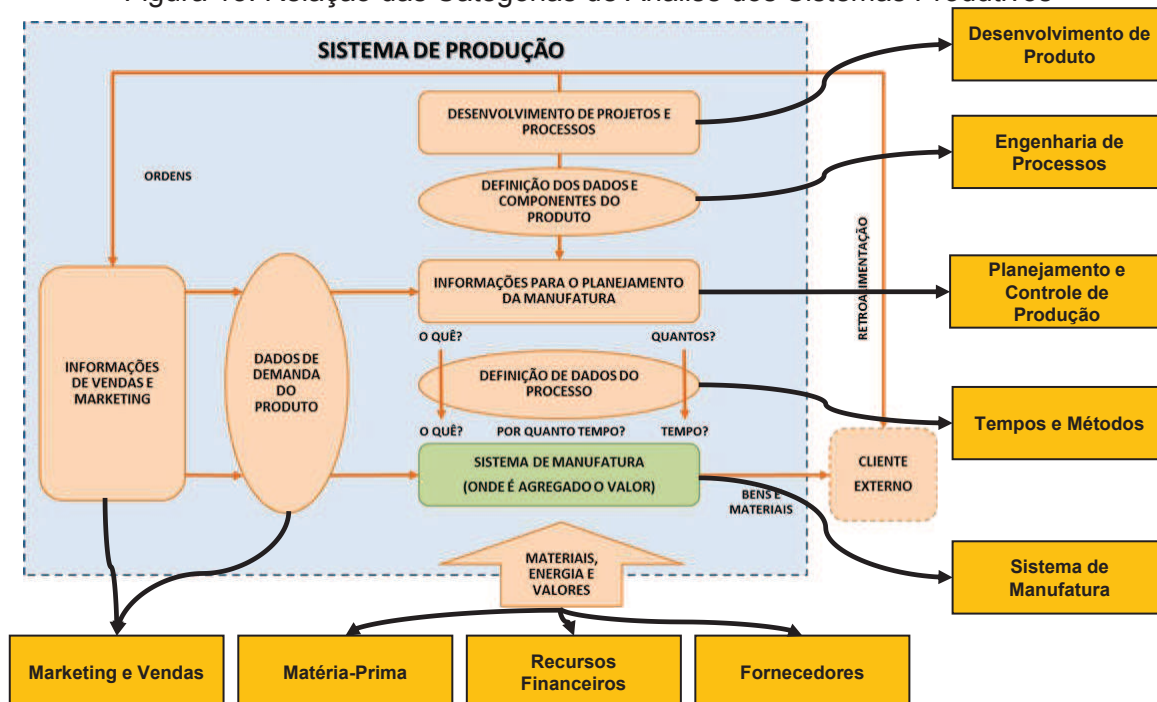
Fonte: Adaptado pelo autor a partir de Bardin (2011)

A análise de conteúdo da literatura iniciou com a definição das categorias de análise *a priori*, ou seja, durante a definição da estrutura conceitual da pesquisa, os conceitos de sistemas produtivos e de critérios competitivos originaram as categorias



de análise. Para definir as categorias de análise dos Sistemas Produtivos, foi usada a representação do modelo de sistema produtivo proposto por Black (1998). Este modelo, apresentado no desenho de pesquisa desta tese, ilustra a definição dos sistemas de produção como responsável pela efetivação das ações no sentido de operacionalização das funções de planejamento e controle do fluxo global de produção e que apoiam o sistema de manufatura (BLACK, 1998). Nesse sentido, as categorias foram adaptadas ao modelo conforme ilustrado na Figura 13.

Figura 13: Relação das Categorias de Análise dos Sistemas Produtivos



Fonte: Adaptado pelo autor a partir de Black (1998)

Em suma, as categorias de análise relacionadas com os Sistemas Produtivos ficaram definidas como Desenvolvimento de Produto, Engenharia de Processos, Planejamento e Controle de Produção, Tempos e Métodos, Sistema de Manufatura, Marketing e Vendas, Matéria-Prima, Recursos Financeiros e Fornecedores. O Quadro 4 apresenta a definição de cada categoria de análise referente aos sistemas produtivos.

Quadro 4: Definição das Categorias de Análise Referentes aos Sistemas Produtivos

Categoria de Análise	Descrição
Desenvolvimento de Produto	Envolve os impactos relacionados ao processo de criação e desenvolvimento por meio da compreensão de oportunidade para venda de determinado produto ou para reprojeter um produto existente.
Engenharia de Processos	Envolve os impactos relacionados à definição e melhoria dos processos de fabricação, definição de roteiros e planejamento de mão de obra.
Planejamento e Controle de Produção	Envolve os impactos relacionados ao planejamento da produção e materiais, roteiros, estoques, relações de capacidade e demanda.
Tempos e Métodos	Envolve os aspectos relacionados aos tempos de ciclo, takt e tempo de atravessamento de todo o sistema produtivo. Além disso, envolve os estudos sistemáticos dos sistemas de trabalho.
Sistema de Manufatura	Envolve a agregação de valor do produto. É onde ocorre a transformação da matéria-prima em produto acabado.
Fornecedores	Envolve fornecimento de materiais e insumos para os sistemas produtivos, bem como serviços de terceiros.
Recursos Financeiros	Envolve os recursos financeiros empregados ou recebidos pela empresa em qualquer etapa do sistema produtivo.
Matéria-prima	Envolve os materiais a serem transformados pelos sistemas produtivos.
Marketing e Vendas	Envolve todas as relações de lançamento dos produtos no mercado, modelos de negócio e vendas.

Fonte: Elaborado pelo autor

Para a definição das categorias de análise referentes aos Critérios Competitivos, verificou-se na literatura aqueles critérios competitivos usados com maior frequência definidos como custo, qualidade, confiabilidade, flexibilidade e inovação (TEIXEIRA et al., 2014). Ainda, foram agregados critérios como velocidade e confiabilidade de entrega (DIAS; FENSTERSEIFER, 2005) e responsabilidade socioambiental (LIRA; GOMES; CAVALCANTI, 2015).

Para não excluir nenhum dos critérios competitivos da análise, todos os critérios competitivos mencionados na literatura foram considerados. Sendo assim, as categorias de análise definidas para o grupo Critérios Competitivos são definidas como Custo, Desempenho de Entrega, Velocidade, Flexibilidade,

Qualidade, Sustentabilidade e Inovação. O Quadro 5 apresenta a definição das categorias de análise referentes aos critérios competitivos.

Quadro 5: Definição das Categorias de Análise Referentes aos Critérios Competitivos

Categoria de Análise	Descrição
Custo	Envolve as repercussões relacionadas aos custos do produto. Não envolve apenas os custos de produção, mas de matéria-prima, energia, mão de obra, etc.
Desempenho de Entrega	Envolve as repercussões relacionadas ao desempenho de entrega da empresa. Cabe destacar que desempenho de entrega significa garantir a entrega no prazo acordado.
Velocidade	Envolve as repercussões relacionadas à fabricação do produto de maneira mais rápida.
Flexibilidade	Envolve as repercussões que tornam a empresa mais flexível no que tange a atender uma variedade maior de produtos e lotes menores de maneira eficiente.
Qualidade	Envolve as questões de resistência, propriedades físicas e mecânicas e aparência do produto ou componente.
Sustentabilidade	Envolve questões relacionadas ao impacto ambiental da organização como redução de consumo de materiais, redução de geração de rejeitos, consumo de energia, etc.
Inovação	Envolve as repercussões relacionadas à inovação de produto, processo e até mesmo de negócio.

Fonte: Elaborado pelo autor

Definidas as categorias de análise que serão utilizadas tanto para a literatura quanto para as entrevistas dos especialistas, foram constituídos o *corpus* de análise. O *corpus* da pesquisa é definido como o conjunto dos documentos considerados para serem submetidos aos procedimentos de análise (BARDIN, 2011).

O *corpus* de análise da literatura teve como base o resultado da revisão sistemática da literatura apresentada no capítulo 1 desta pesquisa. Os 81 artigos selecionados na revisão sistemática da literatura foram lidos na íntegra. Após a leitura, foi aplicado o critério de inclusão dos estudos no *corpus* da análise de conteúdo da literatura. O critério de inclusão, apresentado no protocolo de revisão sistemática da literatura foi definido como “indicar aspectos que ajudem a identificar os impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos e repercussões nos critérios competitivos”. Nessa perspectiva, um conjunto de artigos foi excluído e o

corpus foi composto por 36 artigos, apresentados no quarto capítulo desta pesquisa. Para a constituição do corpus de análise das entrevistas com os especialistas, as 19 entrevistas foram transcritas e estes documentos originaram o corpus de análise de conteúdo das entrevistas.

A etapa seguinte foi a codificação dos estudos que compõem o *corpus* da pesquisa. Este processo ocorreu da mesma maneira, tanto para a análise da literatura quanto para a análise das entrevistas. A codificação é o processo pelo qual os dados brutos são transformados sistematicamente e agregados em unidades. Esta transformação pode ser realizada por recorte, agregação e enumeração, permitindo atingir uma representação do conteúdo, ou da sua expressão; propensa a esclarecer o analista das características do texto (BARDIN, 2011).

Para realizar a codificação de maneira organizada, três escolhas necessitam ser compreendidas (BARDIN, 2011): i) regras de recorte: definição das unidades de registro e de contexto; ii) enumeração: escolha das regras de contagem; e iii) classificação e a agregação: escolha das categorias.

As unidades de registro são conceituadas como as unidades de significação codificadas e devem corresponder ao segmento de conteúdo a considerar como unidade de base, objetivando a categorização e a contagem das frequências (BARDIN, 2011). Uma unidade de registro pode ser um tema, uma palavra ou uma frase. Para a análise das entrevistas e da literatura desta pesquisa, o tema é a unidade de registro escolhida. Esta escolha ocorre porque tanto na literatura quanto nas entrevistas os impactos e as repercussões não se apresentaram de maneira clara e objetiva. Assim, o pesquisador teve que analisar as repostas e os textos a partir do tema. Para Bardin (2011, p.135), “O tema é a unidade de significação que se liberta naturalmente de um texto analisado segundo critérios relativos à teoria que serve de guia leitura”.

A segunda regra de recorte está relacionada à definição da unidade de contexto. A unidade de contexto serve como unidade de compreensão para codificar a unidade de registro, correspondendo ao trecho da mensagem, superiores à unidade de registro, permitindo seu exato significado (BARDIN, 2011). A unidade de contexto escolhida para esta pesquisa é o parágrafo ou a frase. Esta unidade de contexto foi escolhida, uma vez que as frases ou parágrafos apresentam informações mais completas para a codificação do que apenas uma palavra. Por fim, a regra de enumeração diz respeito ao modo de contagem da unidade de registro. A

frequência (positiva e negativa) e a presença foram as regras de enumeração escolhidas para esta análise. A frequência foi escolhida, pois comunica a representatividade de cada categoria de análise avaliada. Ainda, combinada com a regra de presença, pode-se ponderar os resultados das frequências e diminuir o viés das análises. Definidas as regras de codificação, a análise de conteúdo tem sequência com a fase de Exploração do Material. Neste momento, são operacionalizadas as etapas definidas na fase de Pré-Análise. Para a operacionalização, optou-se pela utilização de um software de análise qualitativa, ATLAS.ti 8.

Para a análise de conteúdo das entrevistas, foi utilizada a codificação Axial da Teoria Fundamentada. Esta categorização aprimora e diferencia as categorias resultantes da codificação aberta (MILES; HUBERMAN; SALDAÑA, 2014).

O pesquisador, dessa forma, seleciona as categorias mais relevantes e as coloca como fenômeno central para estabelecer relações entre as categorias e subcategorias. Os dados, portanto, são agrupados através das conexões entre as categorias (MILES; HUBERMAN; SALDAÑA, 2014). Essas categorias podem surgir durante a codificação e auxiliar a explicar as categorias definidas *a priori*. Elas emergiram a partir da leitura e análise das entrevistas. O Quadro 6 apresenta estas categorias definidas “*a posteriori*” e especificamente na análise dos impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos.

Quadro 6: Definição das Categorias de Análise “*a posteriori*” Referentes à Análise de Conteúdo das Entrevistas

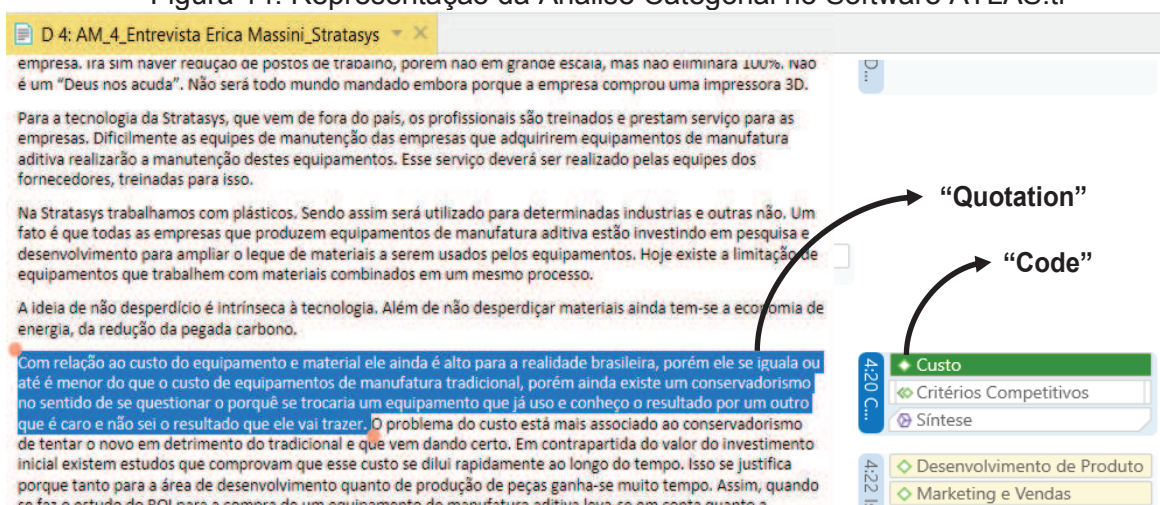
Categoria de Análise	Descrição
Logística	Envolve impactos relacionados ao transporte de materiais e estoques na empresa e na relação com o cliente.
Confiabilidade de Máquinas	Envolve impactos relacionados à confiabilidade dos equipamentos de Manufatura Aditiva.
Controles de Produção	Envolve os impactos decorrentes de todos os controles envolvidos no gerenciamento do sistema produtivo como estoques, qualidade, indicadores, etc.
Customização	Envolve impactos relacionados à customização de produtos. Está diretamente relacionado à categoria desenvolvimento de produto.

Categoria de Análise	Descrição
Layout	Envolve impactos relacionados à disposição de equipamentos e análise da área fabril.
Manutenção	Envolve questões relacionadas à necessidade de manutenção dos equipamentos de Manufatura Aditiva.
Recursos Humanos	Esta categoria aborda os impactos relacionados à mão de obra. Está alinhada com as questões sociais como o desemprego e a qualificação da mão de obra, por exemplo.

Fonte: Elaborado pelo autor

Após apresentada a particularidade relacionada às análises das entrevistas, os procedimentos a seguir foram realizados da mesma maneira, tanto para a análise da literatura quanto para a análise das entrevistas. Esta etapa iniciou a fase II da análise de conteúdo, denominada Exploração do Material. Esta fase foi iniciada pela Análise Categorial. A análise categorial procura desmembrar o conteúdo em categorias, segundo reagrupamentos analógicos (BARDIN, 2011). Dessa forma, a função “Codes” do software ATLAS.ti 8 foi utilizada para identificar as categorias de análise e a função “Quotations” utilizada para registrar as unidades de contexto nas entrevistas e nos artigos da análise. A Figura 14 ilustra as funções do software ATLAS.ti para a análise categorial.

Figura 14: Representação da Análise Categorial no Software ATLAS.ti



Fonte: Elaborado pelo autor

Na Figura 13, pode-se observar que a unidade de contexto (*Quotation*) é vinculada à categoria de análise Custo (*Code*). Após a realização da análise categorial com todas as entrevistas e artigos, foi realizada a análise de frequências e



de presença. Ambas as análises foram realizadas sob duas perspectivas. Para a classe dos Sistemas Produtivos, em cada categoria de análise, as unidades de registro apontadas também foram classificadas em impactos positivos e negativos a partir da utilização da Manufatura Aditiva. Do mesmo modo, na classe dos Critérios Competitivos, as unidades de registro foram classificadas em repercussões positivas e negativas. O Quadro 7 representa o demonstrativo de como será a consolidação das frequências por entrevistado ou por artigo em cada categoria de análise.

Quadro 7: Resultado da Análise de Frequência das Entrevistas e da Literatura

Entrevistados	Categoria 1		Categoria 2		...		Categoria "n"	
	+	-	+	-	+	-	+	-
Entrevistado/Artigo 1								
Entrevistado/Artigo 2								
...								
Entrevistado/Artigo 3								
<b>Totais</b>								

Fonte: Elaborado pelo autor

Com base nas informações de frequência e ausência, foi aplicada a Ponderação da Frequência Absoluta das unidades de registro. De acordo com Silva et al. (2011), essa ponderação da frequência tem como objetivo reduzir algum tipo de viés na análise, sendo a quantidade de artigos e entrevistas em que a palavra foi encontrada (presença) é utilizado como moderador da frequência final. Essa ponderação considerou a frequência absoluta da unidade de registro nos artigos e a quantidade de textos na qual ela está presente, sendo descrita na Figura 15.

Figura 15: Equação de Ponderação das Frequências Observadas

$$Ff_i^n = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \text{Termo}_{i,j} \times \frac{\sum_{j=1}^k \text{Presença do Termo}_{i,j}}{\text{Amostra Total}}$$

Fonte: Silva et al. (2011, p.11)

Onde:

Ff (i→): Frequência final do termo "i" até o enésimo (n) termo.

Termo i, j: É somatório do termo "i" até o enésimo termo no documento "j" até o enésimo (k) documento.

Presença do Termo  $i, j$ : É o somatório das presenças (presente ou ausente) do termo “ $i$ ” no documento “ $k$ ”

Amostra Total: É a amostra total utilizada para a análise.

Após realizar a análise das frequências, absoluta e ponderada, foram gerados gráficos de ordenação decrescente para cada uma das classes analisadas sob a perspectiva dos aspectos positivos e negativos em cada categoria. O objetivo desta análise foi verificar se alguma das categorias teria sua representatividade alterada após realizada a ponderação das frequências.

Conclusas as análises de frequência dos impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos e das repercussões destes impactos nos critérios competitivos, uma análise integrada entre os impactos e as repercussões foi realizada. O objetivo desta análise foi identificar qual categoria do sistema produtivo apresenta maior impacto e, por consequência, tem maior repercussão (positiva ou negativa) nas categorias dos critérios competitivos. Após a construção desta matriz exemplificada no Quadro 8, o total das frequências, dos impactos em cada critério, foi ordenado para entender as categorias dos sistemas produtivos que mais impactavam em cada categoria dos critérios competitivos.

Quadro 8: Matriz de Relação de Impactos Categorias de Análise dos Sistemas Produtivos x Categorias de Análise dos Critérios Competitivos

Categorias	Categoria Critério Competitivo 1		Categoria Critério Competitivo 1		...		Categoria Critério Competitivo "n"	
	+	-	+	-	+	-	+	-
Categoria Sistemas Produtivos 1								
Categoria Sistemas Produtivos 1								
...								
Categoria Sistemas Produtivos "n"								
<b>Totais</b>								

Fonte: Elaborado pelo autor

Para finalizar a etapa das análises, foram relacionados os aspectos convergentes, complementares e divergentes entre os grupos de entrevistados (Fabricantes e Representantes de Manufatura Aditiva, Usuários e Formuladores de Políticas Públicas). O objetivo desta análise foi avaliar as respostas entre os grupos, analisando a convergência das respostas. Nesta linha, também foram comparados os resultados das entrevistas com a literatura sob o ponto de vista dos aspectos convergentes complementares e divergentes.



Como critério para esta análise, um impacto ou repercussão foi considerado convergente quando aparecia em dois ou mais grupos de entrevistados. Quando apenas um dos grupos mencionava o impacto ou a repercussão, o mesmo era considerado complementar. A divergência era encontrada quando as opiniões entre pelo menos dois grupos eram contrárias. O mesmo critério serviu para a análise entre a literatura e as entrevistas, apenas adaptando o critério de convergência, visto que entre literatura e entrevistas são apenas dois grupos. Sendo assim, os aspectos eram considerados convergentes quando apareciam tanto na literatura quanto nas entrevistas.

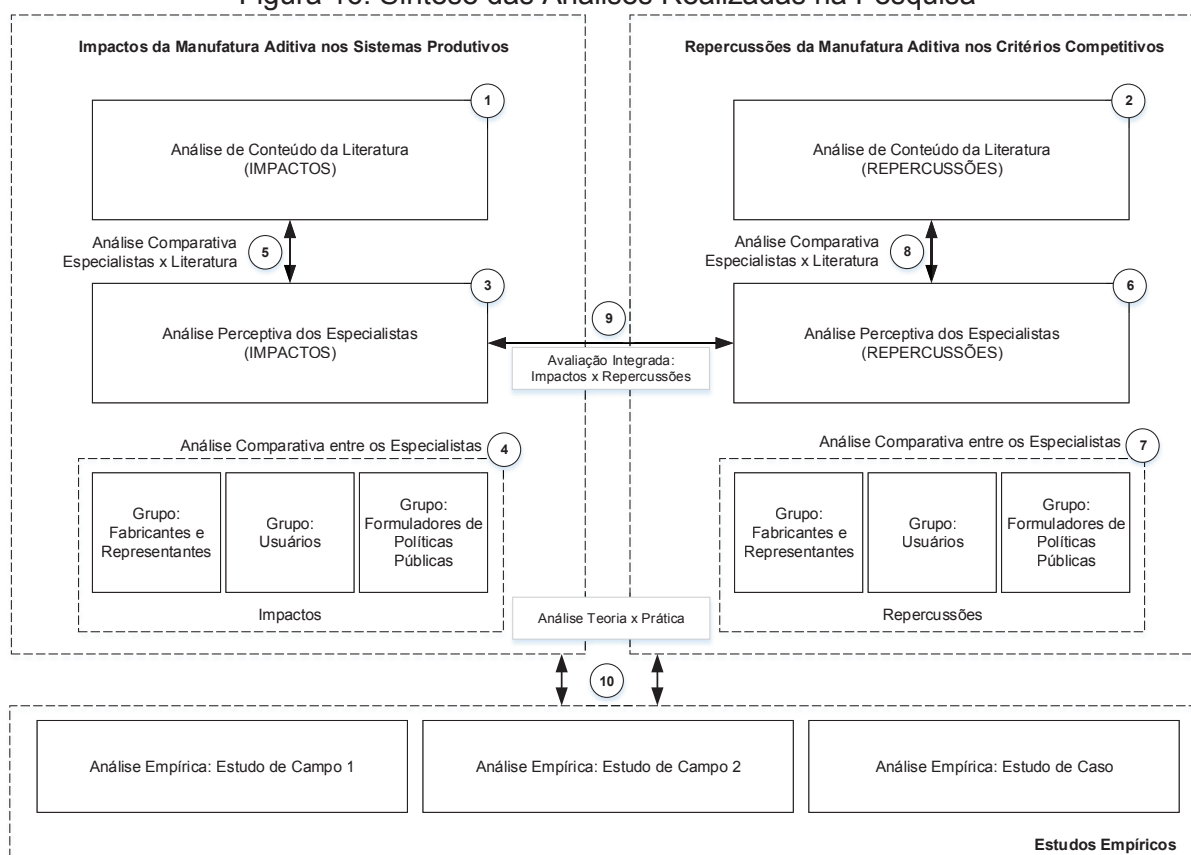
Após realizadas as análises de frequência, foi realizada a descrição e síntese dos resultados das análises. O estudo requer o relato do início ao fim da história a partir dos dados e das evidências encontradas, para, assim, aprofundar a descrição do fenômeno estudado.

Por fim, a interpretação do material e a validação das proposições são as etapas finais dos procedimentos da análise de conteúdo. Estas etapas serão apresentadas nos capítulos seguintes. A Figura 16 ilustra a síntese das análises realizadas nesta pesquisa.

As primeiras análises realizadas foram as análises de conteúdo da literatura (1 e 2). Estas análises objetivaram identificar os impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos (1) e suas repercussões nos critérios competitivos (2). Essas análises contribuíram também para complementar o referencial teórico desta tese.

Conclusas as análises de conteúdo da literatura, foram realizadas as análises perceptivas dos impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos (3). Esta análise tinha como objetivo entender, do ponto de vista dos especialistas, os impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos. Além desta análise perceptiva, foi realizada uma análise comparativa entre os grupos de especialistas (4) com o objetivo de verificar aspectos convergentes, complementares e divergentes entre os especialistas do ponto de vista dos impactos nos sistemas produtivos. A quinta análise realizou um comparativo entre a análise da literatura e dos especialistas (5), identificando convergências e divergências entre estes elementos.

Figura 16: Síntese das Análises Realizadas na Pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor

As mesmas análises foram realizadas do ponto e vista da repercussão da Manufatura Aditiva nos critérios competitivos. Foram realizadas as análises perceptivas dos especialistas (6), comparativa entre os grupos e especialistas (7) e comparativa entre a literatura e os entrevistados (8). Todas estas análises relacionadas às repercussões da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos tiveram os mesmos objetivos que as análises dos impactos nos sistemas produtivos.

Para finalizar, cabe mencionar, ainda, uma análise comparativa entre os impactos e as repercussões (9), que teve como objetivo identificar a representatividade dos impactos de cada categoria do sistema produtivo nos critérios competitivos. Além disso, os indícios empíricos dos impactos e repercussões (10) foram analisados nos estudos de campo e no estudo de caso realizados nesta pesquisa.

A seguir, será apresentado o referencial teórico desta tese. Na sequência, a análise dos impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos e as repercussões nos critérios do ponto de vista da literatura serão apresentados no capítulo 4, complementando o referencial teórico.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste referencial teórico, os principais elementos teóricos desta tese serão definidos: Manufatura Aditiva, Sistema de Produção e os Critérios Competitivos. A partir destas definições, são apresentadas as relações entre estes elementos teóricos e as proposições desta tese. O referencial é finalizado com uma síntese sobre as pesquisas em Manufatura Aditiva. Após esta etapa, o referencial teórico é complementado com a análise de conteúdo da literatura destacando os impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos e as repercussões desses impactos nos critérios competitivos. Essa análise de conteúdo complementar ao referencial teórico é apresentada no capítulo 4. A seguir, serão abordadas as principais definições relativas à Manufatura Aditiva.

#### 3.1 MANUFATURA ADITIVA

Frazier (2014) definiu a Manufatura Aditiva como um processo de unir materiais para fazer objetos a partir de informações do modelo tridimensional, geralmente camada após camada, em oposição às metodologias de manufatura subtrativas. A Manufatura Subtrativa consiste na remoção de materiais a partir da matéria-prima. A fresagem, perfuração e a moagem, por exemplo, são exemplos de tecnologias de Manufatura Subtrativa (MAHAMOOD et al., 2014). Essa definição de Manufatura Aditiva é aplicável a todas as classes de materiais, incluindo metais, cerâmicas, polímeros, compósitos e sistemas biológicos (FRAZIER, 2014).

Para Huang et al. (2013), a Manufatura Aditiva é o processo de adesão de materiais para fazer objetos a partir de dados do modelo em 3D, geralmente camada sobre camada. Também é conhecida como fabricação rápida ou prototipagem rápida e, ao contrário dos processos de fabricação convencionais (subtrativos), a Manufatura Aditiva cria a forma final por meio da adição de materiais (HUANG et al., 2013).

Em geral, o conceito de Manufatura Aditiva é descrito de maneira uniforme como visto anteriormente. Diversos autores (GOODRICH, 2014; MINETOLA et al.,

2015; MISHRA, 2013; PEARSONS, 2015; PRINCE, 2014) utilizam como base o conceito de Manufatura Aditiva da *American Society for Testing and Materials*(ASMT), uma organização dos Estados Unidos que tem como objetivo desenvolver e publicar normas técnicas para uma ampla gama de materiais, produtos, sistemas e serviços.

Um conceito que complementa a ASMT foi proposto por Ford (2014). Esse autor não apresenta a Manufatura Aditiva apenas como um processo de fabricação contrário à Manufatura Tradicional. Segundo Ford (2014), a Manufatura Aditiva é um conjunto de tecnologias emergentes que fabrica objetos tridimensionais diretamente de modelos digitais por meio de um processo de adição de material, que pode ser desde polímeros, cerâmica ou até mesmo metais. Por apresentar as características do processo de Manufatura Aditiva e destacar que possui um conjunto de tecnologias e não apenas a impressão em 3D, o conceito adotado nesta tese será o de Ford (2014).

Cabe destacar que, apesar de ser uma tecnologia que se apresenta em evidência em conjunto com a Indústria 4.0, a Manufatura Aditiva não é uma tecnologia nova. Com mais de 20 anos de história, em seus primeiros anos, a Manufatura Aditiva foi utilizada para a fabricação de protótipos conceituais e funcionais, inicialmente conhecida como Prototipagem Rápida (MELLOR; HAO; ZHANG, 2014). Sendo assim, a seção a seguir vai apresentar a evolução da Manufatura Aditiva desde sua aparição na década de 80.

### **3.1.1 A Evolução da Manufatura Aditiva**

De acordo com Crump (2016), ao longo dos últimos 20 anos, as tecnologias de Manufatura Aditiva migraram do processo de Prototipagem Rápida para uma solução de manufatura digital direta, aplicada na produção de bens finais e não apenas em protótipos. Enquanto conceito geral, a Manufatura Aditiva é a mesma de quando foi apresentada há 20 anos. A mudança está nos materiais e nas aplicações.

No final da década de 80, as tecnologias de Manufatura Aditiva foram, inicialmente, usadas para a fabricação de protótipos, sendo conhecidas como Prototipagem Rápida (MAHAMOOD et al., 2014). Os protótipos que levavam dias,

semanas ou mesmo meses para serem desenvolvidos, devido ao elevado número de passos ou fases, passaram a ser realizados em algumas horas pela Prototipagem Rápida (MAHAMOOD et al., 2014). Universidades e grandes empresas industriais começaram a usar a Manufatura Aditiva no desenvolvimento de protótipos, porém o custo dos equipamentos e dos materiais, além das aplicações limitadas, impediu o acesso para as empresas na década de 80 (MILLER, 2014).

Na década de 1990, o *Wake of Regenerative Medicine* nos Estados Unidos usou a Manufatura Aditiva para imprimir estruturas em três dimensões, reproduzindo órgãos humanos (PRINCE, 2014). Ainda no campo da Medicina, nos anos 2000, a Manufatura Aditiva revolucionou a criação de próteses para seres humanos. Nesse mesmo período, entravam em ebulição os estudos voltados para a identificação de novos materiais que pudessem ser utilizados na Manufatura Aditiva, assim como os polímeros. O titânio e o alumínio, por exemplo, começam a ser utilizados em meados dos anos 2000 (WANG et al., 2004; LI; SOAR, 2007).

Entre a década de 1980 e os anos 2000, uma das preocupações que emergiu sobre a Manufatura Aditiva tratava da inflexibilidade dos equipamentos e materiais. Esta preocupação provocou o aparecimento de estudos que proporcionassem as tecnologias híbridas para materiais (MALONE; LIPSON, 2007; KARUNAKARAN et al., 2010).

Nota-se que os principais estudos entre o final da década de 1980 e os anos 2010 tratavam de vertentes da Manufatura Aditiva relacionada com materiais e máquinas, não sendo observados estudos relacionados com os sistemas produtivos. Após o ano de 2010, começam a ser realizados estudos relacionados com as vantagens na aplicação da Manufatura Aditiva em detrimento aos processos tradicionais de manufatura. Um exemplo destes estudos é o trabalho apresentado por Ford (2014) que procurou expor como a Manufatura Aditiva impactará as empresas norte americanas. O referido autor procurou detalhar como a Manufatura Aditiva está sendo aplicada nos EUA, que mudanças a Manufatura Aditiva exigirá das empresas americanas em termos de estrutura e, por fim, qual sua influência na competitividade dos Estados Unidos.

Em síntese, a história da Manufatura Aditiva pode ser dividida em quatro correntes. A primeira delas é a prototipagem, ou seja, sua utilização de maneira tímida principalmente por universidades para criação de protótipos, porém com custos elevados tanto de equipamentos quanto de materiais. A segunda corrente

trata das aplicações da Manufatura Aditiva. As pesquisas procuravam mostrar onde a Manufatura Aditiva poderia ser empregada no contexto das empresas, principalmente na área médica. Ao verificar que as aplicações eram pertinentes, a terceira corrente de pesquisas voltou-se para os materiais e os equipamentos. Com a demanda por equipamentos em expansão, os preços começam a cair e a restrição fica por conta do alto custo e da variedade dos materiais que podem ser utilizados na Manufatura Aditiva. A corrente de estudos mais recente está voltada para a preocupação da substituição da manufatura Aditiva aos processos de fabricação ditos “tradicionais”.

Com base nesses dados, as empresas encontram-se no limiar de uma transição do sistema de produção tradicional para um sistema de Manufatura Aditiva que vai além da simples produção de protótipos (HARRIS, 2012). Essa transição é o renascimento da fabricação, no qual o modelo tradicional de manufatura voltado para a produção em massa não é mais verdade absoluta e as tecnologias da Manufatura Aditiva começam a mudar as barreiras à entrada como as economias de escala, por exemplo (PICKETT, 2015). A seguir, serão apresentadas as tecnologias de Manufatura Aditiva.

### **3.1.2 As Tecnologias de Manufatura Aditiva**

De acordo com Huang et al. (2013), uma tecnologia de Manufatura Aditiva consiste em três etapas básicas: i) um modelo sólido em 3D computadorizado é desenvolvido e convertido em um arquivo padrão com o formato tradicional e linguagem padrão; ii) este arquivo é enviado para um equipamento de Manufatura Aditiva onde será produzido; e iii) será construído camada a camada no equipamento de Manufatura Aditiva.

Ao analisar desta forma, apenas as tecnologias de impressão em 3D podem ser classificadas assim. Contudo, atualmente, empresas se utilizam de processos de injeção em moldes (polímeros, metalurgia do pó, etc.) que, mesmo necessitando de um processo complementar como o aquecimento, constroem o produto ou a peça a partir de uma operação de injeção. Estas tecnologias não se classificam como

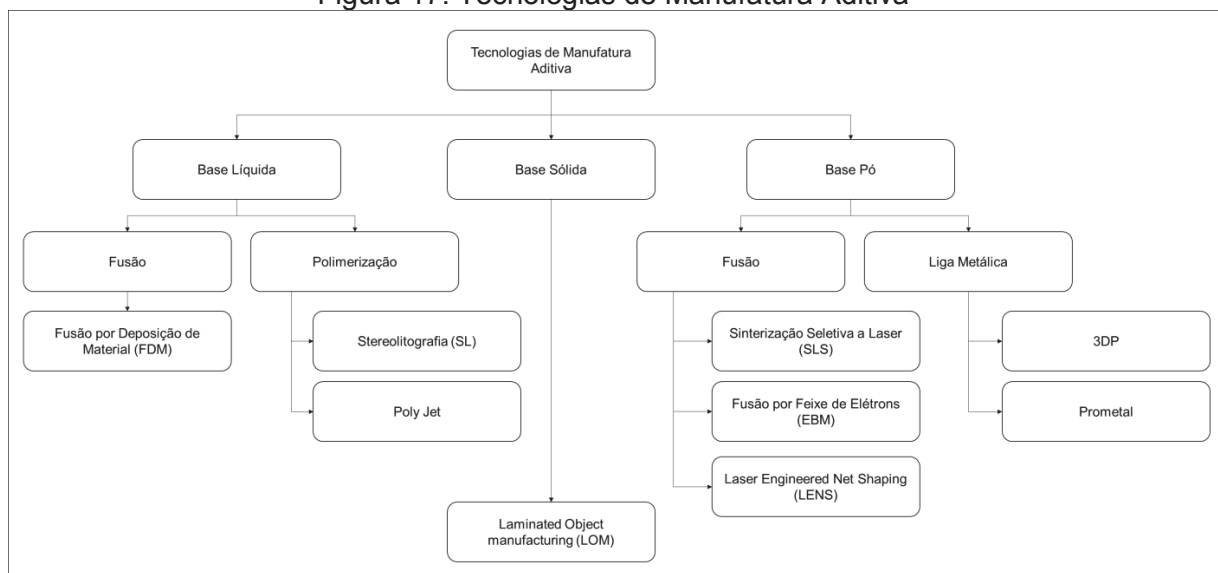
processos de Manufatura Aditiva, mas são processos que se assemelham pelo fato de reduzirem o número de operações no processo produtivo.

Um exemplo destas tecnologias é o *Metal Injection Model* (MIM). Esta tecnologia de moldagem por injeção de pós metálicos apresenta crescimento devido a fatores, como a produção de peças com geometrias complexas, produção de peças com dimensão na ordem de micrometros, alta produtividade, produção de peças em série, alta reprodutibilidade, obtenção de microestrutura uniforme e sem necessidade de uma etapa de acabamento (BONALDI; SCHAEFFER, 2008). A moldagem por injeção inicia com a preparação de uma mistura com pó de ferro e polímeros, que resultarão na matéria-prima para a injeção.

Uma desvantagem desta tecnologia em relação às tecnologias de impressão é a necessidade de moldes. Essa desvantagem acarreta, diretamente, fatores como custo do molde, manutenção dos moldes e o *setup*, que não existem na impressão 3D. Além disso, o produto deve receber tratamento em um processo de sinterização para evaporação dos solventes e para que a liga metálica se estabeleça (BONALDI; SCHAEFFER, 2008).

Na revisão da literatura, observou-se que a classificação das tecnologias de Manufatura Aditiva está totalmente vinculada a equipamentos de impressão tridimensional. As operações complementares necessárias nas tecnologias de injeção, por exemplo, são realizadas no próprio equipamento, conforme será descrito a seguir. A Figura 17 ilustra a classificação das tecnologias de Manufatura Aditiva a partir do estado do material a ser utilizado.

Figura 17: Tecnologias de Manufatura Aditiva





Fonte: Adaptado pelo autor a partir de Wong e Hernandez (2012a)

Além da divisão das bases (matérias-primas), a Figura 17 classifica quanto ao tipo de tecnologia como fusão, polimerização e liga metálica. Dessa forma, são apresentados nove tipos de tecnologias de Manufatura Aditiva que serão descritos a seguir.

### 3.1.2.1 Fusão por Deposição de Material

A patente para *Fused Deposition Modeling* (FDM) ou Fusão por Deposição de Material foi concedida em 09 de junho de 1992, mas a técnica foi descrita anteriormente por Crump no ano de 1991 (HUANG et al., 2013). Segundo Pallarolas (2013), o processo se baseia em fusão de filamento, utilizando normalmente um termoplástico e uma câmara de aquecimento para liquefazer o polímero.

O material é aquecido a um grau centígrado acima do seu ponto de fusão para que se solidifique quase imediatamente depois da extrusão a frio. O processo em FDM permite fabricar objetos com acrilonitrila-butadieno-estireno, policarbonato, elastômero e cera (PALLAROLAS, 2013).

Ainda segundo Pallarolas (2013), a maior vantagem da tecnologia FDM está na gama de materiais e nas propriedades mecânicas das partes resultantes realizadas a partir dessa tecnologia. No que tange à utilização de polímeros, as peças fabricadas a partir da fusão por deposição de material são consideradas as mais resistentes entre as tecnologias de fabricação à base de polímeros (WONG; HERNANDEZ, 2012b). Além disso, possui tamanho compacto e um custo de manutenção reduzido quando comparado as demais tecnologias de Manufatura Aditiva (HUANG et al., 2013).

A desvantagem da tecnologia FDM está relacionada com o seu tempo de construção (ciclo), que devido à inércia dos cabeçotes de impressão faz com que a velocidade máxima e acelerações da operação sejam menores que de outras tecnologias de Manufatura Aditiva (HUANG et al., 2013; PALLAROLAS, 2013). Outra desvantagem citada por Wong e Hernandez (2012a) é a precisão que é limitada pelo tamanho de partículas do material.

### 3.1.2.2 Estereolitografia (SLA)

A Estereolitografia (SLA), desenvolvida pela 3D Systems, foi o primeiro processo utilizado de prototipagem rápida, de modo que, no passado, os dois termos foram usados como sinônimos(WONG; HERNANDEZ, 2012b). Além disso, é o mais amplamente utilizado. Também é conhecido por foto polimerização de resina líquida, que se solidifica como resultado da irradiação eletromagnética (PALLAROLAS, 2013).

O processo começa com um modelo em um software *Computer Aided Design*(CAD) e, em seguida, é traduzido para um arquivo Estereolitografia(STL) em que as peças são "cortadas em fatias" que contêm as informações para cada camada. Cabe observar que a espessura de cada camada, bem como a resolução dependem do equipamento utilizado. Já a plataforma é construída para ancorar a peça e apoiar as estruturas salientes(WONG; HERNANDEZ, 2012b).

A SLA é particularmente adequada na indústria de fabricação, uma vez que reduz o tempo de produção de uma peça ou protótipo, além de conseguir um acabamento de superfície adequado(HUANG et al., 2013). De acordo com Pallarolas (2013), existem dois tipos de processos para a estereolitografia: o processo de cura por ponto ou o processo de cura por camada.

No processo de cura por ponto, o produto é construído ponto a ponto, linha por linha, camada por camada em uma cuba de resina fotocurável. Uma camada fina é formada no topo e, por meio de laser, focado de maneira precisa, a seção transversal da camada é desenhada na superfície de resina líquida (PALLAROLAS, 2013). A cura da resina ocorre em toda a trajetória do laser, construindo a forma que adere na plataforma. A plataforma é deslocada para baixo e uma nova camada é construída sobre a anterior.

O processo de cura por camadas foi criado com o objetivo de superar as limitações de velocidade do processo ponto a ponto. O processo é semelhante ao processo ponto a ponto, porém cura a camada integralmente, reduzindo o tempo de cura e, por consequência, o tempo de fabricação do produto (PALLAROLAS, 2013).

A principal vantagem do processo de estereolitografia é o tempo de produção, inferior ao das demais tecnologias. Como desvantagens, destaca-se o tamanho do produto limitado a dimensões pequenas (aproximadamente do tamanho de um cubo de 2 pés). Outra desvantagem é o custo, sendo que o fotopolímero custa entre US\$300 a US\$ 500, além do valor do próprio equipamento. Além disso, os materiais utilizados no SLA são relativamente limitados em comparação com outras tecnologias de Manufatura Aditiva (HUANG et al., 2013).

### 3.1.2.3 Poly Jet

O Poly Jet é uma tecnologia de Manufatura Aditiva que se utiliza do jato de tinta para impressão de camadas muito finas (até 16 microns) e com uma excelente resolução. O jato de tinta se movimenta nos eixos “x” e “y” depositando um fotopolímero que é curado por meio de raios ultravioletas após o término da impressão de cada camada (HUANG et al., 2013). Consiste em um cabeçote que se move e deposita camadas de fotopolímeros que são curados por meio de lâmpadas ultravioletas após a conclusão de cada camada (MENDRICKY, 2016; WONG; HERNANDEZ, 2012a). É utilizado em protótipos, área de fundição e na fabricação de ferramentas para máquinas de injeção (ADDITIVELY, 2017a; STANSBURY; IDACAVAGE, 2016).

As vantagens são a possibilidade de utilizar múltiplos materiais ao mesmo tempo, precisão e acabamento superficial e pela alta resolução e qualidade do produto final que oferece (ADDITIVELY, 2017a). As desvantagens são a resistência, durabilidade dos materiais e propriedades mecânicas (ADDITIVELY, 2017a; WONG; HERNANDEZ, 2012a). Os produtos construídos a partir desta tecnologia são considerados mais frágeis quando relacionados com tecnologias como a estereolitografia e a sinterização seletiva a laser. Além disso, necessita de uma

complementação de processo por meio de um polímero gel que serve para apoiar as características de saliência do produto final.

#### 3.1.2.4 Sinterização Seletiva a Laser

De acordo com Pallarolas (2013), a sinterização seletiva a laser é uma tecnologia de Manufatura Aditiva baseada na fusão de partículas de materiais por meio de fonte de calor originada de um feixe de laser. De acordo com Volpato e Costa (2013), o processo de sinterização pode ser tratado por dois tipos de abordagem: a abordagem direta e indireta. A abordagem é classificada como direta quando o material é sinterizado pela ação direta do laser. A abordagem indireta, utilizada apenas para os materiais como metal e cerâmica, ocorre quando um material ligante é utilizado para formatar o produto final, sendo sinterizado separadamente em um forno (PALLAROLAS, 2013). Esta definição de sinterização indireta ajuda a classificar a injeção de pó metálico como um processo de Manufatura Aditiva (de acordo com o caso abordado na seção 2.1.2).

Conforme Huang et al. (2013), a tecnologia de sinterização seletiva a laser usa um laser de alta potência para fundir as pequenas partículas do material de construção (polímeros, metais, cerâmicas, vidro, ou qualquer material que possa ser pulverizado). O leito de fabricação do pó é aquecido até temperatura pouco abaixo do ponto de fusão do material; minimizando, assim, a distorção térmica e facilitando a fusão com a camada anterior (HUANG et al., 2013).

A sinterização seletiva a laser oferece liberdade para construir rapidamente peças complexas que são mais duráveis e proporciona melhor funcionalidade em relação a outros processos de Manufatura Aditiva. Não é necessário tempo para cura pós operação, tornando o processo veloz. Entretanto, a operação de sinterização seletiva a laser é complicada quando muitas variáveis de compilação precisam ser decididas. O acabamento da superfície alcançável não é tão bom quanto a da tecnologia de estereolitografia, e a passagem de material é difícil (HUANG et al., 2013).

Como principais vantagens desta tecnologia destacam-se: a gama de materiais que podem ser utilizados; e o pó não utilizado na produção pode ser

reciclado. Como desvantagens destacam-se: a precisão limitada pelo tamanho de partículas do material, além da oxidação que deveser evitada por meio da execução do processo numa atmosfera de gás inerte para o processo ocorrer a uma temperatura constante perto do ponto de fusão.

### 3.1.2.5 Fusão por Feixe de Elétrons (EBM)

A tecnologia de Fusão por Feixe de Elétrons (*Electron Beam Melting - EBM*) é semelhante à Sinterização Seletiva a Laser. Este processo é relativamente recente, mas está crescendo rapidamente (WONG; HERNANDEZ, 2012b). Neste processo, o que funde o pó é um feixe de laser de elétrons alimentado por uma tensão elevada, tipicamente de 30 a 60 KV.

Segundo Wong e Hernandez (2012a), a tecnologia EBM ocorre em uma câmara de vácuo elevado, para evitar problemas de oxidação, pois se destina à construção de peças de metal. Fora isso, o processo é semelhante à tecnologia de Sinterização Seletiva a Laser.

Como vantagem, a tecnologia de Fusão por Feixe de Elétrons se destaca por conseguir processar uma elevada variedade de metais pré-ligados. Uma das futuras utilizações deste processo é a produção em espaço exterior, uma vez que é feito de uma câmara de alto vácuo, representando esta restrição uma desvantagem atual desta tecnologia (WONG; HERNANDEZ, 2012b). É preciso dizer que ela ainda possibilita a fabricação de peças complexas, densas e resistentes, eficiente no uso de matéria-prima e tempo de *lead time* reduzido (GMBH, 2013). As desvantagens são o alto custo da tecnologia, velocidade de manufatura e materiais disponíveis para utilização (ADDITIVELY, 2017b).

### 3.1.2.6 Laser Engineered Net Shaping (LENS)

A tecnologia *Laser Engineered Net Shaping* é baseada na adição por meio da fusão de partículas que são aspergidas por um gás inerte sob o foco de um feixe de laser de alta potência (PALLAROLAS, 2013). Ou seja, nesta tecnologia, uma peça

ou produto é fabricado, concentrando-se um feixe de laser de alta potência em um substrato para criar uma poça de fusão em que as partículas de metal em pó são injetadas para construir cada camada(WONG; HERNANDEZ, 2012b).

Conforme Huang et al. (2013), na tecnologia LENS, o substrato é movido por baixo do feixe de laser depositando uma seção transversal fina de material para criar a geometria desejada. Camadas consecutivas são depositadas sequencialmente para construir uma peça em 3D(HUANG et al., 2013).

A tecnologia LENSapresenta algumas vantagens. De acordo com Huang et al. (2013) e Wong e Hernandez (2012a), pode ser usada na confecção de peças ou produtos novos e ainda para reparar peças. Além disso, não requer operações de queima secundárias. Características como força e ductilidade (grau de deformação que a peça suporta até quebrar) são facilmente atingidas com controle da operação (HUANG et al., 2013).

No entanto, a tecnologia LENS necessita de processos de pós-produção para garantir um melhor acabamento como o fresamento, torneamento e polimento, por exemplo. Destaca-se, ainda, sua limitação geométrica para superfícies complexas e a necessidade de uma base metálica para iniciar o processo de fabricação (PALLAROLAS, 2013).

### 3.1.2.7 Impressão 3D Aglutinante (3DP)

A tecnologia de impressão 3D aglutinante é licenciada pelo *Massachusetts Institute of Technology*(MIT) e que consiste em um aglutinante líquido à base de água que é aplicado por meio de um jato em um pó à base de amido para imprimir os dados a partir de um desenho de CAD(WONG; HERNANDEZ, 2012b). As partículas encontram-se em um leito de pó e são coladas uma a outra, quando o ligante é injetado. Este processo é chamado de 3DP devido à semelhança com o processo de impressão a jato de tinta que é usado para a impressão bidimensional em papel(WONG; HERNANDEZ, 2012b).

De acordo com Huang et al. (2013), o material é primeiro estabilizado por meio de nebulização com gotas de água, para evitar perturbações excessivas quando é atingido pelo ligante. Após a aplicação sequencial de camadas, o pó não

ligado é removido. O produto ou peça pode sofrer processo adicional sujeitando-o a uma temperatura alta para reforçar ainda mais a união do material.

Este processo pode ser aplicado para a produção de metal, cerâmica e compósitos de cerâmica. Como vantagem permite a fabricação rápida e com um baixo custo de materiais. Na verdade, esta tecnologia de Manufatura Aditiva é, provavelmente, a tecnologia de Manufatura Aditiva mais rápida em termos de tempo de fabricação de peças. No entanto, existem algumas limitações, tais como o acabamento de superfície áspera, limitação de tamanho e o custo elevado do equipamento (HUANG et al., 2013).

### 3.1.2.8 Prometal

O Prometal é uma tecnologia de impressão tridimensional utilizada para construir ferramentas de injeção. Este é um processo à base de pó em que se utiliza aço inoxidável. O processo de impressão ocorre quando um aglutinante líquido é direcionado em jatos sobre o pó de aço. O pó está localizado em um leito, que é controlado por êmbolos de construção. Estes êmbolos reduzem o leito quando cada camada é terminada (WONG; HERNANDEZ, 2012b).

Depois de finalizada a peça, o pó residual deve ser removido. Se uma parte funcional está sendo construída, são necessários processos complementares como a sinterização, infiltração e processos de acabamento. No processo de sinterização, a peça é aquecida até 24 horas a aproximadamente 177 graus Celsius para endurecer o agente ligante de fusão com o aço, numa amostra de porosidade em torno de 60% (WONG; HERNANDEZ, 2012b).

No processo de infiltração, a peça é infundida com pó de bronze quando eles são aquecidos em conjunto para mais de 1093 graus Celsius numa liga de 60% em aço inoxidável e 40% de bronze. O mesmo processo, mas com diferentes temperaturas e tempos de sinterização, foi usado com outros materiais, como um pó de carboneto de tungstênio, com uma liga de zircônio de cobre para a fabricação de peças de foguetes, uma vez que estas peças têm melhores propriedades do que peças fabricadas pelo processo convencional por máquinas *Computer Numeric Control* (CNC) com a utilização do mesmo material (WONG; HERNANDEZ, 2012b).

### 3.1.2.9 *Laminated Object Manufacturing* (LOM)

Esta tecnologia é um processo que combina técnicas aditivas e subtrativas para construção das camadas feitas por materiais revestidos com adesivos e posterior corte a laser para gerar as formas finais (MAHAMOOD et al., 2014; PILIPOVIC et al., 2011; WONG; HERNANDEZ, 2012a). A tecnologia *Laminated Object Manufacturing* (LOM) utiliza materiais laminados revestidos com adesivo. Este adesivo, que pode ser revestido previamente sobre o material ou ser depositado antes da colagem, permite que as lâminas ou folhas sejam ligadas umas às outras (HUANG et al., 2013).

As peças em 3D são então fabricadas pela laminação sequencial e do corte 2D em seções transversais. De acordo com Huang et al. (2013), o corte é feito utilizando feixe de laser, onde a sua velocidade e foco são ajustados de modo que a profundidade de corte corresponda exatamente à espessura da camada; evitando, assim, danos às camadas subjacentes.

Uma variedade de materiais pode ser utilizada, incluindo papel, metais, plásticos, tecidos, materiais sintéticos e compósitos. A tecnologia LOM é barata e não há emissão de gases tóxicos (WONG; HERNANDEZ, 2012b). Pode ser automatizada, exigindo pouca atenção de um operador. No entanto, apresenta alguns problemas de precisão o que resulta em problemas de estabilidade dimensional. Pode gerar algumas cavidades internas que afetam a qualidade do produto. Além disso, é necessário tempo de pós-produção para eliminar resíduos e, em alguns casos, são precisos processos secundários para gerar peças com maior precisão (WONG; HERNANDEZ, 2012b).

A *Laminated Object Manufacturing* (LOM) é uma tecnologia que combina técnicas aditivas e subtrativas construindo objetos camada por camada (HUANG et al., 2013). As vantagens deste processo são o baixo custo e a possibilidade de construção de grandes peças. As desvantagens são relacionadas ao desperdício de material (decorrente da combinação de técnicas aditivas e subtrativas), e a dificuldade da produção de cavidades internas complexas (WONG; HERNANDEZ, 2012b). Uma síntese das vantagens e desvantagens das técnicas de Manufatura Aditiva é apresentada no Quadro 9.



Quadro 9: Síntese das Técnicas de Manufatura Aditiva – Vantagens e Desvantagens

Tecnologia	Vantagens	Desvantagens
FDM	Vasta gama de materiais que podem ser utilizados	Tempo de construção do produto final (ciclo)
	Maior resistência do material	Precisão limitada
SLA	Tempo de construção do produto final (ciclo)	Materiais limitados
	Tecnologia mais utilizada	Custo alto dos materiais Fabricação de formas pequenas
POLY JET	Alta resolução do produto final	Produtos mais frágeis quando relacionados com a SLS e SLA
	Qualidade	Necessita utilização de um polímero gel para complemento do processo
SLS	Vasta gama de materiais que podem ser utilizados	Precisão limitada
	Não há perda de MP, pois o pó não utilizado pode ser reciclado	Fácil oxidação
EBM	Pode processar uma variedade de materiais pré-ligados	Ainda necessita ser realizado em uma câmara a vácuo
LENS	Pode ser usada para reparação de peças	Necessita de processos de pós-produção para garantir um melhor acabamento
	Não requer operações de queima secundária como a sinterização	Limitação geométrica para superfícies complexas
3DP	Força e ductilidade (grau de deformação que a peça suporta até quebrar)	Necessidade de uma base metálica para iniciar o processo de fabricação
	velocidade de fabricação mais rápida entre as tecnologias de manufatura aditiva	Acabamento de superfície áspera
PROMETAL	Baixo custo dos materiais	Limitações de tamanho de peças
		Custo elevado do equipamento
LOM	Construção de ferramentas	Remoção de material excedente
	variedade de materiais	Necessidade de processo complementar
LOM	tecnologia barata	instabilidade dimensional
	não emite gases tóxicos	necessita subtração de parte do material
		tempo de pós produção para acabamento e melhoria da qualidade

Fonte: Elaborado pelo autor

Apresentadas as vantagens e desvantagens de cada uma das tecnologias de Manufatura Aditiva, a seguir, serão apresentadas as Tecnologias de Manufatura por Injeção. Esta tecnologia é utilizada por uma das empresas em que foi realizado um estudo empírico desta pesquisa.

### **3.1.3 Tecnologias de Manufatura por Injeção**

As tecnologias de manufatura por injeção apresentam vantagens similares às tecnologias de Manufatura Aditiva. A substituição de etapas de corte, dobra e usinagem, por exemplo, são eliminadas quando substituídas por tecnologias de injeção. De acordo com Bonaldi e Schaeffer (2008), a moldagem por injeção é uma tecnologia difundida na utilização de polímeros, obtendo bons resultados na fabricação de peças plásticas. Nesta linha, a moldagem por injeção de pós metálicos apresenta-se como um processo altamente atrativo, por aliar a versatilidade e a produtividade da moldagem por injeção de plásticos com as propriedades inerentes aos materiais metálicos, sendo uma técnica na área da metalurgia do pó (BONALDI; SCHAEFFER, 2008).

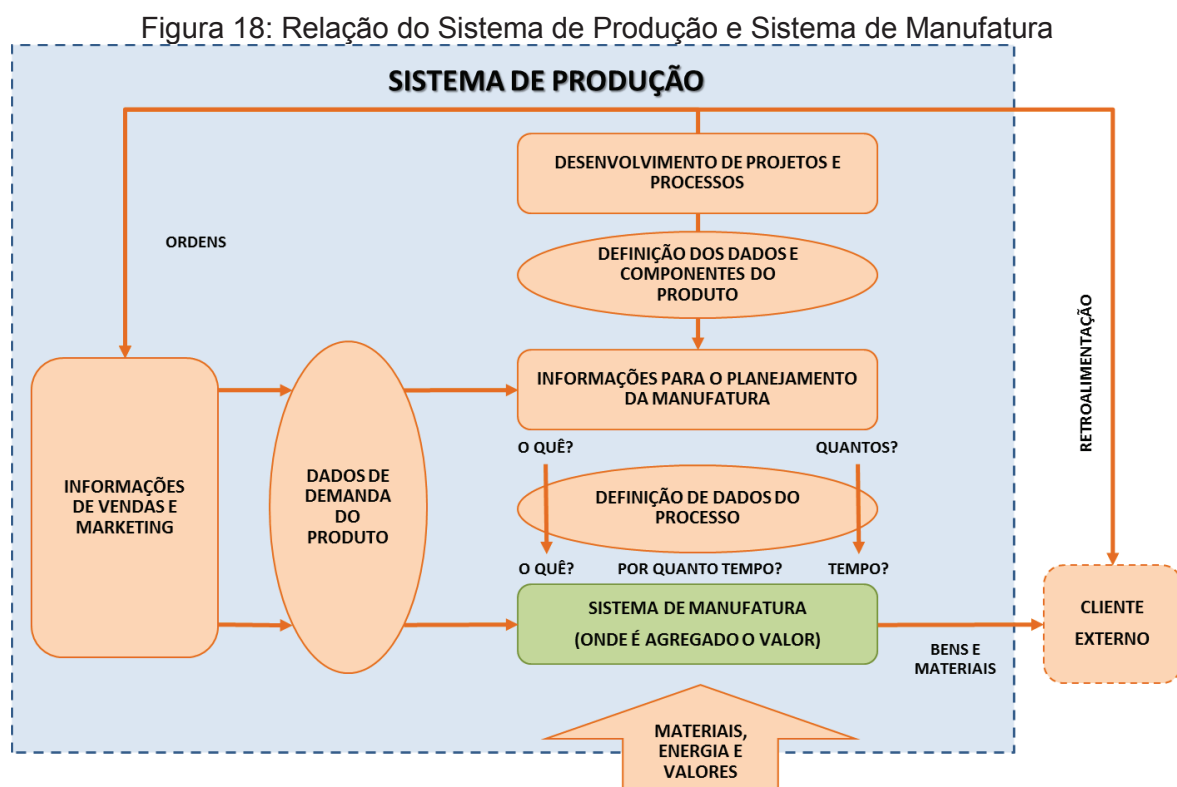
Na tecnologia conhecida como *Metal Injection Molding* (MIM), ocorre a mistura entre o pó que será injetado e um sistema de ligante, composto a base de polímeros para melhorar as propriedades de interface, de maneira homogênea. Da mesma forma que a produção de termoplásticos, a mistura é injetada em um molde para adquirir a forma (geometria) desejada. Dando continuidade ao processo, as peças retiradas dos moldes são submetidas a altas temperaturas para a evaporação dos polímeros (reação química e posteriormente é sinterizada, processo em que adquire seus valores finais e suas propriedades mecânicas)(FALLIS, 2013).

## **3.2 SISTEMAS PRODUTIVOS**

Após apresentar a fundamentação teórica referente à Manufatura Aditiva, esta seção vai apresentar como a mesma se comporta nos Sistemas Produtivos. De acordo com Skinner (1974), o Sistema de Produção das empresas pode ser

entendido como uma arma competitiva. Dessa forma, é preciso entender como a Manufatura Aditiva pode apoiar esta competitividade. A manufatura é a atividade organizada voltada para a transformação das matérias primas em bens de consumo (WU, 1992). Sistemas de produção utilizam diversos processos de adição de valor para converter matérias primas em produtos finais ou partes (WU, 1992). Moreira (2009) define sistema de produção como um conjunto de atividades e operações inter-relacionadas envolvidas na produção de bens ou serviços. Sistema de manufatura também pode ser definido como a combinação de equipamentos e trabalhadores por meio de materiais e fluxo de informação (CHRYSSOLOURIS, 1992).

O Sistema de Produção é responsável pela efetivação das ações no sentido de operacionalização das funções de planejamento e controle do fluxo global de produção (ANTUNES et al., 2008). Ainda, de acordo com Black (1998), tem a função de apoiar os Sistemas de Manufatura. A Figura 18 representa a relação entre o Sistema de Produção e o Sistema de Manufatura.



Fonte: Adaptado pelo autor a partir de Black (1998)

Um Sistema de Manufatura, de maneira geral, é aquele que recebe um conjunto de entradas (materiais, informação e energia, por exemplo) e processa estes elementos fisicamente, agregando valor pela utilização de um conjunto de

elementos (máquinas e pessoas), resultando como saída os produtos acabados (ANTUNES et al., 2008; WU, 1992). Estes produtos acabados podem ser direcionados aos consumidores finais ou na forma de produtos semiacabados, que serão transformados em produtos finais posteriormente (BLACK, 1998).

Isto posto, um sistema produtivo organiza recursos tecnológicos, humanos, econômicos, financeiros, físicos, instalações, procedimentos e processos com o objetivo de transformar o material recebido dos fornecedores em produtos adequados às necessidades dos clientes (VOLLMAN et al., 2006). Desse modo, o planejamento do sistema de manufatura é dividido em três níveis. São eles: curto, médio e longo prazo (TUBINO, 2007).

Em paralelo, é importante destacar a relação da gestão de processos com a engenharia de produção com intuito de melhorar e coordenar os fatores existentes nos sistemas produtivos (PAIM et al., 2008). Antunes et al. (2008) listam os seguintes aspectos que devem ser considerados para o bom andamento do sistema produtivo, a saber: i) controle dos estoques, refere-se à definição das quantidades ideais de venda, compra e material em processo; ii) gestão de acidentes, com objetivo de reduzir a zero; iii) gestão ambiental, com objetivo de reduzir os resíduos industriais; iv) gestão da produção, no que refere-se a responder as perguntas “onde”, “quando”, “quanto”, “o quê” e “como” produzir; por consequência, v) sincronizar fluxo produtivo; vi) gestão da qualidade, reduzindo (tendência a zero) defeitos durante o fluxo produtivo; vii) manutenção, objetivando a confiabilidade das máquinas; e, por fim, viii) melhoria contínua em todos os aspectos listados anteriormente.

Para finalizar, são apresentadas as proposições referentes à Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos. Estas proposições apresentadas no Quadro 10 serão avaliadas na discussão dos resultados desta pesquisa.

Quadro 10: Proposições Referentes aos Impactos da Manufatura Aditiva nos Sistemas Produtivos

#	PROPOSIÇÃO	AUTORES
PSP1	A Manufatura Aditiva não é robusta suficiente para ser utilizada em sistemas de fabricação em massa.	MISHRA (2013); PETRICK; SIMPSON (2013); D'AVENI (2015)
PSP2	A Manufatura Aditiva tem o potencial para tornar o processo de customização possível para ser utilizado em sistemas produtivos.	SALLES; GYI (2013); BERMAN (2012); D'AVENI (2015); FORD (2014); SASSON; JOHNSON (2016)

#	PROPOSIÇÃO	AUTORES
PSP3	A Manufatura Aditiva irá substituir a dinâmica competitiva das economias de produção em escala para um modelo de produção unitária, customizado, sendo indicado para pequenos volumes de produção.	PETRICK; SIMPSON (2013); SALLES; GYI (2013); WRAY (2014); BERMAN (2012); D'AVENI (2015); FORD (2014); SASSON; JOHNSON (2016)
PSP4	Com a utilização da Manufatura Aditiva, todas as etapas ao longo da cadeia de abastecimento, manufatura e varejo terão que repensar suas estratégias de operações.	D'AVENI (2015)
PSP5	As empresas que empregarem as tecnologias de Manufatura Aditiva podem alcançar aumento da eficiência da cadeia de abastecimento e a redução do tempo de mercado.	FORD (2014); SASSON; JOHNSON (2016); RAYNA; STRIUKOVA (2016); ZHU (2015); LONG et al. (2017)
PSP6	O uso da Manufatura Aditiva reduz a necessidade de manter estoques/inventário, uma vez que o produto pode ser fabricado próximo ao local em que será utilizado, reduzindo necessidade de espaço físico.	STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY (2013); SALLES; GYI (2013); KIETZMANN; PITT; BERTHON (2015); SASSON; JOHNSON (2016); RAYNA; STRIUKOVA (2016); LONG et al. (2017)
PSP7	Devido a sua versatilidade, a Manufatura Aditiva permite/facilita o sistema de produção <i>just in time</i> e pode se tornar o novo Kanban.	FRAZIER (2014); KIETZMANN; PITT; BERTHON (2015)
PSP8	A Manufatura Aditiva tem a capacidade para fabricar peças sem a necessidade de ferramental, pois é considerado um método sem contato.	SALLES; GYI (2013); SHULMAN; SPRADLING; HOAG (2012); FORD (2014); GARDAN (2015); LONG et al. (2017)
PSP9	A Manufatura Aditiva evita a falta de flexibilidade na fabricação.	D'AVENI (2015); LONG et al. (2017)
PSP10	Produtos complexos montados a partir de inúmeras peças podem, por meio da Manufatura Aditiva, ser impressos a partir de um modelo de computador único, facilitando a integração entre as etapas de produção.	STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY (2013); HORN; HARRYSSON (2012); WELLER; KLEER; PILLER (2015); GRESS; KALAFSKY (2015)
PSP11	A Manufatura Aditiva facilita o layout em células de manufatura, caracterizando-se como elemento chave para sistemas de produção mais ambiciosos.	GARDINER (2015); HORN; HARRYSSON (2012); WELLER; KLEER; PILLER (2015); GRESS; KALAFSKY (2015)
PSP12	A Manufatura Aditiva propicia conectividade, o que torna muitos dos processos de produção redundantes.	LONG et al. (2017)
PSP13	A Manufatura Aditiva não irá substituir a manufatura tradicional. Elas devem ser combinadas para manter as vantagens da nova tecnologia promovendo a manufatura híbrida.	LONG et al. (2017); PEARSONS (2015); GARDINER (2015)
PSP14	A Manufatura Aditiva irá reduzir a necessidade de mão de obra nas fábricas, pois necessita menos "trabalho" de produção.	PICKETT (2015); SHULMAN; SPRADLING; HOAG (2012); LONG et al. (2017)
PSP15	A Manufatura Aditiva facilita a terceirização, bem como o compartilhamento de projetos entre os designers e usuários.	BERMAN (2012)
PSP16	A Manufatura Aditiva proporciona menos desperdício de material e consumo de energia.	SHULMAN; SPRADLING; HOAG (2012); PICKETT (2015); BOURHIS et al. (2013); FORD (2014); LONG et al. (2017); GEBLER; SCHOOT UITERKAMP; VISSER (2014)

#	PROPOSIÇÃO	AUTORES
PSP17	A Manufatura Aditiva consome menos matéria-prima para a fabricação dos produtos ou peças: ela utiliza apenas o que é estruturalmente necessário.	STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY (2013); BOURHIS et al. (2013)
PSP18	Ainda é um limitante o número reduzido de materiais, cores e acabamentos de superfície.	BERMAN (2012)
PSP19	A disponibilidade de materiais para Manufatura Aditiva tem aumentado constantemente nos últimos anos.	LONG et al. (2017)

Fonte: Elaborado pelo autor

Definidas as proposições, a seção a seguir apresentará os conceitos da pesquisa relacionados aos critérios competitivos. Ao final da seção, as proposições referentes às repercussões da Manufatura Aditiva nos critérios competitivos serão apresentadas.

### 3.3 CRITÉRIOS COMPETITIVOS

A estratégia competitiva nas empresas exige a função operação juntamente com os processos (SKINNER, 1974). Sendo assim, a estratégia de operações é definida como uma ferramenta cujo objetivo principal é o aumento da competitividade da organização (SKINNER, 1974). Para Slack e Lewis (2009), a estratégia é comumente considerada como um padrão de decisões que indica o caminho global da empresa. Sendo assim, a estratégia de operações é considerada o padrão geral das decisões que determina quais as competências em longo prazo e suas contribuições para a estratégia global da empresa, de qualquer tipo de operação, por meio da aproximação dos requisitos de mercado (demanda) com os recursos de operações (capacidade) (SLACK; LEWIS, 2009). Paralelamente, a estratégia da organização deve estar clara e difundida entre os gestores, para evidenciar a missão, visão e as metas de curto e longo prazo da empresa (GALBRAITH; DOWNEY; KATES, 2011).

Percebe-se, por esse ângulo, que a falta de capacidade para a reorganização e realocação de seus próprios recursos diante de um movimento estratégico pode colocar a empresa em risco (TOMASZEWSKI; LACERDA; TEIXEIRA, 2016). Sendo

assim, para Rosenzweig e Easton (2010), a estratégia de operações ajuda a definir quais as dimensões competitivas e escolhas estratégicas deverão contribuir para a construção dos critérios competitivos.

Critério competitivo pode ser definido como as melhorias futuras que a organização pretende executar para manter ou obter vantagem competitiva (THÜRER et al., 2014). De acordo com Skinner (1974), os critérios competitivos são os fatores avaliados pelos clientes quando da decisão de compra. Cada um destes fatores é preponderante para a decisão, possuindo uma relevância diferente na decisão do consumidor. Em síntese, podem ser definidos como um conjunto consistente de critérios que a empresa tem de valorizar para competir no mercado (MILTENBURG, 2008). Slack (1993) afirma que o desenvolvimento de metas e objetivos é a determinação de quais critérios possuirão maior significância aos clientes em detrimento de outros.

As organizações devem ter total clareza de quais atributos os compradores valorizam e quais as capacitações que são suporte aos mesmos. De acordo com Teixeira et al. (2014), os critérios competitivos usados com maior frequência são custo, qualidade, confiabilidade, flexibilidade e inovação. Observando um estudo com base em vários autores em estratégia de produção (WHEELWRIGHT, 1984; FINE; HAX, 1985; PLATTS; GREGORY, 1992; HILL, 1997; SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002), é possível perceber que os critérios mais comuns decorrentes da literatura são custo, qualidade, flexibilidade, velocidade e confiabilidade de entrega (DIAS; FENSTERSEIFER, 2005). Ainda, os critérios competitivos podem ser definidos como custo, qualidade, flexibilidade, desempenho nas entregas e responsabilidade socioambiental (LIRA; GOMES; CAVALCANTI, 2015). Visando orientar com maior sucesso as estratégias das organizações, é necessário identificar quais os critérios competitivos utilizados pelos clientes para mensurar os serviços prestados e, conseqüentemente, suas expectativas (ARAÚJO, 2004). Com base nestas classificações, a respeito de critérios competitivos, cabe definir aqueles que serão usados como norteadores nesta pesquisa.

Com relação ao critério competitivo custo, a busca pelo baixo custo considera três conceitos. São eles: produtividade, economia de escala e curva de experiência, a performance também pode ser melhorada por meio de incremento nos processos e avanços tecnológicos (processos e equipamentos) (PAIVA; CARVALHO JR.; FENSTERSEIFER, 2009). Vale destacar que o critério competitivo custo é tido como



fonte de vantagem competitiva, pois está relacionado aos preços de produtos e serviços (WHEELWRIGHT, 1984).

O critério competitivo desempenho de entrega ou confiabilidade de entrega refere-se a manufaturar os itens em questão em tempo adequado para cumprir todos os prazos estabelecidos com os consumidores (PAIVA; CARVARLHO JR.; FENSTERSEIFER, 2009). Significa, outrossim, produzir e entregar bens e/ou serviços, em tempo hábil e nos prazos prometidos, comunicando as datas com clareza aos clientes, realizando a entrega pontualmente (SLACK, 1993). Davis, Aquilano e Chase (2001) definem o critério competitivo entrega como fornecer produtos rapidamente, definição esta que é mais alinhada ao critério competitivo velocidade, conforme apresentado a seguir. Nessa lógica, para esta pesquisa, o conceito de desempenho de entrega estará alinhado às definições de Slack (1993) e Paiva, Carvalho Jr. e Fensterseifer (2009).

Competir por velocidade refere-se aos eventos externos, ou seja, como o tempo que o cliente leva para receber o produto após a solicitação (SLACK; LEWIS, 2009). Em síntese, competir por velocidade está alinhado ao tempo que o cliente deve esperar desde a emissão do pedido até o recebimento efetivo do produto (SLACK, 1993). Este tempo está sendo usado pelas empresas como uma estratégia competitiva (ROHR; CORREA, 1998). No entanto, muitas destas empresas usam o fator tempo não para competir por prazos de entrega mais curtos, mas para melhorar o desempenho em outros critérios competitivos, como custo, confiabilidade de entrega e flexibilidade (ROHR; CORREA, 1998).

O critério competitivo flexibilidade caracteriza-se por ser capaz de atender a mudanças de produtos ou serviços, prazos de entregas, volumes de produção, ampliação ou redução da variedade de produtos ou serviços, aptidão a mudanças quando for necessário e com rapidez suficiente (SLACK, 1993). Relaciona-se à capacidade de aumentar ou diminuir o ritmo da produção (WHEELWRIGHT, 1984). Trata-se de uma competência relacionada à capacidade da organização em reagir de maneira flexível a mudanças repentinas de demanda (TEIXEIRA et al., 2014).

O critério qualidade refere-se a todos os aspectos físicos do processo e do produto ou serviço a ser entregue (TEIXEIRA et al., 2014). É exemplificado pela quantidade de defeitos durante e depois do processo produtivo ou de serviços (TEIXEIRA et al., 2014). A qualidade pode ser analisada sob a ótica de oito dimensões, a saber: i) confiabilidade, refere-se à probabilidade de um componente



apresentar uma falha; ii) conformidade, avalia-se o grau de adequação em relação aos padrões definidos; iii) características complementares, sendo as características que possibilitam que o produto desempenhe suas funções; iv) desempenho, características mensuráveis ligadas às funções que o produto em questão irá desempenhar; v) durabilidade, tempo de vida útil do produto; vi) estética, conceitos subjetivos (aroma, aparência, entre outros); vii) serviços agregados, atendimento ao consumidor, cujo intuito é evitar qualquer problema de pós-venda que venha a se tornar insatisfação por parte do cliente; viii) qualidade percebida, reputação da empresa (PAIVA; CARVARLHO JR.; FENSTERSEIFER, 2009). Em suma, o critério qualidade significa entregar bens ou serviços conforme as especificações ou necessidades dos clientes, fazer produtos que realmente os clientes desejam sem cometer erros e de boa qualidade (SLACK, 1993).

O critério competitivo sustentabilidade não é comumente citado na literatura. Entretanto, há crescente pressão social para que as organizações reduzam suas taxas de consumo de recursos naturais não renováveis visando causar menores danos ao meio ambiente (CORRÊA; XAVIER, 2013). Empresas que usam tecnologias mais limpas, menos poluidoras passam a ser vistas pelo mercado consumidor como responsáveis do ponto de vista socioambiental. Empresas como a Natura, por exemplo, entram no mercado competindo neste critério (LIRA; GOMES; CAVALCANTI, 2015).

Por fim, o critério competitivo inovação refere-se à habilidade da empresa para renovar-se rapidamente (TEIXEIRA et al., 2014). Essa renovação pode ser realizada nos produtos e nos processos, por exemplo. Pode ser traduzida como a habilidade de fazer mudanças e de usar a criatividade para melhorar métodos, processos e produtos, assim como lançar novos produtos no mercado (BOTTER, 2010).

Nesse sentido, para concorrer com sucesso no mercado, as firmas exigem uma missão de manufatura bem definida. Dito de outro modo, uma missão clara possibilita que a manufatura sustente a estratégia de negócios geral ao concentrar seus esforços de maneira mais eficaz possível (SKINNER, 1974). Ainda de acordo com Skinner (1974), não se pode esperar que nenhuma fábrica tenha um bom desempenho em todos os critérios.

Nessa perspectiva, ao executar as estratégias de operações, as organizações encontram conflitos de escolhas (*trade-offs*) que devem ser considerados (BOYER;

LEWIS, 2002). Assim, os *trade-offs* em estratégia de operações podem ser descritos como as incompatibilidades operacionais existentes entre diferentes critérios competitivos (TEIXEIRA et al., 2014). Skinner (1974) defende que a manufatura das empresas deveria priorizar um único critério competitivo por vez, visto que não é viável ter uma performance relevante em mais de um critério ao mesmo tempo.

No entanto, destaca-se que esta relação é dinâmica, pois estas prioridades se alteram de acordo com o tempo e as circunstâncias (FERDOWS; MEYER, 1990). Para exemplificar, o *trade-off* entre custo e qualidade, segundo o qual se pensava que investindo em qualidade o custo do produto aumentaria, foi quebrado e, atualmente, é perfeitamente possível obter um produto de boa qualidade dentro de custo razoável, a partir de novas tecnologias e, principalmente, novas ferramentas gerenciais (TOMASZEWSKI; LACERDA; TEIXEIRA, 2016).

Hayes e Pisano (1996) afirmam que há a possibilidade de uma organização incrementar mais de um critério ao mesmo tempo, contudo, não com a mesma taxa. Estes conflitos são obstáculos reais que devem ser melhorados ou eliminados para se atingir níveis de desempenho diferenciados (SHAHBAZPOU; SEIDEL, 2007).

Com base nos conceitos apresentados nesta seção, o Quadro 11 mostra o conjunto de proposições referentes aos impactos da Manufatura Aditiva nos critérios competitivos.

Quadro 11: Proposições das Repercussões da Manufatura Aditiva nos Critérios Competitivos

#	PROPOSIÇÃO	AUTORES
PCC1	A Manufatura Aditiva, devido à necessidade de investimento inicial a ser realizado, tem custos de produção relativamente mais elevados.	BERMAN (2012); BOBB; SHAPIRO; HARRIS (2012); SCOTT (2013); ZHU (2015)
PCC2	Os custos mais altos para a produção de grandes séries em relação à moldagem por injeção limitam o uso da Manufatura Aditiva.	BERMAN (2012); BOBB; SHAPIRO; HARRIS (2012); SCOTT (2013)
PCC3	A Manufatura Aditiva irá reduzir o custo do produto final pois o processo será reduzido a um número menor de operações que o processo tradicional.	PRINCE (2014); SALLES; GYI (2013); SHULMAN; SPRADLING; HOAG (2012)
PCC4	A Manufatura Aditiva acarretará em cadeias menores, menos dispendiosas e mais ágeis de fornecimento.	FORD (2014); FARISH (2015); STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY (2013); SASSON; JOHNSON (2016)

#	PROPOSIÇÃO	AUTORES
PCC5	A redução do <i>lead time</i> de produção é vantagem comprovada do uso das tecnologias de Manufatura Aditiva, diminuindo o prazo de entrega.	FORD (2014); FARISH (2015); STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY (2013); SASSON; JOHNSON (2016)
PCC6	O tempo de resposta para o mercado deverá diminuir com a aplicação da Manufatura Aditiva nas organizações devido aos ciclos de design e prototipagem mais curtos, capacidade de fabricação mais previsível e a eliminação de ferramental para novos produtos.	FORD (2014); FRAZIER (2014); WELLER; KLEER; PILLER (2015)
PCC7	A Manufatura Aditiva permite um arranjo físico mais enxuto, uma vez que várias operações são condensadas em apenas uma.	LONG et al. (2017); FRAZIER (2014); BERMAN (2012)
PCC8	A Flexibilidade é a maior vantagem em termos de critérios competitivos com a implantação da Manufatura Aditiva.	BERMAN (2012); SALLES; GYI (2013); PETRICK; SIMPSON (2013); TUOMI et al. (2014); SASSON; JOHNSON (2016)
PCC9	Assim como a Customização em massa, a Manufatura Aditiva permite às empresas construir produtos personalizados em pequenas quantidades de maneira mais econômica.	BERMAN (2012); SALLES; GYI (2013); PETRICK; SIMPSON (2013); TUOMI et al. (2014); WELLER; KLEER; PILLER (2015); SASSON; JOHNSON (2016)
PCC10	A Manufatura Aditiva não oferece a economia de escala por exemplo, no entanto, evita a inconveniente falta de flexibilidade na fabricação.	D'AVENI (2015); TUOMI et al. (2014)
PCC11	A qualidade e confiabilidade dos produtos e processos é a grande barreira para a utilização da Manufatura Aditiva pelas organizações.	MISHRA (2013); MAHAMOOD et al.(2014); BERMAN (2012); STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY (2013); GARDAN (2015)
PCC12	Os sistemas de Manufatura Aditiva simplesmente não são precisos ou robustos o suficiente para serem ampliados e utilizados para fabricação em massa de produtos comerciais.	MISHRA (2013); MAHAMOOD et al. (2014); BERMAN (2012); STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY (2013)
PCC13	Operações complementares para garantir a qualidade final do produto são atualmente necessárias quando da utilização da Manufatura Aditiva.	MISHRA (2013); MAHAMOOD et al. (2014); LONG et al. (2017)
PCC14	A Manufatura Aditiva é definida como o primeiro passo para o desenvolvimento da sustentabilidade.	BOURHIS et al. (2013); FRAZIER (2014); FORD (2014)
PCC15	A Manufatura Aditiva tem o potencial de reduzir significativamente o consumo de energia e emissões de carbono, gerando impacto positivo sobre o meio ambiente.	BOURHIS et al. (2013); FRAZIER (2014); FORD (2014); GEBLER; SCHOOT UITERKAMP; VISSER (2014)
PCC16	Com a utilização da Manufatura Aditiva, a geração de resíduos é menor devido a ser um processo mais direto quando comparada à Manufatura Tradicional.	KREIGER E PEARCE (2013); GEBLER; SCHOOT UITERKAMP; VISSER (2014)

Fonte: Elaborado pelo autor

A avaliação destas proposições permitirá identificar o potencial da Manufatura Aditiva em desempenhar a função de incrementar os critérios competitivos nas

organizações. Na seção a seguir, alguns trabalhos serão apresentados para ilustrar essa relação da Manufatura Aditiva com os critérios competitivos.

### 3.4 MANUFATURA ADITIVA E OS CRITÉRIOS COMPETITIVOS

Entre os estudos derivados da revisão sistemática da literatura, alguns revelaram indícios referentes às questões apresentadas na seção anterior. Artigos que apresentam discussões acerca do uso de Manufatura Aditiva em algum tipo de indústria ou até mesmo benefícios que a tecnologia pode representar para as organizações indicam que a competitividade pode ser alterada sob algum aspecto.

O estudo proposto por Berman (2012) avalia as características e aplicações da impressão da Manufatura Aditiva, definindo-a como uma tecnologia voltada para a personalização em massa. Define que a Manufatura Aditiva permite que pequenas quantidades de produtos personalizados sejam fabricadas a custos relativamente baixos. Apresentando estas características, o estudo indica que a Manufatura Aditiva permite a empresa ser competitiva no critério inovação e também em custo, corroborando a ideia de que será uma ferramenta que proporcionará às organizações eliminar alguns *trade offs* de manufatura.

O estudo proposto por Mellor, Hao e Zhang (2014) concentra-se no processo de implementação da Manufatura Aditiva e foi motivado pela falta de estudos sócio técnicos nesta área. O trabalho tem foco em gestão e aborda a necessidade que os gerentes de projeto terão com a entrada da Manufatura Aditiva em um futuro potencial.

Assim, propõe um framework de implementação para orientar os esforços na adoção desta tecnologia, focados na fabricação de produtos com alto valor e gerar novas oportunidades de negócios. Destaca-se como vantagens da tecnologia a velocidade no desenvolvimento de novos produtos e o potencial da tecnologia em termos de flexibilidade de produção, dada a eliminação de ferramentas e moldes. Analisando as informações do estudo, pode-se inferir que flexibilidade e inovação são identificadas como possíveis critérios a serem consideradas como diferenciais da tecnologia.

No âmbito da sustentabilidade, o estudo proposto por Bourhis et al. (2013) apresenta a Manufatura Aditiva como uma tecnologia que confere sustentabilidade aos sistemas de manufatura. Define a Manufatura Aditiva como uma tecnologia de importância crucial no campo dos processos de fabricação onde grandes quantidades de energia e materiais estão sendo consumidos. Destaca ainda que as atuais tecnologias de Manufatura Aditiva permitem a fabricação de produtos com alta qualidade e alto valor agregado. Desse modo, sugere que o impacto ambiental da Manufatura Aditiva seja avaliado para facilitar sua aceitação no mundo industrial. Sob este aspecto, verifica-se indícios de que a Manufatura Aditiva possa entregar produtos de alta qualidade, valor agregado e de maneira mais sustentável.

Em seu trabalho, Kietzmann, Pitt e Berthon (2015) desenvolvem um guia para gerentes e técnicos de manufatura entenderem os processos aditivos de manufatura. Apresenta, assim, alterações decorrentes da Manufatura Aditiva em empresas de todos os tipos, bem como em consumidores individuais. No estudo, destacam o potencial da Manufatura Aditiva em reduzir o tempo de entrega dos produtos fabricados. Apresentam também a proposta de que consumidores poderão fabricar seus próprios produtos em casa, sem a necessidade de intermediários. Estes aspectos indicam que a velocidade é um dos critérios competitivos que pode beneficiar as empresas que adotarem a tecnologia.

O estudo apresentado pelo *Stratfor Geopolitical Diary* (2013) evidencia a Manufatura Aditiva como a ruptura dos modelos tradicionais de manufatura. Destaca o potencial de inovação da Manufatura Aditiva para o desenvolvimento de novos produtos. O trabalho ressalta ainda que estes produtos podem ser desenvolvidos em menor tempo se comparado com a manufatura tradicional. Esta redução reflete em questões associadas à velocidade e redução de custos. Nesse sentido, estas características conferidas à Manufatura Aditiva podem oportunizar diferenciais competitivos simultâneos para a empresa.

Tuomi et al. (2014) destacam a flexibilidade como principal benefício da Manufatura Aditiva. O trabalho apresenta discussões do uso da tecnologia na indústria médica na criação de próteses. Os benefícios informados no estudo permitem inferir que o potencial da manufatura em produzir variados formatos sem a necessidade de matrizes ou ferramentas aliado à possibilidade de customização dos produtos confere a este tipo de indústria velocidade e custos menores, decorrentes da flexibilidade.

Gardiner (2015) apresenta aplicações da Manufatura Aditiva na indústria aeroespacial. O autor apresenta exemplos de componentes com características de baixo volume fabricados a partir da Manufatura Aditiva que reduziram os custos de produção sem perder a qualidade obtida com os processos de manufatura tradicional. Além desses aspectos, destaca que, como a produção é realizada sob demanda, o tempo de produção diminuiu.

Em síntese, mesmo não apresentando avaliações específicas quanto ao potencial da Manufatura Aditiva em auxiliar as empresas a serem mais competitivas em um, ou em um conjunto de critérios competitivos, os indícios apresentados nos resultados dos estudos permitem inferir que a Manufatura Aditiva pode ser considerada um elemento importante para tornar as empresas mais competitivas. Diante do exposto até aqui, torna-se possível inferir, ainda, que o uso da manufatura competitiva pelos sistemas produtivos dos mais variados tipos e indústria (médica, aeroespacial, cerâmica, automotiva, etc.) repercute de alguma maneira nos critérios competitivos.

## 4 ANÁLISE DA LITERATURA SOBRE OS IMPACTOS DA MANUFATURA ADITIVA NOS SISTEMAS PRODUTIVOS E SUAS REPERCUSSÕES NOS CRITÉRIOS COMPETITIVOS

A análise de conteúdo da literatura será apresentada em duas etapas. A primeira aborda os impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos e a segunda etapa apresenta as repercussões destes impactos nos critérios competitivos.

### 4.1 IMPACTOS DA MANUFATURA ADITIVA NOS SISTEMAS PRODUTIVOS

A análise da literatura foi realizada levando em consideração as mesmas categorias de análise dos Sistemas Produtivos que sustentaram as análises das entrevistas. O Quadro 12 apresenta os resultados da análise de frequência absoluta e ponderada. A análise por artigo é apresentada no Apêndice F.

Quadro 12: Análise dos Totais de Frequência Absoluta e Ponderada dos Impactos da Manufatura Aditiva nos Sistemas Produtivos na Literatura

Análise de Frequência Absoluta	Des. Produto		Engenharia de Processo		Engenharia de Processo		Marketing e Vendas		Matéria-Prima		PCP		Recursos Financeiros		Sistema de Manufatura		Tempos e Métodos	
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
Totais	48	5	27	4	27	4	20	2	23	2	14	3	5	4	38	11	13	7
	53		31		31		22		25		17		9		49		20	
Análise de Frequência Ponderada	Des. Produto		Engenharia de Processo		Engenharia de Processo		Marketing e Vendas		Matéria-Prima		PCP		Recursos Financeiros		Sistema de Manufatura		Tempos e Métodos	
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
Totais	29,3	0,7	10,5	0,3	1,5	0,0	7,2	0,1	8,3	0,1	3,5	0,2	0,4	0,3	16,9	2,1	2,9	1,0
	30,0		10,8		1,5		7,3		8,4		3,7		0,8		19,0		3,9	

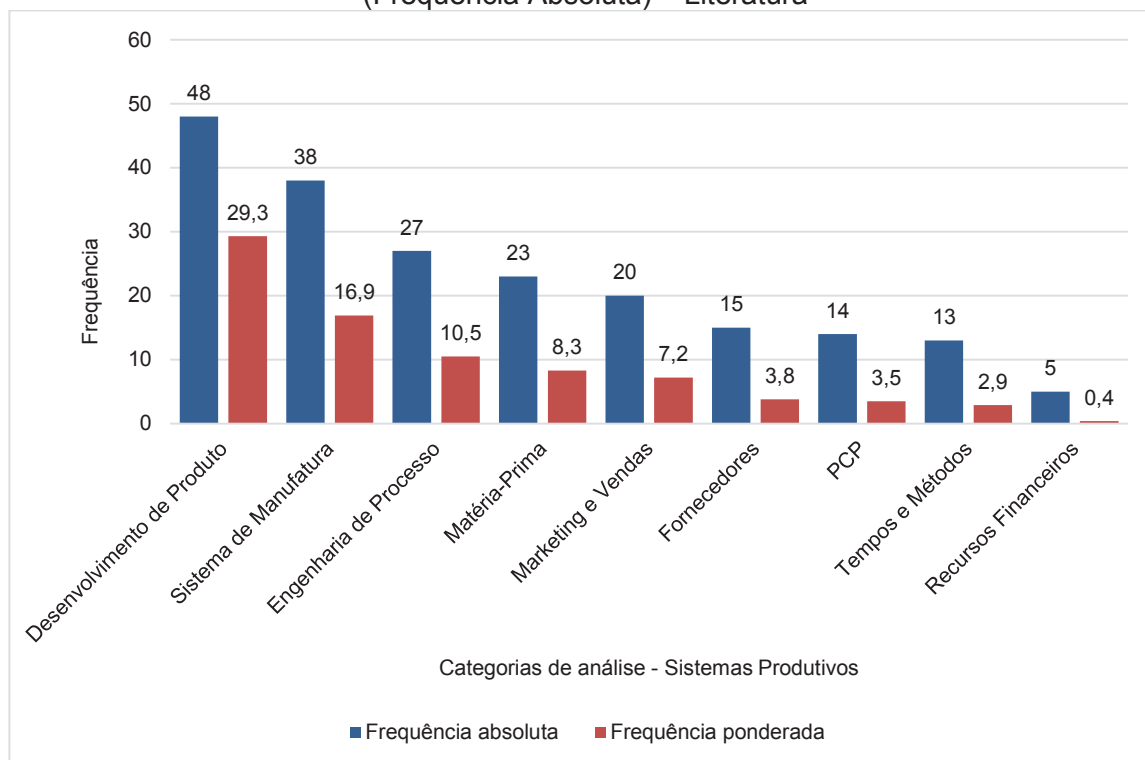
Fonte: Elaborado pelo autor

Os valores da frequência absoluta e ponderada, por categoria de análise, foram colocados em ordem decrescente para identificar quais das categorias foram mais citadas e, por consequência, recebem maior impacto quando da utilização da Manufatura Aditiva pelos sistemas produtivos. Esta verificação foi iniciada pelos impactos positivos. A Figura 19 ilustra o comparativo do total das frequências absoluta e ponderada dos registros dos impactos positivos verificados na literatura.

Comparando a análise de frequência dos registros dos impactos positivos, evidencia-se que a ponderação não alterou a ordem das categorias. Dessa forma,

as categorias mais representativas no que tange ao impacto positivo são Desenvolvimento de Produto, Sistema de Manufatura, Engenharia de Processos e Matéria-Prima. O somatório dos registros das quatro categorias mais representativas aproxima-se de 67% do total de registros com base na frequência absoluta e chega a aproximadamente 80% quando considerada a frequência ponderada.

Figura 19: Total das Incidências Positivas nas Categorias dos Sistema Produtivos (Frequência Absoluta) – Literatura



Fonte: Elaborado pelo autor

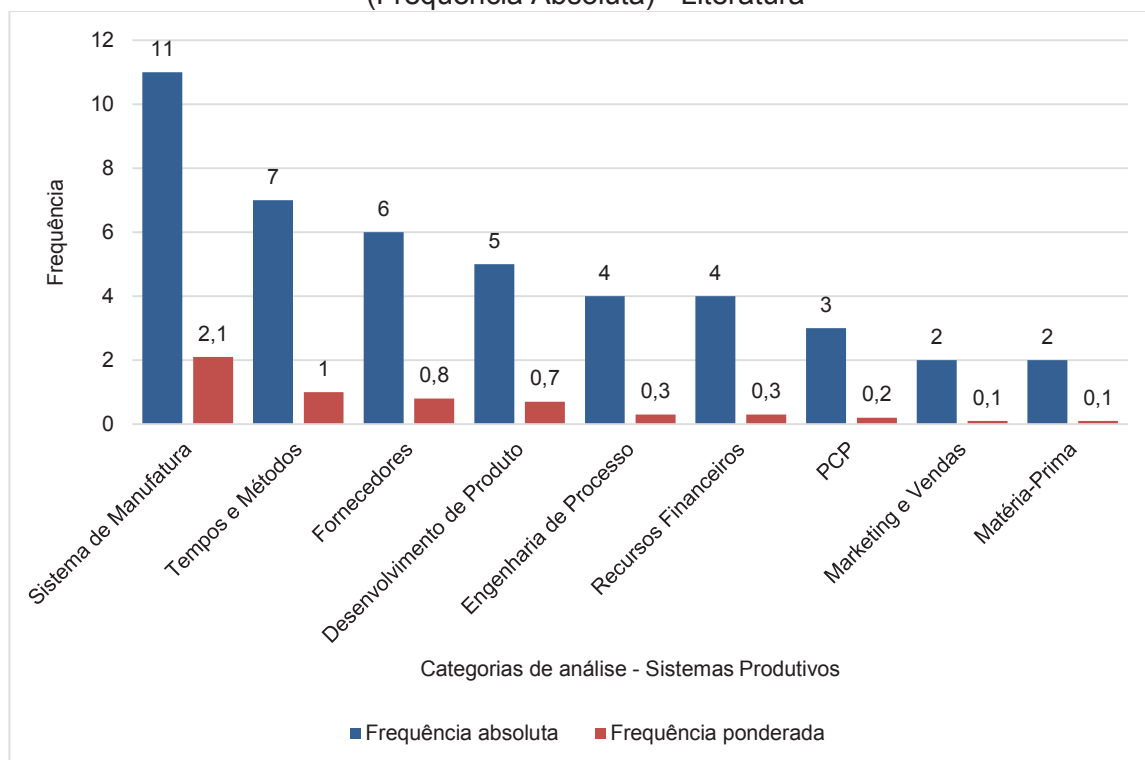
Da mesma maneira, foram ordenados e verificados os impactos negativos sob a ótica da literatura. A Figura 20 ilustra o comparativo do total, em ordem decrescente, dos registros dos impactos negativos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos por categoria de acordo com a frequência absoluta e a frequência ponderada.

Evidencia-se que não houve alterações na ordenação do total das frequências absoluta e ponderada referente aos registros dos impactos negativos. As categorias com maior frequência absoluta e ponderada nos impactos negativos são Sistemas de Manufatura, Tempos e Métodos, Fornecedores e Desenvolvimento de Produto. Aproximadamente, 66% dos registros dos impactos negativos são relacionados a estas quatro categorias de análise observando a frequência absoluta. Esta



representatividade aumenta para aproximadamente 82% quando se observa a frequência ponderada.

Figura 20: Total das Incidências Negativas nas Categorias dos Sistema Produtivos (Frequência Absoluta) - Literatura



Fonte: Elaborado pelo autor

Sob o prisma da literatura, estes são os resultados quantitativos da análise de conteúdo. A seguir, são descritos os impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos em cada uma das categorias analisadas.

#### 4.1.1 Desenvolvimento de Produto

Os principais impactos positivos relacionados à categoria Desenvolvimento de Produto sob a luz da literatura estão focados na possibilidade de customização dos produtos, ou seja, a Manufatura Aditivatem o potencial para tornar o processo de personalização possível (BECHMANN, 2014; DING; BAO, 2016; SALLES; GYI, 2013; ZHAI; LADOS; LAGOY, 2014). A Impressão 3D tem sido usada por mais de duas décadas, principalmente para prototipagem rápida de volumes pequenos de produção em uma variedade de indústrias (PETRICK; SIMPSON, 2013).

Além disso, o fato de a Manufatura Aditiva produzir elementos únicos e com liberdade geométrica, sem custo adicional, permite que a indústria forneça volumes de produção baixos ou produtos personalizados que sejam economicamente viáveis para o cliente final (FORD, 2014; LECKLIDER, 2017). Esse é considerado um dos principais benefícios do uso da AM, ou seja, é a capacidade de fabricar facilmente formas complexas (MANOGHARAN; WYSK; HARRYSSON, 2016).

Também é considerado impacto positivo a possibilidade de redesenhar partes para diminuir o peso do produto (SHULMAN; SPRADLING; HOAG, 2012). Logo, permite fabricar produtos funcionais com alto valor agregado (BOURHIS et al., 2013).

O desenvolvimento de produtos também é impactado positivamente quando os materiais disponibilizados para impressão se tornam mais variados. A evolução da tecnologia está passando da impressão apenas em plástico para a impressão e possibilidade de desenvolver produtos com outros tipos de materiais como cerâmica e prata, por exemplo (PICKETT, 2015; WRAY, 2014).

A prototipagem ou o desenvolvimento de produtos é uma das áreas de aplicação melhor estabelecida para a impressão em 3D (ATTARAN, 2017; LECKLIDER, 2017). O tempo e o custo reduzidos associados à interação de um desenho impresso são revolucionários em comparação com métodos anteriores (LECKLIDER, 2017; STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY, 2013). Contudo, o acabamento da peça não é considerado satisfatório (MAHAMOOD et al., 2014).

A disponibilidade de materiais que era um dos pontos negativos da tecnologia vem evoluindo constantemente. Berman (2012) afirmava que a quantidade de materiais disponíveis para a Manufatura Aditiva era um limitante, porém estudos mais recentes mostram que esta barreira está sendo superada (PICKET, 2015). O Quadro 13 sintetiza os impactos apresentados na literatura, na categoria de análise Desenvolvimento de Produto.

Quadro 13: Síntese dos Impactos da Manufatura Aditiva na Categoria Desenvolvimento de Produto

IMPACTOS POSITIVOS	IMPACTOS NEGATIVOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Customização (BECHMANN, 2014; DING; BAO, 2016; SALLES; GYI, 2013; ZHAI; LADOS; LAGOY, 2014).</li> <li>• Liberdade Geométrica (FORD, 2014; LECKLIDER, 2017; MANOGHARAN; WYSK; HARRYSSON, 2016).</li> <li>• Redução do tempo de desenvolvimento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variedade de materiais limitada (BERMAN, 2012; HORN; HARRYSSON, 2012).</li> <li>• Acabamento deficitário (MAHAMOOD et al., 2014).</li> </ul>

IMPACTOS POSITIVOS	IMPACTOS NEGATIVOS
(ATTARAN, 2017; LECKLIDER, 2017; STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY, 2013). <ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução de peso e custo do produto final (BOURHIS et al., 2013; SHULMAN; SPRADLING; HOAG, 2012).</li> <li>• Variedade de materiais (PETRICK; SIMPSON, 2013; PICKETT, 2015; WRAY, 2014).</li> </ul>	

Fonte: Elaborado pelo autor

Cabe destacar que o impacto referente à liberdade geométrica e à customização foram os mais citados entre os autores, e é possível inferir que são os impactos mais significativos da Manufatura Aditiva nesta categoria de análise. A liberdade geométrica, ainda, permite a redução do peso dos produtos, necessitando menos material e impactando na redução do custo tanto de desenvolvimento quanto do produto fabricado posteriormente. O impacto relacionado à variedade de materiais se apresentou divergente. Este impacto foi considerado negativo (BERMAN, 2012; HORN; HARRYSSON, 2012), mas outros autores (PETRICK; SIMPSON, 2013; PICKETT, 2015; WRAY, 2014) consideram que o número de materiais disponibilizado para uso na tecnologia vem aumentando, superando a barreira apresentada. Esta questão faz sentido observando o ano de publicação dos estudos. Outro ponto destacado como um impacto negativo refere-se ao acabamento do produto (MAHAMOOD et al., 2014). A partir de 2013, são apresentados indícios da evolução dessa variedade de materiais. A seguir, é realizada a análise da categoria Engenharia de Processos.

#### 4.1.2 Engenharia de Processos

Os principais impactos positivos relacionados à categoria Engenharia de Processo estão focados na velocidade do processo. O objetivo da Manufatura Aditiva é desenvolver processos mais rápidos e mais acessíveis (DING; BAO, 2016; MANOGHARAN; WYSK; HARRYSSON, 2016; MELLOR; HAO; ZHANG, 2014; NELSON et al., 2017; PELESHENKO et al., 2017). As tecnologias aditivas de fusão a laser podem ser soluções de economia de tempo na fabricação de motores de

veículos modernos ou componentes aeroespaciais em grande escala (BECHMANN, 2014).

Recentes melhorias incluem o aumento da velocidade e desempenho de máquinas de Manufatura Aditiva, além de uma gama crescente de insumos e queda dos preços, tanto para máquinas e materiais (FORD, 2014). Ainda, o tempo de resposta para o mercado deverá diminuir com a aplicação nas indústrias devido aos ciclos de *design* e prototipagem mais curtos, capacidade de fábrica mais previsível, e a eliminação de ferramental para novos produtos (FORD, 2014; PICKETT, 2015; SALLES; GYI, 2013).

Outro ponto positivo que impacta o processo é relacionado ao desperdício de material. Em comparação aos sistemas tradicionais, a Manufatura Aditiva tem potencial para reduzir o desperdício de material no processo de até 70% (STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY, 2013).

Ainda relacionado aos impactos positivos, outra vantagem importante da Manufatura Aditiva versa sobre a capacidade de fabricar peças sem o custo elevado de ferramental ou longos prazos de entrega (LECKLIDER, 2017). As economias de custos estão associadas com menos trabalho de produção e desperdício de material (SHULMAN; SPRADLING; HOAG, 2012). A General Electric, por exemplo, está produzindo, por meio da Manufatura Aditiva, os bicos de combustível para as aeronaves que anteriormente eram fabricados em peças e montados posteriormente. A empresa tem, assim, uma redução na cadeia de abastecimento do produto (FORD, 2014).

Como impactos negativos, destaca-se que os processos realizados pela Manufatura Aditiva simplesmente não são precisos ou robustos o suficiente para serem ampliados e utilizados para fabricação em massa dos produtos comerciais (MAHAMOOD et al., 2014; MISHRA, 2013). Isto acarretaria custos mais altos para a produção de grandes séries em relação à moldagem por injeção e outras tecnologias que podem limitar o uso da Manufatura Aditiva (BERMAN, 2012). O Quadro 14 sintetiza os impactos da Manufatura Aditiva na categoria Engenharia de Processos.

Quadro 14: Síntese dos Impactos da Manufatura Aditiva na Categoria Engenharia de Processos

IMPACTOS POSITIVOS	IMPACTOS NEGATIVOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do tempo de processo(DING; BAO, 2016; MANOGHARAN; WYSK; HARRYSSON, 2016; MELLOR; HAO; ZHANG, 2014; NELSON et al., 2017; PELESHENKO et al., 2017).</li> <li>• Maior velocidade e desempenho do processo(DING; BAO, 2016; MANOGHARAN; WYSK; HARRYSSON, 2016; MELLOR; HAO; ZHANG, 2014; NELSON et al., 2017; PELESHENKO et al., 2017).</li> <li>• Redução do tempo de resposta para o mercado(FORD, 2014; PICKETT, 2015; SALLES; GYI, 2013).</li> <li>• Capacidade produtiva mais previsível(FORD, 2014; PICKETT, 2015; SALLES; GYI, 2013).</li> <li>• Redução do desperdício de materiais em até 70% % (STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY, 2013).</li> <li>• Redução do Custo de Ferramental(LECKLIDER, 2017).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inviabilidade para produção em grandes lotes(MAHAMOOD et al., 2014; MISHRA, 2013).</li> <li>• Custos elevados para produção em grandes lotes(BERMAN, 2012).</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor

Em síntese, os processos tendem a ser impactados positivamente, principalmente no que tange à complexidade e tempo. Uma vez que a tecnologia tem como objetivo tornar os processos mais ágeis, esses ganhos são refletidos em tempos de atravessamento menores. Estes impactos refletem em uma rápida entrega do produto no mercado traduzem-se como os impactos mais citados entre os autores. A barreira a ser derrubada é a viabilidade de produzir peças em grandes quantidades (lotes maiores) a partir da Manufatura Aditiva. Com as limitações existentes, o custo de produção para grandes lotes é elevado e inviabiliza o uso da Manufatura Aditiva. A seguir, será apresentada a análise da categoria Fornecedores.

#### 4.1.3 Fornecedores

Do ponto e vista da categoria Fornecedores, o primeiro impacto positivo identificado versa sobre a quantidade de materiais disponíveis. A Manufatura Aditiva pode ser usada na fabricação de produtos com base em metais, polímeros e cerâmicas, além de aplicações emergentes que vão desde a utilização na medicina, peças de aeronaves e peças para veículos espaciais e até mesmo móveis e roupas (BOBB; SHAPIRO; HARRIS, 2012; PETRICK; SIMPSON, 2013; PICKETT, 2015; WRAY, 2014)

O aumento das implementações de tecnologias de Manufatura Aditiva vai exigir um maior número de competidores (PETRICK; SIMPSON, 2013). Torna-se necessário advertir, então, que o número reduzido de fornecedores é um impacto negativo.

No momento em que o número de fornecedores for ampliado no mercado, apresenta-se a tendência de redução dos custos de materiais por eficiências de escala e concorrência (KIEVIET; ALEXANDER, 2015). Ainda relacionado aos fornecedores, cabe destacar que impacto mais amplo da Manufatura Aditiva, na cadeia de abastecimento global, não será sobre a circulação de produtos acabados, mas sim nos estoques de matéria-prima e em processo (D'AVENI, 2015; STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY, 2013). Corroborando este impacto, o uso da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos elimina a necessidade de manter estoques, especialmente de peças com giro reduzido e pode alterar o modelo de negócio dos fornecedores (ATTARAN, 2017; D'AVENI, 2015; STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY, 2013).

Como impactos negativos do ponto de vista de Fornecedores, a literatura destaca a questão da variedade de materiais a serem utilizados (BERMAN, 2012; HORN; HARRYSSON, 2012). No entanto, esta questão foi abordada na categoria desenvolvimento de produto e aparenta se encaminhar para uma solução positiva. Trate-se de uma limitação da tecnologia, porém impacta negativamente do ponto de vista dos sistemas produtivos. Ainda, destaca-se o número limitado de fornecedores (PETRICK; SIMPSON, 2013). O Quadro 15 apresenta a síntese dos impactos da Manufatura Aditiva na categoria Fornecedores.

Quadro 15: Síntese dos Impactos da Manufatura Aditiva na Categoria Fornecedores

IMPACTOS POSITIVOS	IMPACTOS NEGATIVOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento da variedade de materiais que pode ser utilizado pela Manufatura Aditiva(BOBB; SHAPIRO; HARRIS, 2012; PETRICK; SIMPSON, 2013; PICKETT, 2015; WRAY, 2014).</li> <li>• O aumento da demanda tende a reduzir os custos dos materiais (KIEVIET; ALEXANDER, 2015).</li> <li>• Redução dos estoques (D'AVENI, 2015; STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY, 2013).</li> <li>• Alteração do modelo de negócio com fornecedores (ATTARAN, 2017; D'AVENI, 2015; STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY, 2013).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixa variedade de materiais (BERMAN, 2012; HORN; HARRYSSON, 2012).</li> <li>• Reduzido número de fornecedores(PETRICK; SIMPSON, 2013).</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor

Nesta categoria, foi retomado o assunto relacionado à variedade de materiais, discutido na categoria desenvolvimento de produtos e apresentado como uma limitação da tecnologia, que apresenta evolução nos últimos anos (BOBB; SHAPIRO; HARRIS, 2012; PETRICK; SIMPSON, 2013; PICKETT, 2015; WRAY, 2014). Ao aumentar a demanda pela Manufatura Aditiva e o número de fornecedores, o preço dos materiais tende a reduzir (KIEVIET; ALEXANDER, 2015). Esta redução de custo pode ser verificada, ainda, pela alteração do modelo de negócio, fornecedores de peças, por exemplo, poderão fornecer o projeto e este ser impresso próximo ou até mesmo no cliente final. O reduzido número de fornecedores é apontado como impacto negativo. Com menos fornecedores, a concorrência é menor e o custo dos materiais pode permanecer alto. O fornecimento será apenas do material. A seguir, é apresentada a análise da categoria Marketing e Vendas.

#### 4.1.4 Marketing e Vendas

Ao analisar os impactos desta categoria, destaca-se que, a partir da utilização da Manufatura Aditiva pelos sistemas produtivos, todos os negócios ao longo das cadeias de abastecimento, manufatura e varejo terão de ser repensados(D'AVENI, 2015; DING; BAO, 2016). Uma vantagem significativa da Manufatura Aditiva no que tange à comercialização é a capacidade da empresa de fornecer rapidamente, e de forma rentável, peças de baixa demanda(BERMAN, 2012; LECKLIDER, 2017; MANOGHARAN; WYSK; HARRYSSON, 2016).

Ainda como impacto positivo, o tempo de resposta para o mercado deverá reduzir com a utilização da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos das organizações. Isso ocorre devido ao tempo de desenvolvimento de produto mais curto, da capacidade de fábrica mais previsível, e à eliminação de ferramental para novos produtos(FORD, 2014; GOODRICH, 2014; SALLES; GYI, 2013; ZHAI; LADOS; LAGOY, 2014).

A virtualização dos estoques pode também impactar as relações de comercialização e vendas. A partir de uma perspectiva de gerenciamento de inventário, por exemplo, as empresas podem economizar espaço e custos pela replicação *on-demand* de estoque por meio da Manufatura Aditiva. Assim, elimina a necessidade de manter itens estocados em antecipação de uma necessidade futura (KIETZMANN; PITT; BERTHON, 2015).

Um impacto positivo adicional relacionado à marketing e vendas versa sobre a agregação de valor de produtos personalizados. Com produtos fabricados de forma rápida, personalizado e de baixo custo, a Manufatura Aditiva está pronta para trazer uma mudança radical na cultura contemporânea (PRINCE, 2014). Produtos de consumo personalizado, atualmente, estão em ascensão no mercado, conferindo características de alto valor e baixo volume para a indústria, características próprias para o uso da Manufatura Aditiva (STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY, 2013). As tecnologias de Manufatura Aditiva permitem fabricar produtos funcionais com alto valor agregado (BOURHIS et al., 2013).

Como aspecto negativo, destaca-se a qualidade do produto final (aparência)(MAHAMOOD et al., 2014). Deve-se estar consciente de que as peças produzidas utilizando Manufatura Aditiva quase que certamente necessitarão de operações de processamento de pós usinagem ou secundárias, assim como quaisquer outras partes, especialmente se essas peças são esperadas para serem montadas em locais aparentes do produto final (HORN; HARRYSSON, 2012). O



Quadro 16 apresenta a síntese dos impactos verificados na literatura referentes à categoria Marketing e Vendas.

Quadro 16: Síntese dos Impactos da Manufatura Aditiva na Categoria Marketing e Vendas

IMPACTOS POSITIVOS	IMPACTOS NEGATIVOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alteração dos modelos de negócio ao longo das cadeias de abastecimento(D'AVENI, 2015; DING; BAO, 2016).</li> <li>• Maior rentabilidade devido à oferta de produtos customizados e redução de custos (BERMAN, 2012; LECKLIDER, 2017; MANOGHARAN; WYSK; HARRYSSON, 2016).</li> <li>• Redução do tempo de resposta para o mercado(FORD, 2014; GOODRICH, 2014; SALLES; GYI, 2013; ZHAI; LADOS; LAGOY, 2014).</li> <li>• Virtualização de estoques e produtos (KIETZMANN; PITT; BERTHON, 2015).</li> <li>• Maior agregação de valor dos produtos(BOURHIS et al., 2013; PRINCE, 2014; STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY, 2013).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para manter a qualidade estética (aparência) do produto, operações complementares são necessárias(HORN; HARRYSSON, 2012; MAHAMOOD et al., 2014).</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor

Em síntese, os maiores impactos positivos estão relacionados aos novos modelos de negócio permitidos pela Manufatura Aditiva. Este ponto vem sendo apontado pelos autores em outras categorias de análise como a de fornecedores, por exemplo. Este aspecto se apresenta como uma das grandes alterações que pode ocorrer nos sistemas produtivos a partir da utilização da Manufatura Aditiva. As comercializações nos moldes de compra pela internet podem reduzir custos e, aliada ao maior poder de customização dos produtos, tende a aumentar sua agregação de valor, e impactam positivamente no resultado das organizações. Por conta dos impactos negativos, o impacto relacionado com a aparência final dos produtos fabricados a partir da Manufatura Aditiva é destacado também no que se refere à Marketing e Vendas. Na sequência, são apresentados os resultados da análise da categoria Matéria-Prima.

#### 4.1.5 Matéria-Prima

Do ponto de vista da categoria Matéria-Prima, destaca-se que a evolução constante da tecnologia oferece, com o passar do tempo, um conjunto maior de materiais que podem ser utilizados nos processos de Manufatura Aditiva. Alguns dos impactos apresentados nesta categoria de análise se repetem, pois o tema matéria-prima foi abordado em parte na categoria fornecedores. A evolução do processo, que trabalhava apenas com materiais termoplásticos apresenta evolução; permitindo, também, materiais como metais e cerâmica, por exemplo(ATTARAN, 2017; HARRIS, 2012; PICKETT, 2015; WRAY, 2014).

Com o uso da Manufatura Aditiva nos processos de fabricação, menos material é consumido, ou seja, ela utiliza apenas o que é estruturalmente necessário(FORD, 2014; LECKLIDER, 2017; LONG et al., 2017). Isto significa que as partes podem ser muito mais leves do que as peças feitas utilizando métodos convencionais; podendo, assim, melhorar a eficiência de combustível, no caso de peças de veículos automotores(SHULMAN; SPRADLING; HOAG, 2012; STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY, 2013).Na verdade, as tecnologias de Manufatura Aditiva são vistas como processos "mais limpos", consumindo a quantidade exata de material, ao contrário da usinagem convencional que produz resíduos (BOURHIS et al., 2013; MISHRA, 2013; PELESHENKO et al., 2017).

O impacto negativo descrito em outras categorias como desenvolvimento de produtos e fornecedores também aparece nesta categoria, e refere-se à limitação da variedade de materiais (BERMAN, 2012; HORN; HARRYSSON, 2012). O Quadro 17 apresenta a síntese dos impactos da categoria Matéria-Prima sob a ótica da literatura.

Quadro 17: Síntese dos Impactos da Manufatura Aditiva na Categoria Matéria-Prima

IMPACTOS POSITIVOS

IMPACTOS NEGATIVOS

IMPACTOS POSITIVOS	IMPACTOS NEGATIVOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maior variedade de materiais compatíveis com a Manufatura Aditiva(ATTARAN, 2017; HARRIS, 2012; PICKETT, 2015; WRAY, 2014).</li> <li>• Redução do consumo de matéria-prima e redução de custos(ATTARAN, 2017; HARRIS, 2012; PICKETT, 2015; WRAY, 2014).</li> <li>• Produtos mais leves(FORD, 2014; LECKLIDER, 2017; LONG et al., 2017).</li> <li>• Menor desperdício de material(BOURHIS et al., 2013; MISHRA, 2013; PELESHENKO et al., 2017).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixa variedade de materiais (BERMAN, 2012; HORN; HARRYSSON, 2012).</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor

Em síntese, os impactos positivos estão relacionados ao menor desperdício de material, que comparado aos processos de manufatura convencionais podem ser reduzidos em até 70%, como citado em categorias de análise anteriores. O menor consumo de matéria-prima também impacta a redução de custos e tende a afetar positivamente o resultado econômico da empresa. Cabe destacar que a complexidade do gerenciamento dos materiais será impactada positivamente. Não serão necessários vários tipos de barras e chapas de aço, por exemplo. Apenas o pó metálico. Este aspecto não foi abordado na análise da literatura e é algo que altera o sistema produtivo a partir da Manufatura Aditiva, corroborando a defesa desta tese. A seguir, é apresentada a análise da categoria Planejamento e Controle de Produção.

#### 4.1.6 Planejamento e Controle de Produção

Com a redução do número de operações proporcionado pela utilização da Manufatura Aditiva pelos sistemas produtivos, verifica-se a tendência da redução da complexidade do planejamento e programação da produção. A redução dessa complexidade se expressa, pois não há necessidade de sequenciamento de processos excessivos, equipamentos especiais para processamento de materiais em cada etapa de fabricação, transporte de máquina para máquina, etc.(LECKLIDER, 2017).

A redução de estoques, transporte e, conseqüentemente, dos custos impacta positivamente a redução da complexidade de planejar a produção e também os materiais. Esses e outros benefícios podem estar escondidos no inventário e na cadeia de suprimentos (MANOGHARAN; WYSK; HARRYSSON, 2016; PICKETT, 2015).

A alteração do estoque de barras e chapas de aço para o pó de metal, por exemplo, reduz a complexidade do gerenciamento e programação de materiais, pois a diminuição no número de itens é significativa. Esses benefícios são aliados da economia de espaço e da redução de custos pela virtualização dos estoques (KIETZMANN; PITT; BERTHON, 2015; STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY, 2013).

A variedade de materiais está sendo incrementada, de maneira significativa ao longo dos anos, oferecendo mais tipos de materiais para a Manufatura Aditiva (ATTARAN, 2017; HARRIS, 2012; PICKETT, 2015; WRAY, 2014). Com a melhoria na velocidade de processo e desempenho dos equipamentos, os impactos positivos são potencializados como por exemplo o tempo de resposta para o mercado e a previsibilidade da capacidade produtiva (FORD, 2014).

O impacto negativo é relacionado com o planejamento de produção para produção em larga escala. Cabe observar que esse tipo de produção ainda não é viável para a Manufatura Aditiva (MISHRA, 2013; DING; BAO, 2016). O Quadro 18 apresenta a síntese dos impactos da categoria Planejamento e Controle de Produção (PCP).

Quadro 18: Síntese dos Impactos da Manufatura Aditiva na Categoria PCP

IMPACTOS POSITIVOS	IMPACTOS NEGATIVOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução da complexidade da programação (LECKLIDER, 2017; MANOGHARAN; WYSK; HARRYSSON, 2016; PICKETT, 2015).</li> <li>• Redução da necessidade de equipamentos e transporte (MANOGHARAN; WYSK; HARRYSSON, 2016; PICKETT, 2015).</li> <li>• Redução de estoques (KIETZMANN; PITT; BERTHON, 2015; STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY, 2013).</li> <li>• Redução do tempo de resposta para o mercado (FORD, 2014).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificuldade de programação para produção em larga escala (MISHRA, 2013; DING; BAO, 2016).</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor

O maior impacto positivo relacionado ao PCP é refletido na redução da complexidade de programação, visto que, com um número reduzido de equipamentos e materiais, a capacidade torna-se mais previsível, tanto no que se refere à produção quanto a materiais. Um aspecto negativo é identificado quanto à produção em grandes lotes. A velocidade de impressão exige, para produção em lotes maiores, um número elevado de equipamentos, o que limita o uso da Manufatura Aditiva nestes modelos de produção. A seguir, serão descritos os resultados da categoria Recursos Financeiros.

#### **4.1.7 Recursos Financeiros**

A categoria de análise Recursos Financeiros foi a menos citada entre os artigos selecionados na revisão da literatura. Mesmo assim, apresentou considerações importantes quanto aos impactos da utilização da Manufatura Aditiva no resultado das organizações.

O valor dos equipamentos, por exemplo, mesmo que ainda caros, tendem a ter seu valor reduzido, pois, quanto mais a Manufatura Aditiva for pesquisada e generalizada, espera-se que o preço dos equipamentos e materiais diminua, como vem ocorrendo (LONG et al., 2017; SCOTT, 2013). As principais razões para a expansão da Manufatura Aditiva incluem novas e melhoradas tecnologias de impressoras 3D (DING; BAO, 2016; SCOTT, 2013).

O aumento da conscientização sobre os benefícios da Manufatura Aditiva em relação às técnicas tradicionais (moldagem por injeção e usinagem CNC) pode contribuir para esta disseminação da Manufatura Aditiva e seu maior uso pelas empresas (SCOTT, 2013).

O custo dos equipamentos é considerado um impacto negativo. As máquinas podem custar a partir de alguns milhares de dólares até a casa de milhões de dólares (FRAZIER, 2014; SCOTT, 2013). Além do custo dos equipamentos, outro aspecto importante considerado um impacto negativo é o custo dos materiais (HORN; HARRYSSON, 2012; SCOTT, 2013). O Quadro 19 apresenta a síntese dos impactos da Manufatura Aditiva na categoria Recursos Financeiros.

Quadro 19: Síntese dos Impactos da Manufatura Aditiva na Categoria Recursos Financeiros

IMPACTOS POSITIVOS	IMPACTOS NEGATIVOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desenvolvimento de pesquisas relacionadas à Manufatura Aditiva (LONG et al., 2017; SCOTT, 2013).</li> <li>• Melhoria constante das tecnologias (DING; BAO, 2016; SCOTT, 2013).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevado custo dos equipamentos e materiais (FRAZIER, 2014; HORN; HARRYSSON, 2012; SCOTT, 2013).</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor

Em síntese, a disseminação dos impactos das tecnologias de Manufatura Aditiva tende a aumentar a demanda por equipamentos, o que pode provocar a redução dos preços tanto de equipamentos quanto de materiais. Essa redução vem ocorrendo de maneira tímida, mas, para que a Manufatura Aditiva se propague em escala nas organizações, o custo é o limitante, ou seja, a barreira a ser rompida. Além disso, a disseminação de conhecimento tanto das tecnologias de Manufatura Aditiva quanto dos seus impactos para os sistemas de produção precisa ser potencializada. Para que os sistemas produtivos atuais mudem e se beneficiem das tecnologias de Manufatura Aditiva, seus impactos devem ser entendidos para que investimentos errados sejam minimizados. A seguir, são apresentados os resultados da análise da categoria Sistema de Manufatura.

#### 4.1.8 Sistema de Manufatura

A categoria de análise Sistema de Manufatura foi a segunda categoria com mais incidências nos artigos selecionados para o corpus da pesquisa. Como impacto positivo, apresenta-se a progressão das empresas que buscam a utilização da Manufatura Aditiva. As empresas estão iniciando a implementação das tecnologias de Manufatura Aditiva em seus métodos de produção (PICKET, 2015).

De maneira geral, entende-se que a Manufatura Aditiva não substituirá completamente a manufatura convencional, mas será uma ferramenta adicional para os fabricantes, a ser usada quando for apropriado a partir de uma perspectiva de custo-benefício (FORD, 2014; LONG et al., 2017; PEARSONS, 2015; PICKETT, 2015).

Nesse sentido, considera-se a produção de componentes uma das principais aplicações da Manufatura Aditiva (ATTARAN, 2017; FRAZIER, 2014). Essas aplicações estão ocorrendo em indústrias que requerem volumes menores de produção (ATTARAN, 2017; COHEN; GEORGE; SHAW, 2014) e que precisam ser impressas em certas especificações com reduzida tolerância ao erro (ATTARAN, 2017; MELLOR; HAO; ZHANG, 2014). Mais de 20% do mercado de impressão em 3D é composto por produção de componentes para as indústrias aeroespacial e automotiva (ATTARAN, 2017; LONG et al., 2017). Os sistemas que apresentarem as características de baixo volume e grande variedade serão impactadas em redução dos prazos de entrega, aumento da eficiência da cadeia de abastecimento e propiciando resposta mais rápida para o mercado (FARISH, 2015; FORD, 2014). Movendo-se em direção ao volume de produção, um comunicado de imprensa da Daimler de julho de 2016 descreve o uso da Manufatura Aditiva pela Mercedes-Benz Trucks, para gerar peças sobressalentes (LECKLIDER, 2017).

Os fluxos de manufatura serão impactados positivamente. Em um horizonte próximo, as células de Manufatura Aditiva também serão um elemento-chave em sistemas de produção mais ambiciosos (GARDINER, 2015). Essas células de Manufatura Aditiva permitirão a fabricação de pequenos lotes de produção com custos unitários razoáveis e um alto grau de personalização do produto mesmo em produção em série (LECKLIDER, 2017), favorecendo a flexibilidade de produção (D'AVENI, 2015)

Impactos negativos que afetam os sistemas de manufatura estão centrados no volume de produção. Sistemas de manufatura caracterizados pela produção de grandes lotes são incompatíveis com o uso da Manufatura Aditiva, ao menos com o estado atual da tecnologia (SHULMAN; SPRADLING; HOAG, 2012; WRAY, 2014; ZHAI; LADOS; LAGOY, 2014). A produção em massa, portanto, é um desafio para os desenvolvedores de Manufatura Aditiva. Vale destacar que a Manufatura Aditiva não oferece a economia de escala (D'AVENI, 2015).

Ainda relacionado a impactos negativos, as peças produzidas utilizando Manufatura Aditiva necessitarão de operações de processamento secundárias, assim como quaisquer outras partes, especialmente se essas peças forem destinadas às linhas de montagem (HORN; HARRYSSON, 2012). O Quadro 20 apresenta a síntese dos impactos da Manufatura Aditiva na categoria Sistema de Manufatura.

Quadro 20: Síntese dos Impactos da Manufatura Aditiva na Categoria Recursos Financeiros

IMPACTOS POSITIVOS	IMPACTOS NEGATIVOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Favorece a flexibilidade de produção(D'AVENI, 2015).</li> <li>• Vai complementar a manufatura tradicional(FORD, 2014; LONG et al., 2017; PEARSONS, 2015; PICKETT, 2015).</li> <li>• Indicada para sistemas de baixo volume e alta variedade (ATTARAN, 2017; COHEN; GEORGE; SHAW, 2014; FRAZIER, 2014).</li> <li>• Redução dos prazos de entrega e maior eficiência da cadeia de abastecimento(FARISH, 2015; FORD, 2014).</li> <li>• Redução do tempo de mercado (FORD, 2014).</li> <li>• Viabiliza layout celular no ambiente de produção (GARDINER, 2015).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inviável para produção em massa(SHULMAN; SPRADLING; HOAG, 2012; WRAY, 2014; ZHAI; LADOS; LAGOY, 2014).</li> <li>• Não oferece economia de escala (D'AVENI, 2015).</li> <li>• Necessita operações secundárias de acabamento (HORN; HARRYSSON, 2012).</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor

Em síntese, a Manufatura Aditiva apresenta um conjunto significativo de vantagens na avaliação do sistema de manufatura quando da produção de produtos customizados e em baixa escala. Para manufaturas com estas características, a Manufatura Aditiva apresenta-se viável. Mesmo que os equipamentos apresentem custo elevado, boa parte do processo produtivo é realizado em um único equipamento e pode justificar o investimento. Desse modo, mesmo que operações complementares sejam necessárias para garantir a qualidade aparente do produto, se comparado com a complexidade do processo de manufatura tradicional, os impactos positivos superam os impactos negativos.

A restrição a ser quebrada é encontrar a viabilidade da sua utilização para a produção em massa. O elevado tempo de ciclo exigiria investimento em um maior número de equipamentos, inviabilizando a Manufatura Aditiva para sistemas de manufatura com estas características. Na sequência, são apresentados os resultados da análise da categoria Tempos e Métodos.

#### 4.1.9 Tempos e Métodos



Na análise da literatura, esta categoria foi a segunda com menor incidências de impactos dentre as categorias analisadas. Como impactos positivos, destaca-se a possibilidade de oferecer processos mais rápidos e ao mesmo tempo que sejam acessíveis às organizações (BECHMANN, 2014; DING; BAO, 2016; GOODRICH, 2014).

Melhorias nas tecnologias de Manufatura Aditiva incluem aumento da velocidade e desempenho de máquinas (FORD, 2014). No que tange ao tempo de atravessamento, o tempo de desenvolvimento de produto é o que apresenta maior resultado prático. Para os processos de fabricação, a redução do tempo de atravessamento não é visualizada em todos os tipos de produção. Entretanto, produção de baixos volumes e alta variedade são beneficiadas também com o tempo de atravessamento de produção reduzido. Ainda, a disponibilidade dos equipamentos é elevada, uma vez que tempos relacionados à troca de ferramental deixam de existir com a Manufatura Aditiva (LECKLIDER, 2017; LONG et al., 2017).

Do ponto de vista dos impactos negativos, a Manufatura Aditiva ainda não é apropriada para produção em massa devido ao tempo de ciclo elevado (D'AVENI, 2015; FRAZIER, 2014; PETRICK; SIMPSON, 2013). Essa limitação inerente ao tempo de ciclo longo (FORD, 2014) é considerada uma das barreiras principais para a disseminação da Manufatura Aditiva nos processos de fabricação. O Quadro 21 sintetiza os impactos da categoria Tempos e Métodos na literatura.

Quadro 21: Síntese dos Impactos da Manufatura Aditiva na Categoria Tempos e Métodos

IMPACTOS POSITIVOS	IMPACTOS NEGATIVOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do tempo de desenvolvimento de produtos (BECHMANN, 2014; DING; BAO, 2016; GOODRICH, 2014).</li> <li>• Redução do <i>lead time</i> de produção (BECHMANN, 2014; DING; BAO, 2016; GOODRICH, 2014).</li> <li>• Redução/eliminação do tempo de setup de ferramental (LECKLIDER, 2017; LONG et al., 2017).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tempo de ciclo elevado (D'AVENI, 2015; FRAZIER, 2014; PETRICK; SIMPSON, 2013).</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor

Em suma, apesar dos impactos positivos como a redução dos tempos de desenvolvimento, *lead time* produtivos e a eliminação dos tempos de troca de ferramentas, o tempo de ciclo ainda é uma restrição para a utilização da Manufatura

Aditiva não apenas no desenvolvimento de produto, mas também na fabricação de peças nos sistemas de manufatura.

Para sintetizar os impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos e defender a proposta de que os sistemas produtivos serão impactados de maneira significativa, o Quadro 22 é apresentado, ilustrando os impactos mais representativos e sua relação com as categorias de análise.



Impactos da manufatura aditiva nos Sistemas Produtivos		Categorias de análise Sistemas Produtivos								
		Desenvolvimento de Produto	Engenharia de Processos	Fornecedores	Marketing e Vendas	Matéria-Prima	PCP	Recursos Financeiros	Sistema de Manufatura	Tempos e Métodos
	Complementa a manufatura tradicional								X	
	Indicado para sistemas com baixo volume e alta variedade								X	
	Simplifica o layout celular								X	
	Redução do <i>lead time</i> de produção								X	X
	Melhora a disponibilidade do equipamento									X
Impactos Negativos	Reduzida variedade de materiais	X		X		X				
	Inviável para produção de baixa variedade e alto volume		X							
	Custo elevado para grandes lotes		X				X		X	
	Reduzido número de fornecedores de materiais e tecnologia			X						
	Qualidade aparente (estética) insatisfatória	X			X					
	Custo elevado dos equipamentos							X		
	Necessidade de operações secundárias para garantir qualidade aparente								X	
	Não possibilita economia de escala								X	
	Tempo de ciclo elevado									X

Fonte: Elaborado pelo autor

A análise comparativa entre os impactos e as categorias de análise apresentada no Quadro 22 mostram os impactos mais significativos e quais categorias são afetadas. Do ponto de vista dos impactos positivos, verifica-se que um mesmo impacto pode afetar várias categorias do sistema produtivo, sustentando a afirmação de que a análise da Manufatura Aditiva necessita ser realizada de maneira global e não apenas considerando a simples troca de equipamento. Resta evidente que a categoria de análise Desenvolvimento de Produtos é uma das mais beneficiadas pelo uso da Manufatura Aditiva. Independente de variedade e volume de produção, para desenvolver produtos, a tecnologia é viável e tem resultados mais representativos quando comparada à manufatura tradicional.

O tempo de desenvolvimento diminuído e a redução de custos são benefícios da Manufatura Aditiva para esta categoria. A Engenharia de Processos e o Planejamento e Controle de Produção serão beneficiados pela redução da complexidade. Os roteiros de produção formulados a partir da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos serão menos complexos e conseqüentemente reduzirão a complexidade da Programação da Produção. A programação de materiais, por sua vez, também será menos complexa, visto que o gerenciamento será realizado apenas pelo tipo de material e não mais pelo seu “formato”. Tubos de aço de diferentes polegadas, por exemplo, serão substituídos pelo pó de aço que alimentará o equipamento de Manufatura Aditiva metálica, o que também impactará a redução de estoques e, conseqüentemente, os custos de produção.

A relação com os fornecedores pode sofrer alterações. Essa mudança pode não ser viável no curto prazo, mas no longo prazo pode ser significativa para os sistemas produtivos. Os fornecedores de peças poderão vender apenas o projeto e não mais o produto físico. Este projeto seria impresso no local de consumo, reduzindo custo, transporte e o risco de abastecimento.

Os sistemas de manufatura podem ser beneficiados do ponto de vista da complexidade. Se comparado à manufatura tradicional, serão necessárias menos operações para a fabricação completa do produto. As linhas de montagem não serão eliminadas, mas, para a produção de componentes de baixo volume e alta escala, a Manufatura Aditiva impacta positivamente nos resultados ao ser comparada com a manufatura tradicional.

Do ponto de vista dos impactos negativos, os aspectos relacionados à variedade de materiais estão sendo superados. A necessidade de uma operação

complementar para garantir a qualidade final (aparente) do produto ou componente não inviabiliza o uso da Manufatura Aditiva e seus benefícios. Barreiras a serem superadas decorrem do elevado tempo de ciclo dos equipamentos, que no estágio atual da tecnologia inviabilizam a fabricação de altos volumes de produção. Em linhas gerais, ao observar os impactos classificados como negativos, verifica-se que podem ser considerados limitações da tecnologia, ou seja, não atendem determinados aspectos, pois a evolução tecnológica dos equipamentos de Manufatura Aditiva ainda é limitada. No momento em que estas limitações forem solucionadas, os benefícios poderão ser viabilizados em sua totalidade por um conjunto maior de organizações.

Por fim, entender estes impactos leva as organizações a um processo de tomada de decisão mais assertiva. A Manufatura Aditiva altera significativamente o sistema produtivo como um todo e, para que seus resultados sejam benéficos para as organizações, estas alterações precisam ser estudadas pelos gestores, a fim de entender se as empresas estão alinhadas aos benefícios e limitações da tecnologia. Para finalizar a análise teórica desta pesquisa, a seção a seguir vai apresentar as repercussões da Manufatura Aditiva nos critérios competitivos.

## 4.2 REPERCUSSÕES DA MANUFATURA ADITIVA NOS CRITÉRIOS COMPETITIVOS

Os impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos apresentados na seção anterior repercutem na competitividade das organizações, afetando os critérios competitivos. O Quadro 23 apresenta os resultados da análise de frequência absoluta e ponderada dos artigos pesquisados. A análise por artigo é apresentada no Apêndice G.

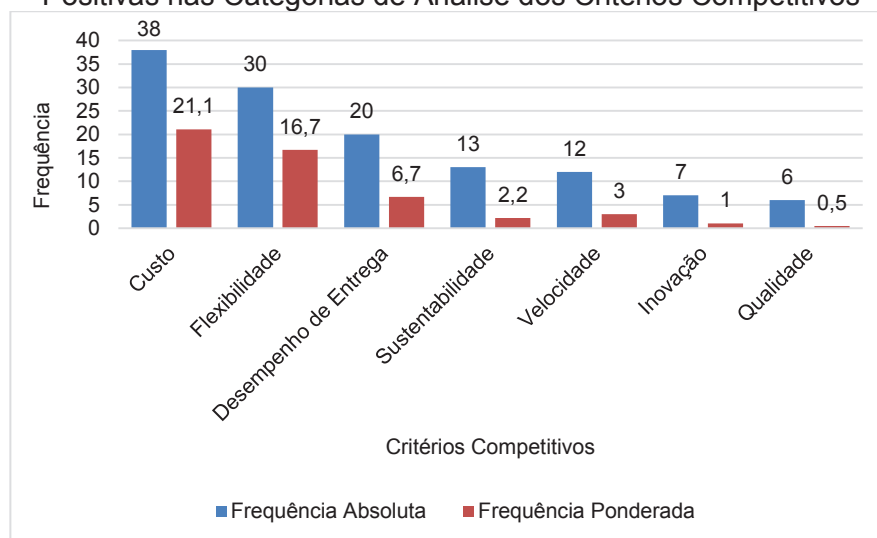
Quadro 23: Análise dos Totais de Frequência Absoluta e Ponderada das Repercussões da Manufatura Aditiva nos Critérios Competitivos

Análise de Frequência Absoluta	Custo		Desempenho de Entrega		Flexibilidade		Inovação		Qualidade		Sustentabilidade		Velocidade	
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
Totais	38	13	20	0	30	2	7	0	6	22	13	0	12	5
	51		20		32		7		28		13		17	
Análise de Frequência Ponderada	Custo		Desempenho de Entrega		Flexibilidade		Inovação		Qualidade		Sustentabilidade		Velocidade	
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
Totais	21,1	2,9	6,7	0,0	16,7	0,1	1,0	0,0	0,7	6,1	2,2	0,0	3,0	0,7
	24,0		6,7		16,7		1,0		6,8		2,2		3,7	

Fonte: Elaborado pelo autor

Após categorização e análise, os valores da frequência absoluta e ponderada, por categoria de análise, foram colocados em ordem decrescente com o intuito de identificar quais das categorias foram mais citadas e, por consequência, mais repercutem a partir da utilização da Manufatura Aditiva pelos sistemas produtivos do ponto de vista da literatura. A análise foi iniciada pelos impactos positivos. A Figura 21 ilustra o comparativo do total de registros referentes a repercussões positivas pela frequência absoluta e ponderada.

Figura 21: Comparativo do Total das Frequências Absoluta e Ponderada das Repercussões Positivas nas Categorias de Análise dos Critérios Competitivos



Fonte: Elaborado pelo autor

Comparando a análise de frequência das repercussões positivas, evidencia-se que a ponderação alterou a ordem das categorias Sustentabilidade e Velocidade. Esta alteração ocorreu porque, em um dos artigos, foram categorizadas cinco unidades de registro para o critério Sustentabilidade, o que aumenta a quantidade absoluta, mas concentra essa quantidade em apenas um estudo. A categorização

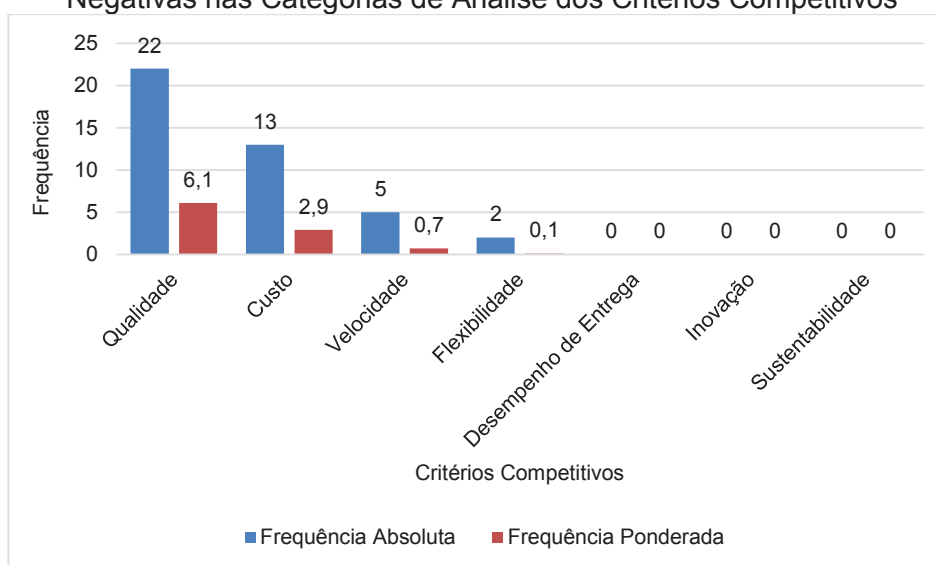
no critério Velocidade teve distribuição mais uniforme e, na ponderação, apresentou-se com maior representatividade.

Vale dizer, também, que os critérios mais repercutidos pela utilização da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos de acordo com a análise da literatura são Custo e Flexibilidade. Cabe destacar que o somatório dos registros nos dois critérios mais representativos totalizou 54% da frequência absoluta total entre os critérios e, quando avaliada pelo ponto de vista da ponderação das frequências, a representatividade dos critérios competitivos Custo e Flexibilidade se aproxima de 75% da frequência ponderada total.

Da mesma maneira, foram ordenadas e analisadas as repercussões negativas. A Figura 22 ilustra o comparativo do total das frequências absoluta e ponderada, por critério competitivo, em ordem decrescente das repercussões negativas provenientes da utilização da Manufatura Aditiva. No comparativo, verifica-se que não houve alteração na ordenação entre os totais das frequências absoluta e ponderada.

De acordo com a literatura, os principais critérios que sofrem repercussões negativas devido à utilização da Manufatura Aditiva pelos sistemas produtivos são Qualidade e Velocidade. Entretanto, o critério competitivo Qualidade é aquele que apresenta maior destaque na análise da literatura, com um total de aproximadamente 53% do total de registros categorizados.

Figura 22: Comparativo do Total das Frequências Absoluta e Ponderada das Repercussões Negativas nas Categorias de Análise dos Critérios Competitivos



Fonte: Elaborado pelo autor



Destaca-se, ainda, que, a análise os critérios Desempenho de Entrega, Inovação e Sustentabilidade não apresentaram registros que pudessem gerar repercussões negativas nesses critérios. Sendo assim, a seguir, são apresentadas as repercussões da utilização da Manufatura Aditiva pelos sistemas produtivos em cada um dos critérios analisados.

#### **4.2.1 Custo**

Uma das consequências da Manufatura Aditiva neste critério competitivo está relacionada ao custo dos equipamentos. Observa-se que o custo das impressoras 3D, por exemplo, está reduzindo ao longo dos últimos anos (LECKLIDER, 2017; LONG et al., 2017; PICKETT, 2015). No entanto, mesmo com o custo dos equipamentos mais acessíveis, questiona-se se a Manufatura Aditiva não irá retardar ou até mesmo reduzir o rendimento, aumentar significativamente os custos e reduzir postos de trabalho nas fábricas (D'AVENI, 2015; FRAZIER, 2014; HUANG et al., 2013; PICKETT, 2015). Destaca-se, outrossim, que os custos elevados para a produção de grandes séries em relação à moldagem por injeção e outras tecnologias limitam o uso da Manufatura Aditiva (BERMAN, 2012; MISHRA, 2013). Ações ainda serão necessárias para que a Manufatura Aditiva supere as barreiras de custo para a propriedade intelectual, dos materiais, qualificação e custos de certificação (HARRIS, 2012; ZHAI; LADOS; LAGOY, 2014).

Não obstante, há um movimento contrário no que tange a este critério competitivo. Um conjunto de autores (ATTARAN, 2017; DING; BAO, 2016; FARISH, 2015; GARDINER, 2015; NELSON et al., 2017) defende que a Manufatura Aditiva irá reduzir os custos do produto final. Os produtos personalizados e de baixo custo fazem com que a Manufatura Aditiva provoque uma mudança radical nos modelos tradicionais de manufatura (PRINCE, 2014).

A Manufatura Aditiva, por funcionar sem a necessidade de qualquer ferramenta, pode reduzir significativamente os custos unitários, pois permite fabricação direta, sem necessidade de ferramentas, a partir de modelos desenhados em CAD, de modo a que as peças possam ser produzidas perto, ou até mesmo no local em que serão utilizadas, minimizando transporte, espaço e estoque (SALLES;

GYI, 2013; SHULMAN; SPRADLING; HOAG, 2012). Os custos de estoque e transporte também são reduzidos (ATTARAN, 2017; KIEVIET; ALEXANDER, 2015).

Estas economias de custos estão associadas com menos trabalho de produção, desperdício de material e consumo de energia (BOURHIS et al., 2013; SHULMAN; SPRADLING; HOAG, 2012). A questão de economia de energia é destacada pelo Departamento de Energia dos EUA. Este departamento relata que uma economia de energia de 50 por cento ou mais pode ser alcançada com a utilização da Manufatura Aditiva (FORD, 2014).

Sendo assim, as peças podem ser feitas com menor complexidade e com custos reduzidos e com o incremento de proporcionar soluções personalizadas (TUOMI et al., 2014). A questão do desperdício de material, comprovadamente menor nas tecnologias de fabricação aditiva, repercute positivamente na redução de custos (STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY, 2013). Com a produção final mais próxima do ponto de consumo, a necessidade de transporte e estoques são reduzidas. No Quadro 24, apresenta-se a síntese dos resultados da análise do critério competitivo Custo.

Quadro 24: Síntese das Repercussões da Manufatura Aditiva no Critério Competitivo Custo

REPERCUSSÕES POSITIVAS	REPERCUSSÕES NEGATIVAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução de custos para produção de produtos customizados (ATTARAN, 2017; DING; BAO, 2016; FARISH, 2015; GARDINER, 2015; NELSON et al., 2017; TUOMI et al., 2014).</li> <li>• Eliminação do custo de ferramental (SALLES; GYI, 2013; SHULMAN; SPRADLING; HOAG, 2012).</li> <li>• Permite a fabricação direta partindo do desenho em CAD (ATTARAN, 2017; KIEVIET; ALEXANDER, 2015; SALLES; GYI, 2013; SHULMAN; SPRADLING; HOAG, 2012).</li> <li>• Menor desperdício de material em comparação com os processos de fabricação tradicional (BOURHIS et al., 2013; SHULMAN; SPRADLING; HOAG, 2012).</li> <li>• Redução do consumo de energia (FORD, 2014).</li> <li>• Redução dos custos de estoque e transporte (ATTARAN, 2017; KIEVIET; ALEXANDER, 2015).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevado custo dos equipamentos (LECKLIDER, 2017; LONG et al., 2017; PICKETT, 2015).</li> <li>• Redução do rendimento de produção (D'AVENI, 2015; FRAZIER, 2014; HUANG et al., 2013; PICKETT, 2015).</li> <li>• Aumenta o custo de produção em série (BERMAN, 2012; MISHRA, 2013).</li> <li>• Elevado custo de propriedade dos dados, materiais, qualificação e certificação (HARRIS, 2012; ZHAI; LADOS; LAGOY, 2014).</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor

Em síntese, os principais impactos que repercutem positivamente no critério competitivo custo estão relacionados com a redução de mão de obra, redução dos desperdícios de matéria-prima e redução de energia, além de praticamente eliminar a necessidade do ferramental. Estes pontos são defendidos pelos autores que afirmam que haverá uma redução de custos. O baixo rendimento e o custo elevado dos equipamentos e dos materiais são apontados como fatores que vão aumentar os custos de produção. Resta evidente que a literatura diverge em alguns pontos, mas assim como abordado na análise dos impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos, as pesquisas voltadas à evolução das tecnologias podem vir a reduzir estas divergências. Um aspecto importante para viabilizar modelos de negócios cada vez mais *Business-To-Customer* (B2C), como a venda de projetos e não mais de produtos físicos é a segurança dos dados e proteção à propriedade intelectual. Estes pontos foram mencionados e devem ser melhor discutidos pelas empresas e pelos formuladores de políticas públicas. Na sequência, é apresentada a análise do critério competitivo Desempenho de Entrega.

#### **4.2.2 Desempenho de Entrega**

No que tange ao desempenho de entrega, cadeias menores, menos dispendiosas e mais ágeis de fornecimento, especialmente para pequenas quantidades ou em componentes altamente especializados, também é um impacto da adoção da Manufatura Aditiva (FORD, 2014). Como apresenta potencial para a produção de peças sob demanda e sem a necessidade de fabricação de ferramental, a Manufatura Aditiva se posiciona como solução para a cadeia de abastecimento (FORD, 2014; GARDINER, 2015).

Por meio da Manufatura Aditiva, a produção de pequenos lotes de produção potencializa cadeias de fornecimento mais simples, estoques reduzidos e, por consequência, prazos de entrega menores (NELSON et al., 2017; PETRICK; SIMPSON, 2013). Ao ser utilizada pelos sistemas produtivos, a Manufatura Aditiva permite cadeias de fornecimento mais simples e prazos de entrega mais curtos (LONG et al., 2017).

Empresas como a General Eletric e a Volvo, por exemplo, comprovam o potencial da Manufatura Aditiva em relação à redução dos tempos de entrega. Os tempos de atravessamento de produtos fabricados nestas empresas por meio da Manufatura Aditiva foram reduzidos em mais de 90% (FARISH, 2015; FORD, 2014).

Estes benefícios são visualizados, pois a Manufatura Aditiva reduz a necessidade de manutenção de estoques elevados de produtos e peças sobressalentes, permitindo a produção dos produtos no ponto mais próximo do consumidor final (DING; BAO, 2016; LONG et al., 2017; PEARSONS, 2015). Analisando apenas do ponto de vista da manufatura, os tempos de produção (atravessamento) são mais rápidos, visto que o componente é fabricado a partir de um equipamento único (BECHMANN, 2014).

O impacto mais amplo da Manufatura Aditiva na cadeia de abastecimento global será visto na redução dos estoques de matéria-prima, em processo e de produto acabado (PETRICK; SIMPSON, 2013; SALLES; GYI, 2013; STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY, 2013). O Quadro25 sintetiza os resultados identificados para o critério competitivo Desempenho de Entrega.

Quadro 25: Síntese das Repercussões da Manufatura Aditiva no Critério Competitivo Desempenho de Entrega

REPERCUSSÕES POSITIVAS	REPERCUSSÕES NEGATIVAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cadeias menores, mais ágeis e menos dispendiosas(FORD, 2014; GARDINER, 2015).</li> <li>• Facilita a gestão da cadeia de abastecimento(LONG et al., 2017; NELSON et al., 2017; PETRICK; SIMPSON, 2013).</li> <li>• Redução dos prazos de entrega(BECHMANN, 2014).</li> <li>• Redução do inventário(DING; BAO, 2016; LONG et al., 2017; PEARSONS, 2015; PETRICK; SIMPSON, 2013; SALLES; GYI, 2013; STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY, 2013).</li> </ul>	-

Fonte: Elaborado pelo autor

Em síntese, a informação do desenho do produto sendo compartilhada em arquivos CAD e a possibilidade de imprimir o produto no, ou mais próximo do cliente final é o fator principal que pode até mesmo eliminar o transporte do produto final até o cliente. Esse aspecto, como abordado na categoria custo, depende de uma série

de restrições para alteração do modelo de negócio, mas é uma oportunidade para a evolução da Manufatura Aditiva. Outros fatores destacados e que afetam o desempenho do critério atendimento são a produção de peças no formato final e a consequente redução de estoques. Esta redução de estoques, principalmente intermediários, reduz as esperas e, por conseguinte, o tempo de atravessamento. Na seção a seguir, é apresentada a análise do critério competitivo Velocidade.

#### **4.2.3 Velocidade**

Uma vantagem significativa da utilização da Manufatura Aditiva sob o ponto de vista do critério velocidade é a capacidade da empresa de desenvolver, fabricar e entregar, de maneira rápida e com valor agregado produtos ou componentes de baixa demanda sem que os estoques sejam elevados (BERMAN, 2012; HARRIS, 2012; LONG et al., 2017). Apesar de ter sido concebida para o desenvolvimento de protótipos, a Manufatura Aditiva tem evoluído para o ambiente produtivo das organizações e apresenta-se como um novo paradigma para a fabricação de produtos finais (FORD, 2014; PELESHENKO et al., 2017).

Se por um lado a Manufatura Aditiva torna ágil o processo de desenvolvimento e produção para sistemas de alta variedade e baixo volume (KIETZMANN; PITT; BERTHON, 2015; MISHRA, 2013; STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY, 2013), por outro lado, devido ao elevado tempo de ciclo dos equipamentos (D'AVENI, 2015; FRAZIER, 2014; PETRICK; SIMPSON, 2013), é inviável para a produção em grandes lotes.

Entretanto, a tecnologia apresenta evolução rápida e melhorias relacionadas à velocidade do equipamento são verificadas. Estas melhorias contribuem para a redução gradual do tempo de ciclo e pode vir a romper essa barreira, tornando o processo mais veloz (FORD, 2014).

Ao avaliar desde o processo de desenvolvimento de produto até a entrega final, evidencia-se que a Manufatura Aditiva irá contribuir para uma rápida velocidade de resposta ao mercado, quando comparada com a manufatura tradicional (FORD, 2014). Os resultados da análise do critério competitivo Velocidade são apresentados no Quadro 26.

Quadro 26: Síntese das Repercussões da Manufatura Aditiva no Critério Competitivo Velocidade

REPERCUSSÕES POSITIVAS	REPERCUSSÕES NEGATIVAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidade de fornecer rapidamente peças de baixo volume sem o risco de manutenção de altos estoques(BERMAN, 2012; HARRIS, 2012; LONG et al., 2017;KIETZMANN; PITT; BERTHON, 2015; MISHRA, 2013; STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY, 2013).</li> <li>• Maior utilização para concepção de produtos finais(FORD, 2014; PELESHENKO et al., 2017).</li> <li>• Redução do tempo de resposta para o mercado(FORD, 2014).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevado tempo de ciclo dos equipamentos inviabiliza a velocidade para a produção em grandes lotes (D'AVENI, 2015; FRAZIER, 2014; PETRICK; SIMPSON, 2013).</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor

Em síntese, o critério velocidade está relacionado diretamente com um arranjo físico mais enxuto. Sob o ponto de vista da Manufatura Aditiva, isto é totalmente possível, uma vez que várias operações são condensadas em uma. Quando na manufatura tradicional uma peça deve passar por um conjunto de máquinas até se tornar um produto final, na Manufatura Aditiva parte dessas operações é realizada em um único equipamento. Isso reduz espaço físico e diminui a complexidade do arranjo físico, favorecendo o critério velocidade. O critério competitivo Flexibilidade é o próximo a ser analisado.

#### 4.2.4 Flexibilidade

Um dos critérios competitivos mais citados a partir da utilização da Manufatura Aditiva pelas organizações é a flexibilidade(DING; BAO, 2016; HARRIS, 2012; NELSON et al., 2017). A Manufatura Aditiva está alinhada à customização em massa, ou seja, permite às empresas desenvolver e fabricar de maneira rentável produtos sob encomenda em pequenas quantidades (BERMAN, 2012; D'AVENI, 2015; MELLOR; HAO; ZHANG, 2014).

O uso da Manufatura Aditivapode reduzir ou até mesmo eliminar o *setup* dos processos de manufatura (PELESHENKO et al., 2017). Além disso, o fato de a Manufatura Aditiva produzir elementos únicos e com liberdade geométrica, sem custo adicional, permite que a indústria forneça volumes de produção baixos ou

produtos personalizados que sejam economicamente viáveis para o cliente final (SALLES; GYI, 2013). Todos esses fatores melhoram a flexibilidade do processo produtivo e reduzem as interrupções nas operações a cada troca de produto (ATTARAN, 2017; LONG et al., 2017).

De fato, a ascensão da Manufatura Aditiva pode substituir a dinâmica competitiva das economias tradicionais de produção em escala com um modelo de economia de produção unitária, pelo menos para algumas indústrias e produtos (FRAZIER, 2014; PETRICK; SIMPSON, 2013). Um dos principais benefícios do uso de Manufatura Aditiva é a capacidade de fabricar facilmente formas complexas (SHULMAN; SPRADLING; HOAG, 2012).

No entanto, uma das repercussões negativas refere-se ao fato de a Manufatura Aditiva não oferecer a economia de escala, ou seja, as vantagens do ponto de vista da flexibilidade são reduzidas para a produção em grandes lotes (D'AVENI, 2015). Além de ser uma tecnologia adequada para a fabricação de modelos complexos, formas orgânicas e que não pode ser facilmente descrita em termos de parâmetros geométricos (GOODRICH, 2014; TUOMI et al., 2014), a Manufatura Aditiva permite a utilização de materiais dos mais diversos tipos, desde plástico até materiais como cerâmica, madeira e metais (PICKETT, 2015; WRAY, 2014).

O Quadro 27 apresenta a síntese dos resultados do critério competitivo Flexibilidade.

Quadro 27: Síntese das Repercussões da Manufatura Aditiva no Critério Competitivo Flexibilidade

REPERCUSSÕES POSITIVAS	REPERCUSSÕES NEGATIVAS
------------------------	------------------------

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Propicia economicamente a fabricação de produtos feitos sob encomenda e customizados em pequenas quantidades(BERMAN, 2012; D'AVENI, 2015; MELLOR; HAO; ZHANG, 2014).</li> <li>• Pode reduzir/eliminar os setups(PELESHENKO et al., 2017;ATTARAN, 2017; LONG et al., 2017).</li> <li>• Substitui a dinâmica competitiva da produção em escala para a economia de produção unitária(SALLES; GYI, 2013).</li> <li>• Facilita a fabricação de produtos de formas complexas(GOODRICH, 2014; TUOMI et al., 2014;FRAZIER, 2014; PETRICK; SIMPSON, 2013).</li> <li>• Permite a utilização de diversos tipos de materiais(PICKETT, 2015; WRAY, 2014).</li> </ul>	-
--	---

Fonte: Elaborado pelo autor

Em síntese, a liberdade de produção de formatos e a variedade de materiais propiciam flexibilidade às organizações que se utilizarem das tecnologias de Manufatura Aditiva. A produção de baixos volumes, sem quantidade mínima, é uma vantagem em termos de flexibilidade, uma vez que as tecnologias de Manufatura Aditiva, em sua maioria, não necessitam *desetup*. Ainda, os clientes podem ser atendidos na quantidade desejada, variando o mix, sem causar prejuízos ao sistema de produção de forma geral e ao sistema de manufatura em particular. A repercussão negativa apresentada relacionada a produção de grandes lotes não foi considerada. Isto se deve ao fato do benefício não ser aplicado para este tipo de produção; não contabilizando, assim, um aspecto negativo, mas uma limitação da tecnologia.As repercussões sobre o critério competitivo Qualidade são analisadas a seguir.

#### 4.2.5 Qualidade

O critério competitivo Qualidade apresenta-se como a principal barreira para a utilização da Manufatura Aditiva nas organizações. As tecnologias de Manufatura Aditiva simplesmente não são precisas ou robustas o suficiente para serem ampliadas e utilizadas para a fabricação em massa de produtos comerciais (MISHRA, 2013; STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY, 2013).



A utilização da Manufatura Aditiva para a fabricação de produtos finais é dificultada pela baixa confiabilidade do processo e a baixa precisão em relação a outras tecnologias de manufatura tradicional (BERMAN, 2012; ZHAI; LADOS; LAGOY, 2014). Destaca-se que a acuracidade do dimensional, o acabamento, a produtividade e a repetibilidade são problemas ainda não resolvidos para uma plena aceitação da Manufatura Aditiva(MAHAMOOD et al., 2014).

A falta de qualidade dos produtos fabricados a partir da Manufatura Aditiva ainda é um limitante para o uso da tecnologia (LONG et al., 2017). Processos para a garantia da qualidade e confiabilidade dos produtos finais são considerados desafios para o futuro da Manufatura Aditiva nos sistemas de produção(FORD, 2014). A precisão e a estabilidade das peças produzidas por meio da Manufatura Aditiva precisam ser melhoradas (GARDINER, 2015). Sendo assim, questões de qualidade são consideradas uma preocupação. As peças podem não ter qualidade com exposição a tensões elevadas (PETRICK; SIMPSON, 2013).

No entanto, estudos mais recentes trazem discussões divergentes relacionadas a este critério. Estes estudos indicam que as tecnologias de fabricação aditiva garantem propriedades físicas e mecânicas na fabricação de peças ou componentes finais, porém não é satisfatória na qualidade aparente, ou seja, o aspecto visual(NELSON et al., 2017; ATTARAN, 2017). Os resultados da análise deste critério competitivo são sintetizados no Quadro 28.

Quadro 28: Síntese das Repercussões da Manufatura Aditiva no Critério Competitivo Qualidade

REPERCUSSÕES POSITIVAS	REPERCUSSÕES NEGATIVAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>A Manufatura Aditiva garante as propriedades físicas e mecânicas das peças e componentes fabricados a partir da tecnologia(NELSON et al., 2017; ATTARAN, 2017).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apresenta-se como grande barreira para a utilização da Manufatura Aditiva(MISHRA, 2013; STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY, 2013).</li> <li>Falta de precisão e robustez para a utilização na fabricação em massa(MISHRA, 2013; STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY, 2013).</li> <li>Baixa confiabilidade e rendimento do processo(FORD, 2014; GARDINER, 2015; PETRICK; SIMPSON, 2013).</li> <li>Problemas de acabamento e acuracidade(NELSON et al., 2017; ATTARAN, 2017).</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor

Em síntese, a qualidade e a confiabilidade das peças se apresentam como barreiras para a aceitação da Manufatura Aditiva. A necessidade de operações complementares para dar acabamento às peças ainda é um problema a ser solucionado, deixando a Manufatura Aditiva menos atrativa neste momento. Contudo, verifica-se que, em estudos mais recentes, os problemas de propriedades mecânicas de resistência das peças fabricadas a partir da Manufatura Aditiva não são mais uma dificuldade. A seguir, são analisados os resultados do critério competitivo Sustentabilidade.

#### **4.2.6 Sustentabilidade**

A Manufatura Aditiva pode se tornar uma ferramenta de muitas faces para atenuar o impacto ambiental por meio da substituição da fundição, da moldagem e de outros processos de fabricação que consomem quantidades significativas de energia e produzem resíduos industriais perigosos (FORD, 2014). A redução do desperdício de material em comparação com os métodos tradicionais de manufatura subtrativa é fator importante no que tange à sustentabilidade (FORD, 2014).

O assunto torna-se relevante uma vez que as considerações ambientais estão tomando um lugar importante no mundo da manufatura. Na verdade, a manufatura verde é definida como o primeiro passo para o desenvolvimento da sustentabilidade (BOURHIS et al., 2013). Nesse sentido, as tecnologias de Manufatura Aditiva são vistas como processos "mais limpos", consumindo a quantidade exata de material, ao contrário da usinagem convencional que produz resíduos (ATTARAN, 2017; BOURHIS et al., 2013).

A Manufatura Aditiva é projetada para ter um impacto positivo sobre o meio ambiente, reduzindo o consumo de energia e emissões de carbono (FRAZIER, 2014; SCOTT, 2013). Conforme mencionado na análise dos impactos nos sistemas produtivos, de acordo com o Departamento de Defesa dos Estados Unidos, o

consumo de energia pode reduzir pela metade ao ser comparado com os processos tradicionais de manufatura.

Além disso, as vantagens deste processo, tais como design otimizado e partes multi materiais, têm de ser quantificados, a fim de fazer uma avaliação global da "pegada de carbono" deste processo (BOURHIS et al., 2013). O Quadro 29 apresenta a síntese dos resultados do critério competitivo Sustentabilidade.

Quadro 29: Síntese das Repercussões da Manufatura Aditiva no Critério Competitivo Sustentabilidade na Literatura

REPERCUSSÕES POSITIVAS	REPERCUSSÕES NEGATIVAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ferramenta para atenuar o impacto ambiental por meio da substituição a processos de produção tradicionais(BOURHIS et al., 2013; FORD, 2014).</li> <li>• Redução do desperdício de material(ATTARAN, 2017; BOURHIS et al., 2013).</li> <li>• Primeiro passo para o desenvolvimento da sustentabilidade(ATTARAN, 2017; BOURHIS et al., 2013).</li> <li>• Processo de fabricação mais "limpo"(ATTARAN, 2017; BOURHIS et al., 2013).</li> <li>• Redução do consumo de energia(FRAZIER, 2014; SCOTT, 2013).</li> <li>• Redução da emissão de carbono(FRAZIER, 2014; SCOTT, 2013).</li> </ul>	-

Fonte: Elaborado pelo autor

Em síntese, a Sustentabilidade é um dos critérios mais repercutidos a partir da utilização das tecnologias de Manufatura Aditiva. Os principais pontos destacados na literatura que fortalecem o critério sustentabilidade a partir da utilização da Manufatura Aditiva são a redução do desperdício de materiais, a redução do consumo de energia e da "pegada" de carbono. Cabe salientar que não foram localizadas na literatura, repercussões negativas sobre este critério. O critério competitivo Inovação é apresentado na sequência.

### 4.2.7 Inovação

No que tange ao critério competitivo Inovação, a Manufatura Aditiva destaca-se sob dois pontos de vista distintos. O primeiro trata da inovação do processo de fabricação e o segundo trata da velocidade para a inovação de novos produtos.

No que se refere ao processo produtivo, a Manufatura Aditiva pode produzir elementos únicos e com liberdade geométrica, sem custo adicional, permitindo que a indústria forneça volumes de produção baixos ou produtos personalizados que sejam economicamente viáveis para o cliente final (SALLES; GYI, 2013). A Manufatura Aditiva é a tecnologia adequada para a fabricação de modelos complexos, de formas orgânicas e que não pode ser facilmente descrita em termos de parâmetros geométricos (HARRIS, 2012; TUOMI et al., 2014).

Estas características garantem velocidade ao processo de inovação, uma vez que os protótipos são construídos com maior velocidade e custos menores (BERMAN, 2012). A Manufatura Aditiva apresenta vantagens importantes no desenvolvimento de protótipos e maquetes, incluindo a facilidade de duplicação de produtos, o baixo custo e a segurança e privacidade do produto criado (BERMAN, 2012).

Níveis adicionais de complexidade do produto não acrescentam custos de produção para além da fase de concepção, uma vez que o projeto estiver definido (FORD, 2014). O Quadro 30 apresenta a síntese dos resultados do critério competitivo Inovação.

Quadro 30: Síntese das Repercussões da Manufatura Aditiva no Critério Competitivo Inovação

REPERCUSSÕES POSITIVAS	REPERCUSSÕES NEGATIVAS
------------------------	------------------------

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inovação do processo de fabricação(SALLES; GYI, 2013).</li> <li>• Redução do <i>lead time</i> do desenvolvimento de produto(HARRIS, 2012; TUOMI et al., 2014).</li> <li>• Facilita o desenvolvimento e fabricação de modelos complexos(FORD, 2014).</li> <li>• Propicia maior velocidade na construção e desenvolvimento de protótipos(BERMAN, 2012).</li> <li>• Facilita a terceirização e o compartilhamento de projetos(GARDINER, 2015).</li> </ul>	
---	--

Fonte: Elaborado pelo autor

Em síntese, a Manufatura Aditiva facilita a terceirização, bem como o compartilhamento de projetos entre os *designers* e usuários (BERMAN, 2012). Estas características propiciam maior velocidade ao processo de desenvolvimento de produtos, permitindo lançar inovações mais rapidamente, trazendo vantagem competitiva às organizações. Da mesma forma, destaca-se que a Manufatura Aditiva se apresenta como a própria inovação do processo de fabricação, visto que as células de Manufatura Aditiva serão um elemento-chave em sistemas de produção mais ambiciosos (GARDINER, 2015). Salienta-se que repercussões negativas sobre este critério não foram localizadas na literatura.

A seguir, é realizado o cruzamento das análises realizadas nos impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos e as repercussões destes impactos nos critérios competitivos.

Para apresentar as repercussões destes impactos da Manufatura Aditiva nos critérios competitivos e destacar as alterações que podem ocorrer em termos de competitividade para as organizações que optarem por utilizar a tecnologia, uma síntese das principais repercussões é apresentada no Quadro 31. Esta síntese apresenta as repercussões e suas relações com cada categoria de análise.

Quadro 31: Análise Cruzada entre as Repercussões da Manufatura Aditiva e as Categorias de Análise dos Critérios Competitivos

Repercussões da Manufatura Aditiva nos Critérios Competitivos		Categorias de Análise Critérios Competitivos						
		Custo	Desempenho de Entrega	Velocidade	Flexibilidade	Qualidade	Sustentabilidade	Inovação
Repercussões Positivas	Custos reduzidos para produtos customizados	X						X
	Eliminação da necessidade de ferramental	X		X				
	Fabricação a partir do desenho	X						X
	Redução do desperdício de materiais	X					X	
	Redução do consumo de energia	X					X	
	Redução da necessidade de transporte	X	X	X			X	
	Cadeias de Suprimento mais ágeis		X	X				
	Redução da complexidade de gestão da Cadeia de Suprimentos		X					
	Redução dos prazos de entrega		X	X				
	Redução do tempo de atravessamento para baixos volumes de alta variedade		X					
	Redução do tempo de resposta para o mercado		X	X				
	Eliminação do <i>Setup</i>			X	X			
	Permite utilização de diversos tipos de materiais				X			
	Garante propriedades físicas e mecânicas					X		
	Atenua o impacto ambiental						X	
	Processo de produção mais limpo						X	
Redução da emissão da “pegada” de carbono						X		

Repercussões da Manufatura Aditiva nos Critérios Competitivos		Categorias de Análise Critérios Competitivos					
		Custo	Desempenho de Entrega	Velocidade	Flexibilidade	Qualidade	Sustentabilidade
	Inovação como processo de fabricação						X
	Facilita o compartilhamento e terceirização de projetos						X
Repercussões Negativas	Custo elevado dos equipamentos	X					
	Redução do rendimento do processo	X		X			
	Custo elevado para produção em série	X		X			
	Aumento do custo de propriedade intelectual e segurança da informação	X					
	Aumenta o custo de qualificação da mão de obra	X					
	Não apresenta precisão e robustez					X	
	Não garante propriedades físicas e mecânicas					X	
	Problemas de acabamento (aspecto visível do componente)					X	

Fonte: Elaborado pelo autor

Esta análise comparativa tem como objetivo apresentar a relação entre as repercussões da Manufatura Aditiva e os critérios competitivos. Estas relações identificadas no Quadro 31 permitem visualizar a relação global, e não apenas local das repercussões do uso da Manufatura Aditiva pelas empresas. Resta evidente que as repercussões decorrentes do uso da Manufatura Aditiva nos critérios competitivos Desempenho de Entrega, Flexibilidade, Sustentabilidade e Inovação são positivas. Nesse sentido, pode-se inferir que, no atual estágio das tecnologias de Manufatura Aditiva, sistemas produtivos que se caracterizam pela produção de lotes de produção com baixo volume e alta variedade podem competir no mercado por estes critérios a partir do uso da Manufatura Aditiva na fabricação.

As repercussões negativas ficam, em sua maioria, relacionadas a sistemas de produção caracterizados pela fabricação de lotes maiores, ou seja, com alto volume e baixa variedade. Para estes sistemas produtivos, existem repercussões negativas relacionadas aos critérios custo, qualidade e velocidade. Se o tempo de ciclo é elevado, para produzir grandes lotes de produção, faz-se necessário um número maior de equipamentos, que, por necessitarem de investimentos elevados, pode inviabilizar o uso da Manufatura Aditiva.

Independente da característica de volume e variedade de produção, o aspecto visual dos produtos fabricados a partir da Manufatura Aditiva é insatisfatório. Logo, é preciso o uso de operações complementares de acabamento. Considerando o conjunto de vantagens apresentadas como a redução do número de operações e de custo, esta operação de acabamento tende a não inviabilizar a aplicação da Manufatura Aditiva. No que tange a propriedades físicas e mecânicas do produto, verifica-se que a divergência pode estar relacionada à questão temporal das publicações. Os estudos datados de 2012 a 2015 indicam que as propriedades físicas e mecânicas, bem como a confiabilidade do processo é insatisfatória. No entanto, estudos mais recentes (2017) indicam que este aspecto foi superado, ressaltando que as propriedades físicas e mecânicas dos produtos fabricados a partir das tecnologias de fabricação aditiva são satisfatórias e podem ser comparadas aos produtos fabricados pelos processos tradicionais de manufatura.

A perspectiva sustentável da Manufatura Aditiva é uma vantagem conferida às empresas que optarem pela tecnologia. O processo de produção mais limpo, além de destacar a sustentabilidade como critério de competitividade, paralelamente



confere à empresa a redução de custos ao processo e ao produto. Isto decorre da redução do consumo de energia e do menor consumo e desperdício de materiais.

Cabe destacar, novamente, que estas repercussões classificadas como negativas estão diretamente relacionadas com as limitações tecnológicas da Manufatura Aditiva. À medida que essas limitações forem resolvidas, essas repercussões negativas deixam de existir. As repercussões positivas na competitividade, sendo destacadas em todos os critérios competitivos, permitem questionar a Manufatura Aditiva como uma tecnologia que reduz ou até elimina os *trade-offs*. Esse aspecto será discutido após a triangulação dos resultados com os estudos empíricos e as percepções dos especialistas

Por fim, resta evidente que o uso da Manufatura Aditiva vai fazer com que as organizações revisem a maneira de competição no mercado. Esta pesquisa permite aos gestores comparar como suas empresas podem competir no mercado com seus processos tradicionais de produção ou se decidem utilizar as tecnologias de fabricação aditiva e suas vantagens. Finalizada a análise teórica desta pesquisa, o capítulo a seguir avalia os impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos a partir da percepção dos entrevistados.

## 5 AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DA MANUFATURA ADITIVA NOS SISTEMAS PRODUTIVOS

Este capítulo apresenta a análise dos impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos sob o ponto de vista dos entrevistados. Para tal, as análises serão apresentadas em três etapas: i) análise perceptiva dos especialistas; ii) análise comparativa entre os especialistas; e iii) comparativo entre os especialistas e a literatura.

### 5.1 ANÁLISE PERCEPTIVA DOS ESPECIALISTAS

A síntese dos resultados individuais (por especialistas) desta análise é apresentada no Apêndice H. O total das frequências absoluta e ponderada, por categoria de análise, é apresentada no Quadro 32.

Quadro 32: Total da Frequência Absoluta e Ponderada dos Impactos da Manufatura Aditiva nos Sistemas Produtivos

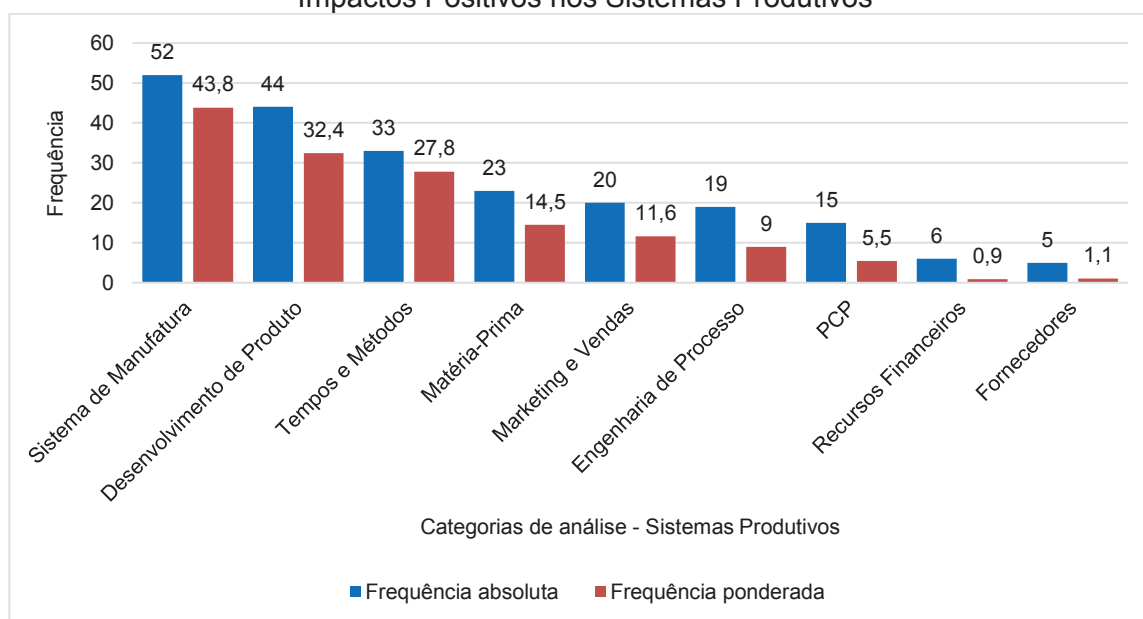
Frequência Absoluta	Sistema de Manufatura		Des. de Produto		Tempos e Métodos		Matéria-Prima		Engenharia de Processo		Marketing e Vendas		PCP		Recursos Financeiros		Fornecedores	
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
Totais	52	8	44	4	33	11	23	5	19	2	20	0	15	0	6	4	5	0
	60		48		44		28		21		20		15		10		5	
Ponderação de Frequência	Sistema de Manufatura		Des. de Produto		Tempos e Métodos		Matéria-Prima		Engenharia de Processo		Marketing e Vendas		PCP		Recursos Financeiros		Fornecedores	
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
Totais	43,8	2,5	32,4	0,84	27,8	5,2	14,5	1,1	9,0	0,2	11,6	0,0	5,5	0,0	0,9	0,6	1,1	0,0
	46,3		33,26		33,0		15,6		9,2		11,6		5,5		1,6		1,1	

Fonte: Elaborado pelo autor

Para melhor análise dos impactos positivos e negativos, os valores da frequência absoluta e ponderada, por categoria de análise, foram ordenados de maneira decrescente para identificar quais as categorias mais citadas e, por consequência, recebem maior impacto da Manufatura Aditiva pelos sistemas produtivos. Inicialmente, verificou-se o comportamento dos impactos positivos. A Figura 23 compara o total de incidências, por categoria de análise, entre frequência absoluta e frequência ponderada. Ao realizar a ponderação das frequências, apenas foram alteradas a ordem de duas categorias com menor número de registros de impactos positivos, as categorias de análise Fornecedores e Recursos Financeiros.

Observa-se que o maior número de incidências relacionado a impactos positivos ocorreu nas categorias de Sistema de Manufatura, Desenvolvimento de Produto e Tempos e Métodos e Matéria-Prima. As incidências apontadas na codificação das entrevistas realizadas no software ATLAS.ti 8, entre estas, três categorias representam 70% do total de unidades de registro pela frequência absoluta.

Figura 23: Comparativo entre as Frequências Absoluta e Ponderada Referentes aos Impactos Positivos nos Sistemas Produtivos

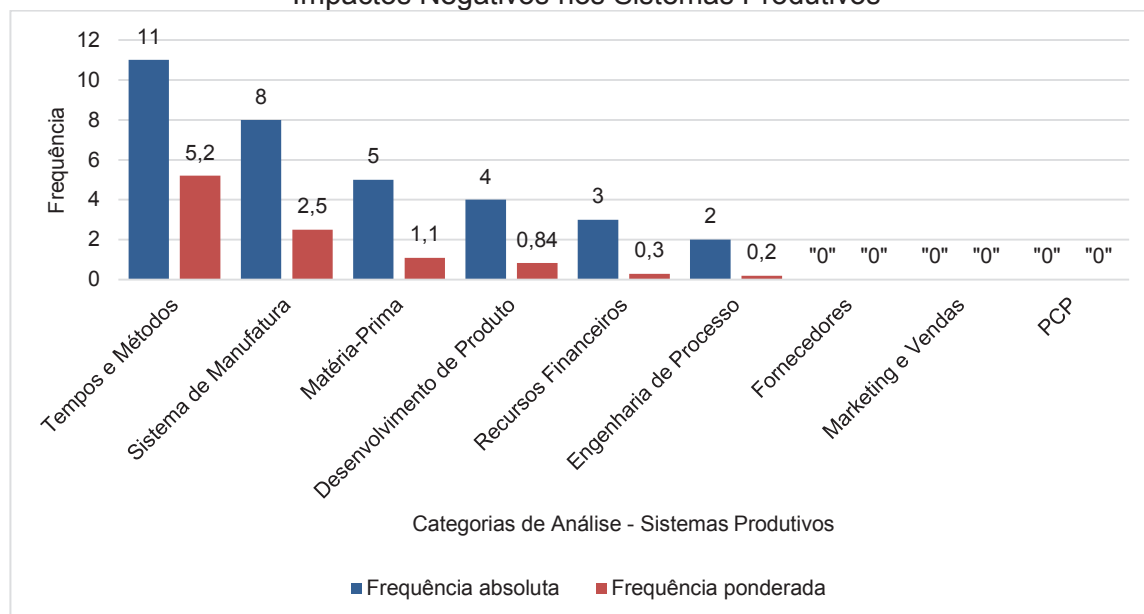


Fonte: Elaborado pelo autor

As categorias que mais receberam registros positivos mantiveram-se na mesma colocação, mesmo após a ponderação das frequências. A única diferença evidenciada após a ponderação foi que o somatório do número de registros de impactos positivos das quatro principais categorias de análise (Sistema de Manufatura, Desenvolvimento de Produto, Tempo e Métodos e Matéria-Prima) elevou a importância destas categorias. Se, na frequência absoluta, elas totalizam aproximadamente 70% do total de registros, na frequência ponderada, essa representatividade aumentou para cerca de 80%, ratificando a relevância destas categorias.

Da mesma maneira, foram ordenados e verificados os impactos negativos. A Figura 24 ilustra o comparativo do total de registros dos impactos negativos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos, em ordem decrescente, de acordo com a frequência absoluta e a frequência ponderada.

Figura 24: Comparativo entre as Frequências Absoluta e Ponderada Referentes aos Impactos Negativos nos Sistemas Produtivos



Fonte: Elaborado pelo autor

As categorias de análise que representam a maior frequência absoluta nos impactos negativos são Tempos e Métodos, Sistemas de Manufatura, Matéria-Prima e Desenvolvimento de Produto. Verifica-se que estas categorias também apresentaram maior representatividade no total de registros dos impactos positivos. Do ponto de vista da frequência ponderada dos impactos negativos, verifica-se que não houve alteração na ordenação do total de registros em cada categoria. Tanto para os impactos positivos quanto para os impactos negativos, a alteração foi mínima, conforme destacado anteriormente.

A seguir, os resultados quantitativos apresentados nessa análise frequencial são transformados em resultados qualitativos dos impactos positivos e negativos da Manufatura Aditiva em cada uma das categorias do Sistema Produtivo definidas na condução deste trabalho. A análise por categoria é iniciada pela categoria de Desenvolvimento de Produto.

### 5.1.1 Desenvolvimento de Produto

Dentre as categorias criadas para avaliar os impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos, desenvolvimento de produtos é a mais abordada pelos

entrevistados. Os impactos positivos para esta etapa do processo produtivo são destacados por 15 dos 19 entrevistados. A Manufatura Aditiva tem suas primeiras aplicações para o propósito de criar protótipos, tendo sido por esse motivo inicialmente conhecida, na década de 80, como prototipagem rápida.

A liberdade geométrica e a possibilidade de customização de produtos apresentam-se como um dos principais impactos positivos da tecnologia para esta categoria de análise. Esta liberdade geométrica permite explorar formas diferentes das que são, atualmente, limitadas pelos recursos como a usinagem, por exemplo, como pode ser verificado na seguinte afirmação “[...]a liberdade geométrica de fabricação na Manufatura Aditiva é infinitamente maior que na usinagem, não há comparação [...]”. (Entrevistado 10).

A Manufatura Aditiva oportuniza desenvolver produtos com as mesmas funcionalidades, variando a forma, peso e consumo de material. Essa liberdade no formato dos produtos possibilita aos engenheiros de produto superar os modelos tradicionais, permitindo pensar em formatos que mantenham as mesmas funcionalidades, mas com redução de peso e por consequência reduzindo a quantidade de material utilizada. Esta perspectiva é corroborada pela afirmação:

[...] quando pensar em fabricação por Manufatura Aditiva deve-se sair do modelo tradicional. Por ser uma tecnologia que permite a fabricação de geometrias complexas, não tem porque ficar “preso” a uma forma, um formato [...] (Entrevistado 1).

Tempo e custo de desenvolvimento são reduzidos, tanto devido à liberdade geométrica, como pela dispensa de fabricação de matrizes, consideradas demoradas e caras. Essa afirmação é ilustrada no seguinte trecho:

[...] no processo tradicional de desenvolvimento de produto, para desenvolver uma peça era necessário fabricar uma matriz e isto era muito caro. A Manufatura Aditiva torna-se interessante pois elimina a necessidade da matriz [...]. (Entrevistado 2).

Um exemplo que ilustra os resultados deste processo é a Local Motors (localmotors.com). A empresa desenvolveu e lançou um carro no mercado,

utilizando a Manufatura Aditiva, que teve seu custo de desenvolvimento em torno de U\$ 3 milhões (três milhões de dólares). É um produto de nicho, voltado para um público que quer um carro diferente, “exótico”. Entretanto, na atualidade, nenhum carro de uma montadora é desenvolvido por menos de U\$ 2 bilhões (dois bilhões de dólares). Ainda, este carro foi desenvolvido com design italiano, fazendo uso de uma plataforma digital com a qual é possível obter contribuições de pessoas de todas as partes do mundo.

Mais do que fabricar produtos iguais aos que são fabricados atualmente, a Manufatura Aditiva desafia os engenheiros de produto e designers a pensar formas que devido a restrições de equipamentos não podiam ser fabricadas até a utilização da Manufatura Aditiva. O seguinte trecho corrobora o impacto apresentado:

[...] acredito que a Manufatura Aditiva não deve ser considerada uma tecnologia que pode substituir a manufatura tradicional, mas sim deve ser vista como uma tecnologia com potencial de fazer coisas que ainda não se sabe, novos modelos de negócios que ainda não foram pensados (Entrevistado 16).

No que se refere a impactos negativos no desenvolvimento de produtos, poucos aspectos foram destacados nas entrevistas. O primeiro deles refere-se à quantidade de processos que podem vir a ser substituídos pela Manufatura Aditiva. Nesse sentido, é necessário entender as características do processo de Manufatura Aditiva e quais os quesitos de comparação que devem ser levados em consideração. Quanto ao *lead time* de desenvolvimento, de acordo com o Entrevistado 7, “[...] o tempo de desenvolvimento não é alterado, pois o processo tem uma série de *gates* que precisam ser respeitados e isto faz parte da complexidade da empresa [...]”.

Analisando esta afirmação, percebe-se que não foi levado em consideração que, mesmo existindo a necessidade de respeitar todos os marcos (*gates*), os tempos entre eles são reduzidos com a Manufatura Aditiva, conforme argumentos apresentados anteriormente. Dessa forma, os marcos são respeitados e o *lead time* de desenvolvimento pode ser reduzido.

Um aspecto tratado como um impacto negativo relevante é falta de conhecimento das tecnologias de Manufatura Aditiva. Esta falta de conhecimento é

apresentada em praticamente todas as categorias de análise, deixando evidente a necessidade de entender a tecnologia antes de utilizá-la. De acordo com o Entrevistado 16, “[...] para iniciar uma peça que nunca fiz, a primeira vez, o processo se torna caro [...]”. O Entrevistado 4, por sua vez, complementa dizendo que “[...] a maior parte das organizações em nosso país não conhece ou é resistente ao uso da Manufatura Aditiva [...]”.

Além dos impactos gerados pela Manufatura Aditiva no desenvolvimento de produto, também é importante destacar os impactos gerados no próprio sistema produtivo. A redução do uso de matérias prima originada pela liberdade geométrica possibilita a fabricação de formas complexas em locais remotos, permitindo a minimização dos estoques. Outrossim, a cadeia de suprimentos também é impactada, uma vez que estes produtos customizados podem ser produzidos sob demanda e, da mesma forma, eliminam a necessidade de manutenção de estoques. A questão de controle de qualidade para os produtos desenvolvidos fica evidente no trecho a seguir:

As peças impressas recebem uma forma final muito próxima da peça fabricada por injeção ou usinagem. Em geral, a peça impressa vai ter, em alguns casos, 80 até 90% da resistência de uma peça injetada. Assim é possível fazer uma peça funcional, de uso, e em muitos casos fazer peças que possam até mesmo ir ao mercado. Uma empresa sempre fabrica conosco, por meio da Manufatura Aditiva, o primeiro produto que vai ser homologado. Quando questiono se vão homologar um produto que não tem 100% das propriedades mecânicas do produto que é fabricado pelo processo de injeção, a resposta é simples: se a minha peça impressa feita com menos resistência é homologada, significa que a minha peça injetada vai passar com folga pela homologação (Entrevistado 10).

Assim, reduz-se *lead time* de desenvolvimento, e a peça pode ser colocada antecipadamente no mercado, gerando receita rapidamente. Cabe destacar impactos gerados nos recursos humanos. No que se refere ao processo de design e desenvolvimento de produtos, destaca-se a importância dos profissionais desenvolvedores de produto e designers, conforme afirma o Entrevistado 4: “[...] estes processos deverão ser beneficiados com a tecnologia que não deverá substituir nem requerer a contratação de mais mão de obra, eles serão qualificados [...]”. O Quadro 33 apresenta uma síntese dos impactos positivos e negativos relacionados à utilização da Manufatura Aditiva no desenvolvimento de produtos.

Quadro 33: Síntese dos Impactos da Manufatura Aditiva no Desenvolvimento de Produtos

IMPACTOS POSITIVOS	IMPACTOS NEGATIVOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liberdade geométrica.</li> <li>• Facilidade na customização de produtos.</li> <li>• Redução do <i>Lead Time</i> de Desenvolvimento.</li> <li>• Menor utilização de matéria-prima.</li> <li>• Redução de peso do produto desenvolvido.</li> <li>• Menos estoques.</li> <li>• Menor custo de desenvolvimento.</li> <li>• Qualificação da mão de obra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de conhecimento por parte das empresas.</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor

Em síntese, com a utilização da Manufatura Aditiva o processo de desenvolvimento de produtos torna-se mais rápido e menos oneroso para a organização. As peças podem ser pensadas de maneira diferente dos padrões atuais devido à liberdade geométrica conferida pela Manufatura Aditiva, oportunizando a redução no peso do produto e, por consequência, menor consumo de matéria-prima, sem perder as propriedades necessárias para a garantia da qualidade do produto. Viabilizar maior quantidade de produtos a serem fabricados por meio da Manufatura Aditiva ainda é um ponto negativo a ser resolvido, bem como a falta de conhecimento das organizações dos benefícios gerados a partir da Manufatura Aditiva. No próximo tópico, é apresentada a análise da categoria Engenharia de Processos.

### 5.1.2 Engenharia de Processos

O primeiro ponto a ser destacado são os roteiros de produção. Com a Manufatura Aditiva, o número de operações pode ser reduzido a uma única operação que deixaria uma peça ou até mesmo um produto pronto para consumo. De acordo com o Entrevistado 13, “[...] a Manufatura Aditiva possibilita processos enxutos e flexíveis, características perseguidas pelo *lean manufacturing* [...]”.



No entanto, essa flexibilidade é questionada quando se observa o tempo de operação. O tempo de operação da Manufatura Aditiva ainda é elevado, porém esta assertiva pode ser alterada quando se observa o processo como um todo. Conforme cita o Entrevistado 10:

[...] as pessoas ficam espantadas quando falo de um tempo de operação de 6 horas. Assim questionam se não existe outra maneira de fabricar a mesma peça. Se injetar, por exemplo, demora apenas 10 segundos, mas é só na hora da injeção, porque a matriz está pronta. Se eu pegar uma matriz e usinar, fabricar tudo, é possível que sejam necessários de 30 a 40 dias.

A Manufatura Aditiva permite materializar, em horas, o que está sendo projetado. Sendo assim, quando o assunto é o tempo de operação da Manufatura Aditiva, é importante considerar a base de comparação. A Manufatura Aditiva tem potencial de substituir um conjunto de operações da manufatura tradicional. Desse modo, a comparação não deve ser realizada diretamente entre os tempos de ciclo, mas pelo *lead time*. Dessa forma, verifica-se todos os impactos relacionados ao processo e que têm influência nos roteiros de fabricação dos produtos ou peças. Tal percepção é ilustrada no seguinte trecho:

Tu pegar o *lead time* do teu processo é uma coisa e tu pegar o teu tempo de fabricação é outra, mas em geral a comparação leiga é o tempo da fabricação, porém, a maior parte das pessoas desconsidera o tempo de matrizaria, setup, lote, transporte, estoque, enfim toda uma estrutura necessária para fazer a produção via processo de injeção [...] (Entrevistado 10).

Contudo, ainda existem visões divergentes em relação a esse ponto. A questão do volume de produção, principalmente a produção em grandes lotes, é apontada como um problema atual para a Manufatura Aditiva. O Entrevistado 1 afirma que “[...] não serão todos os casos que serão transferidos para a Manufatura Aditiva. Cada situação deve ser avaliada [...]”. O Entrevistado 11 complementa com a informação: “[...] claro que na escala, se tu tens que produzir mil peças/mês é injeção, daí tu não tem o que fazer porque não compensa eu ter muitas impressoras 3D fabricando [...]”.

Existem ainda impactos que podem ocorrer, derivados destes identificados na Engenharia de Processos e nos roteiros de produção, e que podem trazer alterações para outras categorias do sistema produtivo. O primeiro refere-se ao layout de produção. Com a possível redução do número de operações derivada da adoção da Manufatura Aditiva pelas organizações, o layout tende a ficar mais enxuto, proporcionando maior flexibilidade. Possibilita, dessa forma, maior utilização da multifuncionalidade da mão de obra, visto que os equipamentos de Manufatura Aditiva praticamente trabalham sozinhos, deixando o operador disponível para exercer outras atividades, conforme destacado pelo entrevistado na seguinte afirmação:

Em termos de layout é possível equilibrar/balancear melhor a mão de obra envolvida no processo produtivo [...] neste sentido, mais importante que a área e a posição das máquinas (que neste caso é apenas uma), é o balanceamento da mão de obra [...] (Entrevistado 13).

Outros impactos positivos são apresentados no que se refere ao controle de produção. Quanto menor requisito de criticidade da peça a ser produzida, mais simples é o processo de aplicação da Manufatura Aditiva, necessitando menos controles e tornando, assim, seu custo menor. De acordo com o Entrevistado 8, “[...] a complexidade dos sistemas produtivos pode ser reduzida no que tange ao fluxo físico dos produtos [...]”. Entretanto, não é apenas o fluxo físico que pode ser impactado positivamente, os controles de estoque e a cadeia logística também podem ser beneficiados. Essa perspectiva é ilustrada nas seguintes afirmações:

A medida que se tem mais horizontalidade, mais *networking* e mais colaboração entre as diferentes entidades, a rastreabilidade torna-se mais importante. O Transporte será reduzido dentro e fora da empresa. Podemos reduzir o uso e o número de caminhões nas estradas pois as peças podem ser impressas no seu ponto de consumo [...] (Entrevistado 5).

Uma discussão ainda não apresenta consenso no tema da Manufatura Aditiva e foi lembrada em grande parte das categorias analisadas: os recursos humanos. Mais especificamente no que tange ao tema da empregabilidade. Nesse sentido, os entrevistados divergiram em suas respostas. A resistência do ser

humano em relação às novas tecnologias ainda é alta. No entanto, se por um lado há a discussão de que a Manufatura Aditiva vai reduzir os postos de trabalho no sistema de manufatura, por outro ela pode aumentar a necessidade de postos de trabalho de maior qualificação, como destacado no seguinte trecho:

Haverá maior necessidade de postos de trabalho na engenharia e qualidade, por exemplo. Isso aumenta o padrão de vida da cidade. Impacto sistêmico ao longo do tempo que muitas vezes não é considerado em análise de viabilidade do uso de novas tecnologias (Entrevistado 13).

Para finalizar, o Quadro 34 apresenta uma síntese dos impactos positivos e negativos relacionados à utilização da Manufatura Aditiva na categoria de análise Engenharia de Processos.

Quadro 34: Síntese dos Impactos da Manufatura Aditiva na Engenharia de Processos

IMPACTOS POSITIVOS	IMPACTOS NEGATIVOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor complexidade dos roteiros de produção.</li> <li>• Layouts mais flexíveis.</li> <li>• Possível redução do <i>lead time</i>.</li> <li>• Melhor utilização da mão de obra (multifuncionalidade).</li> <li>• Redução da complexidade logística.</li> <li>• Valorização e necessidade da mão de obra mais qualificada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Atualmente, inviável para produção de grandes lotes de produção.</li> <li>• Tempo de ciclo elevado se comparado à manufatura tradicional.</li> <li>• Aumento do número de equipamentos devido ao alto tempo de ciclo.</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor

Em síntese, a utilização da Manufatura Aditiva tende a tornar a engenharia de processo menos complexa no que se refere a roteiros de produção e na melhor utilização da multifuncionalidade. Importante destacar que as perdas por estoques (principalmente intermediários) e transporte serão reduzidas, impactando diretamente a redução do *lead time* de produção. Pontos negativos a serem resolvidos estão relacionados ao tempo de ciclo elevado, que impacta a viabilidade da utilização da Manufatura Aditiva para produção em massa, atualmente. A seguir, será apresentada a análise da categoria Fornecedores.

### 5.1.3 Fornecedores

A categoria fornecedores teve o menor número de incidências entre os entrevistados. Apenas 4 dos 19 entrevistados mencionaram, em suas respostas, pontos relacionados a fornecedores. A possibilidade de internalizar processos terceirizados é apresentada como vantagem para um dos entrevistados que utiliza a Manufatura Aditiva para fabricação de peças que são montadas em seus produtos finais. Esta vantagem é destacada nos seguintes trechos:

A maior vantagem foi a internalização do processo. De modo geral, estes itens eram feitos fora da empresa, e para isso, havia a necessidade de contato com o fornecedor, homologação de fornecedor, tempo de P&D e processo entre fornecedor e a empresa [...] (Entrevistado 2).

Todo esse contato, que é moroso, não está mais contabilizado no tempo. Além de todo o processo de validação, pois se não deu certo é só mudar o desenho e fazer de novo, sem a necessidade de novo contato, novo desenvolvimento de matrizes, etc. [...] (Entrevistado 2).

Nota-se, assim, que os impactos positivos percebidos estão focados nos fornecedores de peças e componentes, que antes da utilização da Manufatura Aditiva eram terceirizados. Este ponto é destacado pelo Entrevistado 9, na afirmação: “[...] diferença de preço entre o que se fabrica aqui pelos demais fornecedores nos possibilita medir o quanto ganhamos em competitividade com as impressoras [...]”.

Contudo, ao analisar os impactos que a categoria fornecedores pode gerar em outros pontos do sistema produtivo, como o controle de estoques e a cadeia de suprimentos, por exemplo, o destaque foi a maneira como peças ou componentes podem ser distribuídos e comercializados. A digitalização do projeto permite que os produtos se tornem virtuais, facilitando sua distribuição e até mesmo comercialização. Estes aspectos são evidenciados pelas seguintes afirmações:

A Manufatura Aditiva vai propiciar estoques virtuais, ou seja, ela pode vir a substituir os estoques físicos. Em uma empresa aeronáutica, por exemplo, existem os check points, que são realizados na aeronave e existem certos

locais distribuídos no mundo todo onde é realizada a manutenção das aeronaves. Para tal, necessita-se ter os mais variados componentes em todos esses locais pois se der algum problema ou chegar no número de horas permitidas a aeronave terá que parar em um desses locais e a substituição deverá ser feita. Com a Manufatura Aditiva nestes locais, as peças poderão ser impressas de acordo com a necessidade [...] (Entrevistado 1).

De acordo com o entrevistado 1, “[...] ficará mais barato porque você terá uma “loja virtual” que não terá todos os custos de uma loja física como estoque, espaço físico, etc. [...]”. Esta virtualização no fornecimento de peças e produtos também pode ocorrer no próprio sistema de manufatura, ou seja, o *Kanban* de produção pode vir a ser virtual, fabricado a partir de um único equipamento. Dessa forma, evidencia-se que existe a possibilidade de a Manufatura Aditiva potencializar alguns resultados oriundos da produção enxuta.

Entretanto, há um impacto negativo a ser considerado. O limitado número de fornecedores de materiais para uso da Manufatura Aditiva. Esse ponto pode diminuir a vantagem da redução dos estoques, mencionada anteriormente. Com menos fornecedores e maior consumo, acentua-se o risco da falta de matéria-prima, conforme evidenciado pelo Entrevistado 2 no seguinte trecho: “[...] mesmo com a impressora 3D ainda se faz necessário um estoque mínimo de materiais baseado na previsão de demanda da empresa [...]”. De acordo com o Entrevistado 8, “[...] para o fornecimento de matéria-prima, devido à restrição de fornecedores, os estoques tendem a aumentar [...]”.

Cabe destacar que o processo de desenvolvimento de fornecedores é alterado. Se atualmente o desenvolvimento é de fornecedores de peças prontas, essa atividade tende a diminuir e aumentar o processo de desenvolvimento de fornecedores de insumos. O tipo de fornecedor muda. Quando pensado em combinação com a questão de, atualmente, o número de fornecedores de insumos ser limitado, é uma barreira que precisa ser rompida para sucesso da tecnologia. Por fim, o Quadro 35 apresenta uma síntese dos impactos positivos e negativos relacionados à utilização da Manufatura Aditiva na categoria de análise Fornecedores.

Quadro 35: Síntese dos Impactos da Manufatura Aditiva em Fornecedores

IMPACTOS POSITIVOS

IMPACTOS NEGATIVOS

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Internalização de processos.</li> <li>• Redução de serviços terceirizados.</li> <li>• Redução do prazo de recebimento.</li> <li>• Redução de custos.</li> <li>• <i>Kanban</i> virtual.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Número restrito de fornecedores de matéria-prima.</li> <li>• Necessidade de estoque de acordo com a previsão de demanda.</li> <li>• Alteração do processo de desenvolvimento de fornecedores.</li> </ul>
--	---

Fonte: Elaborado pelo autor

Em síntese, há dois aspectos a considerar nesta categoria: os fornecedores de peças e componentes e os fornecedores de matéria-prima. No que tange aos fornecedores de peças e componentes, os impactos para as organizações são considerados positivos quando da internalização da produção de algumas peças ou componentes, visto que podem reduzir o tempo de recebimento e custos, além de propiciar o *Kanban* virtual. O fornecimento de matéria-prima é um ponto visto como negativo, dada a restrição do número de fornecedores e a consequente necessidade de estoque de segurança. A seguir, são apresentados os resultados da análise da categoria Marketing e Vendas.

#### 5.1.4 Marketing e Vendas

A categoria de análise Marketing e Vendas foi a quinta com maior frequência de respostas e teve a mesma colocação na ponderação destas frequências. A categoria foi citada por 12 dos 19 entrevistados e trouxe um conjunto de impactos positivos relacionados à Manufatura Aditiva. Como primeiro impacto positivo, a Manufatura Aditiva, devido ao seu potencial de customização combinada à redução de velocidade de entrega e maior flexibilidade não somente produtiva, mas de design, apresenta a capacidade de aumentar o poder de percepção de valor pelo cliente final.

A possibilidade de customização, relatada como ponto positivo na categoria desenvolvimento de produto, permite essa maior percepção de valor por parte do cliente. Esse atributo deve ser levando em consideração no momento da decisão de aquisição da Manufatura Aditiva, conforme destaca o Entrevistado 4 na seguinte afirmação:

Quando se faz o estudo do ROI para a compra de um equipamento de Manufatura Aditiva, leva-se em conta quanto a empresa ganha em *time to Market*, ou seja, a empresa lança o produto antecipadamente se comparada a um processo convencional e começa a gerar receita muito antes do que um processo de produção convencional [...] (Entrevistado 4).

Nesse sentido, a sustentabilidade financeira da empresa é afetada positivamente, por meio da receita gerada antecipadamente em comparação com a manufatura tradicional. Essa perspectiva é corroborada no seguinte trecho:

É importante para as empresas serem sustentáveis não somente para o bem da própria organização – redução de tempo de processos que consequentemente reduzem o *time to market* e incrementam as receitas em menor prazo [...] (Entrevistado 12).

Adicionalmente, o impacto positivo gerado pela Manufatura Aditiva em Marketing e Vendas está na possibilidade de ampliação ou alteração dos modelos de negócio. Esta questão foi citada por 26,3% dos entrevistados e considerada como um dos principais diferenciais da utilização da Manufatura Aditiva pelos sistemas produtivos. O modelo de negócio de sistemas produtivos que fizerem uso da Manufatura Aditiva pode ser semelhante aos modelos de compra por internet. No limite, será possível comercializar o “desenho” ou o projeto do produto, sendo o mesmo impresso mais próximo ou no próprio consumidor final.

Os centros de distribuição podem ser substituídos por *hubs* de Manufatura Aditiva, onde peças, componentes ou produtos podem ser impressos, diminuindo a necessidade de transporte de volumes físicos. Os trechos apresentados a seguir complementam essa afirmação:

A tecnologia de Manufatura Aditiva posicionada nestes pontos de manutenção pode propiciar a substituição dos estoques físicos por estoques virtuais. Assim o componente a ser trocado é rastreado, identificado e fabricado sob demanda nos “hubs de impressão” espalhados pelo mundo [...] (Entrevistado 1).

Encontrei na impressora 3D uma oportunidade de mercado para alunos e construtoras. A Manufatura Aditiva deixou as maquetes mais viáveis, ou seja, a Manufatura Aditiva está popularizando alguns produtos. Além disso oportuniza uma renda extra [...] (Entrevistado 2).

Viabilizando esta prática ela pode ser extrapolada para qualquer outra área ou setor da indústria como por exemplo o automobilístico, peças de reposição. O modelo se assemelha à compra da internet [...] (Entrevistado 1).

Além da possibilidade de alteração dos modelos de negócio, há que se considerar um outro impacto positivo. Todas as comparações estão sendo realizadas com base em modelos e produtos existentes. Nestas comparações, é possível verificar um conjunto de vantagens, porém deve-se pensar não apenas naquilo que existe, mas no que será possível fazer e que ainda não é possível com as tecnologias utilizadas pelos sistemas produtivos tradicionais. Esse impacto é evidenciado na seguinte afirmação:

Então ao invés de você mandar um monte de ferramenta para o Afeganistão ou para a lua, você vai imprimir, você vai fazer a diferenciação dos produtos junto ao cliente e você vai reduzir estoque e tempo. Isso é um impacto na manufatura num sentido geral, no sentido mais tradicional, um outro impacto é que você libera a criação de coisas que não eram possíveis antes [...] (Entrevistado 16).

Uma oportunidade relacionada a esta categoria é identificada ao pensar na cadeia como um todo. Essa oportunidade está mais relacionada ao âmbito econômico, fora do ambiente de manufatura. São duas correntes que devem ser avaliadas de maneiras distintas. Uma delas está relacionada às vantagens de design, logística, novos modelos de negócios e algo que ainda venha a surgir. A outra corrente refere-se a quem está pensando na fabricação destas tecnologias de Manufatura Aditiva. Os principais fornecedores do mercado de Manufatura Aditiva estão localizados fora do Brasil. Os fabricantes nacionais, em sua maioria, desenvolvem equipamentos de pequeno e médio porte, que podem não ser suficientes para absorver uma demanda futura no caso da adoção da Manufatura Aditiva em escala industrial.



Um impacto negativo importante não mencionado pelos entrevistados versa sobre a falta de segurança e propriedade do desenho ou do projeto. No modelo de negócio em que se vende o desenho ou o projeto, e o produto é impresso pelo consumidor final, são necessários sistemas de segurança da informação que restrinjam a quantidade impressa.

Além disso, a velocidade para copiar um produto com a Manufatura Aditiva pode ser maior que a velocidade de cópia da manufatura convencional. Também como impacto negativo é possível destacar o desempenho dos equipamentos de impressão para materiais metálicos. Atualmente, são considerados caros, o que pode inviabilizar a manufatura para este tipo de indústria. O Quadro 36 apresenta a síntese dos impactos da Manufatura Aditiva na categoria Marketing e Vendas.

Quadro 36: Síntese dos Impactos da Manufatura Aditiva em Marketing e Vendas

IMPACTOS POSITIVOS	IMPACTOS NEGATIVOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maior percepção de valor pelo cliente final.</li> <li>• Redução do <i>time to Market</i>.</li> <li>• Redução do tempo de retorno sobre o investimento.</li> <li>• Melhora a sustentabilidade financeira.</li> <li>• Produção da tecnologia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Segurança da informação.</li> <li>• Cópia mais rápida de produtos.</li> <li>• Custo da tecnologia para determinado material (metálico).</li> <li>• Restrição de materiais.</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor

Em síntese, os impactos positivos são embasados na possibilidade de novos modelos de negócio e na oportunidade de estudo e evolução da tecnologia. Quem fabrica e quais serão os diferenciais dos novos fabricantes de equipamentos para a Manufatura Aditiva. A redução do *time to market* e a percepção de valor pelo cliente final podem trazer o retorno sobre o investimento mais rápido e impactar positivamente a sustentabilidade financeira da organização. Do ponto de vista dos problemas a serem resolvidos, há que se atentar para a segurança da informação e para o aumento da velocidade de “copiar” os produtos. O custo elevado da tecnologia, principalmente para os materiais metálicos, também merece atenção. A seguir, são apresentados os resultados da análise da categoria Matéria-Prima.

### 5.1.5 Matéria-Prima

Em termos de frequência de incidências, a categoria de análise Matéria-Prima foi classificada como a quarta mais citada, mantendo esta posição quando da ponderação das frequências. Incidências relacionadas a este tema apareceram em 13 dos 19 entrevistados.

Os aspectos positivos ficaram relacionados, em sua maior parte, à redução de desperdício de material quando comparado aos sistemas de produção convencionais, sendo este um dos pontos fortes na verificação da viabilidade do uso da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos. Esta perspectiva é identificada pelo Entrevistado 5, quando este diz: “[...] a Manufatura Aditiva consegue diminuir os desperdícios na matéria-prima, o que é mais óbvio [...]”. O Entrevistado 6 corrobora a ideia, afirmando que “[...] na verdade, ainda temos desperdício de material, mas é irrisório perto do que temos hoje de produção tradicional. A gente pode colocar, num chute alto, 3% mais ou menos [...]”. O Entrevistado 8 destaca que “[...] é possível identificar e quantificar o desperdício que é muito baixo [...]”.

Além do impacto do menor desperdício de material, a liberdade geométrica destacada na categoria de análise Desenvolvimento de Produto propicia, também, a redução de peso do produto, sem alterar suas propriedades estruturais, conforme salienta o Entrevistado 1: “[...] além disso, consegue-se a redução de peso do componente final devido à possibilidade de fabricar geometrias mais complexas [...]”.

Do ponto de vista financeiro, o custo dos materiais está ficando mais acessível. A relação de oferta e demanda vem provocando esse efeito tanto no custo dos materiais (insumos) quanto nos equipamentos. Contudo, para materiais menos utilizados como titânio, por exemplo, o custo do material ainda é tido como uma restrição para o uso da Manufatura Aditiva.

Uma discussão interessante relacionada à matéria-prima versa sobre a diversidade de materiais. Este ponto apresentou-se divergente entre os entrevistados. Para alguns, o impacto é positivo pois a variedade de materiais compatíveis com a Manufatura Aditiva vem aumentando rapidamente. Entretanto, para outros, a diversidade de materiais ainda é um limitante para o uso da Manufatura Aditiva. Estas divergências são evidenciadas nas percepções do Entrevistado 5, que destaca: “[...] há três ou quatro anos havia somente o plástico.

Em um curto espaço de tempo, temos materiais diversos [...]”. Corroborando este aspecto, os seguintes trechos são destacados:

Atualmente, já são usados diferentes polímeros com especificações e características distintas, metal, materiais bio-compatíveis. A tendência é que a gama de materiais seja ampliada cada vez mais [...](Entrevistado 12).

[...] o que eles não dominaram muito ainda pelo que tenho visto é a borracha. Hoje a borracha é utilizada na indústria em alta quantidade, e tem tipos que eles ainda não conseguiram dominar [...] (Entrevistado 6).

Ainda estamoshá muitos anos de termos uma gama de materiais de tal tamanho que possamos começar a ver este processo em plena substituição de outros processos produtivos [...] (Entrevistado 8).

Destaca-se, por conseguinte, que o menor consumo de material para fabricação dos produtos a partir da Manufatura Aditivapode gerar impactos positivos também no volume de estoques de matéria-prima. Esta redução pode ficar prejudicada pelo problema da restrição do número de fornecedores apresentada anteriormente. Para finalizar, o Quadro 37 apresenta a síntese dos impactos gerados pela utilização da Manufatura Aditivana categoria de análise Matéria-Prima.

Quadro 37: Síntese dos Impactos da Manufatura Aditivana Categoria Matéria-Prima

IMPACTOS POSITIVOS	IMPACTOS NEGATIVOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução de desperdício de materiais.</li> <li>• Menor quantidade utilizada devido à liberdade geométrica.</li> <li>• Redução de peso do produto.</li> <li>• Menor estoque de matéria-prima.</li> <li>• Menor impacto ambiental.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diversidade de materiais.</li> <li>• Custo elevado dos insumos metálicos.</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor

Em síntese, os benefícios para esta categoria são diretamente relacionados ao menor desperdício de materiais quando da fabricação dos produtos. O processo de adição consome apenas o material necessário; reduzindo, também, o impacto ambiental. Como limitantes nesta categoria, destaca-se a diversidade de materiais, que, mesmo sendo apontada como crescente por parte dos entrevistados, ainda é

vista como escassa e pode ser um problema para a disseminação do uso da Manufatura Aditiva, da mesma forma que o elevado custo dos materiais metálicos. A seguir, são apresentados os resultados da análise da categoria Planejamento e Controle de Produção (PCP).

### 5.1.6 Planejamento e Controle de Produção (PCP)

A categoria de análise Planejamento e Controle da Produção foi uma das três menos citadas pelos entrevistados. De um total de 15 incidências na análise de frequência, ela foi lembrada por sete dos 19 entrevistados.

Os impactos positivos identificados na análise foram distintos para os entrevistados. O primeiro impacto refere-se à rastreabilidade. A digitalização e uso da Manufatura Aditivavai facilitar a rastreabilidade e, por consequência, o controle dos sistemas produtivos. De acordo com o Entrevistado 5, “[...] a rastreabilidade vai facilitar a gestão dos sistemas produtivos principalmente no que tange à segurança [...]”. Ainda destacando esta perspectiva apresenta-se a seguinte afirmação:

À medida que as fábricas deixaram de ser verticais e passaram a ser mais horizontais, é importante saber quem fez cada componente. Se você compra um Mercedes, caso haja um acidente, a Mercedes quer saber quem é que fez a peça que causou esse acidente, ponto este que destaca a importância da rastreabilidade [...] (Entrevistado 5).

Outro ponto positivo destacado durante as entrevistas foi a possibilidade de formação de kits. A facilidade da Manufatura Aditivapara produzir lotes unitários de peças sem necessidade de grandes *setups* (talvez apenas a reposição de insumos e troca de cor) permite que os itens fabricados para abastecimento de uma linha de montagem, por exemplo, possam ser fabricados e fornecidos em kits, de acordo com o sequenciamento do produto na linha. Este impacto da Manufatura Aditivano sequenciamento também auxilia na implementação do *just in time*. Esta característica ficou evidenciada na seguinte afirmação:

Essa tecnologia permite programar por meio de kits. Uma das grandes vantagens dessa formação de kits é o auxílio no JIT [...]. Pela Manufatura Aditiva é possível fazer as peças em sequência na quantidade e ordem em que serão montadas no produto (*part numbers* diferentes). O produto entra em uma fila de prioridade de impressão, mas a máquina funciona 24 horas por dia [...] (Entrevistado 13).

Ainda, no que se refere ao controle de capacidade e demanda, a Manufatura Aditiva proporciona a redução do número de operações e, conseqüentemente, a redução de operadores por máquina. Dependendo do tipo de manufatura convencional a que é comparada, pode permitir até mesmo a redução de turnos. Do ponto de vista de um conceito mais amplo de Planejamento e Controle de Produção, considerando os materiais, somam-se a estes impactos positivos aqueles apresentados na categoria de análise matéria-prima. Os insumos também foram impactados positivamente, além de conferir maior autonomia aos colaboradores, conforme afirmações apresentadas no seguinte trecho:

[...] então se reduziu número de máquinas, número de operadores por máquina e até mesmo turnos. Agora trabalho turnos conforme a demanda, então conseguimos reduzir muito o espaço físico, porque tu precisas menos espaço físico para estruturar o processo MIM. Ainda, reduziu o volume de mão de obra, reduziu também matéria-prima e os insumos [...] (Entrevistado 17).

O Entrevistado 9 afirma que “[...] essa tecnologia nos permitiu criar um sistema em que funcionários de todas as áreas podem encomendar peças [...]”. Para complementar os impactos positivos, no que tange ao controle de materiais, pode haver uma redução da complexidade de gerenciamento. Nos sistemas de manufatura tradicionais, há um número elevado de materiais a serem controlados. Em uma indústria metal mecânica, por exemplo, o aço é comprado em chapas de várias espessuras e barras de diversos diâmetros. Quando da utilização da Manufatura Aditiva, o gerenciamento dos insumos resume-se ao pó ou liga metálica que alimentará o equipamento. A quantidade de itens será substituída pelas ligas metálicas de diferentes tipos e em maior volume, ou seja, a complexidade do controle diminui.

Ainda destacando impactos positivos, evidencia-se a possível redução dos roteiros de produção, uma vez que a quantidade de operações com a inserção da

Manufatura Aditivano sistema produtivo diminui. Esta redução do número de equipamentos impacta positivamente, também, na variabilidade do processo produtivo. Pela propriedade estatística da adição, quanto menos equipamentos no roteiro para a manufatura de um produto, menor a variabilidade.

No entanto, a questão da rastreabilidade, apresentada como vantagem, pode ser considerada um impacto negativo do ponto de vista do controle de produção. A rastreabilidade deixa de ser por lote e passa a ser por peça/produto. Ainda, as funcionalidades do *Manufacturing Execution System*(MES) diminuem, reduzindo também seu valor agregado ao sistema produtivo.

Outro impacto negativo apresentado é a restrição atual do uso da Manufatura Aditiva para produção em grandes lotes. Se por um lado é indicada para produções customizadas e de lotes pequenos, por outro lado são apresentadas restrições, principalmente no que tange aos custos para sua utilização em larga escala.

Observando ainda os impactos que essas alterações no Planejamento e Controle de Produção e Materiais podem ocasionar em outras partes do sistema produtivo, evidencia-se que a cadeia de suprimentos é afetada, por questões de alteração do modelo de compra e controle de matéria-prima e até mesmo de fornecedores devido ao atual baixo índice de diversidade destes. A seguir, o Quadro 38 apresenta a síntese dos impactos da Manufatura Aditivano Planejamento e Controle de Produção (e Materiais).

Quadro 38: Síntese dos Impactos da Manufatura Aditivana Categoria PCP

IMPACTOS POSITIVOS	IMPACTOS NEGATIVOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rastreabilidade do produto.</li> <li>• Formação de kits.</li> <li>• Viabiliza a produção JIT.</li> <li>• Redução da complexidade de roteiros.</li> <li>• Redução da complexidade dos controles de Capacidade x Demanda.</li> <li>• Redução da complexidade da gestão de matéria-prima.</li> <li>• Menor variabilidade do processo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da complexidade dos controles de produção (produto e não por lote).</li> <li>• Redução das funcionalidades do MES (reduz seu valor agregado).</li> <li>• Restrições para produção de grandes lotes.</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor

Em síntese, os impactos positivos da Manufatura Aditiva, do ponto de vista do Planejamento e Controle de Produção e Materiais, apresentam-se na redução da complexidade de formação de roteiros, controles de Capacidade x Demanda e na

gestão e controle de materiais e matéria-prima. Além disso, uma vantagem relaciona-se à possibilidade da redução da variabilidade de processo. Como aspectos negativos, esta rastreabilidade por produto aumentará a necessidade dos controles de produção, e a redução da complexidade de programação pode diminuir a necessidade e funcionalidade do MES. Destaca-se, ainda, na situação atual da Manufatura Aditiva, sua inviabilidade para a produção de grandes lotes. A seguir, é apresentada a análise da categoria Recursos Financeiros.

### **5.1.7 Recursos Financeiros**

A categoria de análise Recursos Financeiros foi a segunda menos citada pelos entrevistados. Obteve um total de seis incidências relacionadas a impactos positivos e três relacionadas a impactos negativos. Entretanto, observando pelo critério de presença das incidências por entrevistado, verifica-se que apenas quatro dos 19 entrevistados mencionaram algum aspecto relacionado a essa categoria. Dentre os três entrevistados que contribuíram nesta análise, verifica-se que dois deles são representantes do Governo Brasileiro. Ainda, a preocupação maior está relacionada a investimentos e programas de auxílio às empresas e não ao impacto da Manufatura Aditiva nos recursos financeiros das organizações.

Dessa forma, foram destacadas ações realizadas para criar algum programa que possa apoiar a indústria, não apenas no tocante à Manufatura Aditiva, mas à Indústria 4.0 ou Manufatura Avançada como um todo. Nessa linha, destacam-se alguns programas de apoio que envolvem entidades como o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai), por exemplo, e seus Institutos de Inovação. Esta preocupação em ajudar as empresas mostra-se evidente nas afirmações apresentadas a seguir:

[...] a gente está fazendo aqui um documento interno para tentar ver o que podemos fazer de ciência, tecnologia e desenvolvimento tecnológico. É um documento que ainda está sendo gerenciado pela secretaria para tentar emplacar algum programa que possa apoiar a indústria [...] (Entrevistado 14).

A grande vantagem da EMBRAPPII (Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial) é que ela adianta o dinheiro para a unidade. Por exemplo, se o SENAI vai ter 10 milhões em projeto, eles já adiantam para a unidade, só que acontece que a unidade tem que correr atrás de projetos e foi isso que aconteceu, porque no projeto piloto a gente notou que quem já montou os PMO's conseguiu se dar melhor porque conseguiu correr atrás dos projetos e não ficou esperando que as empresas chegassem. Quem saiu na frente foi o SENAI Simatec, ele utilizou toda rede do SENAI para puxar mais projetos [...] (Entrevistado 14).

Mesmo identificando iniciativas e canais para apoiar a indústria, nota-se que falta metodologia de atuação, visto que a iniciativa citada teve pró-atividade de apenas uma unidade do Senai. Ainda do ponto de vista do governo, destaca-se a falta de capacidade de investimento como um problema a ser resolvido. Não é considerado um impacto, pois é mais um precedente para a aquisição e utilização da Manufatura Aditiva sob o ponto de vista de investimentos. Essa perspectiva é evidenciada nos trechos:

Hoje temos uma dificuldade de recursos financeiros de curto prazo. A curto prazo nós não temos recursos para fazer um programa como deveria ser feito, o próprio BNDES também está sem recursos para fazer empréstimos para investimentos, então há uma dificuldade para empresas investirem no curto prazo [...] (Entrevistado 14).

A troca de governo teve influência. Principalmente a falta de verba. Entraram outros ministros e então houve uma mudança a pessoa que entrou lá na ABDI está mais focada no empreendedorismo e essas ações transversais foram deixadas um pouco de lado [...] (Entrevistado 14).

E também há o problema de fomento, de financiamento a projetos, porque o Brasil está muito acostumado, as empresas principalmente, as universidades. Eles estão acostumados a viver com o dinheiro do governo e o governo não tem mais esse dinheiro, nem que passe a crise, o governo não vai ter esse dinheiro que sempre teve para financiar, então é muito importante que sejam desenvolvidas novas formas de financiamento, de compartilhamento de recursos. A gente tem discutido aqui novos modelos de financiamento porque os modelos tradicionais estão bem esgotados [...] (Entrevistado 15).



Nessa perspectiva, um dos representantes do grupo de usuários da Manufatura Aditivacorrobora a ideia da necessidade de viabilizar o investimento. Nem todas as empresas terão capacidade própria de investimento, o que pode aumentar ainda mais o *gap* de tecnologia entre as empresas. Isso pode se tornar um problema, uma vez que a cadeia ficará desbalanceada em termos de tecnologia. Por exemplo, uma empresa grande pode estar equipada com as mais recentes tecnologias e ter empresas menores como fornecedores que estão atrasadas tecnologicamente. Esse fato pode inviabilizar a competitividade e até menos excluir *players* do mercado. A Manufatura Aditivapode ser uma dessas tecnologias, mas deve ser melhor compreendida pelas empresas, como ilustra a afirmação:

O grande problema é viabilizar o investimento. Os equipamentos e materiais ainda são muito caros. Na situação atual, o custo tende a aumentar. A Manufatura Aditiva não é uma aspirina que resolverá todos os problemas da fábrica. A questão de produtividade por exemplo ainda é uma incógnita que deve ser pesquisada [...] (Entrevistado 5).

Resta evidente que, dentre as respostas, o foco central foi a maneira de captar dinheiro para aquisição e implantação da Manufatura Aditiva e não como esta tecnologia poderia impactar economicamente as empresas. Impactos apresentados em outras categorias podem exemplificar esta preocupação com os resultados e não apenas com o investimento. A redução dos estoques e o menor tempo de atravessamento podem impactar diretamente o caixa da empresa. Com o tempo de atravessamento menor, e menos custos na cadeia (estoques, matéria-prima, mão de obra), gerir o caixa torna-se menos complexo.

No entanto, existem impactos negativos a serem considerados. A segurança da informação, por exemplo, pode elevar os custos de utilização da Manufatura Aditiva para proteger as empresas de cópias e utilização de desenhos e projetos de maneira ilegal. O Quadro 39 sintetiza os impactos da Manufatura Aditiva relacionados à categoria Recursos Financeiros.

Quadro 39: Síntese dos Impactos da Manufatura Aditiva na Categoria Recursos Financeiros

IMPACTOS POSITIVOS

IMPACTOS NEGATIVOS

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maior facilidade na gestão de caixa.</li> <li>• Redução dos custos de estoques.</li> <li>• Redução do tempo de atravessamento (desenvolvimento e manufatura).</li> <li>• Maior valor agregado dos produtos.</li> <li>• Iniciativas de programas governamentais de apoio à Indústria (conhecimento).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de recursos para investimento.</li> <li>• Necessidade de investimento em segurança da informação para os novos modelos de negócio.</li> <li>• Aumento do custo de mão de obra mais qualificada.</li> </ul>
---	---

Fonte: Elaborado pelo autor

Em síntese, os impactos positivos no resultado da empresa são voltados à redução de custos com estoques, possibilidade de diminuição do tempo de entrega (pensando em produto final) e de *time to market* (pensando em desenvolvimento de produto). Assim, o produto pode ser lançado mais rapidamente no mercado, antecipando sua participação no resultado da empresa e, se necessário, ser produzido em tempo menor do que nos modelos tradicionais de manufatura. Além disso, a customização permite maior percepção de valor no produto pelo cliente, o que pode agregar mais valor ao produto. Do ponto de vista dos impactos negativos, para viabilizar e manter a segurança de patentes e *royalties* dos produtos, será necessário investimento em segurança da informação, dado que a digitalização está substituindo etapas físicas de desenvolvimento e fabricação.

Ainda, destaca-se o baixo ou quase inexistente poder de investimento do Brasil para apoiar micro, pequenas e médias empresas para reduzir o *gap* de tecnologia com as empresas de maior poder econômico. A seguir, são apresentados os resultados da análise da categoria Sistema de Manufatura.

### 5.1.8 Sistema de Manufatura

A categoria de análise Sistemas de Manufatura foi a mais citada pelos entrevistados. Obteve um total de 60 incidências relacionadas a impactos positivos e negativos. Pelo critério de presença das incidências por entrevistado, verifica-se que 16 dos 19 entrevistados mencionaram algum aspecto relacionado a essa categoria. Ao ponderar a frequência e o critério de presença e ausência, a categoria Sistemas de Manufatura ainda foi a mais representativa entre as demais.

A Manufatura Aditivam sendo usada por algumas empresas diretamente nos sistemas de manufatura. Os produtos fabricados a partir dessa tecnologia se

assemelham quanto ao volume de produção, ou seja, a escala é pequena e os lotes tendem a ser unitários. Esta restrição se deve, atualmente, à velocidade dos equipamentos de Manufatura Aditiva, que ainda é reduzida e inviabiliza a produção em escala. Para que isso seja possível, com a tecnologia atual, seriam necessários vários equipamentos, o que, do ponto de vista do custo, tornaria o sistema de manufatura inviável. Essa perspectiva é ilustrada nos seguintes trechos:

Os lotes de produção são pequenos e como uma das grandes restrições da impressora 3D ainda é a velocidade, por este conjunto de características os equipamentos acabam atendendo tanto ao desenvolvimento quanto à produção [...] (Entrevistado 2).

O P&D está tentando colocar todos os itens de produção possíveis e internalizá-los na impressora 3D. Todas as peças que foram internalizadas para o processo de adição de material trouxeram vantagens em relação à terceirização quanto à flexibilidade e ao custo, além da flexibilização do prazo [...] (Entrevistado 2).

Na parte de produção propriamente dita, pelo menos no Brasil, a Manufatura Aditiva está sendo utilizada na manufatura para a produção de dispositivos, ferramentas e fixadores para linhas de produção e montagem. Desta forma, ao invés da empresa usinar essas ferramentas (o que gasta muito tempo e dinheiro), elas imprimem em 3D [...] (Entrevistado 4).

Porém existem empresas fora do Brasil que estão aplicando. A Siemens Mobility, por exemplo, está fazendo impressão de peças para uso direto nos trens, a Airbus também imprime peças de uso final [...] (Entrevistado 4).

Nota-se que as empresas que começaram a usar a Manufatura Aditiva com a experiência tendem a aumentar a quantidade de peças e componentes a serem fabricados por ela. Contudo, do ponto de vista das empresas que têm alto volume de produção, como a indústria do calçado, por exemplo, a Manufatura Aditiva impacta positivamente o desenvolvimento de produtos, mas negativamente a produção propriamente dita. Essa afirmação pode ser ilustrada no seguinte trecho:

Para nós, dentro do que a gente tem, até culturalmente, ainda não cabe, porque quando você fala de chinélos ou até mesmo calçados fechados de outras marcas, você sempre pensa em alta produção, o pensamento que se

tem é que ainda, você ainda não consegue minimizar os problemas para este tipo de demanda [...] (Entrevistado 7).

Conforme comentado, o efeito que inviabiliza a utilização da Manufatura Aditiva em produção em grande escala é o custo dos equipamentos, especialmente no Brasil. Evidências dessa afirmação podem ser ilustradas nos trechos apresentados a seguir. Destaca-se que até um quantitativo desse custo é abordado:

Por conta deste desenvolvimento, a tecnologia poderá ser aplicada para a produção de produtos finais, porém no Brasil, devido aos custos, neste momento é inviável. O grande desafio da Manufatura Aditiva está relacionado com a competitividade do preço [...] (Entrevistado 4).

Existem alguns processos avançados que em algum tempo podem estar substituindo equipamentos tradicionais, mas são extremamente caros, chegam na ordem de 3 milhões de euros o aluguel da máquina por mês, então para justificar um equipamento desses em momento de crise, isto não é possível [...] (Entrevistado 10).

Isto posto, identificada a possibilidade do uso da Manufatura Aditiva para fabricação de produtos finais hoje e no futuro, discute-se a viabilidade da Manufatura Aditiva substituir os sistemas de manufatura tradicionais. Essa questão levou a um consenso entre os entrevistados. A Manufatura Aditiva não irá substituir os sistemas tradicionais de manufatura, mas será mais uma tecnologia a somar-se a eles para potencializar resultados. As linhas de montagem, por exemplo, não tendem a ser excluídas. O Entrevistado 11 destaca que “[...] a tendência de manufatura, agora, não é mais tu substituir o outro e sim os dois se somarem nos processos [...]”. O grande impacto positivo da Manufatura Aditiva neste sentido é a fabricação de itens para a montagem final. Esse ponto fica evidente no seguinte trecho:

A Manufatura Aditiva é uma melhoria de processo. Ela não irá substituir totalmente a manufatura tradicional [...]. A Manufatura Aditiva pode ajudar a reduzir/encurtar a cadeia nas operações anteriores à linha de montagem, mas a montagem continua (Entrevistado 5).

Destacam-se ainda aspectos positivos relacionados ao *layout* fabril. A utilização da Manufatura Aditiva reduzirá o número de operações necessárias para a fabricação dos produtos e, por consequência, o *layout* tende a diminuir a necessidade de espaços e pode vir a deixar equipamentos tradicionais obsoletos. Em alguns casos, o ambiente de fabricação pode se restringir a uma sala. Ainda nesta linha, destaca-se também a redução dos estoques do ambiente de manufatura, pois as peças podem ser substituídas por insumos para consumo das impressoras:

Ao invés de um monte de peças guardadas tu tens rolos de filamento e prototipa de acordo com o que tu precisas, assim tu já sais da prototipagem para fabricação final de uso, então muitas montadoras estão fazendo partes do carro [...] (Entrevistado 11).

Estão sendo realizados alguns testes colocando texturas de impressão 3D, porque muitas peças automobilísticas estão sendo impressas há algum tempo e a tendência com a popularização da tecnologia é que a fabricação vai ser final, o que diminui muito o processo de logística, fabricação, estoque [...] (Entrevistado 11).

Resta evidente que o sistema de manufatura será impactado positivamente ainda no que se refere ao processo de logística interna e controle de estoques. Outro impacto positivo tem relação com a manutenção propriamente dita. A Manufatura Aditiva permite que peças sobressalentes possam ser impressas para conserto de equipamentos, não sendo mais necessário investimento em estoques de peças ou até mesmo o risco de ficar com equipamentos parados esperando uma peça importada de alto valor. Os estoques físicos podem ser substituídos por estoques digitais. Cabe acrescentar, ainda, que impacta positivamente na variabilidade da produção, visto que o número de operações é menor.

Entretanto, no caso de o equipamento parar, a Manufatura Aditiva é mais disruptiva, o risco é maior, o que pode ser considerado um impacto negativo. Todo processo pode apresentar falhas e, em um processo único, se houver falha, perde-se toda a produção, pois o sistema não está protegido. Do ponto de vista dos impactos positivos, destaca-se a velocidade de trazer uma peça do mundo virtual para o mundo real: “Hoje não existe maneira mais rápida de tirar uma peça do

ambiente virtual e trazê-la para o real. O que antes levava meses para ser produzido, a impressora 3D faz em dias ou horas [...]” (Entrevistado 9).

A Manufatura Aditiva utilizada pelos sistemas de manufatura pode gerar impacto negativo para empresas voltadas à produção em massa. Não serão todos os processos que poderão ser transferidos para a Manufatura Aditiva. Cada situação deve ser avaliada. Essa preocupação é evidenciada no seguinte trecho:

Se pensarmos isso para a linha da GM, por exemplo, pelo volume de produção não seria viável nos dias de hoje. Apesar disso, temos que considerar que essa linha do tempo da Manufatura Aditiva não é linear. O que pensamos ser viável daqui a 10 anos pode se consolidar em 3 anos dada a velocidade da inovação e avanço das tecnologias [...] (Entrevistado 6).

No que se refere a recursos humanos, o desemprego é apontado como uma consequência natural da utilização da Manufatura Aditiva, pois uma série de operações tendem a desaparecer. No entanto, novos tipos de profissionais devem surgir. As profissões atuais não serão as mesmas daqui a 10 ou 15 anos. Mesmo que sejam necessários mais profissionais qualificados, aquela mão de obra comum (sem qualificação) tende a desaparecer, o que é uma realidade e gera preocupação, tal como evidencia a seguinte afirmação:

Não só a Manufatura Aditiva, mas a Indústria 4.0 como um todo. É uma indústria que não tem ninguém trabalhando no ciclo dela, ela produz, verifica, certifica, empacota e entrega, e tem o técnico da máquina que faz a manutenção sem a máquina parar. E o que faremos com todos os operadores que existiam lá? [...] (Entrevistado 6).

Em resumo, será reduzida a mão de obra na produção, mas será necessária maior especialização para lidar com esse tipo de produção nas áreas de apoio com possíveis aumento de quadro de funcionários. Saem os funcionários que apenas operam máquinas e entram profissionais mais qualificados. O Quadro 40 apresenta a síntese dos impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas de manufatura.

Quadro 40: Síntese dos Impactos da Manufatura Aditiva na Categoria Sistema de Manufatura

IMPACTOS POSITIVOS

IMPACTOS NEGATIVOS

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Internalização de produção.</li> <li>• Menor custo de produção para baixa escala de produção.</li> <li>• Customização sem aumentar o custo.</li> <li>• Redução do espaço físico (layout).</li> <li>• Menor complexidade dos roteiros de produção.</li> <li>• Menor variabilidade.</li> <li>• Redução do estoque em processo.</li> <li>• Redução da perda por transporte.</li> <li>• Qualificação da mão de obra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tempo de operação elevado.</li> <li>• Inviável para produção em massa.</li> <li>• Por concentrar a produção em um único equipamento, a quebra pode parar a produção por inteiro.</li> <li>• Desemprego.</li> </ul>
--	---

Fonte: Elaborado pelo autor

Em síntese, os impactos positivos da Manufatura Aditivados sistemas produtivos, com as tecnologias existentes atualmente, são melhor percebidos nas empresas com produção em baixa escala e de produtos customizados. Para essa realidade, é possível identificar a produção em fluxo unitário e a redução dos estoques em processo, o que impacta diretamente a redução do *lead time*. Além disso, a produção é realizada em menor espaço físico, com menor complexidade dos roteiros e menor variabilidade. A velocidade dos equipamentos de Manufatura Aditiva é o ponto a ser resolvido para viabilizar a utilização da tecnologia para a produção em massa. A seguir, são apresentadas as análises da categoria Tempos e Métodos.

### 5.1.9 Tempos e Métodos

A categoria de análise Tempos e Métodos apresenta quantidade similar de impactos positivos e negativos na análise de frequência. Tanto na análise de frequência total quanto na frequência ponderada, a categoria foi a terceira em termos de volume de incidências nos impactos positivos e a primeira em número de incidências de impactos negativos. Pelo critério de presença das incidências por entrevistado, verifica-se que 17 dos 19 entrevistados mencionaram algum aspecto relacionado a essa categoria.

A Manufatura Aditiva, por fabricar produtos por meio da adição de camadas, não tem necessidade do uso de moldes ou ferramentas. Devido essa característica, os tempos de *setup* para troca de ferramenta, matriz ou molde é praticamente nulo. Ao trocar de um produto para outro, se o mesmo material for mantido para produção,

o tempo de troca tende a zero. No entanto, é possível que haja casos que necessitem a troca de cor ou material. Nesse sentido, quando o material a ser trocado é o plástico, o tempo de troca é praticamente nulo, melhorando a disponibilidade do equipamento, como ilustrado no trecho a seguir:

A troca de material é praticamente nula. Nessa troca se perde uma quantidade mínima de material. Isso permite aumentar a flexibilidade do equipamento e reduz seu tempo parado [...] (Entrevistado 3).

Quando a tecnologia é um equipamento de Manufatura Aditivametálica, a complexidade da troca aumenta. O *setup* do material, nestes equipamentos, apresenta um tempo mais elevado que os tempos de troca da manufatura tradicional. O pó metálico é sensível à contaminação e isso pode afetar a qualidade do produto final caso não seja controlado. Essa perspectiva é exemplificada no seguinte trecho:

No que tange à Manufatura Aditiva, o Senai acabou de adquirir um equipamento de Manufatura Aditivametálica industrial e a informação que se obteve do fornecedor foi que para trocar o material do equipamento (*setup* do material) demora em torno de duas semanas. Isto ocorre porque o processo é muito minucioso na questão de contaminação do pó, pois são partículas muito finas [...] (Entrevistado 1).

A grande restrição da Manufatura Aditiva restou evidente nesta categoria de análise. Um impacto negativo e que inviabiliza o uso da Manufatura Aditiva por um número maior de empresas é o tempo de ciclo elevado. Das 11 incidências sobre impactos negativos identificadas e classificadas, nove delas destacam que o tempo de produção da Manufatura Aditiva é a maior restrição. Alguns trechos que ilustram essa percepção são apresentados:

O ponto principal que restringe a utilização é o tempo de produção. Para sistemas com produção em massa por exemplo a tecnologia não é viável sob o ponto de vista do tempo de ciclo alto. Para atender a demanda, a empresa teria que disponibilizar muitos equipamentos, o que inviabilizaria a produção sob o ponto de vista dos custos no curto prazo [...] (Entrevistado 2).



Essa tecnologia tem uma desvantagem que é o tempo de fabricação. O tempo para a conclusão do produto ainda é alto. Porém isso depende da tecnologia. Fisicamente a tecnologia FDM necessita deste tempo [...] (Entrevistado 3).

O problema maior da Manufatura Aditiva atualmente é o tempo. Para certas ocasiões é muito rápido, versátil, porém para larga escala, produção em massa é demorado [...] (Entrevistado 6).

Quando a comparação do tempo de fabricação da Manufatura Aditiva com a manufatura tradicional é realizada olhando apenas o equipamento e as tecnologias existentes atualmente, o elevado tempo de ciclo da Manufatura Aditiva sempre será considerado um impacto negativo. No entanto, quando esta análise é realizada de maneira sistêmica, a Manufatura Aditiva pode, em alguns casos, ser mais competitiva.

A Manufatura Aditiva não precisa formar um lote mínimo para compensar um *setup* e nem precisa formar lote de produção. Ela permite produzir os modelos de acordo com a demanda em fluxo unitário. Além disso, ela concentra grande parte das operações de fabricação de componentes da manufatura tradicional em um único equipamento, o que permite reduzir estoque em processo e consequentemente o *lead time*. Sendo assim, a comparação e análise de viabilidade da Manufatura Aditiva em relação aos processos de manufatura tradicionais deve ser avaliado de acordo com o *lead time* de fabricação e não pelo tempo de ciclo. Os trechos apresentados a seguir ilustram essa afirmação:

Com relação ao tempo de ciclo, atualmente, no caso de componentes metálicos por exemplo, alguns componentes podem até ser mais rápidos no que tange ao ciclo, porém para comparação com a Manufatura Aditiva deve ser avaliada a cadeia como um todo [...] (Entrevistado 1).

Comparando com a tecnologia tradicional, a Manufatura Aditiva é muito mais rápida, uma vez que se deve olhar o *lead time* do processo tradicional que é o mesmo tempo do ciclo da Manufatura Aditiva [...] (Entrevistado 4).

Pegando processos anteriores, por exemplo, o processo forjado, tínhamos um *lead time* de uma peça em torno de 15 a 20 dias. Hoje com processo MIM coloco a peça pronta no meu cliente em 4 dias. Ainda, na questão do volume, no forjado eu fazia uma peça em 20 dias, no processo MIM eu

consigo fazer 1 peça em 4 dias e também consigo fazer 1.000 peças em 4 dias [...](Entrevistado 17).

Ao realizar a comparação de maneira sistêmica, pelo tempo de atravessamento, é possível que a fabricação de alguns produtos via Manufatura Aditivatorem-se viáveis, porém o volume de produção ainda alimenta a discussão do tempo de ciclo. Segundo o Entrevistado 13, “[...] o que vai deixar a Manufatura Aditivamais competitiva é a velocidade de impressão [...]”. Para o Entrevistado 16, “[...] será uma combinação de três coisas, custo, tempo e qualidade [...]”. Para a produção em massa, essa barreira precisa ser quebrada. Evidencia-se esta preocupação, também, no seguinte trecho: “O tempo né, mesmo a gente fazendo as pessoas entenderem que as pessoas não devem comparar com o tempo de ciclo e sim com o tempo de atravessamento pela redução de etapas, o tempo é muito alto [...]” (Entrevistado 18).

Cabe destacar que a velocidade de impressão está avançando rapidamente, ou seja, a tecnologia melhorou entre cem e mil vezes apenas nos últimos quatro anos. A máquina em si tem condições de ser mais rápida, porém atualmente quem deve evoluir é o software do equipamento. O Quadro 41 apresenta os impactos da Manufatura Aditivana categoria Tempos e Métodos.

Quadro 41: Síntese dos Impactos da Manufatura Aditivana Categoria Tempos e Métodos

IMPACTOS POSITIVOS	IMPACTOS NEGATIVOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elimina <i>setup</i> de molde.</li> <li>• Redução do tempo de troca de cor.</li> <li>• Redução do tempo de troca de material para insumos termoplásticos.</li> <li>• Redução do tempo de atravessamento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tempo elevado para troca de material metálico.</li> <li>• Tempo de ciclo elevado.</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor

Em síntese, a restrição para o uso da Manufatura Aditivaé o elevado tempo de ciclo dos equipamentos. Nota-se que esse tempo apresenta uma evolução significativa nos últimos quatro anos, porém para a produção em escala ele ainda representa um problema. Para a produção customizada, mesmo com o tempo elevado de ciclo, a análise sistêmica do tempo de atravessamento viabiliza e deixa competitiva a Manufatura Aditivano processo de fabricação dos produtos.

Finalizadas as análises das categorias dos sistemas produtivos, a próxima seção analisa as entrevistas por categoria de entrevistados.

## 5.2 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ESPECIALISTAS

Esta análise por grupos tem a finalidade de encontrar, entre os grupos, convergências, divergências e complementariedades de percepções sobre os impactos da Manufatura Aditivados sistemas produtivos. No sentido de ilustrar as frequências dos registros das categorias em cada grupo de entrevistados, o Quadro 42 apresenta a frequência absoluta de registros das respostas por grupo de entrevistados.

Quadro 42: Análise de Frequência Absoluta por Grupo de Especialistas

Grupos	Des. de Produto		Engenharia de Processo		Fornecedores		Marketing e Vendas		Matéria-Prima		PCP		Recursos Financeiros		Sistema de Manufatura		Tempos e Métodos	
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
Fabricantes e Representantes	13	0	5	1	2	0	6	0	3	0	2	0	0	0	24	4	10	0
Usuários	30	4	14	1	3	0	11	0	19	4	13	0	1	0	27	4	22	10
Formuladores de Políticas Públicas	1	0	0	0	0	0	3	0	1	1	0	0	5	3	1	0	1	1
<b>Totais</b>	<b>44</b>	<b>4</b>	<b>19</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>20</b>	<b>0</b>	<b>23</b>	<b>5</b>	<b>15</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>52</b>	<b>8</b>	<b>33</b>	<b>11</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

Observando apenas o total de frequência dos registros, é possível verificar tanto semelhanças como diferenças entre os padrões de resposta. Estas características específicas entre os grupos são discutidas a seguir. Para tal, a próxima seção apresenta as percepções convergentes entre os grupos de entrevistados.

### 5.2.1 Aspectos Convergentes e Complementares

De maneira geral, a maior parte das categorias analisadas foram convergentes quanto aos impactos apresentados. Cabe destacar que, na categoria Formuladores de Políticas Públicas, a maior parte dos impactos foi apontado pelo Entrevistado 16, representante do grupo de Formuladores de Políticas Públicas dos Estados Unidos. Os representantes do governo brasileiro focaram suas respostas na categoria Recursos Financeiros.

No que se refere à categoria Desenvolvimento de Produto, as percepções a respeito dos impactos foram convergentes nos três grupos analisados. Dentre os aspectos convergentes, alguns merecem destaque. Primeiro, destacado por todos os grupos como uma realidade e uma das maiores vantagens da utilização da Manufatura Aditivano desenvolvimento de produtos é a comprovada redução do tempo de desenvolvimento (*lead time* de desenvolvimento) e de custos de desenvolvimento. Essa redução do tempo de desenvolvimento é complementada pelo grupo de fabricantes e representantes, destacando que esta redução do tempo de desenvolvimento permite antecipar o produto no mercado, adiantando o retorno sobre o investimento e impactando financeiramente o resultado da empresa.

Segundo, todos os grupos convergiram quanto à liberdade geométrica proporcionada pela Manufatura Aditiva, que pode fazer com que os projetos dos produtos sejam alterados pensando na redução do consumo de matéria-prima e possibilitando a redução de peso dos produtos fabricados a partir da Manufatura Aditiva. Tanto o grupo Formuladores de Políticas Públicas quanto o Grupo de Usuários complementaram este impacto no sentido de que, com a Manufatura Aditiva, o limite é a criatividade, ou seja, os engenheiros de produto e os *designers* não precisam mais se limitar a formas e modelos existentes, e sim, quebrar o paradigma do desenvolvimento voltado para a fabricação da manufatura tradicional. Terceiro, também foi consenso entre os grupos que a falta de conhecimento em relação à Manufatura Aditiva é considerada um impacto negativo para a disseminação do uso da mesma nos ambientes produtivos.

Para a Engenharia de Processos, houve convergência entre os grupos Fabricantes e Representantes e Usuários e Formuladores de Políticas Públicas no que se refere à redução do *lead time* de fabricação por meio de *layouts* mais flexíveis. Estes impactos foram complementados pelo grupo dos Usuários como positivos para a potencialização dos resultados perseguidos pelo *Lean Manufacturing*. Além disso, o grupo de Usuários complementou que o grande impacto da Manufatura Aditivana flexibilidade do *layout* está na possibilidade da multifuncionalidade da mão de obra. Os grupos também convergiram na restrição da Manufatura Aditiva, com a tecnologia atual, para uso em produção de alto volume.

Quanto a Fornecedores, os impactos positivos e negativos não foram consenso entre os grupos, porém não houve divergências. A internalização dos processos antes terceirizados foi apresentada como vantagem pelo grupo dos

Usuários e complementada pelo grupo dos Fabricantes e Representantes. Com a internalização proporcionada pela utilização da Manufatura Aditiva, há uma redução do tempo de resposta e do custo. A virtualização dos estoques foi mencionada como vantagem pelos grupos Formuladores de Políticas Públicas e Usuários, também como impacto positivo. Quanto aos impactos negativos, estes ficaram restritos à limitação do número de fornecedores no cenário atual. Esta preocupação foi destacada apenas pelo Grupo de Usuários, mas não foi contrariada pelos demais grupos de entrevistados.

Dentre os impactos destacados na categoria de análise Marketing e Vendas, foi consenso entre os grupos de entrevistados que a Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos vai alterar os modelos de negócio. O grupo dos Usuários complementou a afirmação destacando que os Centros de Distribuição atuais poderão ser substituídos por *hubs* de Manufatura Aditiva, onde o estoque físico de peça será substituído pelos equipamentos de Manufatura Aditiva. Outro impacto positivo destacado pelo grupo dos Fabricantes e Representantes foi a redução do *time to Market*, impacto este que pode auxiliar na sustentabilidade financeira da empresa, conforme complementa o grupo dos Usuários. A possibilidade de fabricação de produtos que até hoje, devido à limitação de tecnologia, não eram possíveis é destacada como oportunidade de mercado. Além disso, também é uma oportunidade o desenvolvimento da tecnologia, ou seja, trabalhar no desenvolvimento de tecnologias que reduzam ou eliminem as restrições atuais do uso da Manufatura Aditiva por um grupo mais amplo de empresas. Estes dois impactos finais foram apresentados pelo grupo Formuladores de Políticas Públicas.

No que se refere à Matéria-Prima, todos os grupos de entrevistados destacaram a redução do desperdício de material para os produtos fabricados a partir da Manufatura Aditiva. Como complemento a este impacto, o grupo de usuários destacou a redução do peso dos produtos, consequência da melhor utilização do material e da liberdade geométrica.

O Planejamento e Controle de Produção não apresentou discordância entre os grupos de entrevistados, porém os impactos mencionados pelos grupos foram distintos. Os Usuários destacam a rastreabilidade dos produtos, e não mais dos lotes, facilitando a identificação das peças em qualquer ponto da cadeia. Além disso, os Usuários também destacam que a Manufatura Aditiva impacta positivamente a programação, pois propicia lotes unitários e fabricação de kits. Esta fabricação de

kits auxilia na filosofia *just in time*, aspecto complementado por um entrevistado do grupo de Usuários. O grupo dos usuários e o grupo de Fabricantes e Representantes ainda convergem quanto à redução da complexidade da gestão da capacidade x demanda pela redução do número de operações a serem monitoradas.

No que se refere a Recursos Financeiros, Formuladores de Políticas Públicas e Usuários destacaram que são necessários programas para viabilizar investimentos. Entretanto, o grupo Formuladores de Políticas Públicas destacou a falta de recursos, por parte do país, para que esses programas sejam implementados. Destaca-se ainda que os grupos falaram apenas da questão investimento, não contribuindo para “o como” a Manufatura Aditiva poderia afetar o resultado econômico financeiro das empresas.

Não foram verificadas divergências entre os grupos de entrevistados na categoria de análise Sistema de Manufatura. Todos os grupos de entrevistados concordam com a viabilidade da Manufatura Aditiva para produção em baixa escala. Para esse tipo de produção, depois de iniciado o uso da Manufatura Aditiva, as empresas incrementam a quantidade de produtos a serem produzidos a partir dessa tecnologia. Essa afirmação é complementar à produção de baixa escala e foi apresentada pelos Usuários. Cabe dizer que todos os grupos estão de acordo quanto à inviabilidade para a produção em larga escala (com a tecnologia existente atualmente). Para complementar, os grupos Formuladores de Políticas Públicas e Usuários destacam que o custo elevado inviabiliza o uso para esse tipo de produção. As percepções de todos os grupos ainda convergem quanto à redução do número de operações e redução da complexidade de gestão da produção e de que a Manufatura Aditiva será complementar aos sistemas convencionais de produção. Quanto ao desemprego, há consenso de que atividades mais comuns, operacionais irão desaparecer e que novas atividades (que exigem maior qualificação serão criadas).

Impactos convergentes na categoria Tempos e Métodos e que foram destacados por todos os grupos relacionam-se à eliminação do tempo de troca de ferramental e do elevado tempo de ciclo. Para o grupo de Fabricantes e Representantes, há redução do tempo de troca de cor e de material. A seguir, serão apresentados os aspectos divergentes encontrados entre os grupos.

### **5.2.2 Aspectos Divergentes**

As divergências entre os grupos de entrevistados ficaram restritas a impactos registrados em apenas três categorias de análise, a saber: i) Matéria-Prima; ii) Recursos Financeiros; e iii) Tempos e Métodos. Cabe destacar que essas divergências não ocorreram na totalidade dos impactos dessas categorias, e sim, em impactos isolados e que serão discutidos nesta seção.

Houve divergência entre as percepções do grupo de Usuários e Formuladores de Políticas Públicas quando comparada as percepções dos Fabricantes e Representantes, no que diz respeito à limitação de materiais para o uso da Manufatura Aditiva. Os grupos Usuários e Formuladores de Políticas Públicas afirmam que o número de materiais é limitado e que restringe o uso. Para o grupo de Representantes e Fabricantes, esta é uma restrição que não é mais um problema, pois a gama de materiais vem aumentando de maneira rápida nos últimos anos.

A divergência apresentada no que tange a Recursos Financeiros ocorreu no sentido da percepção dos entrevistados. As respostas não abordaram o impacto da Manufatura Aditiva no resultado das empresas, mas na maneira de viabilizar algum tipo de investimento. Sendo assim, a divergência restou evidente no entendimento do ponto a ser analisado.

Na categoria Tempos e Métodos, verifica-se que um entrevistado da categoria Usuários registra que, para a Manufatura Aditiva metálica, o tempo de troca de material é mais elevado até que a manufatura tradicional, divergindo da afirmação apresentada pelo grupo de Fabricantes e Representantes. A seguir, será apresentada a síntese da análise dos entrevistados por grupos.

### **5.2.3 Síntese dos Aspectos Convergentes, Divergentes e Complementares entre os Grupos de Especialistas**

Para sintetizar os resultados da análise entre os grupos de entrevistados, foi desenvolvido o Quadro 43. Esse quadro apresenta os aspectos convergentes, divergentes e complementares entre cada grupo de entrevistados. Ainda, esta análise foi dividida entre as categorias de análise para a avaliação dos impactos da Manufatura Aditivados sistemas produtivos.



Quadro 43: Síntese dos Aspectos Convergentes, Divergentes e Complementares entre os Grupos de Entrevistados

Categoria de Análise	Convergências	Divergências	Complemento
<b>Desenvolvimento de Produto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do tempo e custo de desenvolvimento de produto (Todos os Grupos).</li> <li>• Flexibilidade do <i>Layout</i> (Todos os Grupos).</li> <li>• Pouco conhecimento da tecnologia no mercado (Todos os Grupos).</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Antecipação do produto no mercado e do Retorno sobre o investimento e no resultado financeiro da empresa (Fabricantes e Representantes).</li> </ul>
<b>Engenharia de Processo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do <i>lead time</i> de fabricação para baixos volumes (Todos os Grupos).</li> <li>• Flexibilidade da manufatura (Todos os Grupos).</li> <li>• Inviável para produção em larga escala (Todos os Grupos).</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auxilia nos princípios do <i>Lean Manufacturing</i> (Usuários).</li> <li>• Propicia melhor aproveitamento da mão de obra multifuncional (Usuários).</li> </ul>
<b>Fornecedores</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Internalização dos processos (Usuários e Fabricantes e Fornecedores).</li> <li>• Estoques virtuais (Usuários e Formuladores de Políticas Públicas).</li> <li>• Limitação do número de fornecedores (Usuários e Formuladores de Políticas Públicas).</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A internalização melhora o tempo de resposta e diminui o custo para a empresa (Fabricantes e Representantes).</li> </ul>
<b>Marketing e Vendas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mudança nos modelos de negócios (Todos os Grupos).</li> <li>• Fabricar “coisas” que antes não eram possíveis (Formuladores de Políticas Públicas e Usuários).</li> <li>• Desenvolvimento da Tecnologia de Manufatura Aditiva (Formuladores de Políticas Públicas e Fabricantes e Representantes).</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Substituição de Centros de Distribuição por <i>hubs</i> de impressão (Usuários).</li> <li>• Redução do <i>time</i> do Market (Fabricantes e Representantes).</li> <li>• Sustentabilidade financeira da empresa (Autor).</li> </ul>

Categoria de Análise	Convergências	Divergências	Complemento
<b>Matéria-Prima</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do desperdício de Materiais (Todos os Grupos).</li> <li>• Menor consumo de material proporcionado pela liberdade geométrica (Todos os Grupos).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os grupos Formuladores de Políticas Públicas e Usuários entendem a variedade de materiais como um limitante, porém o grupo de Fabricantes e Representantes afirma que essa não é mais uma limitação da Manufatura Aditiva.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução de peso das peças (Usuários).</li> </ul>
<b>Planejamento e Controle de Produção</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução da complexidade da gestão da capacidade x demanda (Usuários e Fabricantes e Representantes).</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auxilia na filosofia da programação <i>just in time</i> (Usuários).</li> <li>• Rastreabilidade do produto e não mais do lote (Usuários).</li> <li>• Formação de kits (Usuários).</li> </ul>
<b>Recursos Financeiros</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ações para viabilizar investimentos (Usuários e Formuladores de Políticas Públicas).</li> <li>• Falta de recursos para apoio às empresas (Usuários e Formuladores de Políticas Públicas).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A questão foi tratada no sentido de investimento e não de como a Manufatura Aditivapoderia impactar no resultado econômico financeiro das empresas (Todos os grupos).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A redução de estoques, <i>lead time</i>, e <i>time to Market</i>, por exemplo, são impactos que poderiam ser abordados pelos entrevistados (Autor).</li> </ul>

Categoria de Análise	Convergências	Divergências	Complemento
<b>Sistema de Manufatura</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Viabilidade para produção em baixa escala (Todos os Grupos).</li> <li>• Inviabilidade da Manufatura Aditiva (com a tecnologia atual) para produção em alta escala (Todos os Grupos).</li> <li>• A Manufatura Aditiva será complementar aos sistemas de manufatura tradicionais/convencionais (Todos os Grupos).</li> <li>• Redução da complexidade de gestão da produção (Todos os Grupos).</li> <li>• Desemprego para atividades mais simples/operacionais e incremento de atividades que exigem maior capacitação (Todos os Grupos).</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A partir das primeiras peças fabricadas, as empresas estão incrementando o uso da Manufatura Aditiva para outros produtos (Usuários).</li> <li>• A Manufatura Aditiva será mais uma tecnologia a ser somada às tecnologias existentes (Formuladores de Políticas Públicas).</li> </ul>
<b>Tempos e Métodos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminação do tempo de <i>setup</i> de ferramental (Todos os Grupos).</li> <li>• Redução do tempo de troca de cor (Todos os Grupos).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O tempo de troca de material, para a Manufatura Aditiva metálica é mais elevado até do que a manufatura tradicional (Usuários). Essa afirmação diverge do grupo de Fabricantes e Representantes que destacam que a troca de material é rápida.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A diferença que pode explicar essa divergência está relacionada ao tipo de material. Para termoplásticos, a troca é rápida e, para metal, devido à contaminação, tem seu tempo elevado (Autor).</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor

### 5.2.4 Análise Complementar do Grupo Formuladores de Políticas Públicas

Ao analisar as respostas dos entrevistados do grupo de Formuladores de Políticas Públicas, identificou-se que, para os dois entrevistados que representaram o governo brasileiro, as contribuições para os impactos nas categorias de análise do Sistema Produtivo foram reduzidas. No entanto, outros temas complementares foram mencionados. Para aproveitar essas respostas, categorias de análise *a posteriori* foram criadas, com base no aparecimento das mesmas durante a codificação das entrevistas transcritas.

Sendo assim, esta seção tem como objetivo identificar perspectivas complementares que possam contribuir com o trabalho. Assim, as categorias identificadas foram: i) Deficiências; ii) Infraestrutura; iii) Iniciativas; iv) Investimento; e v) Parque industrial. O Quadro 44 apresenta a distribuição de frequências desta análise.

Quadro 44: Frequência Absoluta da Análise Complementar do Grupo Formuladores de Políticas Públicas

Entrevistados	Deficiências		Desafios		Infraestrutura		Iniciativas		Investimento		Parque Industrial	
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
Entrevistado 14	2	1	1	-	-	-	6	1	3	3	-	2
Entrevistado 15	3	2	1	-	-	2	4	-	2	2	-	4
Entrevistado 16	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Totais</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>6</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando as categorias criadas, as duas mais citadas pelos entrevistados são relacionadas às iniciativas do governo e dos investimentos. Questões de infraestrutura foram as menos abordadas. Dentre as iniciativas apresentadas pelos entrevistados, destacam-se parcerias junto à Secretaria de Inovação. Essa parceria gerou um conjunto de reuniões para discussão da manufatura avançada no Brasil. Um plano de trabalho foi criado e, deste plano, o trabalho principal foi um estudo em que seria verificado o estado da manufatura avançada em países como China, Alemanha e Estados Unidos. Organizou-se, então, uma série de entrevistas com empresas desses países, porém os resultados nunca foram publicados:

Esta iniciativa acabou parando porque a ABDI (Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial) mudou seu foco, ela foi para ao lado do empreendedorismo. Além disso, tiveram uma redução de pessoal [...]. (Entrevistado 14).

Além do EMBRAPII, destacado na categoria Recursos Financeiros na análise anterior, o Brasil possui um programa que recebeu cerca de R\$ 200 milhões, o Sistema Brasileiro de Tecnologia (SIBRATEC) e que também pode apoiar as empresas nacionais no que tange ao desenvolvimento tecnológico, totalmente alinhado ao tema da Manufatura Aditiva. Por fim, foi desenvolvido um programa em que especialistas brasileiros eram consultados sobre como o assunto da manufatura avançada estava sendo tratado no Brasil. Esta iniciativa é apresentada no seguinte trecho:

Esta iniciativa foi gerenciada pelo MDIC (Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviço) e tinha um contrato com a Unesco. Então eles conseguem contratar consultores como o professor Jeferson Gomes, diretor do SENAI/SC. Foram realizados 8 workshops em todo país, sendo consultados mais ou menos 300 especialistas em todo o Brasil [...]. (Entrevistado 14).

Esta iniciativa gerou o relatório “Perspectivas de especialistas brasileiros sobre a manufatura avançada no Brasil: um relato de workshops realizados em sete capitais brasileiras em contraste com as experiências internacionais”. Este relatório está disponível no site do MDIC.

O referido relatório procurou apresentar a manufatura avançada e discutir como a manufatura avançada pode auxiliar as empresas brasileiras, por meio de oito workshops, realizados com grupos de especialistas nos estados de São Paulo (2), Rio de Janeiro, Minas Gerais, Santa Catarina, Pernambuco, Bahia e no Distrito Federal. Os especialistas participantes do workshop foram selecionados por notório saber na temática manufatura avançada, e os observadores foram selecionados pela sua capacidade transversal para contribuir com os encaminhamentos do tema dentro de suas organizações.

Estes workshops derivaram um conjunto de prioridades e ações, em nível estratégico. Os temas prioritários foram assim classificados: i) gestão da informação e do conhecimento tecnológico (69%); ii) Internet Industrial das Coisas (*Internet of*

*Things – IoT*), com 11%; iii) os impactos das tecnologias de Digitalização e consequente integração ciberfísica (7%); iv) oportunidades geradas pela maior utilização de Sensores e Atuadores (7%); e v) uso de demais tecnologias para novos negócios e a modernização do parque fabril (Gestão de *Big Data*, Novos Materiais, Máquinas Híbridas, Robótica Autônoma) representando 5%.

Cabe destacar que a Manufatura Aditiva foi negligenciada, não sendo escolhida como prioridade e não discutida no relatório. Ao identificar o potencial que a Manufatura Aditiva apresenta para alterar os sistemas produtivos das organizações e suas repercussões na competitividade, negligenciar a tecnologia na discussão do tema traz impactos negativos para o Brasil. Países como China e Estados Unidos (FORD, 2014; LONG et al., 2017) colocam a Manufatura Aditiva como prioridade em seus estudos. Tal feito pode conferir diferencial competitivo para estes países.

Ainda no que tange a iniciativas, o governo brasileiro está estudando o modelo americano, segundo o qual se especializam universidades em algum tema específico e depois atendem nacionalmente as empresas interessadas. Esse modelo, conforme citado no trecho a seguir, é passível de ser realizado no Brasil:

Nos EUA, eles se especializam, eles atendem nacionalmente, eles ficam no Texas, em Ohio, em qualquer lugar, mas eles têm a vocação de atender nacionalmente. Isso é perfeitamente possível de fazer aqui no Brasil [...]. Então, a gente está começando agora a financiar o primeiro projeto nessa linha para que a gente possa ter um modelo para ver se vai dar certo [...](Entrevistado 15).

Para discutir sobre investimentos, foi apresentado um exemplo dos Estados Unidos, que mostra a diferença com relação ao Brasil. Lá, os projetos são financiados por grandes corporações. O governo, como contrapartida, contribui com o mesmo valor colocado pelas grandes corporações. No Brasil, a visão é diferente conforme trecho a seguir:

[...]o Brasil está muito acostumado, as empresas principalmente, as universidades, eles estão acostumados a viver com o dinheiro do governo e o governo não tem mais esse dinheiro, nem que passe a crise, o governo não vai ter esse dinheiro que sempre teve para financiar, então é muito importante que sejam desenvolvidas novas formas de financiamento e de compartilhamento de recursos [...](Entrevistado 15).

Ainda que os problemas de investimento sejam resolvidos e os programas tomem forma mais consistente, são apresentadas algumas deficiências a serem discutidas. A questão burocrática é um grande entrave no quesito tecnologia. O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), por exemplo, não financia robôs para manufatura. Esta perspectiva é ilustrada na seguinte passagem:

A gente tem vários problemas aqui no Brasil, para você ter uma ideia o BNDES não financia robô, imagina, nós temos leis assim. Mas por que ele não financia robô? Porque não tem empresa brasileira que fabrica robô, ele financia apenas empresas brasileiras, então tem que ter solução pra coisas que estão por aí [...] (Entrevistado 15).

Novos modelos de pesquisa precisam ser desenvolvidos. Um projeto que está sendo criado a partir de 2017 se assemelha ao modelo de consórcios. Um projeto piloto está sendo criado e também uma rede de pesquisa e desenvolvimento:

[...]mas na verdade a gente está tentando criar um modelo de fazer um projeto onde as empresas junto com centro de pesquisa, junto com empresa de menor porte da cadeia, elas vão ter que buscar novas formas de financiamento e novas formas de fazer essa pesquisa (Entrevistado 15).

O principal desafio que se apresenta atualmente para o Brasil é identificar qual o patamar do Produto Interno Bruto (PIB) a indústria do Brasil deve ocupar. A indústria chegou a ocupar 21% do PIB, mas atualmente ele se apresenta em torno de 7 a 8%.

A participação indústria em todos os países caiu, mas no Brasil ela caiu muito e assim você tira o poder de investimento da indústria, então a indústria hoje está sem poder de fazer grandes investimentos [...] (Entrevistado 14).

Outro desafio é focado na questão de cadeias produtivas. Principalmente, estabelecer meios que viabilizem as empresas menores de se inserirem nas tecnologias da manufatura avançada. Este tema foi abordado pelos dois

entrevistados do governo brasileiro segundo os quais emerge a preocupação do nivelamento das empresas menores no quesito tecnologia e gestão. Para apresentar a divergência de visão entre governos, é possível perceber que a mentalidade do governo americano é totalmente diferente do governo nacional, conforme ilustra o trecho:

Eu diria que a chave desse negócio é você encontrar quem são os caras que estão a fim de entrar nisso, como qualquer tecnologia tem os *early adapters*, que enxergam essa vantagem e eles vão começar a usar e te ajudar a escalar esse negócio da manufatura avançada [...]. Eu diria que os EUA é uma máquina de mudar e aprender, e o Brasil é uma máquina de conservar as coisas do passado [...]. (Entrevistado 16).

Por fim, cabe destacar as questões relacionadas à infraestrutura. Para o uso correto e de toda potencialidade e eficiência, não só dos equipamentos de Manufatura Aditiva, mas também da manufatura avançada, há dependência direta da infraestrutura. A instabilidade da rede elétrica em algumas regiões do Brasil pode ser um impeditivo da sinterização de impressoras metálicas, por exemplo. A rede instável não sinteriza corretamente o produto e gera problemas de resistência e qualidade. Essa percepção é identificada em locais da região sul do Brasil. O trecho a seguir destaca essa preocupação:

Eu ouvi de um profissional da Chrysler que ele considera um dos grandes problemas do Brasil a energia, porque você tem também a questão da banda larga que é um problema né, a gente não tem essa banda larga que é necessária ter para testes virtuais testes digitais, precisamos melhorar essa questão [...] (Entrevistado 15).

Em síntese, apesar do volume de desafios, é importante destacar que eles estão mapeados pelo governo. As iniciativas vêm ocorrendo de maneira tímida, o que precisaria ser revertido. É necessário que a velocidade de transformação da indústria nacional seja aumentada. Foi perdido muito tempo até aqui na questão de competitividade se comparado às grandes potências mundiais da manufatura avançada. É preciso avançar e o modelo americano de pontos de referência e especialização nas tecnologias situados em Universidades é um bom ponto de



partida. A seguir, são apresentadas as análises comparativas das entrevistas com a literatura.

### 5.3 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS ESPECIALISTAS E A LITERATURA

Esta seção tem como objetivo identificar as convergências e divergências apresentadas entre a análise de conteúdo das entrevistas e da literatura. Um panorama geral destes resultados, sustentado na análise de frequência ponderada, é apresentado no Quadro 45. Este comparativo visa identificar as categorias mais e menos citadas entre os entrevistados e a literatura.

Após este comparativo geral, serão destacadas as convergências e divergências identificadas entre os dados coletados na análise de conteúdo da literatura e das percepções dos especialistas sob o ponto de vista dos impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos. Este comparativo será estruturado com base nas categorias de análise igualmente definidas para as entrevistas e para a literatura.

Quadro 45: Comparativo Geral dos Impactos entre as Categorias de Análise (Entrevistas x Literatura)

Categoria Sistema Produtivo	Entrevistas		Literatura	
	Impactos positivos	Impactos negativos	Impactos positivos	Impactos negativos
Desenvolvimento de Produto	32,4 (98%)	0,8 (2%)	29,3 (98%)	0,7 (2%)
Engenharia de Processo	9 (98%)	0,2 (2%)	10,5 (97%)	0,3 (3%)
Fornecedores	1,1 (100%)	0 (0%)	3,8 (83%)	0,8 (7%)
Marketing e Vendas	11,6 (100%)	0 (0%)	7,2 (99%)	0,1 (1%)
Matéria-Prima	14,5 (93%)	1,1 (7%)	8,3 (99%)	0,1 (1%)
Planejamento e Controle de Produção	5,5 (100%)	0 (0%)	3,5 (95%)	0,2 (5%)
Recursos Financeiros	0,9 (75%)	0,3 (25%)	0,4 (57%)	0,3 (43%)
Sistema de Manufatura	43,8 (95%)	2,5 (5%)	16,9 (89%)	2,1 (11%)
Tempos e Métodos	27,8 (84%)	5,2 (16%)	2,9 (74%)	1 (26%)

Fonte: Elaborado pelo autor

De maneira macro, verifica-se convergência no volume de impactos positivos e negativos entre entrevistas e literatura nas categorias Desenvolvimento de Produto, Engenharia de Processo e Marketing e Vendas. Os resultados são semelhantes nas categorias Matéria-Prima, Planejamento e Controle de Produção e Sistemas de Manufatura. Divergências podem ser notadas entre as incidências

positivas e negativas nas categorias Fornecedores, Recursos Financeiros e Tempos e Métodos.

Na sequência, é realizada a análise detalhada, destacando as convergências e divergências entre os impactos apresentados. A análise inicia-se pelas convergências, seguida pela seção das divergências e o desenvolvimento da síntese a partir da análise.

Para a classificação, foi adotado o mesmo critério utilizado para a análise entre os grupos. Quando o impacto for citado na literatura e nas entrevistas, é classificado como convergente. Quando esse impacto é citado apenas na literatura ou apenas nas entrevistas, ele é considerado como complementar. Por fim, quando a visão da literatura e dos entrevistados é oposta, o impacto é classificado como divergente.

### **5.3.1 Aspectos Convergentes e Complementares**

A maior parte dos impactos da Manufatura Aditiva nas categorias dos sistemas produtivos analisados foi convergente ou complementar. Na categoria desenvolvimento de produto, houve convergência nos impactos positivos liberdade geométrica e facilidade de customização, além da redução do *lead time* e do peso final das peças manufaturadas via Manufatura Aditiva. Impactos positivos complementares foram identificados como redução dos estoques e aumento do valor agregado. Os impactos negativos complementares resumem-se à falta de conhecimento sobre a tecnologia e à viabilidade de desenvolver qualquer tipo de produto ou peça pela Manufatura Aditiva.

Para a categoria Engenharia de Processos, a redução do tempo de atravessamento e da complexidade logística foram impactos positivos convergentes. Ainda convergiram os impactos negativos na inviabilidade de utilização da Manufatura Aditiva para a produção em massa e seu elevado custo de produção em escala (para a tecnologia existente). O tempo de resposta para o mercado, redução de estoques e qualificação da mão de obra foram impactos positivos complementares.

A categoria Fornecedores teve convergência para a maioria dos impactos como a redução de estoques e custo e a alteração da relação com os fornecedores (negócio e desenvolvimento). O impacto complementar originado das entrevistas foi a possibilidade da internalização de processos.

Na categoria Marketing e Vendas, todos os impactos positivos foram convergentes. A redução do tempo de resposta para o mercado, maior percepção de valor pelo cliente final e o menor tempo para o retorno sobre o investimento foram os principais impactos positivos identificados na pesquisa. Os impactos negativos foram complementares oriundos da análise das entrevistas e se resumiram no tema da segurança da informação.

Os impactos convergentes relacionados à categoria Matéria-Prima foram identificados como a redução do consumo de matéria-prima e a fabricação de peças ou produtos mais leves devido à liberdade geométrica. Foram complementares: menor desperdício de material e conseqüente menor impacto ambiental e o custo elevado para o processo de adição metálica.

A redução da complexidade de gerenciamento de roteiros, gestão da matéria-prima e redução de estoques foram impactos positivos convergentes na categoria Planejamento e Controle de Produção. Convergiu também o impacto negativo referente à restrição da tecnologia na viabilidade de produção de grandes lotes. Estes impactos foram complementados com a redução da necessidade de equipamentos de transporte, o auxílio ao JIT por meio dos lotes unitários e a facilidade de formação de kits. Ainda cabe destacar os impactos negativos oriundos das entrevistas. São eles: a redução das funcionalidades do MES e a necessidade do controle de produção do produto e não mais do lote de produção.

Quanto aos Recursos Financeiros, apesar de não terem sido encontradas divergências, apenas dois impactos convergiram, sendo eles o custo elevado dos equipamentos e o maior valor agregado dos produtos. Foram complementares: a maior facilidade de gestão de caixa, redução de estoques e tempo de atravessamento e a necessidade do desenvolvimento das tecnologias de Manufatura Aditiva. Além disso, destacam-se as iniciativas do governo para auxílio das empresas e o aumento das pesquisas em Manufatura Aditiva.

A categoria Sistema de Manufatura recebeu o maior número de impactos convergentes. A redução do espaço físico (*layout*) e a complexidade dos roteiros de produção e *lead time*, além da redução da variabilidade do processo e das perdas

por estoque e transporte foram impactos positivos apontados nas duas análises. O elevado tempo de ciclo foi o impacto negativo convergente.

Para finalizar, a categoria Tempos e Métodos destacou um conjunto de impactos positivos e negativos convergentes, tais como o elevado tempo de ciclo, a redução do tempo de desenvolvimento de produto e a eliminação do tempo de troca de ferramental. Uma síntese desta análise de convergências e complementariedades pode ser visualizada no quadro apresentado na seção 5.3.3 deste estudo.

### 5.3.2 Divergências

As divergências concentraram-se nas categorias de Fornecedores e Matéria-Prima. A literatura defende que a variedade de materiais para uso da Manufatura Aditiva estará resolvida no curto prazo, informação divergente da apurada nas entrevistas. Os entrevistados colocam esse como limitante para o uso da tecnologia.

Do mesmo modo, os entrevistados apontam como poucos os fornecedores e que isto pode vir a ser um problema se a demanda por insumos aumentar. A literatura diverge quanto a esta perspectiva, vinculando ao mesmo caso da matéria-prima.

### 5.3.3 Síntese da Análise Comparativa

Para sintetizar os resultados da análise entre os entrevistados e a literatura, foi desenvolvido o Quadro 46. Nele, são apresentados os aspectos convergentes, complementares e divergentes entre o *corpus* analisado. Ainda, esta análise foi dividida entre as categorias de análise para a avaliação dos impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos.

Quadro 46: Síntese da Análise Comparativa entre as Entrevistas e a Literatura

Categoria de Análise	Convergências	Divergências	Complementa
<b>Desenvolvimento de Produto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liberdade Geométrica e Facilidade de customização.</li> <li>• Redução do <i>lead time</i> de Desenvolvimento.</li> <li>• Redução do peso das peças/produto e custo.</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução dos Estoques (Entrevistas).</li> <li>• Aumento do valor agregado (Literatura).</li> <li>• Viabilidade de desenvolvimento de qualquer produto/peça (Entrevistas).</li> <li>• Falta de Conhecimento (Entrevistas).</li> </ul>
<b>Engenharia de Processo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do <i>lead time</i> de produção/tempo de processo.</li> <li>• Redução da complexidade logística.</li> <li>• Inviabilidade para produção em massa.</li> <li>• Custos elevados para produção em massa.</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhor tempo de resposta para o mercado (Literatura).</li> <li>• Valorização da mão de obramais qualificada (Entrevistas).</li> <li>• Redução do desperdício de material.</li> </ul>
<b>Fornecedores</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução de estoques e custo.</li> <li>• Alteração da relação com os fornecedores (negócio e desenvolvimento).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De acordo com a literatura, o número de fornecedores de material vem aumentando, informação que diverge das respostas dos entrevistados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Internalização de processos (Entrevistas).</li> </ul>
<b>Marketing e Vendas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do tempo de resposta para o mercado.</li> <li>• Maior percepção de valor pelo cliente final.</li> <li>• Menor tempo para o Retorno sobre o Investimento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conforme os entrevistados, a variedade de materiais para a utilização da Manufatura Aditiva ainda é uma restrição; para a literatura, é um problema próximo da solução.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessidade de melhoria na segurança da informação (Entrevistas).</li> <li>• Produto pode ser copiado mais rapidamente (Entrevistas).</li> <li>• Custo elevado para impressão em metal (Entrevistas).</li> </ul>

Categoria de Análise	Convergências	Divergências	Complementa
<b>Matéria-Prima</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução no consumo de matéria-prima.</li> <li>• Fabricação de produtos/peças mais leves devido à liberdade geométrica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De acordo com os entrevistados a variedade de materiais para utilização da Manufatura Aditiva ainda é uma restrição, para a literatura é um problema próximo da solução.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor desperdício de material (Literatura).</li> <li>• Menor impacto ambiental (Entrevistas).</li> <li>• Custo elevado para processo de adição metálico (Entrevistas).</li> </ul>
<b>Planejamento e Controle de Produção</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução da complexidade de criar e gerenciar roteiros de produção.</li> <li>• Redução da complexidade de gestão da matéria-prima.</li> <li>• Redução de estoques.</li> <li>• Restrição à programação de grandes lotes (inviável).</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução da necessidade de equipamentos de transporte (Literatura).</li> <li>• Viabiliza o Just in Time - JIT (Entrevistas).</li> <li>• Facilita a formação e adoção de Kits (Entrevistas).</li> <li>• Aumenta a complexidade de controle por produto e não por lote (Entrevistas).</li> <li>• Redução das funcionalidades do MES (Entrevistas).</li> </ul>
<b>Recursos Financeiros</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Custo elevado dos Equipamentos.</li> <li>• Maior valor agregado dos produtos.</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maior facilidade na gestão de caixa (Entrevistas).</li> <li>• Redução dos custos de estoques (Entrevistas).</li> <li>• Redução do tempo de atravessamento (desenvolvimento e manufatura) (Entrevistas).</li> <li>• Iniciativas de programas governamentais de apoio à Indústria (conhecimento) (Entrevistas).</li> <li>• Aumento das Pesquisas em Manufatura Aditiva (Literatura).</li> <li>• Necessidade de rápido desenvolvimento da tecnologia para aumentar a competitividade (Literatura).</li> </ul>

Categoria de Análise	Convergências	Divergências	Complementa
<b>Sistema de Manufatura</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do espaço físico (<i>layout</i>).</li> <li>• Menor complexidade dos roteiros de produção e redução do <i>lead time</i>.</li> <li>• Menor variabilidade.</li> <li>• Redução do estoque em processo.</li> <li>• Redução da perda por transporte.</li> <li>• Qualificação da mão de obra.</li> <li>• Elevado tempo de operação.</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Internalização de produção (Entrevistas).</li> <li>• Menor custo de produção para baixa escala de produção (Entrevistas).</li> <li>• Customização sem aumentar o custo (Entrevistas).</li> <li>• Menor variabilidade (Entrevistas).</li> <li>• Necessidade de Qualificação da mão de obra(Entrevistas).</li> <li>• Maior flexibilidade de Produção (Literatura).</li> <li>• Viabilidade para células de manufatura (Literatura).</li> <li>• Necessidade de operações secundárias para acabamento (Literatura).</li> <li>• Risco de parada de produção por ser uma operação única no caso de quebra (Entrevistas).</li> </ul>
<b>Tempos e Métodos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevado tempo de ciclo.</li> <li>• Redução do tempo de desenvolvimento.</li> <li>• Redução/eliminação do tempo de troca de ferramental.</li> <li>• Redução do <i>lead time</i>.</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminação do tempo de <i>setup</i> de ferramental (Entrevistas).</li> <li>• Redução do tempo de troca de cor (Entrevistas).</li> <li>• O tempo de troca de material, para a Manufatura Aditivametálica é mais elevado até do que a manufatura tradicional (Entrevistas).</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor

Resumidamente, a maior parte das categorias apresentou pontos convergentes e uma grande quantidade de aspectos complementares, tanto para os aspectos positivos quanto para os negativos. As divergências concentraram-se nas categorias de fornecedores e matéria-prima. E foram destacados na descrição das divergências apresentada antes do quadro síntese. Dessa forma, realizadas todas as análises relacionadas aos impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos, o próximo capítulo vai verificar as repercussões destes impactos nos critérios competitivos.

Para sintetizar este capítulo, evidencia-se que os sistemas produtivos serão alterados significativamente a partir da viabilidade do uso da Manufatura Aditiva. Entender esses impactos, do ponto de vista gerencial, leva as empresas a tomarem decisões assertivas e não realizar investimentos na tecnologia sem entender como o sistema produtivo se comportará.

Este ponto é evidenciado pois, com o estado atual da tecnologia, nem todos os tipos e sistemas produtivos serão beneficiados com a totalidade dos benefícios da Manufatura Aditiva. A relação variedade e volume é ponto de suma importância para esta tomada de decisão do ponto de vista do uso da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos de maneira integral.

Para desenvolvimento de produtos, a Manufatura Aditiva apresenta-se como tecnologia viável e que confere benefícios significativos como a redução do tempo de desenvolvimento e potencial de criar produtos em geometrias não possíveis com as atuais tecnologias de manufatura.

O consumo de matéria-prima é outro ponto de atenção a partir do uso da tecnologia. O consumo de material e o desperdício são menores. Estas alterações acabam impactando custos menores e processos mais limpos de produção.

As limitações das tecnologias são outro ponto a ser discutido nos resultados desta pesquisa. O tempo de ciclo elevado, a qualidade visual deficiente e o custo são apontados como restrições para a disseminação do uso da Manufatura Aditiva pelas organizações.

Do ponto de vista dos formuladores de políticas públicas, principalmente no Brasil, preocupa o fato de um workshop de discussão da manufatura avançada organizado pelo governo nacional negligenciar a Manufatura Aditiva. Não entender seus impactos potenciais para incrementar a indústria nacional pode acarretar perda



de competitividade. Com este negligenciamento, o conhecimento e o incentivo para pesquisas na área não são repercutidos para as organizações.

Este posicionamento ampara os pontos que sustentam alguns dos resultados que serão discutidos nesta tese. Assim, serão aprofundados no capítulo de discussão dos resultados. Se por um lado, restou evidente que os sistemas produtivos serão alterados do ponto de vista operacional e gerencial a partir da utilização da Manufatura Aditiva, por outro lado o capítulo a seguir busca apresentar como estas alterações nos sistemas produtivos repercutirão na estratégia competitiva das empresas. Para isso, é realizada a análise do ponto de vista dos critérios competitivos.

## 6 AVALIAÇÃO DAS REPERCUSSÕES DOS IMPACTOS DA MANUFATURA ADITIVA NOS CRITÉRIOS COMPETITIVOS

Este capítulo apresenta a análise das repercussões dos impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos nos critérios competitivos sob o ponto de vista das entrevistas e da literatura. Para tal, as análises serão apresentadas em quatro etapas: i) análise perceptiva dos especialistas; ii) análise por grupo de especialistas; iii) análise comparativa entre os especialistas e a literatura; e iv) avaliação integrada entre os impactos e as repercussões da Manufatura Aditiva.

### 6.1 ANÁLISE PERCEPTIVA DOS ESPECIALISTAS

Nesta análise, foi verificada a frequência das repercussões positivas e negativas em cada categoria de análise (critérios competitivos). Ainda, de acordo com a equação de ponderação apresentada na seção de análise dos dados, os totais das frequências por tipo de repercussão (positiva e negativa) foram ponderados para reduzir o viés na análise. Desse modo, a síntese dos resultados desta análise geral por entrevistados é apresentada no Quadro 47. A categorização das frequências individuais, por entrevistado, é apresentada no Apêndice I.

Quadro 47: Síntese da Análise Geral por Entrevistados

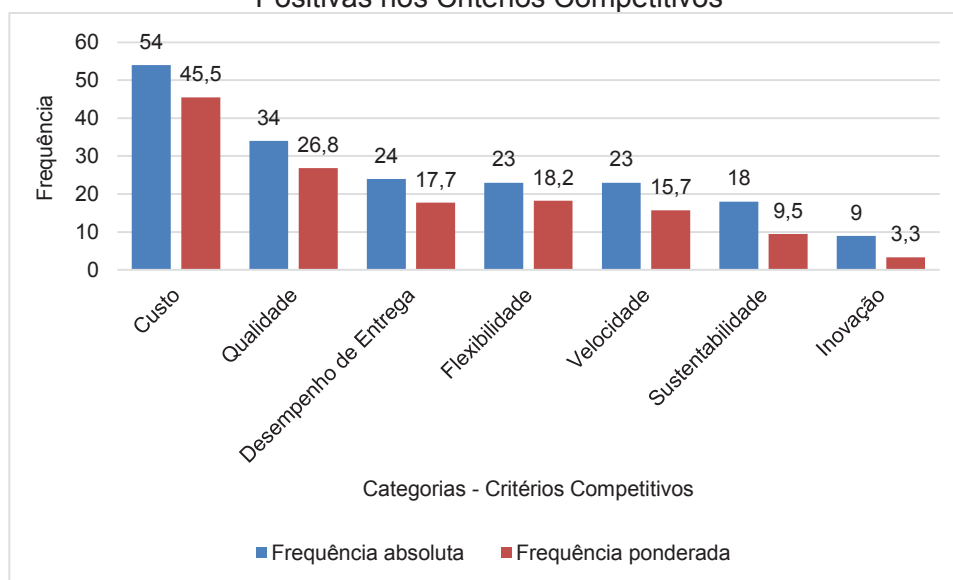
Frequência Absoluta	Custo		Qualidade		Velocidade		Flexibilidade		Desempenho de Entrega		Sustentabilidade		Inovação	
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
Totais	54	16	34	4	23	6	23	2	24	0	18	2	9	0
	70		38		29		25		24		20		9	
Ponderação de Frequência	Custo		Qualidade		Velocidade		Flexibilidade		Desempenho de Entrega		Sustentabilidade		Inovação	
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
Totais	45,5	6,7	26,8	0,8	15,7	1,9	18,2	0,1	17,7	0,0	9,5	0,1	3,3	0,0
	52,2		27,7		17,6		18,3		17,7		9,6		3,3	

Fonte: Elaborado pelo autor

Para a identificação dos critérios competitivos mais significativos para a análise, os totais da frequência absoluta e ponderada, por categoria de análise, foram colocados em ordem decrescente. Inicialmente, verificou-se o comportamento

das repercussões positivas. A Figura 25 ilustra o comparativo do total de registros pela frequência absoluta e ponderada.

Figura 25: Comparativo do Total das Frequências Absoluta e Ponderada das Repercussões Positivas nos Critérios Competitivos



Fonte: Elaborado pelo autor

Os critérios competitivos mais impactados pelo uso da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos pela frequência absoluta são Custo e Qualidade. Estas duas categorias representam aproximadamente 50% do total de unidades de registro relacionadas na análise. As categorias Desempenho de Entrega, Flexibilidade, Velocidade e Sustentabilidade apresentaram praticamente o mesmo nível de representatividade e a categoria menos citada foi Inovação. Com o objetivo de verificar se esta ordenação não foi provocada por um número elevado de unidades de registro em um pequeno número de entrevistados, foi realizada a ponderação das frequências.

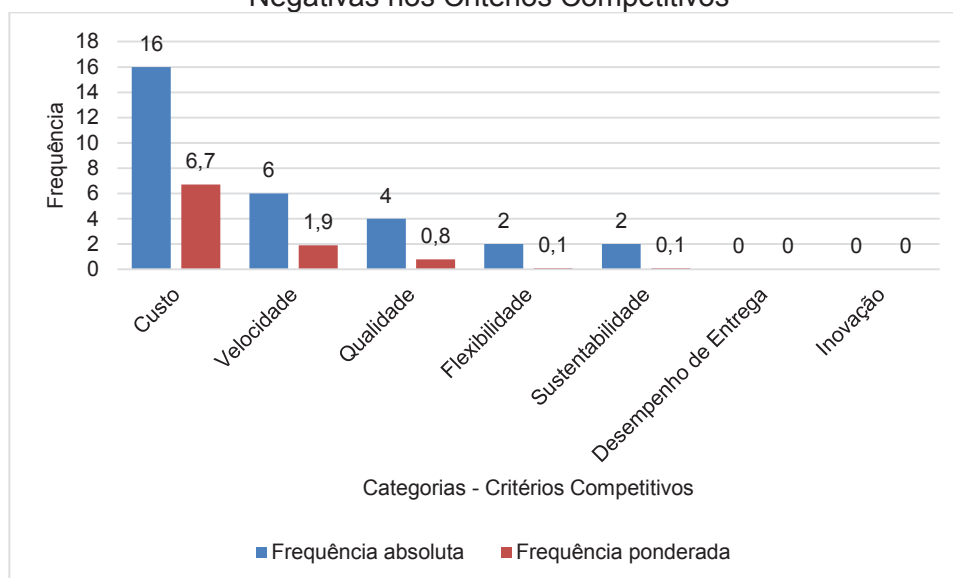
Comparando a análise de frequência absoluta com a ponderada das repercussões positivas, evidencia-se que houve apenas uma alteração na ordenação. A categoria Flexibilidade foi pouco mais representativa que a categoria Desempenho de Entrega na ponderação das frequências. Como a classificação absoluta destas categorias era próxima, ambas apresentaram citações em 15 dos 19 entrevistados, a diferença ocorreu devido ao número de registros em um dos entrevistados na categoria Desempenho de Entrega, que teve cinco incidências, enquanto na categoria Flexibilidade os registros tiveram pouca variabilidade.

Destaca-se, outrossim, que não foi alterado o percentual de representatividade das duas principais categorias, que se manteve em aproximadamente 50%.

As categorias intermediárias apenas apresentaram melhor diferenciação com a ponderação, mas mantiveram suas posições, mesmo comportamento da categoria Inovação. Sendo assim, não se verificou diferença no comportamento da representatividade das categorias de análise nas repercussões positivas.

Da mesma maneira, foram ordenados e verificados os totais por categoria das repercussões negativas. A Figura 26 ilustra o comparativo do total das frequências absoluta e ponderada em ordem decrescente das repercussões negativas da Manufatura Aditiva nos critérios competitivos por categoria de análise.

Figura 26: Comparativo do Total das Frequências Absoluta e Ponderada das Repercussões Negativas nos Critérios Competitivos



Fonte: Elaborado pelo autor

A categoria mais representativa do ponto de vista das repercussões negativas, assim como ocorreu na análise das repercussões positivas é a categoria Custo. Dessa forma, pode-se inferir que as discussões relacionadas a Custos não são consenso entre os entrevistados. Isolada, a categoria custos representa mais de 50% do total de registros relacionados às repercussões negativas. Em menor proporção, mas com mesmo comportamento, a categoria Qualidade aparece em evidência tanto para as repercussões positivas quanto negativas.

Destaca-se que as categorias Velocidade, uma das menos citadas no tocante às repercussões positivas, é uma das mais representativas em termos de repercussões negativas. Verifica-se, ainda, que as categorias Desempenho de

Entrega e Inovação não são impactadas negativamente pela adoção da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos, sob o ponto de vista dos entrevistados.

Na análise da frequência ponderada para as repercussões negativas, não houve alteração na ordenação após a ponderação das frequências, apenas a representatividade do critério competitivo Custopassou a ser de 70% do total das repercussões. A seguir, o quantitativo apresentado nas análises de frequência será traduzido nas repercussões positivas e negativas em cada categoria dos critérios competitivos de maneira qualitativa. O primeiro critério a ser apresentado é Custo.

### 6.1.1 Custo

O critério competitivo Custo é o mais citado entre os critérios, tanto de maneira positiva quanto negativa. Isto pode ser provocado pela avaliação sob o ponto de vista de impactos distintos. É evidente o impacto na redução de custos para o desenvolvimento de produto, porém para a manufatura essa redução depende do volume de produção, por exemplo. Em termos de presença e ausência, o critério competitivo Custo é citado por 17 dos 19 entrevistados. Analisando as repostas dos respondentes, é possível identificar que os entrevistados que destacam repercussões positivas fundamentam suas afirmações na redução de estoques, redução de tempo de desenvolvimento de produto e *lead time* de fabricação, por exemplo. De acordo com o Entrevistado 3, “[...] temos que pensar sistemicamente, no momento que reduzirmos estoques os custos tendem a baixar e a Manufatura Aditiva permite isso [...]”. As repercussões devem ser analisadas do ponto de vista sistêmico. Essa perspectiva é identificada nos seguintes trechos:

É uma redução de custos em cadeia, principalmente se for observado o tempo antes de entrar no processo fabril. Este tempo é menor e a receita é gerada mais rápido. Mesmo que esse produto tenha que ser mais caro para valorizar o investimento inicial, ainda é justificável o uso da Manufatura Aditiva. Porém deve-se comparar a questão de praticidade e custo. Na indústria é só benefício e não encarece o produto [...] (Entrevistado 4).

Alguns destes impactos sistêmicos são apresentados a seguir. No que se refere a estoques, é consenso que a Manufatura Aditiva repercutirá positivamente em termos de redução dos mesmos. De acordo com o Entrevistado 13, “[...] como consequência, há a redução do WIP e estoques em geral [...]”. Além de redução, resta evidente a tendência da virtualização dos estoques, procedimento que impacta diretamente a redução dos custos de produção. Para o Entrevistado 1, “[...] a Manufatura Aditiva vai propiciar estoques virtuais, ou seja, ela pode vir a substituir os estoques físicos [...]”. Esta visão é corroborada pelo seguinte trecho: “A possibilidade de produção direta de peças de reposição, por exemplo, reduz a necessidade de estoque físico de peças que talvez nem cheguem a ser utilizadas [...]”. (Entrevistado 12).

Percebe-se, então, que a possibilidade de customização e a redução do tamanho dos lotes impacta diretamente o *lead time* de desenvolvimento e no *lead time* de fabricação, respectivamente. Ambos os tempos são reduzidos, disponibilizando o produto no mercado antecipadamente. Essa antecipação pode gerar retorno de receita mais rapidamente se comparada à manufatura tradicional. O trecho a seguir exemplifica parte desse impacto sistêmico:

[...] uma peça de acrílico que era feita por um terceiro e seu *lead time* variava entre 15 e 20 dias. Como a produção é contra pedido, quando um pedido urgente entrava para a produção este terceiro poderia, em alguns casos, atrasar a entrega final. Quando fabricado pela impressora, houve redução do tempo, do custo e deu maior flexibilidade de entrega para a empresa. Tudo o que hoje está na impressora 3D antes era terceirizado [...] (Entrevistado 2).

Outro ponto que pode repercutir positivamente em custo tem sua origem no desenvolvimento do produto. A liberdade geométrica permite a fabricação de formas não possíveis na manufatura tradicional, propiciando redução de peso do produto, repercutindo positivamente em custos e até mesmo aumentando a agregação de valor do produto como pode ser evidenciado no seguinte trecho:

Em equipamentos de titânio, por exemplo, que a matéria-prima é muito cara, a Manufatura Aditiva apresenta-se com maior viabilidade, pois não há o desperdício de material, uma vez que é construído camada a camada. Além disso, consegue-se a redução de peso do componente final devido à

possibilidade de fabricar geometrias mais complexas, o que acarreta na indústria aeronáutica, por exemplo, em um menor peso da aeronave e conseqüente menor consumo de combustível [...] (Entrevistado 1).

A redução no consumo de energia é outro ponto importante que pode repercutir positivamente em custos, dependendo do tipo de equipamento utilizado. Para equipamentos termoplásticos, evidencia-se a redução do consumo de energia, porém para equipamentos metálicos o custo de energia é elevado. Esta perspectiva é ilustrada pelos trechos a seguir:

Se comparar a usinagem com a Manufatura Aditiva, a usinagem por si só consome menos energia, porém necessita tratamento térmico, o que acaba fazendo com que o consumo de energia, no todo, fique maior [...] (Entrevistado 13).

[...] na realidade gasta menos, teoricamente, ele não puxa muita energia esse equipamento [...]. Aqui a impressão metálica vai utilizar muito mais energia, a metálica tem um laser, o buraco é mais embaixo (sic.) [...] (Entrevistado 6).

O alto custo dos equipamentos e dos materiais para Manufatura Aditiva é uma das questões divergentes entre os especialistas. Para o Entrevistado 5, “[...] o grande desafio da Manufatura Aditiva está relacionado com a competitividade do preço [...]”. O custo, tanto dos equipamentos quanto dos materiais é considerado elevado por alguns entrevistados, o que pode inviabilizar a utilização da tecnologia. Essa perspectiva é apresentada no seguinte trecho: “Com certeza aumenta, porque a tecnologia ainda é cara, o polímero é caro, a mão de obra é cara, porque por exemplo para fazer um solado daquele você usa um tipo de modelagem degenerativa [...]”. (Entrevistado 7).

Entretanto, é importante destacar que o custo do investimento inicial tem reduzido nos últimos anos, o que pode fazer com que mais empresas passem a adotar as tecnologias de Manufatura Aditiva. De acordo com o Entrevistado 2, “[...] este comportamento pode ser observado sob o ponto de vista do custo, que caiu bastante de dois anos para cá [...]”. Sendo assim, o alto custo inicial tende a deixar de ser um problema, conforme ilustra o seguinte trecho:

O investimento inicial não é alto se comparado aos métodos tradicionais, como tornos e injetoras, no entanto é necessário ter uma cultura de inovação para encarar o investimento em uma tecnologia inovadora que, no entanto, faz o que as outras já fazem [...] (Entrevistado 12).

A Manufatura Aditiva pode repercutir positivamente no custo também pela questão da mão de obra. Será reduzida a quantidade de operações necessárias, uma vez que com a Manufatura Aditiva é possível deixar o componente ou o produto praticamente pronto em apenas uma operação. Além disso, como o equipamento trabalha de maneira praticamente autônoma, viabiliza a multifuncionalidade dos operadores.

Durante as entrevistas, destacou-se que a questão de custos é usada como argumento, quando na verdade o que há é um conservadorismo de tentar o novo em detrimento do tradicional. No entanto, como a Manufatura Aditiva vem apresentando resultados, as empresas que não se adaptarem podem vir a perder mercado.

Pela ótica das repercussões negativas, a maior parte das respostas destacou a questão do tempo elevado de operação, que inviabiliza os modelos de produção em larga escala. Se por um lado, o tempo não é um limitante para a produção em baixa escala e de produtos customizados, por outro lado faz com que o investimento em equipamentos seja elevado e inviabilize a produção em massa. Essa preocupação é evidenciada nas seguintes afirmações:

O tempo e custo são os limitantes. O custo da Manufatura Aditiva para larga escala ainda é alto. O que eu enxergo hoje aqui no meu ambiente de trabalho é custo e tempo [...] (Entrevistado 5).

Eu vejo ainda o equipamento muito caro, já que você vai ter que ter muitos equipamentos acaba sendo inviável para fazer em alta produção, porque pega a versatilidade da máquina, com uma mesma máquina eu consigo fazer muita coisa diferente, só que para você fazer muitas coisas diferentes ao mesmo tempo você tem que ter muitas máquinas e hoje fica inviável pelo preço [...] (Entrevistado 6).

O que vai deixar a Manufatura Aditiva mais competitiva é a velocidade de impressão. Esse é o grande fator que impacta o custo de produção [...] (Entrevistado 13).



Para finalizar, a síntese das repercussões positivas e negativas, derivadas da utilização da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos relacionadas ao critério competitivo Custo, é apresentada no Quadro 48.

Quadro 48: Síntese das Repercussões da Manufatura Aditiva no Critério Competitivo Custo

REPERCUSSÕES POSITIVAS	REPERCUSSÕES NEGATIVAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do custo de desenvolvimento de produtos.</li> <li>• Redução dos custos de estoque.</li> <li>• Menor tempo de atravessamento pode antecipar receita.</li> <li>• Redução do desperdício de material.</li> <li>• Redução do consumo de energia para Manufatura Aditiva termoplástica.</li> <li>• Redução do custo de produção para produção em pequenos lotes.</li> <li>• Redução do custo de mão de obra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevado custo de energia para Manufatura Aditiva metálica.</li> <li>• Elevado custo de equipamentos.</li> <li>• Elevado tempo de operação aumenta o custo para produção em massa.</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor

Em síntese, as repercussões positivas relacionadas ao critério competitivo Custos estão mais próximas da realidade das empresas que produzem em baixa escala e para produtos customizados. Também é uma realidade quando usada apenas para o desenvolvimento de produtos, reduzindo o custo de desenvolvimento, neste caso, independentemente do tipo de produção.

A redução de custos relacionados a estoques, desperdício de material e até o adiantamento de receitas pela antecipação de desenvolvimento e produção são citados como realidade. Do ponto de vista das repercussões negativas, é possível mencionar o tempo de ciclo elevado inviabiliza a produção em massa e o custo dos equipamentos. Apesar de o tempo de ciclo ter sido reduzido ao longo dos últimos anos, ainda é identificado como uma restrição para o uso da Manufatura Aditiva. A seguir, são apresentados os resultados da análise referente ao critério competitivo Desempenho de Entrega.

### 6.1.2 Desempenho de Entrega

Na análise de frequências, o critério competitivo Desempenho de Entrega foi o quarto critério mais representativo entre os entrevistados sob o ponto de vista das

repercussões positivas. Como particularidade, não recebeu nenhum registro associado a repercussões negativas. No que tange à análise de presença e ausência, apareceu entre 15 dos 19 entrevistados. Nota-se que as percepções dos entrevistados convergem para processos mais ágeis e com possibilidade de redução dos prazos de entrega.

O primeiro ponto abordado na análise trata da possibilidade de fabricação do produto mais próximo do cliente final. Com a Manufatura Aditiva, os tradicionais centros de distribuição poderão ser substituídos por *hubs* de Manufatura Aditiva. Essa perspectiva é identificada nos seguintes trechos:

A tecnologia de Manufatura Aditiva posicionada nestes pontos de manutenção pode propiciar a substituição dos estoques físicos por estoques virtuais. Assim o componente a ser trocado é rastreado, identificado e fabricado sob demanda nos “hubs de impressão” espalhados pelo mundo [...] (Entrevistado 1).

Ao substituir o transporte físico pelo transporte virtual, verifica-se a possibilidade da redução do risco logístico. Nesse modelo, os produtos não serão mais transportados em meios de transporte tradicionais, mas serão transportados digitalmente. Este aspecto é verificado no seguinte trecho:

A grande mudança com a utilização da Manufatura Aditiva é que os componentes poderão ser fabricados no local ou próximos ao local de consumo. Isso evitará esse trânsito (movimentação e transporte de materiais) além da diminuição do impacto ambiental [...] (Entrevistado 5).

Além das repercussões externas voltadas às organizações, destacam-se também aquelas que ocorrerão internamente. Uma vez que o produto final não possa ser fabricado totalmente por meio da Manufatura Aditiva e precise de operações complementares, por exemplo, as repercussões positivas também se traduzem na redução do tempo de desenvolvimento e de atravessamento.

A redução dos estoques em processo contribui para a minimização dos tempos de espera entre as operações, resultando em menor tempo de atravessamento. O ganho neste sentido é em escala, ou seja, a Manufatura Aditiva reduz o número de etapas do processo, concentrando-as em um único equipamento.

Adicionalmente, propicia a diminuição do estoque em processo e o tempo de espera gerado por ele. De acordo com o Entrevistado 6, “[...] no futuro, a impressora 3D pode substituir o Kanban físico [...]”. Além disso, o Entrevistado 8 destaca que “[...] a redução de estoques se dará em WIP e produto acabado [...]”. Destaca-se, também o seguinte trecho: “As cadeias de abastecimento são impactadas positivamente, pois somente são produzidos produtos sob demanda, eliminando a necessidade de estoque [...]” (Entrevistado 12).

Verifica-se que uma ferramenta do Sistema Toyota pode ter seus benefícios potencializados a partir da Manufatura Aditiva. O Kanban pode ter seu supermercado físico substituído por uma impressora 3D. A síntese das repercussões na Manufatura Aditiva no critério competitivo Desempenho de Entrega é apresentada no Quadro 49.

Quadro 49: Síntese das Repercussões da Manufatura Aditiva no Critério Competitivo Desempenho de Entrega

REPERCUSSÕES POSITIVAS	REPERCUSSÕES NEGATIVAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Processos de desenvolvimento de produto e de fabricação mais ágeis.</li> <li>• Fabricação de produtos mais próximos ao cliente final.</li> <li>• Transporte virtual.</li> <li>• Kanban virtual.</li> </ul>	-

Fonte: Elaborado pelo autor

Em síntese, o desempenho de entrega, do ponto de vista dos entrevistados, apresenta apenas repercussões positivas. Os processos de desenvolvimento de produtos mais ágeis é uma realidade. Os novos modelos de negócio que podem ser criados para sustentar o transporte e o Kanban virtual, por exemplo, ainda precisam ser estudados e podem gerar repercussões negativas, não para o desempenho de entrega, mas para aspectos de propriedade e patentes.

Percebe-se, outrossim, que fabricar os produtos mais próximos do cliente final, por meio da digitalização do transporte, necessita de uma regulamentação e políticas de segurança da informação mais rígidas. As vantagens são interessantes, mas é necessário precaução nos aspectos relacionados à propriedade. A seguir, são apresentados os resultados da análise do Critério Competitivo Flexibilidade.

### 6.1.3 Flexibilidade

O critério competitivo Flexibilidade foi o terceiro mais representativo após a ponderação de frequências para as repercussões positivas e também para as repercussões negativas. Na análise de presença e ausência, a categoria foi citada por 15 dos 19 entrevistados. Entre os entrevistados, restou evidente que a Flexibilidade é uma das grandes vantagens da utilização da Manufatura Aditiva pelos sistemas produtivos. Essa flexibilidade foi destacada sob o aspecto de desenvolvimento de produto e de fabricação, ilustrados pelos seguintes excertos:

A grande vantagem da Manufatura Aditiva está sob o ponto de vista da flexibilidade. Você compra o *design*. A Manufatura Aditiva pode atender à necessidade dos produtos cada vez mais customizados [...] (Entrevistado 5).

Em termos de flexibilidade, no que se refere ao desenvolvimento de produto, o impacto é grande. Desenho e revisão podem ser alterados e é possível retardar a liberação do desenho uma vez que o processo de produção, via Manufatura Aditiva, é mais rápido [...] (Entrevistado 13).

Essa flexibilidade é conferida aos sistemas produtivos porque a Manufatura Aditiva não necessita de ferramental para fabricação dos produtos ou peças. Assim, a fabricação acontece por meio da adição de camadas pelo próprio equipamento, conferindo seu formato a partir de um projeto digitalizado, diferentemente dos processos tradicionais, como evidenciado no trecho a seguir:

Além disso, na manufatura convencional, tem-se a necessidade de uma ferramenta de corte que de tempo em tempo deve ser substituída, o que não se faz necessário na Manufatura Aditiva. Também, na manufatura

convencional necessita-se realizar *setups*, envolver operadores [...] (Entrevistado 1).

Apesar de não ter a necessidade de trocar moldes ou ferramentas, existem as trocas de materiais e a decorrente manutenção. O tipo de equipamento (metálica ou termoplástica) apresenta repercussões divergentes quanto à esta troca de material. Os equipamentos que usam materiais termoplásticos têm o tempo de troca de material rápido, como evidenciado pelas afirmações:

O tempo de troca de cor é muito rápido. Quanto à manutenção periódica, esta é realizada normalmente quando a produção está em baixa para não atrapalhar os períodos de alta e são realizadas com o próprio fabricante de 2 em 2 meses [...] (Entrevistado 2).

A troca de material é praticamente nula. Nessa troca se perde uma quantidade mínima de material. Isso permite aumentar a flexibilidade do equipamento e reduz seu tempo parado[...]. (Entrevistado 3).

As trocas nos equipamentos onde a matéria-prima é plástico são extremamente simples. A Manufatura Aditiva oferece muito mais flexibilidade do que um processo tradicional [...] (Entrevistado 4).

Contudo, quando o equipamento usa material metálico como matéria-prima, o tempo de troca não é rápido. O *setup* de material (pó metálico) é maior que as trocas da manufatura convencional, podendo chegar a dias. Isto se deve à possibilidade de contaminação do pó metálico. Essa perspectiva é apresentada no excerto a seguir:

[...] para o equipamento de Manufatura Aditiva metálica industrial, a informação que se obteve do fornecedor foi que para trocar o material do equipamento demora em torno de duas semanas. Isto ocorre porque o processo é minucioso na questão de contaminação do pó, pois são partículas muito finas [...] (Entrevistado 1).

Sob este ponto de vista, emergem pontos como a troca de material em equipamentos de Manufatura Aditiva metálica, que antes nem eram considerados. No Brasil, estes equipamentos estão sendo utilizados apenas no Instituto Senai de

Inovação de São Leopoldo, Instituto Senai de Inovação de Joinville e pela Universidade Estadual de Campinas(UNICAMP).

O avanço tecnológico em relação à Flexibilidade será a impressão híbrida de materiais, ou seja, impressão de materiais combinados. Essa inovação permitirá a impressão de produtos completos, mas ainda é algo distante, conforme apresentado na afirmação:

O grande pulo do gato vai ser você imprimir no mesmo equipamento diferentes tipos de materiais combinados, quando você imprimir metal plástico, tudo junto, o dia que você conseguir imprimir um telefone completo, enfim, isso vai ser uma grande transformação, não sei até que ponto nós chegaremos e quando. Existem problemas de física a serem resolvidos [...]. (Entrevistado 16).

Em relação ao critério competitivo Flexibilidade, as principais repercussões identificadas nas entrevistas se encontram sintetizadas no Quadro 50.

Quadro 50: Síntese das Repercussões da Manufatura Aditiva no Critério Competitivo Flexibilidade

REPERCUSSÕES POSITIVAS	REPERCUSSÕES NEGATIVAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elimina o tempo da troca de ferramenta/molde.</li> <li>• Permite a fabricação de produtos diferentes sem perda de tempo entre a fabricação (se for o mesmo material).</li> <li>• Tempo de troca de material termoplástico rápida.</li> <li>• Elimina a necessidade de lote mínimo para compensar o tempo de <i>setup</i>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tempo de troca de material metálico extremamente elevado.</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor

Afinal, resta evidente que a Manufatura Aditiva repercute positivamente na Flexibilidade dos sistemas produtivos. O único ponto de atenção é que pode restringir o uso da tecnologia é o tempo de troca dos equipamentos de Manufatura Aditiva metálicos. Igualmente, destaca-se o desafio tecnológico de ampliar a variedade de materiais e combiná-los em um mesmo equipamento, permitindo a fabricação de produtos completos. A seguir, é apresentada a análise do critério competitivo Inovação.

#### 6.1.4 Inovação

O critério competitivo Inovação foi o menos destacado na análise. Na análise de presença e ausência, a categoria foi mencionada por apenas setedos 19 entrevistados. É possível inferir que talvez essa percepção de competir por inovação não esteja clara para as empresas. A Manufatura Aditiva tem o potencial de inovar produtos de maneira mais rápida se comparada à manufatura tradicional.

Quando se tem uma tecnologia que propicia tempo de desenvolvimento de produto menor e com menos custos, além de oferecer uma liberdade geométrica que permite criar e fabricar formas não possíveis na manufatura tradicional, o potencial de inovação de produto é catalisado. Essa perspectiva é listada nos trechos apresentados a seguir:

Quando pensar em fabricação por Manufatura Aditiva, deve-se sair do modelo tradicional. Por ser uma tecnologia que permite a fabricação de geometrias complexas, não tem porque ficar “preso” a uma forma, um formato. [...] (Entrevistado 1).

Uma coisa que deve ser levada em consideração é que o produto que hoje é convencional ele pode deixar de ser convencional, ou seja, quando pensa-se em aplicar a Manufatura Aditiva, idealiza-se aplicar no mesmo produto e em grande parte dos casos o resultado pode ser inviável [...] (Entrevistado 1).

Para corroborar essas afirmações, verifica-se que grandes empresas pioneiras no uso da Manufatura Aditiva estão se valendo destas características da tecnologia. A General Eletric, por exemplo, promoveu um desafio com um de seus componentes tradicionais à sua equipe de desenvolvimento de produto:

[...] a ideia do desafio era reformular a geometria deste componente, mantendo sua usabilidade e propriedades, tornando-o mais viável para fabricação em Manufatura Aditiva, propiciando um ganho ainda maior. O ideal é sair do trivial [...] (Entrevistado 1).

Desafios como esse, além de desenvolver produtos inovadores em geometria, também podem proporcionar a redução do uso de material e a consequente diminuição do peso deste produto. Como mencionado anteriormente, o resultado pode ser impactado pela redução do custo e pelo aumento do valor agregado.

Com o uso da Manufatura Aditiva o movimento “*maker*” foi impulsionado, ou seja, é possível escolher o produto que a pessoa quer e fabricá-lo, sem necessidade de se submeter a empresas de produção em massa, como é identificado no excerto a seguir:

A impressão 3D acabou impulsionando muito o movimento *maker* e o movimento *do it yourself*, porque antes, se tu querias um produto, tinhas que se submeter ao que as pessoas produziam em massa e comprar aquilo. Hoje tu consegues escolher o que tu queres e tu produz esse produto, isso acabou impulsionando muito esse movimento *maker* [...] (Entrevistado 11).

Para finalizar, uma síntese das repercussões da Manufatura Aditiva nos critérios competitivos é apresentada no Quadro 51. Cabe destacar que, do ponto de vista dos entrevistados, não foram evidenciadas repercussões negativas deste critério a partir do uso da Manufatura Aditiva.

Quadro 51: Síntese das Repercussões da Manufatura Aditiva no Critério Competitivo Inovação

REPERCUSSÕES POSITIVAS	REPERCUSSÕES NEGATIVAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite desenvolver produtos com maior valor agregado.</li> <li>• Permite o desenvolvimento e fabricação de produtos mais leves.</li> <li>• Possibilita geometrias que não são possíveis na manufatura tradicional.</li> <li>• Novos modelos de negócio reduzindo elos da cadeia até o consumidor final.</li> <li>• Mudança de paradigma dos processos produtivos.</li> </ul>	-

Fonte: Elaborado pelo autor

Em resumo, a Manufatura Aditiva, além de permitir a inovação de produtos (customizados, mais leves e conferindo maior valor agregado), ainda permite modelos diferentes de negócios, encurtando elos da cadeia. No limite, o produto pode ser fabricado no local de consumo. Ainda, destaca-se a tecnologia por si só, ou



seja, a Manufatura Aditiva quebra o paradigma da produção tradicional. Em seguida, são apresentados os resultados da análise em relação ao critério competitivo Qualidade.

### 6.1.5 Qualidade

Segunda categoria mais representativa na análise em relação à frequência de repercussões positivas e terceira na representatividade de repercussões negativas, o critério competitivo Qualidade foi mencionado, na análise de presença e ausência, por 16 dos 19 entrevistados. Os entrevistados direcionaram suas respostas para os aspectos de propriedades (resistência), aparência (estética) e confiabilidade.

No que se refere à propriedade e resistência, as peças fabricadas pela Manufatura Aditiva não deixam mais a desejar. As peças fabricadas por meio da Manufatura Aditiva possuem resistência e propriedades, em alguns casos, até melhores que na manufatura convencional, como ilustra os seguintes trechos:

[...] a questão de propriedades e resistência não deixam mais a desejar. Não, pelo contrário. Eu já vi estrutura completa de um avião impresso há quatro anos atrás [...] (Entrevistado 16).

Em muitos casos, os testes demonstraram que em termos de propriedades (resistência), os componentes fabricados pela Manufatura Aditiva metálica se assemelham ou são até superiores que a manufatura convencional [...] (Entrevistado 1).

Mesmo com testes e garantia de resistência, a Manufatura Aditiva não está sendo usada para componentes estruturais. Apesar de existirem componentes fabricados a partir da Manufatura Aditiva para a indústria aeronáutica, por exemplo, estes componentes não são estruturais. Sendo assim, apesar de desenvolvidos e testados, evidencia-se que a mudança da tecnologia de fabricação ainda é um paradigma quando se trata de segurança, como ilustram os excertos a seguir:

Apesar destas evidências, para o setor aeronáutico este componente ainda precisa ser homologado, pois fará parte de um equipamento que carregará em torno de 300 pessoas em um voo [...] (Entrevistado 1).

Existem materiais certificados para o uso na indústria automotiva, aeroespacial e médica, por exemplo e são materiais que pode imprimir e montar no avião. Não é uma peça que vai montar um elemento estrutural, mas visual, e pode ser usado sem perda de qualidade [...] (Entrevistado 4).

O Entrevistado 13 destaca ainda que “[...] as peças fabricadas pela Manufatura Aditivada são peças críticas nem estruturais [...]”. Além disso, os aspectos de confiabilidade da tecnologia são destacados. Nesse sentido, são abordados os equipamentos e também os materiais. Uma restrição ao uso da tecnologia ainda é o conhecimento. As empresas precisam entrar em contato com a Manufatura Aditivada profissional. Atualmente, grande parte das empresas conhece as máquinas menores, compactas e não os grandes equipamentos para utilização profissional. Estas questões são assim ilustradas:

Na tecnologia da Stratasys (profissional) a tecnologia e os materiais são confiáveis. Existem muitas empresas e pessoas que não entraram em contato com a tecnologia de Manufatura Aditivada profissional. As pessoas ainda tomam como base as impressoras vindas da China ou de empresas de pequeno porte que produzem com uma qualidade questionável [...] (Entrevistado 4).

[...] é confiável para aplicações que aceitam plástico e suas características. Alguns destes materiais, inclusive, são certificados para utilização nas indústrias aeroespacial (*Federal Aviation Administration*) e médica [...] (Entrevistado 12).

As repercussões negativas sobre o critério competitivo Qualidade ficam por conta da estética das peças fabricadas pela Manufatura Aditiva. O aspecto da peça, devido à adição de camadas, ainda é bastante “grosseiro” e, na maioria dos casos em que a peça é aparente, necessita de alguma operação complementar. Isto não acontece quando a peça fabricada pela Manufatura Aditivada fica visível no produto final. Nesse caso, ela sai pronta do equipamento e pode ser montada no produto final. Essas perspectivas são apresentadas nos seguintes trechos:

Aquelas peças usadas (suporte de vedação) que fica exposto por exemplo, exige uma operação de acabamento para melhorar a estética. Os que são internos não necessitam desse acabamento [...] (Entrevistado 2).

Para clientes que priorizam questões de qualidade, são necessários processos complementares após fabricação na impressora 3D. Lixar, equalizar a superfície e pintar, por exemplo são operações complementares [...] (Entrevistado 3).

Hoje, e se eu comparar uma peça injetada com uma peça daqui ela sai bem diferente, não no dimensional, mas naquelas ranhuras que você consegue perceber, ela é mais feia, não sai perfeita, lisinha, bem-acabada [...] (Entrevistado 6).

A aparência das peças fabricadas ainda é um limitante a ser resolvido. Nesse sentido, os entrevistados destacaram que a evolução da tecnologia está sendo rápida para diminuir esse problema de aparência. No Quadro 52, é apresentada a síntese das repercussões da Manufatura Aditivano critério competitivo Qualidade.

Quadro 52: Síntese das Repercussões da Manufatura Aditivano Critério Competitivo Qualidade

REPERCUSSÕES POSITIVAS	REPERCUSSÕES NEGATIVAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Propriedades e resistência das peças fabricadas pela Manufatura Aditivase assemelham ou até superam às fabricadas pela manufatura tradicional.</li> <li>• A Manufatura Aditivaprofissional é confiável para materiais e componentes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ainda necessita certificação e regulação para fabricação de componentes estruturais.</li> <li>• A aparência das peças é um limitante para componentes que ficam visíveis no produto final.</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor

Em síntese, a qualidade apresenta-se como um limitante apenas na questão da aparência. As propriedades e a confiabilidade de materiais e equipamentos são pontos resolvidos para a Manufatura Aditiva. Com o avanço da tecnologia, a estética da peça pode ser melhorada, fazendo com que a qualidade seja atendida em todos os aspectos necessários. A seguir, é apresentada a análise das repercussões da Manufatura Aditivano critério competitivo Sustentabilidade.

### 6.1.6 Sustentabilidade

O critério competitivo Sustentabilidade foi o segundo menos citado no que tange ao total absoluto de frequências da análise. Mesmo comportamento foi observado quando avaliadas as repercussões positivas. Quanto às repercussões negativas, ficou à frente apenas dos critérios Desempenho de Entrega e Inovação, que não foram mencionados.

A Sustentabilidade é ilustrada pelos entrevistados sob os aspectos de redução do desperdício de material, consumo de energia e até mesmo a diminuição do transporte físico, que pode ter impactos sistêmicos no meio ambiente. A Manufatura Aditiva é considerada uma tecnologia limpa.

No que se refere ao desperdício de materiais, o simples fato de ser uma tecnologia aditiva, ou seja, fabrica a peça pela adição de material, camada a camada, faz com que o desperdício de material seja mínimo. Comparando com a manufatura subtrativa, que fabrica a peça retirando material de uma chapa ou barra de aço, por exemplo, o impacto na geração de resíduos é visível. Esta questão é apresentada nos trechos:

A Manufatura Aditiva consegue diminuir os desperdícios na matéria-prima. A sustentabilidade não se restringe apenas à questão de custos. Também na questão ambiental e de recursos da empresa. Matéria-prima, tempo, pessoas, etc. [...] (Entrevistado 5).

Com relação a desperdício de material, se comparado com a manufatura tradicional não se tem dúvida, mesmo que gere um pouco de resíduo, é infinitamente menor do que a gente tem gerado hoje [...] (Entrevistado 16).

A Manufatura Aditiva é mais sustentável do que a manufatura tradicional, pois reduz tempo de processos, reduz drasticamente o desperdício de materiais, elimina a necessidade de estoque físico e pode ser um componente positivo para melhorar a qualidade de trabalho dos funcionários – ergonomia e peso de ferramentas [...] (Entrevistado 12).

O último trecho traz uma reflexão mais sistêmica no âmbito da sustentabilidade, pois aborda, além do desperdício de materiais, a qualidade de vida dos empregados. Esta visão não limita a sustentabilidade às questões ambientais, mas também da empresa no sentido da melhoria das condições de trabalho e da sustentabilidade econômica.

Do mesmo modo, o consumo de energia é considerado uma vantagem do ponto de vista da Sustentabilidade. No entanto, existe divergência desta vantagem dependendo do tipo de equipamento. Para equipamentos de Manufatura Aditivatermoplásticos, o consumo é baixo e corrobora com os aspectos de sustentabilidade ambiental. Os trechos a seguir ilustram esta afirmação.

A ideia de não desperdício é intrínseca à tecnologia. Além de não desperdiçar materiais ainda há a economia de energia e redução da pegada carbono [...] (Entrevistado 4).

[...] na realidade gasta menos, teoricamente, ele não puxa muita energia esse equipamento, o interessante dessas máquinas é que se você não tem uma rede muito linear [...] (Entrevistado 10).

Quando a análise do consumo de energia é realizada sob o ponto de vista dos equipamentos de Manufatura Aditivametálica, o consumo de energia, comparado com os processos convencionais, é maior. De acordo com o Entrevistado 6, “[...] a impressão metálica vai utilizar muito mais energia, a metálica tem um laser, o buraco é mais embaixo [...]”.

O último ponto abordado em relação ao critério competitivo Sustentabilidade, versa sobre a alteração dos modelos de negócio, a digitalização dos produtos e a virtualização do transporte. Esta mudança de paradigma pode impactar o sistema como um todo, reduzindo, por exemplo, até mesmo o número de veículos de transporte nas estradas. Essa questão é evidenciada no trecho a seguir:

A grande mudança com a utilização da Manufatura Aditiva é que os componentes poderão ser fabricados no local ou próximos ao local de consumo. Isso evitará esse trânsito (movimentação e transporte de materiais) além da diminuição do impacto ambiental [...] (Entrevistado 5).

No Brasil, as empresas não têm o hábito de usar a sustentabilidade como um diferencial competitivo. Dessa forma, não é tratada como um diferencial que pode levar as empresas a optar pelo uso da Manufatura Aditiva. As empresas podem até

“ganhar” a sustentabilidade como um diferencial, mas o real motivo para sua utilização é ter vantagem em tempo e custo, como evidenciado a seguir:

Sinceramente aqui no Brasil a questão da Sustentabilidade ainda não é vista como um diferencial da tecnologia de Manufatura Aditiva. No Brasil, o que preocupa é a redução de tempo e custo. Empresas maiores têm um olhar para a questão da sustentabilidade, porém aqui no Brasil ainda não é o foco. Fora do Brasil isso é usado como um diferencial [...] (Entrevistado 4).

No Brasil, acaba-se usando isso como ganho em cadeia. Acaba-se promovendo o produto pela questão da sustentabilidade, mas o real motivo da sua utilização é redução de tempo e preço [...] (Entrevistado 4).

Por fim, verifica-se que a Sustentabilidade pode ser melhor aproveitada como diferencial competitivo nas organizações, principalmente nacionais, visto que, conforme comentado na análise das entrevistas, as empresas estrangeiras fazem uso desta vantagem para incrementar sua competitividade. Estas repercussões da utilização da Manufatura Aditiva no critério competitivo Sustentabilidade serão sintetizadas no Quadro 53.

Quadro 53: Síntese das Repercussões da Manufatura Aditiva no Critério Competitivo Sustentabilidade

REPERCUSSÕES POSITIVAS	REPERCUSSÕES NEGATIVAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do desperdício de Matéria-prima.</li> <li>• Melhoria na sustentabilidade ambiental, social e econômica.</li> <li>• Redução do consumo de energia para equipamentos termoplásticos.</li> <li>• Redução da necessidade de transporte físico (veículos).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento do consumo de energia para equipamentos metálicos.</li> <li>• Não é usado como diferencial competitivo no Brasil.</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor

Em síntese, a Manufatura Aditiva apresenta vantagens e oportunidades no que se refere à Sustentabilidade. Ao olhar além da sustentabilidade ambiental, ampliam-se os argumentos para o incremento do uso da Manufatura Aditiva pelas organizações. Cabe salientar que, em um mundo cada vez mais preocupado com as questões ambientais, usar este critério para tornar a empresa mais competitiva pode

ser benéfico aos resultados da organização. A seguir, será apresentada a análise do critério competitivo Velocidade.

### **6.1.7 Velocidade**

O critério competitivo Velocidade foi o terceiro critério mais citado no total absoluto de frequências da análise. Com relação às repercussões positivas, o critério foi um dos menos representativos, posicionando-se apenas à frente dos critérios competitivos Sustentabilidade e Inovação. Contudo, do ponto de vista das repercussões negativas, foi uma das mais citadas pelos entrevistados, ficando apenas atrás do critério competitivo Custo. Na análise de ausência e presença, o critério Velocidade foi mencionado por 16 dos 19 entrevistados da pesquisa.

A análise do critério competitivo tem relação direta com a categoria Tempos e Métodos, analisada no capítulo referente aos impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos. A velocidade é discutida pelos entrevistados sob os aspectos de tempo de atravessamento, com destaque para o desenvolvimento de produto e fabricação e o tempo de ciclo.

O elevado tempo de ciclo dos equipamentos de Manufatura Aditiva é identificado como o limitante para o uso da tecnologia nos sistemas produtivos. Se do ponto de vista da produção de produtos customizados ou de pequenos lotes de produção não é um problema, para os sistemas de produção em massa torna inviável o uso da tecnologia.

A grande restrição é o tempo de ciclo (para fazer uma peça é 10 horas por exemplo), porém, devido ao tipo de produção da empresa, a tecnologia está sendo satisfatória [...] (Entrevistado 2).

O tempo e custo são os limitantes. O custo da Manufatura Aditiva para larga escala ainda é alto. O que eu enxergo hoje aqui no meu ambiente de trabalho é custo e tempo [...] (Entrevistado 6).

Contudo, a evolução da tecnologia apresenta indícios de que este problema pode vir a ser resolvido. A velocidade dessa solução depende da evolução dos softwares dos equipamentos. No trecho a seguir, esta perspectiva é ilustrada:

Outra coisa é tempo, mas isso está avançando muito rápido, isso já melhorou entre cem e mil vezes nos últimos quatro anos, e tem várias tecnologias concorrentes, tem uma empresa em Boston que está fazendo impressão de metal combinado com polímero, e aí você imprime isso rápido e você coloca em um forno para sintetizar o negócio, você tem duas etapas e aí você tem uma velocidade comparável com a velocidade de outros processos [...] (Entrevistado 16).

Ao analisar apenas o tempo de ciclo para identificar as repercussões do uso da Manufatura Aditiva no critério competitivo Velocidade, a avaliação é apenas local. Em vista disso, deve ser levado em conta que, ao utilizar a Manufatura Aditiva na fabricação, um conjunto de operações está sendo substituído por um único equipamento, que fará o processo praticamente na sua totalidade, em lote unitário. Dessa maneira, deve-se observar as repercussões no tempo de atravessamento da produção, levando em conta as operações e o tamanho dos lotes do processo tradicional. Essa perspectiva é corroborada nos seguintes excertos:

[...] para comparação com a Manufatura Aditiva, deve ser avaliada a cadeia como um todo. Para não ter uma análise limitada, ela deve ser feita global e não local. Para não limitar a tomada de decisão, a análise deve ser da cadeia [...] (Entrevistado 1).

Comparando com a tecnologia tradicional, a Manufatura Aditiva é muito mais rápida, uma vez que se deve olhar o *lead time* do processo tradicional que é o mesmo tempo do ciclo da Manufatura Aditiva [...] (Entrevistado 4).

Hoje não existe maneira mais rápida de tirar uma peça do ambiente virtual e trazê-la para o real. O que antes levava meses para ser produzido, a impressora 3D faz em dias ou horas [...] (Entrevistado 9).

A resolução do problema de tempo de ciclo pode viabilizar a produção também em grandes lotes e tornar a Manufatura Aditiva uma tecnologia menos



restritiva para as organizações. O Quadro 54 apresenta a síntese das repercussões da Manufatura Aditiva no critério competitivo Velocidade.

Quadro 54: Síntese das Repercussões da Manufatura Aditiva no Critério Competitivo Velocidade

REPERCUSSÕES POSITIVAS	REPERCUSSÕES NEGATIVAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do tempo de desenvolvimento de produto.</li> <li>• Redução do <i>lead time</i> de manufatura.</li> <li>• Redução do <i>time to market</i>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevado tempo de ciclo.</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor

Em síntese, a Manufatura Aditiva ser competitiva do ponto de vista do critério Velocidade para produção em pequenos lotes e produtos customizados é uma realidade. Para o desenvolvimento de produtos e *time to market*, essa vantagem pode ser compartilhada, independentemente do volume de produção, visto que a restrição do tempo de ciclo tem impacto direto apenas na manufatura. Para dar sequência à análise, a seção a seguir apresenta as repercussões da Manufatura Aditiva nos critérios competitivos sob o ponto de vista dos grupos de entrevistados.

## 6.2 ANÁLISE POR GRUPO DE ESPECIALISTAS

Para avaliar as repercussões nos critérios competitivos, seguiu-se a mesma divisão dos entrevistados utilizada para a análise dos impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos. Por meio desta análise entre os grupos, busca-se identificar convergências, divergências e complementariedades de percepções sobre as repercussões do uso da Manufatura Aditiva nos critérios competitivos. No sentido de ilustrar as frequências dos registros das categorias em cada grupo de entrevistados, o Quadro 55 apresenta a frequência absoluta total de registros das respostas por grupo de entrevistados.

Quadro 55: Análise de Frequência Absoluta por Grupo de Entrevistados

Grupos	Custo		Desempenho de Entrega		Flexibilidade		Inovação		Qualidade		Sustentabilidade		Velocidade	
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
Representantes e Fabricantes	14	2	3	0	4	0	3	0	10	0	1	2	4	2
Usuários	38	14	20	0	18	2	4	0	21	4	16	0	17	3
Formuladores de Políticas Públicas	2	1	1	0	1	0	2	0	3	1	1	0	2	1
<b>Totais</b>	<b>54</b>	<b>17</b>	<b>24</b>	<b>0</b>	<b>23</b>	<b>2</b>	<b>9</b>	<b>0</b>	<b>34</b>	<b>5</b>	<b>18</b>	<b>2</b>	<b>23</b>	<b>6</b>

Fonte: Elaborado pelo autor

Observando apenas a análise do total da frequência absoluta dos registros, é possível verificar tanto semelhanças quanto diferenças entre os padrões de resposta. Os critérios competitivos Custo e Qualidade, por exemplo, são os mais representativos entre o grupo dos Representantes e Fornecedores da Manufatura Aditiva e o grupo de Usuários. Ainda sobre o critério competitivo Custos, para o grupo Fornecedores e Representantes e o grupo Usuários, esse critério foi o mais representativo entre as repercussões positivas e negativas.

O grupo Formuladores de Políticas Públicas teve a distribuição mais uniforme entre os critérios, não apresentando divergências do ponto de vista quantitativo. Outra particularidade da análise quantitativa das frequências foi a representatividade do grupo Usuários no critério competitivo Sustentabilidade. A seguir, são discutidas as percepções qualitativas específicas entre os grupos. A próxima seção vai apresentar, então, os aspectos convergentes e complementares entre os grupos de entrevistados.

### 6.2.1 Aspectos Convergentes e Complementares

Em um âmbito geral, as repercussões, tanto positivas quanto negativas, convergiram entre os grupos de entrevistados. Repercussões que eram citadas apenas por um grupo de entrevistados complementaram as repercussões convergentes, tornando robusta a análise de cada um dos critérios competitivos.

Na análise do critério competitivo Custos, as percepções dos grupos são convergentes quanto à redução de custos relacionados à adoção da Manufatura Aditiva pelos sistemas produtivos. Se por um lado para a questão dos custos de manufatura o volume de produção é uma restrição, por outro lado, quando o ponto analisado é o desenvolvimento de produtos, o volume de produção não impacta.

Nesse sentido, a redução de custos relacionada ao processo de desenvolvimento de produto pode ser verificada para qualquer sistema produtivo.

Na manufatura propriamente dita, as percepções dos grupos convergem para a redução de custos para empresas com baixo volume de produção e aumento de custos para produção em massa. O aumento de custos para produção em massa ocorre devido ao elevando tempo de ciclo de operação. Sendo necessário, desse modo, com a tecnologia atual, um alto investimento em equipamentos de Manufatura Aditiva para atender a demanda. Se analisado sob o ponto de vista do Mecanismo da Função Produção, este aspecto é verificado apenas em referência à função operação, ou seja, o sujeito do trabalho (máquinas e pessoas).

Ao observar sob a ótica da função processo (objeto deste trabalho), há convergência quanto à redução de custos de estoques e à redução do desperdício de materiais. Algumas questões foram mencionadas apenas por um dos grupos analisados e podem complementar a análise. O grupo Usuários destacou que o menor tempo de atravessamento no desenvolvimento e na fabricação pode fazer com que as receitas sejam antecipadas (comparadas com a manufatura atual), gerando impacto financeiro positivo para as empresas. Ainda foi levantado pelo grupo Usuários que o custo dos equipamentos é alto, apesar de, nos últimos anos, os preços apresentarem queda.

Quanto ao critério competitivo Desempenho de Entrega, a agilidade dos processos de desenvolvimento de produtos e fabricação foi uma repercussão classificada como convergente. Cabe destacar que o desempenho de entrega trata de cumprir o prazo acordado com os clientes e, sendo mais ágil, a Manufatura Aditiva pode contribuir. Outrossim, pode até proporcionar prazos menores, aumentando a competitividade neste quesito. Os produtos ou componentes gerenciados como Kanban também podem conhecer uma quebra de paradigma, ou seja, o supermercado (estoque físico limitado do Kanban) pode ser substituído por um equipamento de Manufatura Aditiva, catalisando os resultados perseguidos pelo Sistema Toyota de Produção.

Observando as repercussões complementares, o grupo Usuários destacou a possibilidade de novos modelos de negócio com a fabricação dos produtos acontecendo mais próximo do cliente final e o transporte virtual. O projeto/desenho do produto pode ser enviado para o equipamento de Manufatura Aditiva que está

mais próximo do ponto de consumo via rede e esse é impresso. Assim, no limite, não seria mais necessário o transporte físico.

A Flexibilidade é considerada um dos critérios competitivos mais beneficiados com a utilização da Manufatura Aditiva. Desse modo, o fato de a Manufatura Aditiva não necessitar realizar troca de ferramental faz com que a flexibilidade da produção seja impactada positivamente, não necessitando mais, em alguns casos, a produção por lotes mínimos. Os produtos podem ser feitos sob demanda de acordo com a ordem dos pedidos. Essa repercussão é definida pelos grupos de entrevistados como a rápida troca de produto.

No que tange à troca de cor e de material, é consenso entre os grupos que a troca de material e de cor para os equipamentos de Manufatura Aditiva termoplásticos é quase nula ou realizada em um tempo bastante curto. Entretanto, foi complementado pelo grupo Usuários que a troca de material para equipamentos de Manufatura Aditiva metálica apresenta um tempo bastante elevado devido à necessidade de limpeza completa das partículas do pó de metal. Segundo os entrevistados, isso pode levar dias e até semanas e é um aspecto a ser solucionado.

Um dos critérios competitivos analisados e que teve o menor número de registros foi a Inovação. Se observada sob o ponto de vista do processo, a Manufatura Aditiva, por si só, é uma inovação, ou seja, ela muda o paradigma dos sistemas produtivos. Do ponto de vista do produto, as repercussões foram convergentes entre os grupos quanto à Manufatura Aditiva permitir desenvolver e, por consequência, fabricar produtos mais leves e ter maior liberdade geométrica, possibilitando maior grau de customização aos produtos. Ainda, a mesma repercussão positiva evidenciada na categoria Desempenho de Entrega é destacada aqui como um ponto que repercute positivamente na competitividade em Inovação: desenvolver modelos de negócio que aproximem a fabricação do consumidor final.

De acordo com os grupos de entrevistados, a Qualidade, em termos de propriedades e resistência, não deixa a desejar se comparada com a manufatura tradicional. Em alguns casos, apresentam-se até mesmo com resultados superiores ao processo de injeção, por exemplo. É consenso entre os grupos de entrevistados, também, que os componentes estruturais fabricados pela Manufatura Aditiva ainda precisam ser certificados e regulados por órgãos responsáveis. Um limitante a ser resolvido para maior uso da Manufatura Aditiva para produtos finais é a aparência das peças. A estética, ocasionada pelas ranhuras apresentadas no produto oriundas

da adição de camadas, não é recomendada em componentes que ficam visíveis no produto final. Para componentes internos e que não requerem acabamento, isso não é um problema. O critério competitivo Sustentabilidade foi mais discutido dentro do grupo dos Usuários. Nesse sentido, a única repercussão convergente entre todos os grupos foi a redução do desperdício de materiais proporcionado pelo uso da Manufatura Aditiva.

O grupo de Usuários complementou as repercussões destacando a redução da necessidade do transporte físico, proporcionado pela digitalização do produto. Além disso, ampliou o aspecto de Sustentabilidade apresentando repercussões positivas no âmbito da sustentabilidade social e financeira da empresa. Importante destacar, ainda, que, para o grupo de Fabricantes e Representantes de Manufatura Aditiva, esta tecnologia não é usada, no Brasil, pelas empresas como um diferencial competitivo relacionado à Sustentabilidade.

Por fim, o critério competitivo Velocidade voltou a destacar a redução dos tempos de desenvolvimento e do *lead time* de manufatura. Estas repercussões foram convergentes entre os grupos. Igualmente, todos os grupos destacaram que o elevado tempo de ciclo da operação é, atualmente, uma forte restrição para disseminação do uso da Manufatura Aditiva de maneira potencial. Complementando a análise, a redução do *time to market* foi destacada pelo grupo de Representantes e Usuários. A seguir, são apresentados os aspectos divergentes encontrados entre os grupos.

### **6.2.2 Aspectos Divergentes**

No que tange aos aspectos divergentes, apenas um ponto apresentado como uma repercussão negativa do uso da Manufatura Aditiva para os critérios competitivos foi destacado. Este aspecto foi evidenciado na análise dos critérios competitivos Custo e Sustentabilidade e refere-se ao consumo de energia.

Se por um lado para os equipamentos de Manufatura Aditiva termoplásticos o consumo de energia é baixo, até mesmo se comparado com a manufatura tradicional, por outro lado, para a Manufatura Aditiva metálica, o consumo é muito elevado. O uso do laser no processo de sinterização do metal consome quantidade elevada de energia. Análises necessitam ser realizadas, até porque, mesmo com um consumo maior, este equipamento pode eliminar uma série de outros, visto que, com o uso da Manufatura Aditiva, o componente pode ficar pronto em um equipamento único.

Essa divergência foi apresentada pelo grupo de entrevistados Usuários, destacando ainda que esta repercussão é uma realidade com uso das atuais tecnologias e, quanto mais ela evoluir, esta repercussão pode ficar menor e aos poucos viabilizar a Manufatura Aditiva para mais empresas. Isto posto, a seguir, é apresentada a síntese da análise dos entrevistados por grupos.

### **6.2.3 Síntese dos Aspectos Convergentes, Divergentes e Complementares entre os Grupos de Entrevistados**

Para sintetizar os resultados da análise entre os grupos de entrevistados, foi desenvolvido o Quadro 56. Este apresenta os aspectos convergentes, divergentes e complementares entre cada grupo de entrevistados. Além disso, esta análise foi dividida entre as categorias de análise para a avaliação das repercussões da Manufatura Aditiva nos critérios competitivos.

Quadro 56: Síntese dos Aspectos Convergentes, Divergentes e Complementares entre os Grupos de Entrevistados

Categoria de Análise	Convergências	Divergências	Complemento
<b>Custo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do Custo de Desenvolvimento (Todos os Grupos).</li> <li>• Redução do Desperdício de Materiais (Todos os Grupos).</li> <li>• Redução dos Custos de Estoques (Todos os Grupos).</li> <li>• Redução de custo para fabricação de pequenos lotes de produção (Todos os Grupos).</li> <li>• Aumento de custo para produção em massa (Todos os Grupos).</li> <li>• Redução do custo de mão de obra (Todos os Grupos).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O grupo Usuários mencionou o alto consumo de energia para Manufatura Aditiva metálica. Os demais grupos destacaram a redução do consumo de energia, principalmente dos equipamentos termoplásticos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Antecipação de receita devido ao menor tempo de atravessamento (Usuários).</li> <li>• Alto custo de aquisição dos equipamentos (Usuários).</li> </ul>
<b>Desempenho de Entrega</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Processo de desenvolvimento de produto mais rápido (Todos os Grupos).</li> <li>• Processo de fabricação mais ágil (Todos os Grupos).</li> <li>• Kanban virtual (Usuários, Fabricantes e Representantes).</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fabricação de produtos mais próximos ao cliente final (Usuários).</li> <li>• Transporte virtual (Usuários).</li> </ul>
<b>Flexibilidade</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminação da troca de ferramental (Todos os Grupos).</li> <li>• Rápida troca de produto (Todos os Grupos).</li> <li>• Troca de cor e material mais rápidas para equipamentos termoplásticos (Fabricantes e Usuários).</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não necessita lote mínimo para viabilizar a produção (Usuários).</li> <li>• O tempo de troca de material nos equipamentos metálicos é extremamente elevado (Usuários).</li> </ul>

Categoria de Análise	Convergências	Divergências	Complemento
<b>Inovação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite a fabricação de produtos mais leves (Todos os Grupos).</li> <li>• Liberdade Geométrica e Customização (Todos os Grupos).</li> <li>• Modelos de negócio que aproximam a fabricação do consumidor (Fabricantes e Representantes e Usuários).</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produtos com maior valor agregado (Usuários).</li> <li>• Mudança de paradigma do processo produtivo (Usuários).</li> </ul>
<b>Qualidade</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Propriedades e resistência das peças fabricadas pela Manufatura Aditiva se assemelham ou até superam as fabricadas pela manufatura tradicional (Todos os Grupos).</li> <li>• Ainda necessita certificação e regulação para fabricação de componentes estruturais (Todos os Grupos).</li> <li>• A aparência das peças é um limitante para componentes que ficam visíveis no produto final (Todos os Grupos).</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A Manufatura Aditiva profissional é confiável para materiais e componentes. (Fabricantes e Representantes).</li> </ul>
<b>Sustentabilidade</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do desperdício de matéria-prima (Todos os Grupos).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O grupo Usuários mencionou o alto consumo de energia para Manufatura Aditiva metálica. Os demais grupos destacaram a redução do consumo de energia, principalmente dos equipamentos termoplásticos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sustentabilidade Social e Econômica (Usuários).</li> <li>• Redução da necessidade de transporte físico (Usuários).</li> <li>• Não é usada como diferencial competitivo no Brasil (Fabricantes e Representantes).</li> </ul>



Categoria de Análise	Convergências	Divergências	Complemento
<b>Velocidade</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Redução do tempo de desenvolvimento de produto (Todos os Grupos).</li><li>• Redução do <i>lead time</i> de manufatura (Todos os Grupos).</li><li>• Elevado tempo de ciclo (Todos os Grupos).</li></ul>	-	<ul style="list-style-type: none"><li>• Redução do <i>time to market</i> (Fabricantes e Representantes).</li></ul>

Fonte: Elaborado pelo autor

### 6.3 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS ESPECIALISTAS E A LITERATURA

Nesta seção, são analisadas as convergências e divergências apresentadas entre a análise de conteúdo das entrevistas e da literatura sob o ponto de vista das repercussões da Manufatura Aditiva nos critérios competitivos. Em linhas gerais, observando pela ponderação de frequências, apresenta-se, no Quadro 57, o percentual das repercussões positivas e negativas registradas nas entrevistas e na literatura.

Quadro 57: Comparativo Geral das Repercussões entre as Categorias de Análise - Entrevistas x Literatura

Categoria Critérios Competitivos	Entrevistas		Literatura	
	Impactos Positivos	Impactos Negativos	Impactos Positivos	Impactos Negativos
Custo	45,5 (87,2%)	6,7 (12,8%)	21,1 (87,9%)	2,9 (12,1%)
Desempenho de Entrega	17,7 (100%)	0 (0%)	6,7 (100%)	0 (0%)
Flexibilidade	18,2 (99,5%)	0,1 (0,5%)	16,7 (99,4%)	0,1 (0,6%)
Inovação	3,3 (100%)	0 (0%)	1 (100%)	0 (0%)
Qualidade	26,8 (97,1%)	0,8 (2,9%)	0,5 (7,6%)	6,1 (92,4%)
Sustentabilidade	9,5 (99,0%)	0,1 (1%)	2,2 (100%)	0 (0%)
Velocidade	15,7 (89,2%)	1,9 (10,8%)	3 (81,1%)	0,7 (18,9%)

Fonte: Elaborado pelo autor

De maneira geral, verifica-se que a maior parte dos critérios competitivos teve convergência em termos quantitativos com a representatividade das repercussões positivas e negativas em cada critério. A grande divergência ficou por conta do critério competitivo Qualidade. Se por um lado, do ponto de vista da literatura, mais de 90% das repercussões relacionadas ao critério competitivo Qualidade são negativas, por outro lado, na visão dos entrevistados, a proporção é inversa, ou seja, 97,1% destacam repercussões positivas.

Esta divergência na análise pode, em parte, ser explicada pela questão temporal. Na literatura, foram analisados artigos desde os anos 2000, quando as questões de qualidade ainda eram um problema. É possível verificar que os últimos artigos utilizados começam a destacar que as questões relacionadas às

propriedades dos materiais estão sendo resolvidas. As entrevistas foram realizadas entre o final de 2016 e o final de 2017, quando a questão qualidade apresenta-se como um problema apenas quanto à aparência. Após este comparativo geral, são destacadas as convergências e divergências apresentadas entre os dados coletados com os especialistas e a literatura.

### **6.3.1 Aspectos Convergentes e Complementares**

A maior parte dos impactos da Manufatura Aditiva nas categorias dos sistemas produtivos analisados foi convergente ou complementar. Quando os impactos eram citados pela literatura e também pelas entrevistas, foram tratados como convergentes. Se eram citados apenas em uma delas, foram classificados como complementares.

Na categoria Custo, as convergências relacionadas às repercussões positivas situaram-se na redução dos custos de estoques, do desperdício de materiais e da mão de obra. A redução dos custos de mão de obra está relacionada aos operadores de máquinas, pois as tecnologias de Manufatura Aditiva reduzirão o número de operações para fabricação. O estado atual da tecnologia permite ainda a redução dos custos para produção de pequenos lotes de fabricação, aspecto convergente entre literatura e entrevistados.

Como repercussões negativas convergiram o elevado custo dos equipamentos e o altotempo de ciclo da Manufatura Aditiva que aumenta os custos para produção de grandes lotes de fabricação; restringindo, por ora, sua viabilidade para esse tipo de produção. Alguns aspectos complementares destacados versam sobre a eliminação dos custos com ferramental e a possibilidade da fabricação direta partindo de desenhos em CAD, ambos destacados pela análise da literatura. Do ponto de vista dos entrevistados, destacou-se a possibilidade de gerar receita mais rápido, devido aos ciclos mais curtos de produção.

Em se tratando da categoria Desempenho de Entrega, a redução dos tempos de desenvolvimento e de fabricação foram destacados na literatura e nas entrevistas como principal repercussão positiva desta categoria de análise. Com isso, haverá a possibilidade de redução de prazos de entrega, caso necessário, e até mesmo a

possibilidade de fabricação dos produtos não só em locais mais próximos, mas também no cliente final, acarretando em ganhos logísticos, por exemplo. Aspectos complementares como a redução do inventário e a redução da complexidade de gerenciar a cadeia de abastecimento foram apontados como repercussões positivas. Para os entrevistados, a digitalização do produto pode viabilizar o transporte virtual, reduzindo o prazo de entrega para o tempo de fabricação do produto.

A categoria Flexibilidade teve convergência para a maior parte das repercussões positivas. A mais citada delas é a eliminação do tempo de troca de ferramental, que proporciona a flexibilização da produção. Esta característica permite a fabricação de produtos diferentes em sequência, sem a necessidade de um “lote mínimo” para compensar o tempo de *setup*. Como aspectos complementares, a Manufatura Aditiva pode substituir a dinâmica competitiva da produção em escala para a economia de produção em lotes unitários, tornando-se uma ferramenta interessante quando o cenário apresenta cada vez volumes menores de produção e variedade maior de produtos.

Na categoria Inovação, as repercussões convergem no sentido de desenvolver produtos com maior valor agregado, a partir da possibilidade de fabricar geometrias não possíveis com a manufatura tradicional. Esse aspecto foi complementado pelos entrevistados sob o ponto de vista da redução de peso do produto final, que pode ser um diferencial competitivo para venda. Como negócio, a inovação está presente na possibilidade de comercialização de maneiras distintas. A venda do produto digital e não mais do produto físico é um aspecto a ser desenvolvido no futuro próximo. Para finalizar, a própria Manufatura Aditiva é considerada uma inovação em termos de processo, sendo apontada como o novo paradigma dos sistemas produtivos.

Os impactos convergentes relacionados à categoria Qualidade apresentaram alguns problemas que precisam ser resolvidos pela Manufatura Aditiva sob o seguinte aspecto. O mais citado é a questão da aparência do produto final. Nesse sentido, a tecnologia ainda deixa a desejar, principalmente se este produto, peça ou componente for visível no caso de ser montado em um produto final. Pontos complementares destacados pelas entrevistas tratam da necessidade de certificação e regulação dos produtos fabricados por meio da Manufatura Aditiva em componentes estruturais. Cabe destacar que a discussão sob este critério é

aprofundada na seção seguinte que discute as divergências encontradas nas análises.

A redução do desperdício de matéria-prima e da emissão de carbono são as grandes repercussões convergentes no critério competitivo Sustentabilidade. Convergem também o rótulo da Manufatura Aditiva de ser uma tecnologia verde, ou seja, um processo de produção mais limpo, reduzindo o impacto ambiental. Conceitos além da sustentabilidade ambiental foram destacados. A Manufatura Aditiva repercute positivamente na sustentabilidade econômica da empresa e na sustentabilidade social. A discussão final desse critério é apresentada ainda nas divergências encontradas no que se refere ao consumo de energia e é apresentada na seção seguinte.

Quanto ao critério Velocidade, as repercussões positivas convergiram no que diz respeito ao *lead time*, tanto de desenvolvimento quanto de fabricação, além da possibilidade de lançar o produto no mercado antecipadamente, se comparado à manufatura tradicional. A seguir, os aspectos divergentes entre a literatura e as entrevistas serão apresentados para posterior fechamento do capítulo com o quadro síntese desta análise.

### **6.3.2 Divergências**

Três divergências entre as percepções dos entrevistados e os resultados da literatura foram identificadas. Essas divergências repercutiram em quatro critérios diferentes.

O consumo de energia é um aspecto divergente entre teoria e entrevistas. A literatura não faz distinção do consumo de energia para equipamentos termoplásticos e metálicos. Para a literatura, foi mencionada apenas a redução do custo de energia. No entanto, para os entrevistados, o consumo de energia para equipamentos de fabricação aditiva termoplástica é baixo, mas o consumo para os equipamentos metálicos é elevado. Esta divergência foi destacada no critério competitivo Custos e também no critério Sustentabilidade.

A segunda divergência refere-se ao tempo de troca de material. A literatura menciona apenas a eliminação do tempo de troca de ferramental. Os entrevistados

destacaram que, além do ferramental, pode haver a troca de material. Nesse sentido, se a troca for em material termoplástico, o tempo desta troca é curto, porém, para troca de material metálico, as trocas apresentam tempos maiores até que os da manufatura convencional.

Por fim, a última divergência encontrada refere-se ao critério competitivo Qualidade. Enquanto para os entrevistados os aspectos relacionados às propriedades físicas e mecânicas estão superadas e apresentam resultados iguais ou até mesmo melhores que a manufatura convencional, a literatura ressalta que isto ainda é uma barreira para a utilização da Manufatura Aditiva pelas empresas. Como descrito anteriormente, a questão temporal pode explicar essa divergência. Na sequência, será apresentada a síntese geral da comparação da literatura e das entrevistas em relação às repercussões da Manufatura Aditiva nos critérios competitivos.

### **6.3.3 Síntese da Análise Comparativa**

Para sintetizar os resultados da análise entre os entrevistados e a literatura, foi desenvolvido o Quadro 58. Nele, são apresentados os aspectos convergentes e divergentes entre o material analisado, facilitando o entendimento e a visualização das repercussões da Manufatura Aditiva nos critérios competitivos.

Quadro 58: Síntese da Análise Comparativa entre as Entrevistas e a Literatura Referente às Repercussões nos Critérios Competitivos

Categoria de Análise	Convergências	Divergências	Aspectos Complementares
<b>Custo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução dos custos de estoque.</li> <li>• Redução do desperdício de material.</li> <li>• Redução do custo de produção para produção em pequenos lotes.</li> <li>• Redução do custo de mão de obra.</li> <li>• Elevado custo de equipamentos.</li> <li>• Elevado tempo de operação aumenta o custo para produção em massa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A literatura não faz distinção do consumo de energia para equipamentos termoplásticos e metálicos. Para a literatura, foi mencionada apenas a redução do custo de energia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do custo de desenvolvimento de produtos (Entrevistas).</li> <li>• Menor tempo de atravessamento pode antecipar receita (Entrevistas).</li> <li>• Eliminação do custo de ferramental (Literatura).</li> <li>• Permite a fabricação direta partindo do desenho em CAD (Literatura).</li> </ul>
<b>Desempenho de Entrega</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Processos de desenvolvimento de produto e de fabricação mais ágeis;</li> <li>• Fabricação de produtos mais próximos ao cliente final.</li> <li>• Redução dos prazos de entrega.</li> <li>• Kanban virtual.</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do inventário (Literatura).</li> <li>• Facilita a gestão da cadeia de abastecimento (Literatura).</li> <li>• Transporte virtual (Entrevistas).</li> </ul>
<b>Flexibilidade</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elimina o tempo da troca de ferramenta/molde.</li> <li>• Permite a fabricação de produtos diferentes sem perda de tempo entre a fabricação (se for o mesmo material).</li> <li>• Elimina a necessidade de lote mínimo para compensar o tempo de <i>setup</i>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Na literatura, é referenciado apenas o ganho do tempo de troca de ferramental. Nas entrevistas, destacou-se a diferença entre o tempo de troca de material termoplástico (rápido) e metálico (tempo elevado).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Substitui a dinâmica competitiva da produção em escala para a economia de produção unitária (Literatura).</li> <li>• Facilita a fabricação de produtos de formas complexas (Literatura).</li> <li>• Permite a utilização de diversos tipos de materiais (Literatura).</li> </ul>

Categoria de Análise	Convergências	Divergências	Aspectos Complementares
<b>Inovação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite desenvolver produtos com maior valor agregado.</li> <li>• Possibilita geometrias que não são possíveis na manufatura tradicional.</li> <li>• Novos modelos de negócio reduzindo elos da cadeia até o consumidor final.</li> <li>• Mudança de paradigma dos processos produtivos.</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite o desenvolvimento e fabricação de produtos mais leves (Entrevistas).</li> <li>• Facilita a terceirização e o compartilhamento de projetos (Literatura).</li> <li>• Redução do <i>lead time</i> do desenvolvimento de produto (Literatura).</li> </ul>
<b>Qualidade</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A aparência das peças é um limitante para componentes que ficam visíveis no produto final.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Propriedades e resistência das peças fabricadas pela Manufatura Aditiva se assemelham ou até superam as fabricadas pela manufatura tradicional.</li> <li>• A Manufatura Aditiva profissional é confiável para materiais e componentes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ainda necessita certificação e regulação para fabricação de componentes estruturais (Entrevistas).</li> <li>• Baixa confiabilidade e rendimento do processo (Literatura).</li> </ul>
<b>Sustentabilidade</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do desperdício de Matéria-prima.</li> <li>• Melhoria na sustentabilidade ambiental, social e econômica.</li> <li>• Processo de fabricação mais “limpo”.</li> <li>• Redução da emissão de carbono.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A literatura não faz distinção do consumo de energia para equipamentos termoplásticos e metálicos. Para a literatura foi mencionada apenas a redução do custo de energia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não é usado como diferencial competitivo no Brasil (Entrevistas).</li> <li>• Ferramenta para atenuar o impacto ambiental por meio da substituição aos processos de produção tradicionais (Literatura).</li> <li>• Redução da necessidade de transporte físico (Entrevistas).</li> </ul>
<b>Velocidade</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do tempo de desenvolvimento de produto.</li> <li>• Redução do <i>lead time</i> de manufatura.</li> <li>• Redução do <i>time to market</i>.</li> <li>• Elevado tempo de ciclo.</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidade de fornecer rapidamente peças de baixo volume sem o risco de manutenção de altos estoques (Literatura).</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor



Em síntese, resta evidente que a maior parte das repercussões foram convergentes ou complementares. As divergências foram relacionadas aos critérios Custo, Qualidade, Flexibilidade e Sustentabilidade. A seguir, será concluída a análise de conteúdo dos impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos e suas repercussões nos critérios competitivos com a comparação e relação entre os impactos e os critérios.

#### 6.4 AVALIAÇÃO INTEGRADA DOS IMPACTOS E REPERCUSSÕES DA MANUFATURA ADITIVA

Esta seção tem como objetivo fazer uma análise comparativa dos impactos gerados pela Manufatura Aditiva nas categorias dos sistemas produtivos e suas repercussões nos critérios competitivos. O impacto ocorrerá no sistema produtivo e repercutirá em um ou mais critérios competitivos. O Quadro 59 ilustra o resultado da análise realizada no Software ATLAS.ti 8 a partir do cruzamento entre as categorias dos sistemas produtivos e os critérios competitivos.

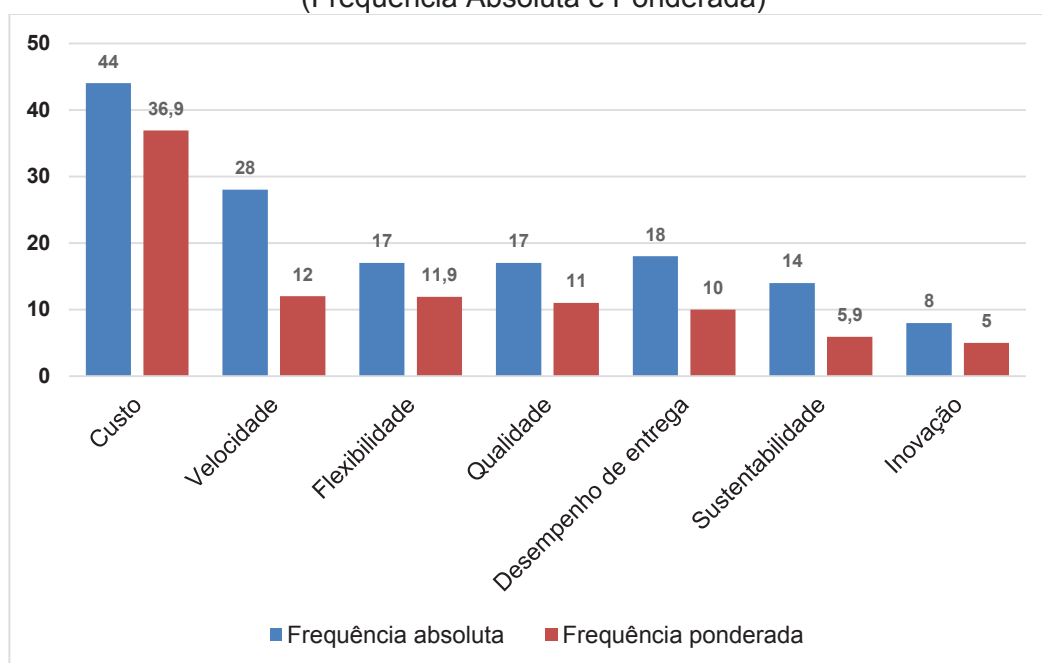
Quadro 59: Relação entre as Categorias dos Sistemas Produtivos e Critérios Competitivos

Categorias	Custo		Desempenho de Entrega		Flexibilidade		Inovação		Qualidade		Sustentabilidade		Velocidade	
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
Desenvolvimento de Produto	4	1	5	0	2	0	4	0	2	0	0	0	3	0
Engenharia de Processo	2	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0
Fornecedores	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Marketing e Vendas	2	0	5	0	1	0	2	0	1	0	2	0	0	0
Matéria-Prima	4	2	0	0	1	1	1	0	1	1	6	0	1	0
PCP	1	0	1	0	2	0	0	0	1	0	0	0	2	0
Recursos Financeiros	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Sistema de Manufatura	8	7	1	0	2	1	0	0	3	3	3	1	4	0
Tempos e Métodos	5	5	6	0	5	1	1	0	2	1	2	0	10	8
Frequência Absoluta	Custo		Desempenho de Entrega		Flexibilidade		Inovação		Qualidade		Sustentabilidade		Velocidade	
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
<b>Totais</b>	<b>28</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>0</b>	<b>14</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>12</b>	<b>5</b>	<b>13</b>	<b>1</b>	<b>20</b>	<b>8</b>
	<b>44</b>		<b>18</b>		<b>17</b>		<b>8</b>		<b>17</b>		<b>14</b>		<b>28</b>	
Ponderação de Frequência	Custo		Desempenho de Entrega		Flexibilidade		Inovação		Qualidade		Sustentabilidade		Velocidade	
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
<b>Totais</b>	<b>28,0</b>	<b>8,9</b>	<b>10,0</b>	<b>0,0</b>	<b>10,9</b>	<b>1,0</b>	<b>5,0</b>	<b>0,0</b>	<b>9,3</b>	<b>1,7</b>	<b>5,8</b>	<b>0,1</b>	<b>11,1</b>	<b>0,9</b>
	<b>36,9</b>		<b>10,0</b>		<b>11,9</b>		<b>5,0</b>		<b>11,0</b>		<b>5,9</b>		<b>12,0</b>	

Fonte: Elaborado pelo autor

Além dos registros individuais, foram representados os totais das frequências em cada critério competitivo. Esses totais foram concebidos com base na frequência absoluta e ponderada, para verificar eventuais discrepâncias na representatividade de cada critério. Na Figura 27, verifica-se que, mesmo com a ponderação das frequências, os critérios mais impactados pelas categorias do sistema produtivo permanecem inalterados. Os critérios mais impactados, pela análise das entrevistas, são os critérios competitivos Custo e Velocidade; e o critério competitivo Inovação foi o menos mencionado na análise.

Figura 27: Critérios Competitivos mais Impactados pelas Categorias do Sistema Produtivo (Frequência Absoluta e Ponderada)



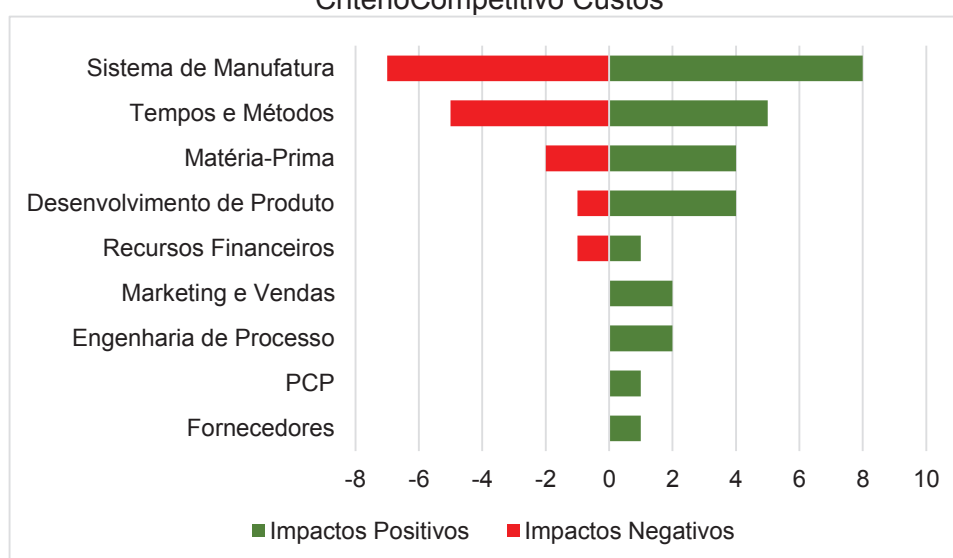
Fonte: Elaborado pelo autor

Para qualificar a análise, a seguir serão apresentadas as análises individuais em cada critério competitivo. Nesta análise, além da frequência total, foram identificadas e discutidas as repercussões positivas e negativas por critério, bem como os argumentos que levaram a esta análise. O primeiro critério competitivo analisado será o critério Custo.

### 6.4.1 Custo

O critério competitivo Custo é, de acordo com os entrevistados, o critério com maior número de registros de impactos ocorridos em alguma parte do sistema produtivo e que pode repercutir na competitividade do ponto de vista deste critério competitivo. A Figura 28 ilustra o total dos impactos positivos e negativos em cada categoria dos sistemas produtivos que repercutem no critério competitivo Custo.

Figura 28: Impactos nas Categorias dos Sistemas Produtivos que Repercutem no Critério Competitivo Custos



Fonte: Elaborado pelo autor

O maior número de registros dos impactos da Manufatura Aditiva ocorreu na categoria Sistema de Manufatura. Cabe dizer que o número de registros quantitativos dos impactos positivos e negativos se apresentarem uniformes. Como impactos positivos que repercutem no critério competitivo custos, destaca-se a redução de custos na produção de dispositivos, ferramentas e fixadores, além da consequente diminuição da necessidade de mão de obra no chão de fábrica, sob o ponto de vista do número de operadores e operações.

Estas repercussões positivas, com o estágio atual da tecnologia dos equipamentos de Manufatura Aditiva, estão sendo verificadas, para a fabricação de produtos customizados e de baixo volume. Mesmo que, em alguns casos, a Manufatura Aditiva não substitua todas as etapas do sistema de manufatura (como a montagem, por exemplo), a possibilidade de um tempo de atravessamento menor e

a consequente redução de estoques ao longo do processo repercute positivamente nos custos de produção.

Entretanto, alguns impactos ocorridos nos sistemas de manufatura ainda repercutem negativamente no critério competitivo Custo. Cabe salientar que, por conta do estágio atual da tecnologia dos equipamentos de Manufatura Aditiva, sua viabilidade para produção em grandes lotes é um limitante que aumenta os custos de produção e, por consequência, tornam o produto menos competitivo neste critério. A questão do consumo de energia também é considerada como um impacto negativo no que tange a equipamentos de Manufatura Aditiva metálica. Os processos de sinterização a laser, por exemplo, apresentam elevado consumo de energia e precisa ser avaliado.

A segunda categoria de maior representatividade neste critério, Tempos e Métodos, relaciona-se diretamente a alguns pontos apresentados na categoria Sistema de Manufatura. Se por um lado a redução do tempo de atravessamento (tanto no desenvolvimento quanto na manufatura) pela consequente redução dos estoques, esperas e de número de operações (que também reduz mão de obra) operacional é uma repercussão positiva no critério competitivo Custo, por outro lado o tempo de ciclo elevado faz com que, para suprir a demanda de altos volumes de produção, seja necessária a aquisição de um número elevado de equipamentos de Manufatura Aditiva, que, mesmo apresentando indício de redução nos seus preços, ainda são considerados caros.

Do ponto de vista da categoria Matéria-Prima, a crescente variedade de materiais viabilizados para a Manufatura Aditiva e o menor desperdício de material são impactos que repercutem positivamente em Custo. Contudo, alguns materiais ainda são considerados caros, mas tendem a ter seus valores reduzidos. Com a disseminação dos benefícios e a evolução tecnológica da Manufatura Aditiva, a demanda por equipamentos e, conseqüentemente, por materiais tende a aumentar, provocando a redução dos preços.

Para o desenvolvimento de produtos, as repercussões positivas são uma realidade. Como o desenvolvimento não depende do volume de produção, o tempo de desenvolvimento e seus custos são reduzidos. A troca de informações e ajustes em ferramental ocorrido atualmente entre empresa e fornecedores, que eleva o tempo de desenvolvimento da manufatura tradicional, tende a ser reduzida. Com a Manufatura Aditiva o produto é desenvolvido, impresso e, se necessitar alterações, o

desenho é alterado e impresso novamente, na própria empresa, resultando na economia de tempo e dinheiro.

Para a categoria Recursos Financeiros, a redução dos estoques e o atravessamento mais rápido podem fazer com que as receitas sejam antecipadas. Além disso, a possibilidade de customização dos produtos pode aumentar seu valor agregado, repercutindo positivamente nos resultados financeiros da empresa. O baixo poder de investimentos por parte das empresas e do governo frente ao custo de aquisição dos equipamentos é apresentado como uma repercussão negativa.

As últimas quatro categorias analisadas apresentam apenas impactos que repercutem positivamente no critério Custo. A primeira delas é Marketing e Vendas que, por sua vez, pode alterar o modelo de comercialização das empresas. A digitalização dos produtos, peças e componentes pode repercutir positivamente na redução de custos logísticos e de estoques, pois a fabricação pode ser realizada próxima do ponto de consumo.

Do ponto de vista da Engenharia de Processos e do Planejamento e Controle da Produção, processos mais enxutos derivados da utilização da Manufatura Aditiva reduzirão a complexidade da definição de roteiros e a programação da produção e de materiais. Essa complexidade pode reduzir a necessidade de mão de obra e consequentemente os custos.

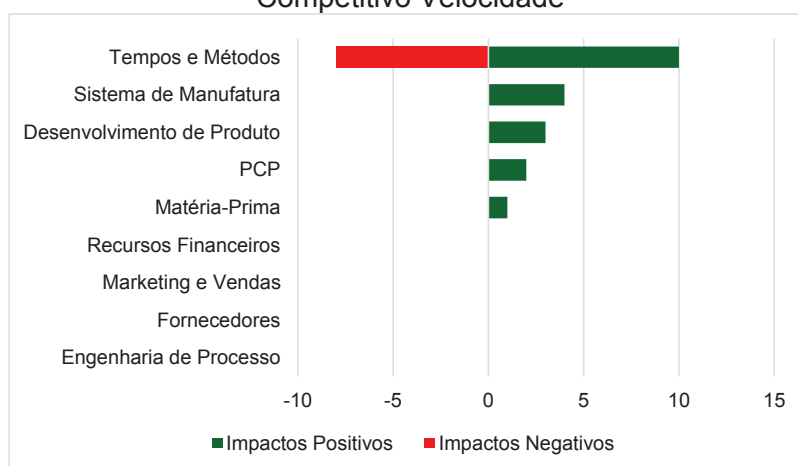
Para finalizar, sob o ponto de vista dos fornecedores de serviços terceirizados, a possibilidade de internalização de processos terceirizados é considerada um impacto positivo do ponto de vista dos entrevistados. Um fato não mencionado pelos entrevistados e que pode impactar negativamente é o pequeno número de fornecedores de matéria-prima para as tecnologias de Manufatura Aditiva. O aumento do consumo pode vir a ser um risco de fornecimento. A seguir, serão avaliados os impactos que repercutem no critério competitivo Velocidade.

#### **6.4.2 Velocidade**

O segundo critério mais citado pelos entrevistados é o critério competitivo Velocidade. Diferente do critério Custo, no critério Velocidade, apenas cinco categorias do sistema produtivo apresentam impactos que de alguma maneira

repercutem no critério Velocidade. A Figura 29 ilustra o total dos impactos positivos e negativos em cada categoria dos sistemas produtivos que repercutem no critério competitivo Velocidade.

Figura 29: Impactos nas Categorias dos Sistemas Produtivos que Repercutem no Critério Competitivo Velocidade



Fonte: Elaborado pelo autor

A categoria de análise Tempos e Métodos apresentou o maior número de registros no que tange ao critério competitivo Velocidade. Os impactos da Manufatura Aditiva na categoria Tempos e Métodos impactam não apenas o critério competitivo Velocidade, mas a maior parte dos critérios analisados.

Como impactos positivos que repercutem no critério competitivo velocidade, destacam-se, novamente, a redução do *lead time* de desenvolvimento e de produção, como abordado na análise do critério competitivo Custo. Da mesma maneira, os tempos de ciclo elevados para produção em alta escala geram repercussões negativas no que se refere à competitividade por Velocidade.

Com relação à categoria de análise Sistema de Manufatura, a redução do número de etapas do processo produtivo e a velocidade de evolução da tecnologia permitem inferir que existe uma tendência de que a impressão 3D substitua a manufatura tradicional, conferindo maior velocidade ao sistema produtivo como um todo.

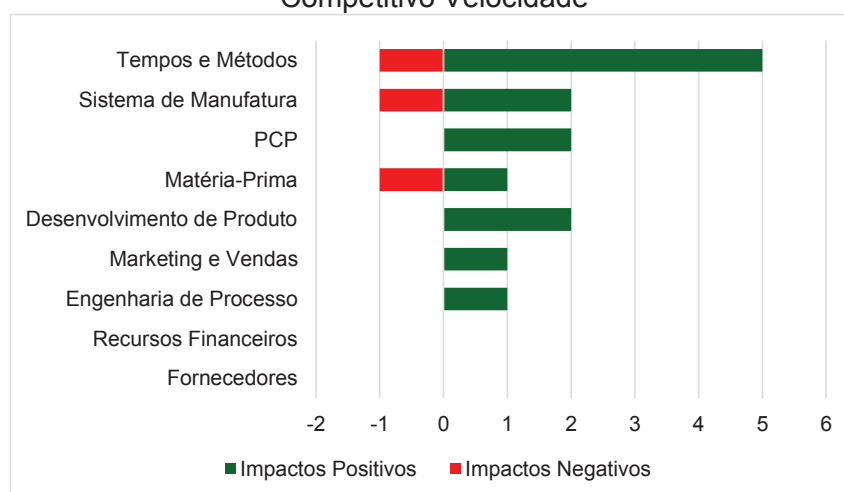
A flexibilidade geométrica e o fato de não necessitar mais da criação de moldes ou ferramentas, muitas vezes em terceiros, fora da empresa, impactam positivamente a categoria de análise Desenvolvimento de Produto que, por sua vez, repercute de maneira positiva no critério competitivo Velocidade. O processo de desenvolvimento, desse modo, torna-se mais ágil e menos engessado.

No que se refere ao Planejamento e Controle de Produção, a Manufatura Aditiva facilita o sequenciamento da produção. Ao eliminar uma parte dos processos de fabricação tradicionais, centralizando em um único equipamento e este equipamento não necessitar de troca de ferramental para produzir produtos diferentes, os pedidos podem ser programados de acordo com seu recebimento, não sendo mais necessário agrupar pedidos para viabilizar a produção. Quanto à Matéria-Prima, a redução da complexidade na variedade de formatos de materiais como chapas, barras, etc. tornará a gestão mais descomplicada. A matéria-prima pode vir a ficar restrita a pó metálico ou filamentos de material termoplásticos, que receberão o formato desejado pela Manufatura Aditiva. A seguir, serão avaliados os impactos que repercutem no critério competitivo Flexibilidade.

### 6.4.3 Flexibilidade

Nesta seção, serão verificadas as repercussões dos impactos da Manufatura Aditiva no critério competitivo Flexibilidade. Destaca-se que, para este critério, as categorias do sistema produtivo mais significativas em termos de registros foram Tempos e Métodos, Sistema de Manufatura e PCP. A Figura 30 ilustra o total dos impactos positivos e negativos em cada categoria dos sistemas produtivos que repercutem no critério competitivo Flexibilidade.

Figura 30: Impactos nas Categorias dos Sistemas Produtivos que Repercutem no Critério Competitivo Velocidade



Fonte: Elaborado pelo autor

Repetindo o critério competitivo Velocidade, a categoria de análise Tempos e Métodos apresentou o maior número de registros no que tange ao critério competitivo Flexibilidade. A Flexibilidade é identificada como uma das grandes vantagens competitivas da Manufatura Aditiva. Como não necessita de ferramental ou molde para fabricação, e a troca de material e cor é considerada rápida, repercute positivamente na competitividade por Flexibilidade.

É importante destacar que a rápida troca de material se refere aos equipamentos de Manufatura Aditiva para materiais termoplásticos. Para os equipamentos de Manufatura Aditiva metálicos, os benefícios da rápida troca de material não são observados devido à dificuldade de limpeza do pó metálico que é a matéria-prima utilizada.

Quanto ao aspecto da Matéria-Prima, alguns entrevistados, principalmente do grupo de Usuários, ressaltam que a variedade de materiais disponíveis para a Manufatura Aditiva ainda é uma restrição. Do ponto de vista dos Fabricantes e Representantes, a variedade vem aumentando significativamente ao longo do tempo e deixará de ser um limitante em breve.

A categoria Marketing e Vendas pode, no limite, oferecer uma das maiores repercussões positivas no sentido da Flexibilidade. A postergação da produção muito próxima ao consumidor final, proporcionada pela digitalização do produto, como mencionado em critérios anteriores, é capaz de alterar a maneira de comercializar o produto e oferecer ganhos mais expressivos no sentido de a empresa optar pela Flexibilidade como diferencial competitivo. Na sequência, serão avaliados os impactos que repercutem no critério competitivo Qualidade.

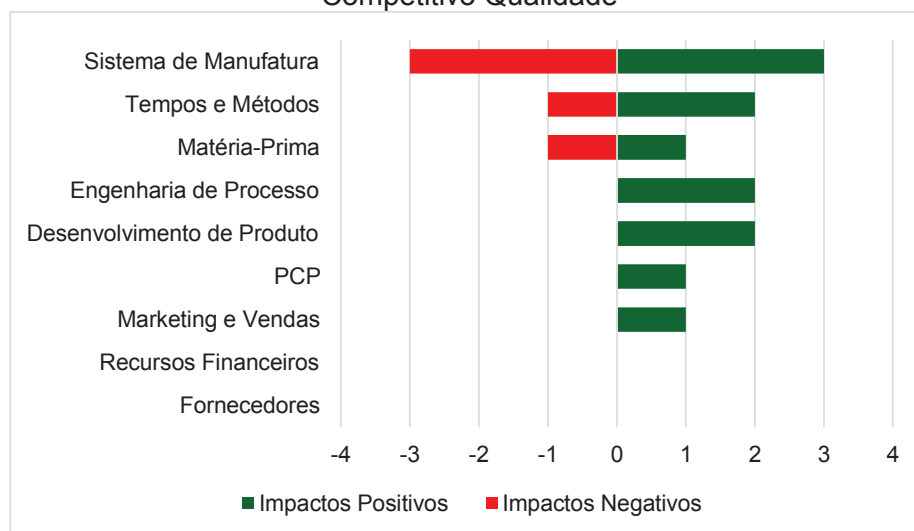
#### **6.4.4 Qualidade**

Apesar de se apresentar como o quarto critério no total de registros de frequências, a Qualidade é considerada um dos pontos de atenção para a viabilidade do uso da Manufatura Aditiva pelos sistemas produtivos. Esta preocupação é justificada pelos impactos negativos no que se refere à aparência dos produtos fabricados a partir da Manufatura Aditiva. A Figura 31 ilustra o total dos



impactos positivos e negativos em cada categoria dos sistemas produtivos que repercute no critério competitivo Qualidade.

Figura 31: Impactos nas Categorias dos Sistemas Produtivos que Repercutem no Critério Competitivo Qualidade



Fonte: Elaborado pelo autor

Em relação à categoria Sistema de Manufatura, como destacado nas análises individuais, tanto nas análises dos impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos quanto nos critérios competitivos, em termos de resistência e propriedades, a qualidade dos produtos fabricados pela Manufatura Aditiva não é mais um problema, ou seja, os testes demonstram que, na Manufatura Aditiva metálica, por exemplo, os resultados em termos de propriedades físicas se assemelham ou são até superiores quando comparados à manufatura tradicional.

Entretanto, a grande repercussão negativa no critério competitivo Qualidade está relacionada ao acabamento da peça. A impressão em camadas deixa a estética da peça com ranhuras, o que pode restringir seu uso em peças que ficam visíveis no produto final. Este aspecto é o mesmo ressaltado na categoria Tempos e Métodos. Os métodos de produção (tecnologia) para os equipamentos de Manufatura Aditiva precisam evoluir para solucionar esse problema. Outra solução pode ser a utilização de uma operação complementar de acabamento. Dependendo do tipo de matéria-prima, uma operação de usinagem ou até mesmo uma aplicação de *primer* pode resolver o problema. Este aspecto também é mencionado na categoria Marketing e Vendas.

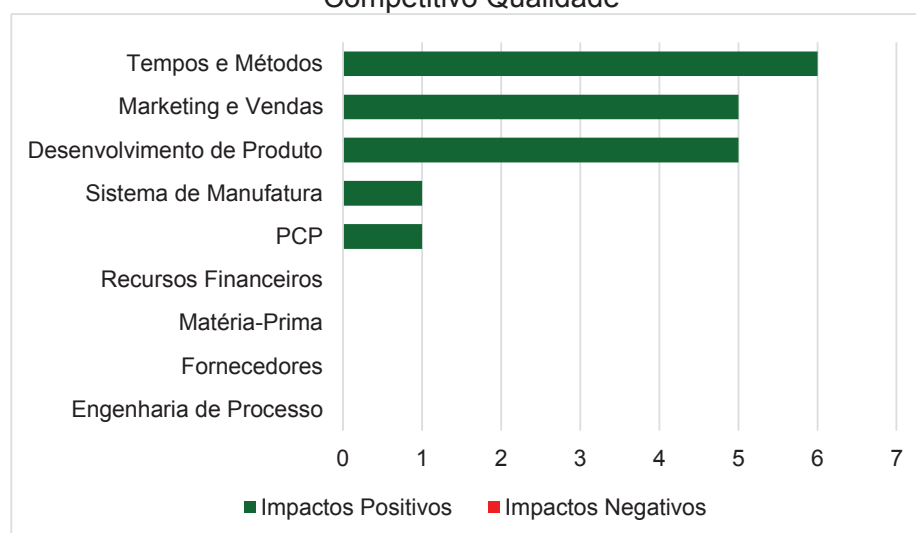
Com relação ao Desenvolvimento de Produto, as peças impressas recebem uma forma final muito próxima da peça fabricada por injeção ou usinagem. Em

geral, a peça impressa vai ter em alguns casos de 80 até 90% da resistência de uma peça injetada proporcionando uma peça funcional, até mesmo para uso final. Quanto à Matéria-Prima, se comparado com o processo de forjaria, por exemplo, que é mais instável que a Manufatura Aditiva, há indícios de redução de produtos rejeitados ou não conformes de 15 a 20% para índices que variam entre 2 e 4%. Em seguida, serão avaliados os impactos que repercutem no critério competitivo Desempenho de Entrega.

#### 6.4.5 Desempenho de Entrega

Do ponto de vista do critério competitivo Desempenho de Entrega, destaca-se que apenas repercussões positivas foram relacionadas pelos entrevistados nas análises. Estas repercussões foram ocasionadas por impactos que ocorrem nas categorias Tempos e Métodos, Marketing e Vendas, Desenvolvimento de Produto, Sistema de Manufatura e Planejamento e Controle de Produção. A Figura 32 ilustra o total dos impactos positivos e negativos em cada categoria dos sistemas produtivos que repercute no critério competitivo Desempenho de Entrega.

Figura 32: Impactos nas Categorias dos Sistemas Produtivos que Repercutem no Critério Competitivo Qualidade



Fonte: Elaborado pelo autor

Os registros categorizados em Tempos e Métodos, quando relacionados ao critério competitivo Desempenho de Entrega são observados sob o ponto de vista

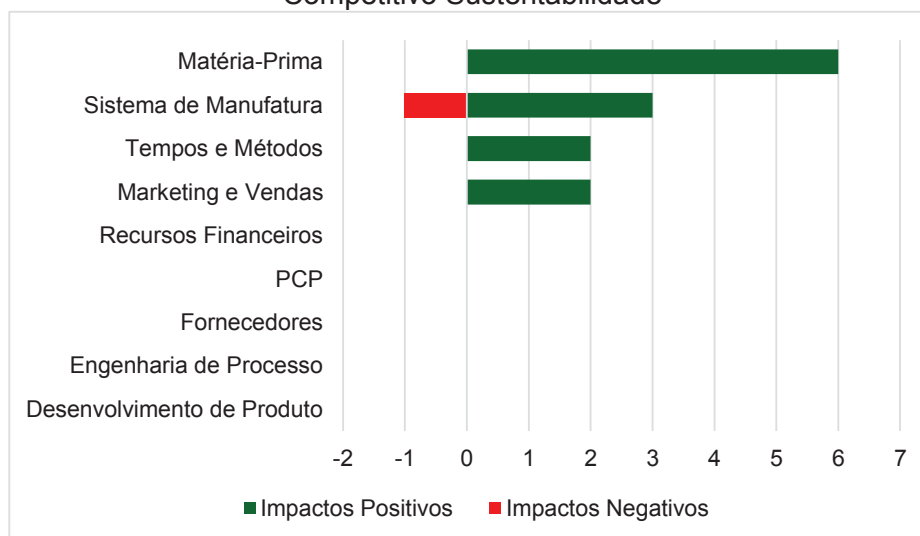
sistêmico, ou seja, do tempo decorrente desde o início do processo de venda até e entrega do produto final. Nesse sentido, as repercussões positivas da Manufatura Aditiva podem ser visualizadas desde o nascimento do produto até entrega. Cabe destacar que a categoria de análise Tempos e Métodos não repercute somente nos critérios competitivos, mas também em categorias do próprio sistema produtivo, como será visualizado na síntese desta seção.

As repercussões positivas para que a empresa seja mais competitiva no Desempenho de Entrega, relacionadas ao Desenvolvimento de Produtos e Sistema de Manufatura, foram discutidas nas análises dos critérios apresentados anteriormente nesta seção. No entanto, uma das repercussões mais interessantes que pode ser implementada em um futuro próximo trata do modelo de negócio, ou seja, aproximar a produção do cliente final. Em síntese, os benefícios vão da redução do uso de materiais à customização de produtos, passando pela fabricação de formas complexas e de peças em locais remotos, implicando a redução de estoques. A seguir, serão apresentados os resultados analisados sob o ponto de vista do critério competitivo Sustentabilidade.

#### **6.4.6 Sustentabilidade**

Apesar do potencial da Manufatura Aditiva no que se refere ao impacto ambiental, os aspectos relacionados à Sustentabilidade foram pouco relacionados nas análises, ou seja, os impactos relativos a desperdício de materiais e consumo de energia são positivos, porém são pouco usados pelas empresas brasileiras como um diferencial competitivo. A Figura 33 ilustra o total dos impactos positivos e negativos em cada categoria dos sistemas produtivos que repercute no critério competitivo Sustentabilidade.

Figura 33: Impactos nas Categorias dos Sistemas Produtivos que Repercutem no Critério Competitivo Sustentabilidade



Fonte: Elaborado pelo autor

O impacto mais representativo ocorre na categoria de análise Matéria-Prima. O processo por adição de materiais evita o desperdício gerado pelos processos de manufatura convencionais. Mesmo que alguns entrevistados tenham destacado haver um desperdício mínimo por conta dos suportes necessários para a fabricação por alguns tipos de tecnologia de fabricação aditiva, este desperdício é baixo perto do desperdício gerado atualmente por processos de usinagem, por exemplo. Esta redução do desperdício de matéria-prima repercute positivamente na Sustentabilidade.

Do ponto de vista da categoria Sistema de Manufatura, os impactos são decorrentes do menor consumo de energia da Manufatura Aditiva termoplástica. Para os processos metálicos de fabricação aditiva, o consumo de energia pode aumentar devido à necessidade de sinterização a laser, por exemplo.

Mesmo assim, cabe realizar uma análise sistêmica, pois, mesmo aumentando o consumo de energia, este acontece em um equipamento, que pode substituir um conjunto de equipamentos utilizados pela manufatura tradicional. A categoria Tempos e Métodos também é citada, uma vez que a redução dos tempos de atravessamento pode impactar também a menor utilização dos recursos e, por consequência, o menor consumo de energia.

Por fim, a categoria Marketing e Vendas é citada, pois, se forem alterados os modelos de comercialização, as repercussões da Sustentabilidade podem ocorrer, também, quando da possibilidade de redução da necessidade de transporte físico. Menos meios de transporte seriam usados e o consumo de combustível e a poluição

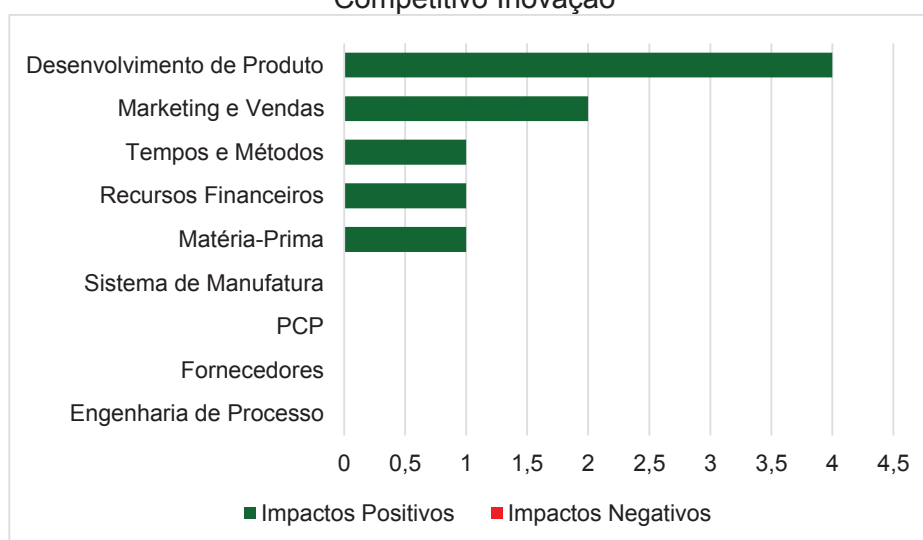
seriam menores. Na seção a seguir, serão apresentados os resultados da análise cruzada das categorias de análise específicas ao critério competitivo Inovação.

#### 6.4.7 Inovação

O critério competitivo Inovação foi o menos representativo entre todos os critérios analisados. Mesmo sendo um grande diferencial o uso da Manufatura Aditiva pelos sistemas produtivos, seus impactos são mais repercutidos no critério competitivo Custos do que na possibilidade de ser competitivo pela Inovação.

As repercussões neste critério ocorrem sob o ponto de vista do Desenvolvimento de Produto, Marketing e Vendas e Matéria-Prima. No âmbito dos Recursos Financeiros, foram relacionados registros quanto a programas de inovação promovidos pelo governo que poderiam auxiliar as empresas na aquisição das tecnologias de fabricação aditiva. A Figura 34 ilustra o total dos impactos positivos e negativos em cada categoria dos sistemas produtivos que repercute no critério competitivo Inovação.

Figura 34: Impactos nas Categorias dos Sistemas Produtivos que Repercutem no Critério Competitivo Inovação



Fonte: Elaborado pelo autor

As repercussões mais significativas ficam por conta da possibilidade conferida pela Manufatura Aditiva na criação de produtos inovadores do ponto de vista da forma e do peso final. A liberdade na customização por não estar presa à subtração

de material é o grande diferencial da tecnologia que facilita a Inovação. Nesse sentido, além do formato, as estruturas podem ser repensadas utilizando menos material e conferindo menos peso aos produtos criados.

Esta redução de peso pode impactar a agregação de valor da hora da comercialização. Na indústria aeronáutica, por exemplo, a redução de peso dos componentes leva à consequência de menor consumo de combustível nas aeronaves, o que representa vantagem para quem compra e um diferencial competitivo para o fabricante que vende. Outrossim, os modelos de negócio podem ser inovados, como o caso das peças de reposição para manutenção, por exemplo. Uma peça que não esteja em estoque pode vir a parar um equipamento. Em alguns casos, manter essas peças em estoque gera custos elevados.

Em síntese, o capítulo apresentou as repercussões decorrentes dos impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos. Resta evidente que a competitividade das organizações será alterada a partir da utilização da Manufatura Aditiva, tese defendida nesta pesquisa.

Todos os critérios competitivos analisados apresentam um conjunto de repercussões positivas que pode beneficiar as organizações. O volume e a variedade de produção são características que influenciam diretamente estas repercussões. Isto se deve a alguns limitantes apresentados pelas tecnologias de fabricação aditiva como a velocidade de impressão e a qualidade dos produtos impressos.

O critério competitivo inovação apresenta-se como oportunidade imediata do uso da Manufatura Aditiva, independente das características de produção. A Manufatura Aditiva aplicada ao desenvolvimento de produto proporciona protótipos mais rápidos, com custos menores e sem o envolvimento de terceiros. Além da redução do *lead time* de desenvolvimento, para algumas organizações, a burocracia é reduzida. Além disso, a segurança nas informações de projeto é preservada, pois o desenvolvimento é realizado totalmente pela empresa.

A velocidade é um dos critérios que apresenta limitações do ponto de vista do equipamento, porém, se observado pelo tempo de atravessamento do produto, o processo é mais ágil. Empresas caracterizadas pelos volumes baixos e a alta variedade de produção, ao utilizarem a Manufatura Aditiva, vem apresentando processos mais ágeis e com o *lead time* reduzido, conferindo velocidade à entrega

do produto final. As economias de escala ainda estão limitadas a estes benefícios, pois a atual tecnologia dos equipamentos inviabiliza esse tipo de produção.

Os *trade-offs* serão discutidos nos resultados desta pesquisa, mas é possível inferir que a Manufatura Aditiva tende a ser uma tecnologia que contribua para a sua redução ou até mesmo para eliminá-los. Existem limitantes como a tecnologia, mas a tendência é que este ponto seja confirmado.

Com a Manufatura Aditiva, as peças podem ser impressas a partir da necessidade, evitando os estoques e reduzindo o tempo de parada dos equipamentos. Os novos modelos de negócio são uma oportunidade e que podem impactar positivamente critérios como desempenho de entrega, velocidade e custos.

Estes pontos apresentados serão aprofundados nas discussões dos resultados desta pesquisa embasando a defesa desta tese. Na sequência, com o objetivo de comprovar, na prática, os impactos da Manufatura Aditiva e duas repercussões nos critérios competitivos, serão apresentados dois estudos de campo e um estudo de caso para verificar evidências empíricas da Manufatura Aditiva.

Nos estudos de campo, as unidades analisadas aplicam a Manufatura Aditiva de maneiras distintas. A primeira foca no desenvolvimento de produtos e a segunda usa a Manufatura Aditiva na fabricação de componentes que abastecem a linha de montagem da empresa. O estudo de caso, por sua vez, é focado em uma empresa que utiliza o processo de injeção de metal. Este processo não é considerado uma tecnologia de Manufatura Aditiva, mas foi estudado, já que existe similaridade do número de operações reduzidas quando comparadas com a manufatura tradicional. Além disso, como é uma tecnologia com tempo de ciclo baixo e empregada para produção em massa, torna-se possível ilustrar alguns resultados que a Manufatura Aditiva pode obter quando o limitante relacionado ao tempo de ciclo for resolvido.

## **7 AVALIAÇÕES EMPÍRICAS DA UTILIZAÇÃO DA MANUFATURA ADITIVA**

Em busca de evidências empíricas dos impactos e repercussões da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos e critérios competitivos, respectivamente, foram realizados dois estudos de campo e um estudo de caso em empresas usuárias dos processos de fabricação aditivos. Uma das empresas usa a Manufatura Aditiva no processo de desenvolvimento de produto e a outra no processo de fabricação de componentes para montagem final. A terceira empresa, mesmo não representando a Manufatura Aditiva, trabalha com a injeção de metal, tecnologia que não se enquadra conceitualmente como Manufatura Aditiva, porém se assemelha quanto a alguns benefícios e tem seu tempo de ciclo reduzido. Sendo assim, foi escolhida para que uma prospecção dos eventuais benefícios da Manufatura Aditiva quando da solução do problema do elevado tempo de ciclo.

### **7.1 ESTUDO DE CAMPO 1: O INSTITUTO DE ESTUDOS AVANÇADOS (IEAV)**

O Instituto de Estudos Avançados (IEAv) é uma organização militar de cunho científico-tecnológico ligada ao Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial do Comando da Aeronáutica. Foi criado em 1982 e, em seus primeiros 20 anos, teve suas atividades concentradas em aplicações voltadas para as diversas tecnologias sensíveis e estratégicas em torno da energia nuclear. Posteriormente, o Instituto procurou investir também em outras áreas estratégicas de interesse mais imediato da Aeronáutica.



Figura 35: Vista Aérea do Instituto de Estudos Avançados (IEAv)



Fonte: Site do Instituto (IEAv, 2017, não paginado)

Em janeiro de 2006, foi consolidada a transferência do Departamento de Pesquisas e Desenvolvimento (DEPED), órgão ao qual o Centro Técnico Aeroespacial estava subordinado, de Brasília para São José dos Campos, em São Paulo (Figura 35). Essa transferência promoveu uma reestruturação organizacional que extinguiu o Centro Técnico Aeroespacial (CTA) e criou um novo órgão, o Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial, mantendo-se a sigla CTA. Assim, o IEAv passa, então, a atuar como Organização Militar do Comando da Aeronáutica, com subordinação ao Comando-Geral, atual Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA).

O Instituto de Estudos Avançados (IEAv) adquiriu, em 2016, para sua Divisão de Aerodinâmica e Hipersônica Experimental, um dos maiores e mais robustos equipamentos de Manufatura Aditiva disponíveis no mercado mundial. O equipamento, da marca Stratasys *Fortus* 900 mc, usa tecnologia FDM e tem capacidade de produção de peças complexas de grande porte, alta precisão e agilidade. A Figura 36 ilustra o equipamento adquirido pelo IEAv.

Figura 36: Stratasys Fortus 900mc



Fonte: Site Stratasys (STRATASYS, 2017, não paginado)

A solução foi adquirida pelo IEAv para produção de modelos de aeronaves e motores hipersônicos, desenvolvidos pelo centro de pesquisa, que serão utilizados em projetos para viabilizar voos aeroespaciais, especialmente para colocação de cargas úteis (satélites) no espaço. Estes protótipos apresentam geometrias complexas e diferenciadas, curvaturas, concavidades e que, como particularidade, não podem ter emendas. Além disso, precisa ser produzido com alta precisão e elevada complexidade. Isto se deve à necessidade de estes componentes serem submetidos a rigorosos testes laboratoriais em termos de velocidade, temperatura, pressão, entre outros.

Durante as entrevistas e observações realizadas no IEAv o grande destaque foi dado à cadeia de suprimentos. Para os pesquisadores do Instituto, esse foi o maior benefício da Manufatura Aditiva para o desenvolvimento de produtos, foco central dos trabalhos de pesquisa realizados.

De acordo com os pesquisadores, como a Instituição é governamental (aeronáutica), todo e qualquer processo a ser realizado para compra de uma peça ou serviços de terceiros tem a necessidade de fazer o projeto; e, posteriormente, uma licitação, processo este que gira em torno de duas semanas, no mínimo. Com a Manufatura Aditiva, dependendo do tamanho do projeto, é possível ter a peça pronta para ser testada em até um dia. Além disso, qualquer alteração que seja necessária

no desenho do projeto após testado, basta alterar no arquivo digital e imprimir novamente, sem burocracia e perda de tempo.

A Manufatura Aditiva eliminou a necessidade de estoque de peças dos trabalhos a serem realizados. Se há a necessidade de alguma alteração nas peças, basta modificar o projeto, nem que seja um pequeno detalhe, e fazer sua produção no mesmo dia. Este ganho é tão significativo que, dependendo do tamanho da peça, pode-se fazer a modificação pela manhã e o teste ser realizado à tarde. Os pesquisadores destacam ainda que, além da redução de todo tempo de fornecedor (além dos dois meses da realização do projeto e licitação), foi reduzida a parte burocrática. Os processos que eram realizados em meses, desde a chegada a Manufatura Aditiva, são realizados em dias, conforme apresentado no seguinte trecho:

[...] toda a parte de licitação, três orçamentos, tempo de avaliação e definição foram eliminados [...]” (Entrevistado 6), “[...] qualquer erro nos documentos ou no projeto causavam retrabalho e o fluxo da burocracia tornava o processo ainda mais lento (Entrevistado 6).

Ainda como vantagens observadas no campo, atualmente, com a Manufatura Aditiva não é mais necessário pensar em ferramenta, na forma como a ferramenta vai entrar na peça, se é possível ou não é possível ser feita, que tipo de ferramenta ou máquina deve ser usado. Tudo é resolvido em um único equipamento com ganho potencial de tempo e custo.

Os ganhos são tantos que o IEAv está procurando no mercado equipamentos de Manufatura Aditiva metálica para nova aquisição. Isto porque existem peças que o termoplástico suporta, são passíveis de serem ensaiadas nos túneis de vento, mas existem algumas peças que ainda é necessário fazer em metal. Esse serviço para peças metálicas é comprado de terceiros. Dessa forma, todos os benefícios que se obteve com a utilização da Manufatura Aditiva não são observados, voltando aos padrões de desenvolvimento anteriores à aquisição do equipamento.

Quanto ao material termoplástico, o IEAv utiliza o material mais resistente da Stratasys, que confere cerca de  $\frac{1}{4}$  da resistência do aço. Essa comparação com aço é realizada, pois anterior à Manufatura Aditiva as peças eram desenvolvidas em aço. Em suma, o material termoplástico é adequado, mas não é aço. Desse modo, caso

no túnel de vento venha a ter algum resquício de material solto e este venha a bater na peça ensaiada, o efeito sofrido pela peça é quatro vezes maior do que as peças confeccionadas em aço, o que no caso do IEAv é um ponto negativo. A utilização do termoplástico via Manufatura Aditiva reduz custo, tem resultado, mas não tem a mesma resistência que uma peça de aço. Conclui-se, em vista disso, que o projeto de evolução para uma impressora metálica é iminente.

Quanto ao desperdício de material, foi observado que ele não é nulo, mas é incomparável com o desperdício ocorrido na manufatura tradicional. Devido a limpezas, ajustes de bico e eixo, o desperdício pode se situar em torno de 3% no máximo. No que se refere à energia elétrica, o equipamento adquirido pelo Instituto gasta menos, ou seja, teoricamente, ele não consome muita energia, porém é uma preocupação para o projeto de aquisição do equipamento de Manufatura Aditiva metálica, pois, para esse tipo de equipamento, o consumo de energia é muito maior.

Além da máquina, ao adquirir um equipamento de Manufatura Aditiva metálica, é preciso estar atento à estrutura necessária. Para ter o equipamento em pleno funcionamento, outros equipamentos periféricos são necessários para seu funcionamento. Além do investimento de mais de R\$ 1 milhão no equipamento, é necessário um dispositivo à base de bateria, que na queda de energia mantém a máquina funcionando a pleno por cinco minutos. Ainda, foi adquirido um gerador, que é acionado cerca de 1,5 minutos após a queda de energia. Este dispositivo à base de bateria é necessário para estabilizar a rede de energia até o acionamento do gerador. Em síntese, foi melhorada a rede elétrica, o ar que precisa ser seco e o controle de temperatura, ou seja, o ambiente deve ser climatizado.

As vantagens descritas na literatura e pelos entrevistados puderam ser acompanhadas *in loco*. Mantendo sigilo para peças e sua utilização, mas tentando quantificar as repercussões positivas em termos de desenvolvimento de produtos, projetos que, em média, custavam entre R\$ 70 e 80 mil reais, hoje estão sendo realizados por cerca de R\$ 8 mil, e o tempo gasto com desenvolvimento de produto desde o projeto até a peça colocada no Instituto para a realização dos testes reduziu em média 70%.

A Manufatura Aditiva permitiu ao Instituto de Estudos Avançados realizar experimentos criteriosos com protótipos impressos em 3D que suportaram cargas térmicas e mecânicas, para obter dados aerodinâmicos confiáveis. Ainda, garantiu ao processo maior flexibilidade, confiabilidade e agilidade, a um custo

significativamente menor. Os pesquisadores afirmam que a Manufatura Aditiva está redefinindo limites experimentais e proporcionando novas vertentes de pesquisa. Ainda de acordo com os pesquisadores, isso pode representar anos de avanço em termos de pesquisas aeroespaciais para o Brasil. Por fim, o Quadro 60 apresenta o comparativo das vantagens encontradas no estudo realizado com os pontos encontrados nas análises da literatura e das entrevistas.

Quadro 60: Relação dos Impactos e Repercussões Encontrados no Campo com as Entrevistas e a Literatura

ESTUDO DE CAMPO	Ent.	Lit.	Impacto em:	Repercussão em:
Redução do tempo de desenvolvimento	x	x	Desenvolvimento de Produto, Tempos e Métodos	Custo, Desempenho de Entrega, Inovação, Velocidade
Redução do custo de desenvolvimento	x	x	Desenvolvimento de Produto, Marketing e Vendas, Tempos e Métodos	Custo, Inovação
Agilidade na alteração de projetos	x		Desenvolvimento de Produto, Engenharia de Processo, Tempos e Métodos	Custo, Desempenho de Entrega, Velocidade
Eliminação da necessidade de ferramental	x	x	Engenharia de Processo, Sistema de Manufatura, Tempos e Métodos	Custo, Velocidade, Flexibilidade
Redução do desperdício de materiais	x	x	PCP, Sistema de Manufatura, Recursos Financeiros	Custo, Sustentabilidade
Menor consumo de energia para termoplásticos	x	x	Sistema de Manufatura, Recursos Financeiros	Custo, Sustentabilidade
Necessidade de Infraestrutura	x		Desenvolvimento de Produto, Sistema de Manufatura, Recursos Financeiros	Custo
Resistência às propriedades físicas e mecânicas	x		Desenvolvimento de Produto, Sistema de Manufatura, Marketing e Vendas	Qualidade
Segurança e sigilo dos projetos			Desenvolvimento de Produtos	Custo, Inovação
Processo mais flexível	x	x	Desenvolvimento de Produto	Flexibilidade, Velocidade
Redução da burocracia para contratação de terceiros			Desenvolvimento de Produto, Fornecedores, Recursos	Velocidade, Flexibilidade

ESTUDO DE CAMPO	Ent.	Lit.	Impacto em:	Repercussão em:
			Financeiros	
Maior consumo de energia para peças metálicas	x		Desenvolvimento de Produto, Recursos Financeiros, Sistema de Manufatura	Custo, Sustentabilidade

Fonte: Elaborado pelo autor

Em síntese, os benefícios da Manufatura Aditiva para o processo de desenvolvimento de produtos foram verificados no estudo de campo. As observações e resultados das entrevistas convergiram com as análises realizadas na literatura e nos grupos de entrevistados. Não foram identificadas divergências quanto aos aspectos observados. Outros dois pontos importantes, que, para empresas ou órgãos semelhantes ao Instituto de Estudos Avançados, são essenciais e que não foram abordados nas análises da literatura e dos entrevistados: a segurança e sigilo dos projetos.

Quando da terceirização da fabricação dos projetos, estes deveriam ser protegidos por contratos, o que, além de gerar mais burocracia, aumentava o custo e expunha os projetos desenvolvidos ao risco de sigilo. Com a Manufatura Aditiva, o projeto não sai do IEAv, eliminando também este processo. Esse impacto é mais um dos benefícios conferidos à utilização da Manufatura Aditiva. A seguir, será descrito o estudo de campo realizado em uma empresa que utiliza a Manufatura Aditiva na produção de componentes para montagem no produto final.

## 7.2 ESTUDO DE CAMPO 2: EMPRESA AERONÁUTICA

O segundo estudo de campo foi realizado em uma empresa aeronáutica. Devido a ser um processo novo e inovador para a empresa, o estudo foi autorizado, mas com necessidade de confidencialidade no nome, processo e alguns dados da empresa. Destaca-se que todos os dados coletados na empresa, entre observações e entrevista com profissionais, depois de descritos, tiveram que ser validados pela empresa. Esta preocupação com o sigilo indica a importância conferida pela

empresa à inovação, como o desenvolvimento e utilização da Manufatura Aditiva na fabricação de componentes.

A seguir, serão apresentados os resultados verificados durante as observações realizadas na empresa. Ao final da seção, estes resultados serão apresentados e comparados com a literatura e entrevistas analisadas nos capítulos anteriores do trabalho.

Atualmente, a empresa está fabricando peças termoplásticas por meio da Manufatura Aditiva em série. Para verificar a viabilidade da tecnologia, o processo tradicional foi confrontado com a Manufatura Aditiva e os *trade-offs* foram avaliados. Foram comparados custos recorrentes e não recorrentes, além do investimento para a aquisição dos equipamentos. A empresa possui um equipamento de Manufatura Aditiva destinado à produção de peças por demanda. A quantidade e variedade de peças termoplásticas produzidas por meio da Manufatura Aditiva vem apresentando crescimento desde a sua implantação.

É importante destacar que as pessoas (colaboradores) ainda estão entendendo o processo de Manufatura Aditiva no que tange à tecnologia e conhecimento. No início da utilização da Manufatura Aditiva, foi escolhido um número menor de peças e, a partir do conhecimento adquirido com o uso da tecnologia, o número de peças produzidas por meio da Manufatura Aditiva foi aumentando gradativamente.

A tendência é que a empresa aumente o uso de peças manufaturadas via Manufatura Aditiva à medida que o conhecimento e a confiança na tecnologia cresçam. De acordo com o engenheiro entrevistado, o processo novo tem que ser robusto e confiável. Inicialmente, as pessoas começam a conhecer a tecnologia e, a partir disso, projetam a utilização desta tecnologia.

As primeiras peças produzidas foram redesenhadas para serem fabricadas pelo equipamento de Manufatura Aditiva. As peças são desenhadas, ou seja, desenvolvidas para a tecnologia. Mesmo apresentando vantagens, foi destacado que a Manufatura Aditiva requer pós-processamento utilizando a manufatura convencional. A manufatura tradicional e a Manufatura Aditiva não são excludentes, mas complementares. Em certos nichos a Manufatura Aditiva é mais competitiva que a manufatura tradicional. Para verificar a competitividade da Manufatura Aditiva, deve-se avaliar os requisitos de produto, o tamanho da peça e a cadência de



produção. A Manufatura Aditiva é mais uma tecnologia para agregar aos sistemas produtivos.

Na empresa estudada, este processo é interno. Ainda, não foi passado para cadeia de fornecedores. O *lead time* de desenvolvimento é reduzido, considerado este um dos grandes diferenciais da Manufatura Aditiva. Após o desenvolvimento, quando colocado em produção, a Manufatura Aditiva ainda é mais rápida que a manufatura tradicional, no caso, um processo manual de fabricação. Isto ocorre porque a empresa estudada trabalha com o processo de laminação manual e não com processo de injeção. As peças são de volume pequeno e não há necessidade de processo de injeção. O tipo de produto da empresa contribui para a utilização da Manufatura Aditiva, ou seja, uma grande quantidade de *part numbers* com baixo volume de produção.

Em termos de flexibilidade, no que se refere ao desenvolvimento de produto, o impacto é grande. Desenho e revisão puderam ser alterados e foi possível retardar a liberação do desenho uma vez que o ciclo de desenvolvimento de produto, via Manufatura Aditiva, é mais rápido. Mesmo retardando o desenho, é possível fabricar um produto mais maduro. O processo de Manufatura Aditiva é mais simples (não necessita ferramental e é mais independente).

A empresa está desenvolvendo testes para fabricação de peças em Manufatura Aditiva metálica. Para as peças metálicas, este processo possibilita pensar na redução de peso dos componentes e na redução do consumo de matéria-prima. Cabe destacar que ainda há severas restrições de processo e legislação para peças e componentes críticos. Dessa forma, estão sendo testadas pela empresa apenas peças que não impactem questões estruturais do produto.

A Manufatura Aditiva pode ser considerada um catalizador para o *Lean Manufacturing*. Com o uso da Manufatura Aditiva, a empresa conseguiu processos ainda mais enxutos e flexíveis, características perseguidas pelo Lean. Em termos de layout, foi possível equilibrar/balancear melhor a mão de obra envolvida no processo produtivo. Nesse sentido, mais importante que a área e a posição das máquinas (que neste caso é apenas uma), é o balanceamento da mão de obra. O impacto em termos de ganho de área foi pequeno para a empresa.

No que se refere a desperdício, o consumo de material é menor, se comparado ao processo tradicional, produzido por meio da Manufatura Aditiva. Com ela, o número de peças não conformes também diminui. Mesmo assim, o



desperdício não é zerado, as estruturas de suporte, por exemplo, são perdidas na fabricação. Estas perdas giram em torno de 30% (dado confirmado na literatura sobre a tecnologia).

A Manufatura Aditiva para peças termoplásticas teve um custo recorrente e não recorrente inferior ao processo tradicional de laminação que ainda é utilizado pela empresa. Cabe explicar que ainda se usa o processo de laminação para algumas peças por questão de geometria e tamanho da peça (peças maiores).

O investimento para aquisição de equipamento e material vem caindo. Não é mais um investimento alto e os equipamentos vêm se apresentando mais rápidos e mais autônomos. Para o engenheiro entrevistado, quanto mais econômico for o lote de produção, maior será a redução do custo por peça. Essa tecnologia permite fabricar kits. Uma das grandes vantagens dessa formação de kits é o auxílio no JIT. Pela Manufatura Aditiva é possível fazer as peças em sequência, na quantidade e ordem em que serão montadas no produto (*part numbers* diferentes). Como consequência, houve redução do WIP e estoques em geral.

Os prazos de entrega foram agilizados. O produto entra em uma fila de prioridade de impressão, mas a máquina funciona 24 horas por dia. Apenas faz-se necessário o planejamento para iniciar o processo.

A Manufatura Aditiva não é uma questão apenas técnica, ou seja, o processo de fabricação se altera como um todo. Não é apenas a impressão. Em termos de velocidade, o processo de Manufatura Aditiva ficou mais rápido (se comparado com a laminação e não a injeção).

Comparando a Manufatura Aditiva com processo manual de laminação, a Manufatura Aditiva é mais repetitiva e deixa o processo mais robusto, tanto em confiabilidade quanto em qualidade. Sempre destacando que as peças fabricadas nesse processo não são peças críticas nem estruturais. Se por um lado as peças visuais requerem um acabamento final por questão de estética, por outro lado as peças não aparentes não necessitam de acabamento porque não serão visíveis no produto final (peças internas).

Com a Manufatura Aditiva tem-se maior otimização do uso de material. Essa otimização e menor consumo de energia auxilia em termos de sustentabilidade. O consumo de energia com a Manufatura Aditiva para termoplástico é menor que o consumo de um processo convencional.

Se comparar a usinagem de peças metálicas com a Manufatura Aditiva, esta, individualmente, consome menos energia, porém necessita tratamento térmico, o que acaba fazendo com que o consumo de energia, no todo, fique semelhante. No que tange à infraestrutura, a rede elétrica industrial é estável e faz uso de um dispositivo alimentado a bateria. A rede industrial não tem problemas para o uso da Manufatura Aditiva na empresa.

Quanto menor o requisito de criticidade da peça, mais simples é o processo de aplicação da Manufatura Aditiva. Nesse sentido, o processo torna-se mais barato por ter menos necessidade de controles.

O processo de Manufatura Aditiva é considerado pela empresa como um processo “especial”. Dessa forma, é preciso controlar os parâmetros de processo. Essa característica exige mais controle em peças críticas. A Manufatura Aditiva será mais competitiva a partir do aumento da velocidade de impressão. Esse é o grande fator que impacta o custo de produção. Cabe destacar que, quando a empresa começou a estudar o processo de Manufatura Aditiva, entendia que o maior problema seria o custo da matéria-prima.

Por fim, com a implantação da Manufatura Aditiva, foi possível otimizar os recursos de mão de obra e a capacitação dos mesmos. Está mudando a qualificação exigida pelo profissional. Na empresa, foram capacitados os profissionais que se encontravam no processo (capacitação interna). O operador ficou mais qualificado. Além de fazer o processo antigo (convencional), o operador ainda está fazendo o processo novo (Manufatura Aditiva), ou seja, foi capacitado para atuar em ambos, já que são considerados complementares.

O Quadro 61 apresenta o comparativo das vantagens encontradas no estudo realizado com os pontos encontrados nas análises da literatura e das entrevistas.

Quadro 61: Relação dos Impactos e Repercussões Encontrados no Campo com as Entrevistas e a Literatura

ESTUDO DE CAMPO	Ent.	Lit.	Impacto em:	Repercussão em:
Produção em série em baixa escala	x	x	Tempos e Métodos, PCP, Sistema de Manufatura, Engenharia de Processo	Custo, Desempenho de Entrega, Flexibilidade, Velocidade
Conhecimento e confiança na tecnologia	x		Desenvolvimento de Produto, Engenharia de Processo, Sistema de Manufatura	Custo, Desempenho de Entrega, Qualidade, Velocidade e Flexibilidade

ESTUDO DE CAMPO	Ent.	Lit.	Impacto em:	Repercussão em:
Peças projetadas para Manufatura Aditiva			Desenvolvimento de Produto, Tempos e Métodos, Sistema de Manufatura	Custo, Inovação, Flexibilidade
Mais competitiva que a manufatura tradicional em certos nichos	x	x	Desenvolvimento e Produto, Sistema de Manufatura	Custo, Desempenho de Entrega, Velocidade, Qualidade, Flexibilidade e Inovação
Complementar à manufatura tradicional	x	x	Sistema de Manufatura, Engenharia de Processo, PCP	Custo, Flexibilidade e Desempenho de Entrega
Redução do tempo de desenvolvimento	x	x	Desenvolvimento de Produto, Tempos e Métodos	Custo, Desempenho de Entrega, Inovação, Velocidade
Redução do <i>lead time</i> de produção	x	x	Tempos e Métodos, Sistema de Manufatura	Custo, Desempenho de Entrega, Velocidade e Flexibilidade
Confere mais flexibilidade aos sistemas produtivos	x	x	PCP, Engenharia de Processos, Tempos e Métodos e Sistemas de Manufatura	Flexibilidade, Velocidade
Restrições de legislação para fabricação de componentes estruturais	x	x	Sistema de Manufatura, Tempos e Métodos	Qualidade
Pode ser considerada um catalizador para o <i>Lean Manufacturing</i>	x	x	Sistema de Manufatura, Engenharia de Processos e Tempos e Métodos	Custo, Flexibilidade, Desempenho de Entrega e Velocidade
Melhor balanceamento da mão de obra	x		Engenharia de Processos, Tempos e Métodos, PCP e Sistema de Manufatura	Custo, Flexibilidade, Desempenho de Entrega e Velocidade
Menor desperdício de materiais	x	x	PCP, Sistema de Manufatura, Recursos Financeiros, Matéria-Prima	Custo, Sustentabilidade
Redução de produção de peças não conformes			PCP, Sistema de Manufatura, Matéria-Prima	Custo, Qualidade
Redução do custo dos equipamentos e materiais	x		Engenharia de Processos, Tempos e Métodos, Sistema de Manufatura,	Custo, Inovação

ESTUDO DE CAMPO	Ent.	Lit.	Impacto em:	Repercussão em:
			Recursos Financeiros, Matéria-Prima	
Auxílio ao <i>Just in Time</i> (permite a formação e abastecimento de kits)	x		Engenharia de Processos, Tempos e Métodos, Sistema de Manufatura, PCP	Custo, Flexibilidade, Desempenho de entrega e Velocidade
Redução de estoques	x	x	Engenharia de Processos, Tempos e Métodos, PCP, Matéria-Prima e Sistemas de Manufatura	Custo, Desempenho de Entrega, Flexibilidade, Velocidade
Necessidade de acabamento para peças visíveis	x	x	Engenharia de Processos, Sistema de Manufatura, PCP	Custo, Qualidade, Flexibilidade
Elevado tempo de ciclo	x	x	Engenharia de Processos, Tempos e Métodos, PCP e Sistema de Manufatura	Custo, Flexibilidade e Velocidade

Fonte: Elaborado pelo autor

Em linhas gerais, tanto os aspectos positivos quanto negativos identificados na análise de conteúdo da literatura e das entrevistas foram verificados no estudo de campo. Como complemento, restou evidente o incremento de peças a serem fabricadas a partir da Manufatura Aditiva. O conhecimento da tecnologia e o amadurecimento do processo propicia este ponto.

Outro aspecto evidenciado e que não foi identificado na literatura e nas entrevistas é a redução das peças não conformes. O processo mais confiável garante mais qualidade e confiabilidade na produção. Na sequência, será descrito o estudo de caso realizado em uma empresa que utiliza o processo MIM (*Metal Injection Moulding*) na produção de componentes para montagem no produto final.

### 7.3 ESTUDO DE CASO: EMPRESA DE ARMAS

Para a realização deste estudo de caso, foi assinado um termo de confidencialidade, a pedido da empresa, garantindo o sigilo de alguns dados. Por se

tratar de um processo que garante vantagem competitiva à empresa, algumas informações serão preservadas, mas estas não prejudicam a análise do caso.

A seguir o processo MIM será apresentado e, na sequência, os resultados verificados durante as visitas e análises realizadas na empresa. Ao final da seção, estes resultados serão apresentados e comparados com a literatura e entrevistas analisadas nos capítulos anteriores do trabalho.

No Processo MIM (*Metal Injection Moulding*), o pó que será injetado é misturado a um sistema de ligante, composto a base de polímeros que melhora as propriedades de interface e a torna mais homogênea. Essa mistura é injetada em um molde para adquirir a geometria desejada. Depois de injetadas, as peças retiradas dos moldes são submetidas a altas temperaturas para a evaporação dos polímeros (ligante) e, depois, são sinterizadas, etapa em que as peças adquirem seus valores finais e suas propriedades mecânicas.

Como mencionado, uma das vantagens observadas na empresa analisada foi a possibilidade de produção em larga escala, devido ao seu tempo de ciclo reduzido. Em termos de tempo de atravessamento, quando comparado ao processo tradicional de produção (forjado), a empresa fabricava peças com um *lead time* médio que variava entre 15 e 20 dias. O processo MIM possibilita colocar a peça pronta no cliente em quatro dias. Foi observada ainda a questão do volume de produção. No processo MIM, fazer uma peça ou mil peças leva os mesmos quatro dias de *lead time*. Isto ocorre porque, pelo processo de injeção, é possível injetar um número expressivo de peças por hora, rebarbar esse número expressivo de peças e sinterizar, que pode ser realizado em batelada em um forno contínuo, caracterizado pela empresa também como uma vantagem.

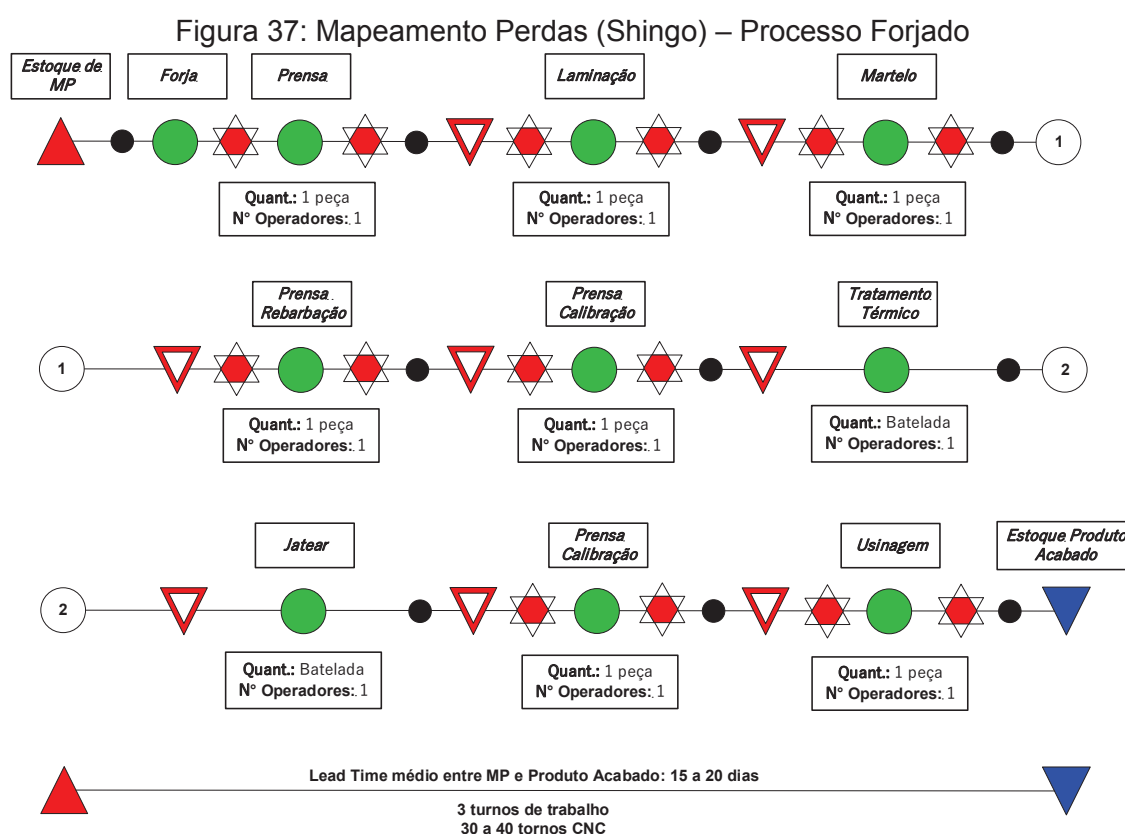
Para avaliar os ganhos do processo MIM em relação ao processo forjado, utilizado anteriormente pela empresa, os dois processos foram comparados pelo mapeamento de perdas proposto por Shingo. A Figura 37 representa o processo forjado e seu *lead time*. Os valores individuais de cada operação foram mantidos em sigilo de acordo com o termo de confidencialidade solicitado pela empresa.

O processo tradicional, realizado antes da Injeção de Metal, iniciava pela forjaria e seguia para uma prensa, uma laminadora, um martelo, uma prensa para rebarbar, uma prensa para calibrar, sempre trabalhando em três turnos e um operador por máquina. Ainda, o processo seguia com a normalização deste material em tratamento térmico, jateamento, nova calibração, e seguia para a usinagem final

de acabamento da peça. Envolve-se no processo entre 30 e 40 equipamentos *Computer Numeric Control* (CNC).

No mapeamento fornecido pela empresa, verifica-se os lotes entre as operações que ocasionavam as elevadas esperas. O processo descrito é genérico e um conjunto de peças passava pelo mesmo roteiro. Outro ponto destacado no processo forjado foi o elevado tempo de *setup*, que variava de 2 a 3 horas.

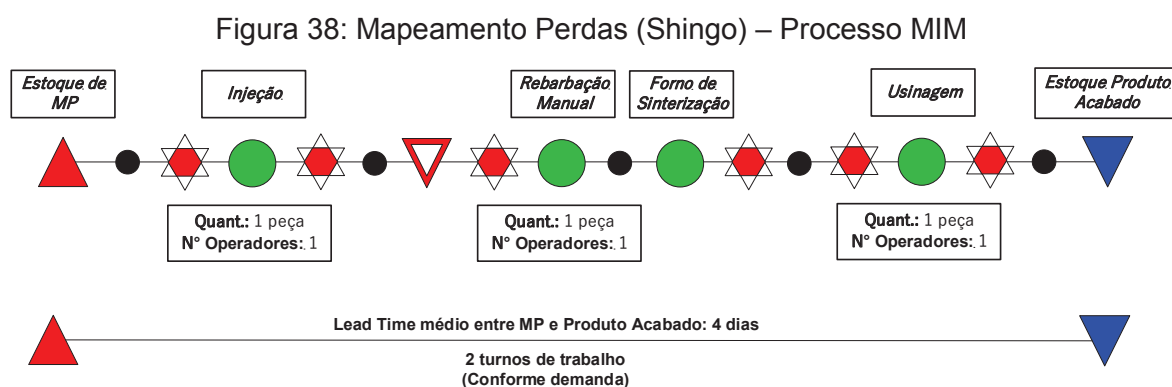
No que se refere à qualidade, o processo forjado é considerado um processo instável. É difícil controlar certas variáveis como temperatura e energia que se coloca sobre a prensa para conformar certo material. Então, as perdas são elevadas e no processo forjado apresentavam-se em torno de 15 a 20%.



Fonte: Elaborado pelo autor

Para o processo MIM, o tempo de atravessamento foi reduzido. Todas as etapas do processo forjado são reduzidas a injeção, rebarbação manual e sinterização em forno contínuo. Com este processo, a peça é retirada 95% pronta. Então, a usinagem é usada apenas para um acabamento. Assim, foi reduzido o número de máquina, número de operadores por máquina e até mesmo turno de trabalho. A empresa atende a mesma demanda com um turno a menos de trabalho e regula essa utilização conforme a demanda. O processo MIM proporcionou ainda a

redução do espaço físico, pois a estrutura de equipamentos é menor. Além disso, foi reduzida também a necessidade de mão de obra, matéria-prima e insumos. A Figura 38 ilustra o Mapeamento de perdas de Shingo para o processo MIM.



Fonte: Elaborado pelo autor

Em síntese, as alterações entre os processos são significativas. O Quadro 62 consolida as principais alterações entre o processo tradicional (forjaria) e o processo de Injeção de Metal.

Quadro 62: Comparação entre o Processo Forjado e o Processo MIM

Indicador	Forjado	MIM
Lead time de produção (médio)	15 a 20 dias	4 dias
Turnos de Trabalho	3 turnos	2 turnos
Número de Equipamentos	30 a 40 tornos CNC	6 equipamentos MIM
Sucata	15 a 20%	2 a 4%

Fonte: Elaborado pelo autor

A sucata é reduzida no processo MIM. Dependendo da tecnologia, varia entre 2% e 4%. Isso ocorre porque o processo proporciona maior repetibilidade na injeção e as variáveis do processo MIM são mais controláveis. Além disso, é possível reduzir algumas variáveis e, assim, diminuir as perdas do processo. Sobre flexibilidade, hoje a empresa fabrica em torno de 720 componentes pelo processo MIM. Todos os meses são fabricados em torno de 250 modelos diferentes. Por exemplo, se um lote de peças “A” está sendo fabricado e, no mesmo dia, é preciso atender um pedido de

peças “B”, é possível atender pois o *setup* é rápido. Ao finalizar um lote no processo injeção, altera-se o molde e, em 20 minutos, o lote seguinte começa a ser injetado. Ainda, na rebarbação, o *setup* tende a zero e no forno não há *setup* porque está parametrizado para as infinitas peças fabricadas pela empresa. Dessa forma, a flexibilidade do processo MIM é maior que o processo tradicional de forjaria.

Como desvantagem do processo MIM, foi destacado pela empresa a necessidade de um rígido controle de parametrização. Se for gerado um defeito em uma peça fabricada pelo processo MIM, este só será percebido quando a peça estiver pronta, diferente do processo de forjaria que identificava e realizava a correção imediata na peça. Outra desvantagem é sobre a matéria-prima. O ganho com o processo MIM só é percebido se houver um grande volume de produção porque a matéria-prima dele é muito cara. A empresa tem hoje um volume de produção elevado pois atua com duas linhas distintas: uma para atender a demanda interna de peças e outra para atender outras empresas clientes. Dessa forma, os benefícios da matéria-prima são percebidos e resta evidente a redução dos custos no produto final.

Assim como na Manufatura Aditiva, no processo MIM, quanto mais complexa for a peça a ser fabricada, mais vantajoso se torna o processo. Por exemplo, uma peça forjada dificilmente se consegue uma especificação de cinco centésimos para a peça pronta no final do processo. Para garantir cinco centésimos no processo forjado, é preciso agregar operações de calibragem, usinagem e lixamento. Em contrapartida, o processo MIM tem capacidade para garantir esses cinco centésimos. Além disso, tem a repetibilidade que ajuda a garantir o Cp e Cpk (Índices de Capacidade do Processo).

Uma das grandes diferenças entre o processo MIM e a Manufatura Aditiva é a necessidade do molde para injeção. Este molde tem um custo razoável agregado, porém é um custo contabilizado apenas uma vez. Depois, as peças são fabricadas sempre que preciso até a necessidade de alguma alteração. O inserto para uma peça pequena, de até 9 gramas, por exemplo, custa em torno de R\$ 10 mil. Esse inserto consegue rodar entre 200 e 300 mil ciclos de injeção. Os moldes respeitam a mesma proporção de valor, mas por serem maiores são mais caros.

Quanto à manutenção, no que se refere à forjaria, são manutenções pesadas, ou seja, volantes, eixos excêntricos, peças de grande porte que são caríssimas. A manutenção no processo MIM, embora as máquinas da empresa sendo importadas,



não são caras devido à cultura da empresa de fazer manutenções preventivas junto ao fornecedor.

Para ilustrar a representatividade das peças fabricadas pelo processo MIM nos produtos finais da empresa, são apresentados dois exemplos. Em um revolver, atualmente, 9 de 12 componentes são fabricados pelo processo MIM. Para a pistola, são 16 de 22 componentes. Os demais componentes são estampados ou micro fundidos, devido à resistência exigida para alguns componentes que não se consegue cumprir com o MIM. Mesmo assim, em torno de 70% dos componentes são garantidos e fabricados pelo processo MIM.

O processo MIM, quando iniciou na empresa, na década de 90, era quase uma produção em laboratório. Eram fabricadas menos de uma dezena de peças em lotes de 100, 200 peças. A estrutura física se concentrava em torno de 500m<sup>2</sup> no máximo. Atualmente, a empresa possui 4.000m<sup>2</sup> de área construída e capacidade de fabricar 1,5 milhão de peças por mês. Essa evolução foi conquistada com investimento em tecnologia. O processo MIM foi pesquisado com Russos, Alemães e Americanos. É possível afirmar que em processo MIM a empresa é a única no mundo que fabrica peças acima de 70 gramas. No ano passado, uma comitiva de engenheiros russos foi recebida pela empresa para entender como ela consegue fabricar peças com esse peso. Assim, resta evidente que, além de investimento em tecnologia, a empresa precisa evoluir, estudar e pesquisar para encontrar formas de inovar o processo. O Quadro 63 apresenta o comparativo das vantagens encontradas neste estudo de caso com os pontos vistos nas análises da literatura e das entrevistas.

Quadro 63: Relação dos Impactos e Repercussões Encontrados no Estudo de Caso com as Entrevistas e a Literatura

ESTUDO DE CASO	Ent.	Lit.	Impacto em:	Repercussão em:
Redução do <i>lead time</i> de produção	x	x	Tempos e Métodos, Sistema de Manufatura	Custo, Desempenho de Entrega, Velocidade e Flexibilidade
Investimento, conhecimento e confiança na tecnologia	x		Desenvolvimento de Produto, Engenharia de Processo, Sistema de Manufatura, Recursos Financeiros	Custo, Desempenho de Entrega, Qualidade, Velocidade e Flexibilidade

ESTUDO DE CASO	Ent.	Lit.	Impacto em:	Repercussão em:
Complementar à manufatura tradicional	x	x	Sistema de Manufatura, Engenharia de Processo, PCP	Custo, Flexibilidade e Desempenho de Entrega
Redução do custo da mão de obra	x	x	Engenharia de Processos, Tempos e Métodos, PCP e Sistema de Manufatura	Custo, Flexibilidade, Desempenho de Entrega e Velocidade
Confere mais flexibilidade aos sistemas produtivos	x	x	PCP, Engenharia de Processos, Tempos e Métodos e Sistemas de Manufatura	Flexibilidade, Velocidade
Menor desperdício de materiais	x	x	PCP, Sistema de Manufatura, Recursos Financeiros, Matéria-Prima	Custo, Sustentabilidade
Redução de produção de peças não conformes			PCP, Sistema de Manufatura, Matéria-Prima	Custo, Qualidade
Redução do custo dos equipamentos e materiais	x		Engenharia de Processos, Tempos e Métodos, Sistema de Manufatura, Recursos Financeiros, Matéria-Prima	Custo, Inovação
Necessidade de maior controle de produção	x		Engenharia de Processos, Tempos e Métodos, Sistema de Manufatura, Recursos	Custo, Qualidade
Maior facilidade para atender a especificações			Engenharia de Processos, Tempos e Métodos, Sistema de Manufatura	Qualidade
Redução do número de equipamentos se comparada à manufatura tradicional	x	x	Engenharia de Processos, Tempos e Métodos, Sistema de Manufatura	Custo, Desempenho de Entrega, Velocidade e Flexibilidade

Fonte: Elaborado pelo autor

Em síntese, foi possível observar que grande parte das vantagens da Manufatura Aditiva também são conferidas no processo MIM. Guardadas as diferenças, principalmente a necessidade de molde, é possível identificar vantagens que podem ser inferidas ao processo de Manufatura Aditiva quando o tempo de ciclo elevado for resolvido e a tecnologia se tornar viável para produção em larga escala.

Destaca-se ainda que a Manufatura Aditiva, ao resolver a questão do tempo de ciclo elevado na operação, vai trazer vantagens maiores que as do processo MIM para a produção em larga escala. Se por um lado o processo MIM se utiliza de lotes de fabricação, por outro a Manufatura Aditiva ao resolver o problema do elevado tempo de ciclo vai produzir com lote unitário, proporcionando maior flexibilidade e um processo mais enxuto. Dessa forma, as análises empíricas são finalizadas. A seguir, serão apresentadas as discussões dos resultados encontrados nesta tese.

## 8 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após verificar os resultados coletados na análise de conteúdo da literatura e das entrevistas e também dos estudos de campo e de caso realizados, esta seção tem como objetivo discutir os resultados encontrados. As discussões serão iniciadas pela síntese das proposições definidas no questionário estruturado para a pesquisa. Estas proposições estão divididas nas categorias Sistemas Produtivos e Critérios Competitivos.

### 8.1 IMPLICAÇÕES NOS SISTEMAS PRODUTIVOS

Foram levantadas 19 proposições referentes aos impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos. Nesta seção, estas proposições serão avaliadas com base nas análises realizadas a partir da literatura, nos especialistas e nos estudos empíricos.

As três primeiras proposições referentes aos impactos na Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos estavam relacionadas ao volume de produção. A proposição 1 afirmava que “a Manufatura Aditiva não é robusta suficiente para ser utilizada em sistemas de fabricação em massa”, a proposição 2 que “a Manufatura Aditiva tem o potencial para tornar o processo de customização possível para ser utilizado em sistemas produtivos” e a proposição 3, por sua vez, relata que “a Manufatura Aditiva irá substituir a dinâmica competitiva das economias de produção em escala para um modelo de produção unitária, customizado, sendo indicada para pequenos volumes de produção”.

As três proposições são confirmadas pelas análises realizadas, ao menos com a tecnologia existente atualmente. Os elevados tempos de ciclo atuais da Manufatura Aditiva existentes comprovam que a tecnologia não é robusta o suficiente para ser utilizada em sistemas de produção em massa. Contudo, observa-se que este tempo vem sendo reduzido ao longo dos últimos cinco anos devido ao incremento da velocidade de impressão. O Entrevistado 6 afirmou que pelo volume de produção a Manufatura Aditiva não seria viável para produção de volumes

maiores nos dias de hoje, porém destacou que que essa linha do tempo da Manufatura Aditiva não é linear. Nesse sentido, o Entrevistado 16 constatou que a velocidade de impressão teve um incremento de 10 a 100 vezes nos últimos quatro anos. Novas tecnologias de Manufatura Aditiva com velocidade 10 vezes mais rápidas que as tecnologias atuais comprovam melhorias significativas na velocidade de impressão de equipamentos aditivos, essenciais para a relação custo-eficácia e competitividade nas organizações (GO; HART, 2017). Este é ponto chave para a disseminação da Manufatura Aditiva entre os sistemas de manufatura em massa.

No que tange aos sistemas de Manufatura Aditiva em baixa escala e produtos customizados, a Manufatura Aditiva é uma realidade. O conjunto de vantagens destacada pelos entrevistados e verificado nos estudos empíricos realizados e que comprovam esta proposição. No caso da empresa aeronáutica, por exemplo, a Manufatura Aditiva é utilizada para abastecer a linha de montagem das aeronaves.

Uma das proposições validadas e mais importantes para esta tese afirma que, “[...] com a Manufatura Aditiva, todas as etapas ao longo da cadeia de abastecimento, manufatura e varejo terão que repensar suas estratégias de operações (D’AVENI, 2015, p.41)”. A maior parte dos impactos que ocorrem nos sistemas produtivos a partir da utilização da Manufatura Aditiva, em sua maioria positivos, traz repercussões positivas para a competitividade da empresa. Estas discussões referentes às alterações na estratégia das organizações serão debatidas com maior profundidade em seção específica, apresentada a seguir. No entanto, resta evidente que elementos como estoques e tempo de atravessamento serão impactados. O Entrevistado 11 afirmou que no que se refere a estoques, por exemplo, as peças estocadas serão substituídas por rolos de filamento e serão impressas de acordo com a necessidade. Na empresa aeronáutica estudada, essa redução de estoques foi verificada na prática.

Com relação às cadeias de abastecimento e redução do tempo de mercado, quinta proposição a ser avaliada, afirmava que “as empresas que empregarem as tecnologias de Manufatura Aditiva podem alcançar aumento da eficiência da cadeia de abastecimento e a redução do tempo de mercado”. Nesse quesito, a Manufatura Aditiva afirma-se como o grande diferencial para as empresas que quiserem colocar seu produto no mercado mais rápido. Atualmente, ganhos expressivos nos tempos de desenvolvimento de produto e na fabricação de produtos customizados e em pequenos lotes vêm sendo comprovados. Os dois estudos de campo apresentados

no capítulo anterior trazem evidências desta afirmação. No caso do Instituto de Estudos Avançados, as evidências empíricas comprovam redução de tempo, custo e burocracia. Para o futuro, novos modelos de negócio podem ser criados. Os *hubs* de Manufatura Aditiva são exemplos desses novos modelos de negócio e podem substituir os atuais centros de distribuição, com estoques físicos. Nesses *hubs*, os estoques serão virtuais e impressos a partir da necessidade. Impactos como a virtualização do transporte, que deixaria de ser físico, e a redução da necessidade de estoques são os benefícios esperados neste aspecto. Evidências sobre esses novos modelos podem ser resumidas nas percepções dos Entrevistados 1, 6 e 16. Para esses especialistas, os novos modelos serão semelhantes ao modelo de compra por internet, mas o produto não precisa ser enviado, e sim produzido no local de consumo em qualquer parte do mundo.

A sexta proposição afirmava que “o uso da Manufatura Aditiva reduz a necessidade de manter estoques/inventário, uma vez que o produto pode ser fabricado próximo ao local em que será utilizado, reduzindo necessidade de espaço físico” e a sétima proposição que “devido a sua versatilidade, a Manufatura Aditiva permite/facilita o sistema de produção *just in time* e pode se tornar o novo Kanban”. Em linhas gerais, estas proposições relacionadas à redução de estoques e espaço físico, além da versatilidade da Manufatura Aditiva que pode auxiliar no sentido de uma produção *just in time*, impactam diretamente a proposição 5. A redução de estoques ao longo do processo produtivo impacta diretamente a redução do tempo de atravessamento de produção. Além disso, ao possibilitar que as peças ou produtos sejam impressos próximos ou no local de consumo catalisam os resultados perseguidos pelo sistema JIT. Da mesma maneira que os *hubs* de Manufatura Aditiva citados anteriormente, esta comercialização de peças ou produtos virtuais no modelo de venda por internet (como citado nas entrevistas) é uma questão que pode ser viável no futuro. Problemas de segurança da informação, entretanto, precisam ser verificados, pois, para viabilizar esse modelo de negócio, os projetos dos produtos e das peças estariam transitando em nuvens de dados, virtualmente e aspectos de patente e propriedade precisam estar seguros. Essa preocupação passa por formulações de políticas públicas e foi destacada pelo Entrevistado 16.

Proposições referentes à viabilidade de sistemas produtivos mais flexíveis propiciados pela Manufatura Aditiva foram o tema das proposições 8 e 9 (“A Manufatura Aditiva tem a capacidade para fabricar peças sem a necessidade de

ferramental, pois é considerado um método sem contato” e “a Manufatura Aditiva evita a falta de flexibilidade na fabricação”). Estas proposições não podem ser confirmadas por completo. Apesar de eliminar a necessidade de ferramental (insertos, moldes, etc.), a Manufatura Aditiva pode necessitar a troca de material, conforme destacado pelos Entrevistados 1 e 6, que abordaram a diferença entre as tecnologias metálicas e de termoplástica. Nesse aspecto, quando esta troca for em equipamentos de material termoplástico, apresenta-se rápida e não impacta as questões de flexibilidade do sistema produtivo.

No entanto, quando a análise é realizada sob o ponto de vista de equipamentos de Manufatura Aditiva metálica, o tempo de troca pode ser maior até que a manufatura convencional. De acordo com o Entrevistado 1, isto se deve ao pó de metal, matéria-prima base para a impressão metálica, que deve ser limpo na sua totalidade quando da troca de um tipo de metal para outro. De acordo com os entrevistados, este tempo de limpeza pode levar dias. Se esta limpeza não respeitar estes critérios, a contaminação do material na troca pode impactar a propriedade das peças fabricadas. Sendo assim, a troca de material deve ser levada em consideração nas discussões sobre a flexibilidade conferida pela Manufatura Aditiva aos sistemas produtivos.

A integração e conectividade entre as etapas de manufatura são destacadas nas proposições 10, 11 e 12 (“Produtos complexos montados a partir de inúmeras peças podem, por meio da Manufatura Aditiva, ser impressos a partir de um modelo de computador único, facilitando a integração entre as etapas de produção”; “A Manufatura Aditiva facilita o *layout* em células de manufatura, caracterizando-se como elemento chave para sistemas de produção mais ambiciosos”, e “A Manufatura Aditiva propicia conectividade perfeita, o que torna muitos dos processos de produção redundantes”). Nesse sentido, a Manufatura Aditiva, ao ser comparada com a manufatura tradicional, elimina um conjunto de operações, pois fabrica o produto ou peça praticamente sozinha. Contudo, ela ainda não substitui as linhas de montagem. A produção dos *part numbers* de acordo com a ordem de produção, sem necessidade de fabricação de lotes mínimos de peças e o abastecimento por kits, apresentado no estudo de campo da empresa aeronáutica, corroboram estas proposições. Dessa forma, as proposições não são confirmadas na sua totalidade, pois de acordo com os especialistas ela será uma tecnologia complementar aos

sistemas tradicionais de manufatura. O Entrevistado 5 resume essa evidência na seguinte fala:

A Manufatura Aditiva é uma melhoria de processo. Ela não irá substituir totalmente a manufatura tradicional [...].A Manufatura Aditiva pode ajudar a reduzir/encurtar a cadeia nas operações anteriores à linha de montagem, mas a montagem continua.

Esta evidência auxilia na confirmação de outra proposição. Ao menos por ora, considerando o atual estado das tecnologias de Manufatura Aditiva, ela não irá substituir a manufatura tradicional (Proposição 13). Esta proposição, destacada na literatura (LONG et al., 2017; PEARSONS, 2015; GARDINER, 2015) foi verificada na análise das entrevistas e nos estudos de campo realizados. Sendo assim, a Manufatura Aditiva deve ser considerada como mais uma tecnologia a ser utilizada para complementar os modelos tradicionais existentes. Se por um lado, ela é um novo paradigma na produção de peças e componentes, por outro lado as linhas de montagens serão mantidas. Entretanto, ela pode potencializar resultados da linha de montagem, uma vez que é capaz de abastecer *just in time*, com redução de estoques e sem a complexidade do gerenciamento da variedade de peças da atual manufatura tradicional.

A redução da necessidade de mão de obra devido a menos “trabalho” de produção (Proposição 14) é uma proposição que não pode ser confirmada na sua totalidade. A Manufatura Aditiva, pelas suas características, reduz a quantidade de operações necessárias, quando comparada à produção tradicional. Sob esta perspectiva, não há como negar que a mão de obra será reduzida. Entretanto, esta mão de obra é operacional. Além de reduzir, foi verificado nas análises das entrevistas e dos estudos empíricos que a multifuncionalidade será estimulada devido aos equipamentos de Manufatura Aditiva serem mais autônomos. Essa perspectiva não é uma preocupação apenas da Manufatura Aditiva, mas da Indústria 4.0 em geral, conforme destacado pelos Entrevistados 1, 6, 16 e 17. O ponto que não permite confirmar esta proposição em 100% são os indícios verificados nas entrevistas de que atividades que exigem maior capacitação serão mais demandadas. Profissionais de Engenharia, *Designers* e Manutenção, entre outros, podem compensar parte desta redução de mão de obra destacada na literatura.



A afirmativa que a Manufatura Aditiva facilita a terceirização (Proposição 15) divergiu dos resultados encontrados nos resultados da pesquisa. Na percepção dos usuários da tecnologia, tanto os entrevistados quanto no estudo de campo (Instituto de Estudos Avançados), a utilização da Manufatura Aditiva internalizou processos que antes eram terceirizados, movimento contrário àquele proposto pela literatura. Os aspectos que sustentam esta internalização a partir da Manufatura Aditiva, principalmente no caso do Instituto de Estudos Avançados, é a segurança e o sigilo nos projetos. Nos modelos anteriores à Manufatura Aditiva, os projetos eram protegidos por contrato e transitavam entre terceiros, aumentando o risco da segurança e sigilo. Quanto à manufatura, a internalização permitiu maior agilidade na disponibilidade de peças necessárias para a montagem de equipamentos. Nesse sentido, esta proposição não foi validada pela pesquisa.

A proposição 16 (“A Manufatura Aditiva proporciona menos desperdício de material e consumo de energia”) não pode ser confirmada na sua totalidade. Para os equipamentos de Manufatura Aditiva termoplásticos, o consumo de energia é menor, porém, para equipamentos de Manufatura Aditiva metálica, principalmente as tecnologias de sinterização a laser, o consumo de energia é elevado. Assim, dependendo do produto e, por consequência, do tipo de equipamento, os impactos relacionados ao menor consumo de energia não podem ser confirmados, conforme destacado pelos Entrevistados 1 e 6, afirmando que a impressão metálica vai usar muito mais energia, devido à utilização do laser para a sinterização.

A proposição 17 (“A Manufatura Aditiva consome menos matéria-prima para a fabricação dos produtos ou peças: ela utiliza apenas o que é estruturalmente necessário) é validada pelos entrevistados e pelos estudos de campo apresentados. A Manufatura Aditiva desperdiça menos material se comparada à manufatura tradicional. Ao adicionar materiais e não subtrair, menos material é desperdiçado pois a tecnologia fabrica, no equipamento, a geometria projetada pelos engenheiros e *designers*. Essa liberdade geométrica apresenta vantagem também na redução de peso dos produtos fabricados por meio da Manufatura Aditiva. De acordo com o Entrevistado 1, além de desperdiçar menos material na fabricação, consegue-se a redução de peso do componente final devido à possibilidade de fabricar geometrias mais complexas. Com maior liberdade de formatos, sem perder as propriedades estruturais dos produtos, esta redução de peso pode ser utilizada pelas empresas como agregação de valor no processo e no produto. Na indústria aeronáutica, por

exemplo, produtos mais leves permitem redução de consumo de combustível das aeronaves, ilustrando o quanto a redução de peso pode agregar valor na comercialização dos produtos.

Para finalizar, as proposições relacionadas à variedade de materiais que podem ser usados pela Manufatura Aditiva eram divergentes na literatura. Enquanto a proposição 18 afirmava que “ainda é um limitante o número reduzido de materiais, cores e acabamentos de superfície”, a proposição 19 afirma que “a disponibilidade de materiais para Manufatura Aditiva tem aumentado constantemente nos últimos anos”. Dessa forma, assim como na literatura, os resultados empíricos também foram divergentes. Cabe destacar que esta divergência é verificada em um hiato de seis anos. O número limitado de materiais que podem ser utilizados pela Manufatura Aditiva (BERMAN, 2012) foi destacado há seis anos atrás. No entanto, nos últimos anos, a variedade de materiais tem se diversificado constantemente (LONG et al., 2017). Estas mesmas percepções foram identificadas nas análises das entrevistas. Dessa forma, resta evidente a tendência ao aumento desta variedade de materiais. Essa afirmação é sustentada pela evolução tecnológica discutida também nas questões de velocidade de impressão, por exemplo.

Em síntese, os limitantes da tecnologia relacionados aos sistemas produtivos a partir da validação das proposições versam sobre o elevado tempo de ciclo dos equipamentos de Manufatura Aditiva, o consumo de energia e a troca de material para equipamentos metálicos devido à diversidade de materiais. O aspecto divergente ficou por conta da internalização dos processos, que se apresenta como uma vantagem para determinados tipos de indústria. Na sequência, serão validadas as proposições referentes às repercussões da Manufatura Aditiva nos critérios competitivos.

## 8.2 IMPLICAÇÕES NOS CRITÉRIOS COMPETITIVOS

Com relação às repercussões da Manufatura Aditiva nos critérios competitivos, foram identificadas na literatura 16 proposições. Avaliadas após a análise das entrevistas e dos estudos de campo, os resultados são apresentados na sequência desta seção.

A proposição 1 (“A Manufatura Aditiva, devido à necessidade de investimento inicial a ser realizado, tem custos de produção relativamente mais elevados”) e a proposição 2 (“Os custos mais altos para a produção de grandes séries em relação à moldagem por injeção limitam o uso da Manufatura Aditiva”) referem-se ao critério competitivo custo. As proposições apresentam o fato de a Manufatura Aditiva elevar os custos de produção. Os elevados investimentos necessários para aquisição da tecnologia e suas limitações para produção em grandes séries justificam a proposição. Nas análises realizadas, essas proposições são confirmadas em parte. O custo de aquisição dos equipamentos e dos materiais vem reduzindo ao longo dos últimos anos, conforme afirmam os fabricantes e representantes de equipamentos de Manufatura Aditiva (Entrevistados 4, 9, 10 e 11). A queda das patentes é um dos motivos que fez com que os custos de aquisição fossem reduzidos. Cabe destacar que tanto os entrevistados quanto as empresas estudadas ressaltaram que é necessário fazer uma análise minuciosa do retorno sobre o investimento, pois não se deve considerar apenas a troca de um equipamento por outro, os impactos são sistêmicos, e afetam estoques, mão de obra, espaço físico e até a possibilidade de novos negócios.

Ainda relacionada à competitividade por custo, a terceira proposição destaca que a Manufatura Aditiva irá reduzir o custo do produto final, uma vez que o processo será reduzido a um menor número de operações que o processo tradicional. Esta proposição é confirmada para os sistemas de produção de produtos customizados e em baixa escala. No caso da empresa aeronáutica, por exemplo, a característica de baixa escala de produção é observada, mas, além disso, o processo a ser comparado é a laminação manual. Estas duas evidências combinadas fazem com que os custos de produção sejam reduzidos. Em contraponto ao exemplo apresentado, devido ao elevado tempo de ciclo dos equipamentos de Manufatura Aditiva, nos sistemas voltados à produção em massa, o custo aumenta. Os processos de injeção, considerando a tecnologia atual da Manufatura Aditiva, são mais indicados para os sistemas de produção em massa. O Entrevistado 7, representante de uma empresa da indústria calçadista que tem volume de produção elevado, afirma que, para esta realidade, a Manufatura Aditiva apresenta bons resultados para o desenvolvimento de produtos, mas para a manufatura ainda não é viável.

As duas proposições referentes ao critério competitivo Desempenho de Entrega foram validadas pela pesquisa. A Manufatura Aditiva permitirá cadeias mais ágeis de fornecimento (Proposição 4) e reduzirá prazos de entrega como consequência da redução do *lead time* de desenvolvimento e de manufatura (Proposição 5). Para a etapa de desenvolvimento de produto, a Manufatura Aditiva repercute, com a atual tecnologia, na redução dos prazos de entrega. No que se refere à redução do *lead time* de produção, a pesquisa trouxe evidências de que esta proposição é comprovada apenas em parte, pois, como comentado anteriormente, considerando a atual tecnologia empregada pelos equipamentos de Manufatura Aditiva, ela é inviável para a produção em alta escala.

A proposição 6 afirma que “O tempo de resposta para o mercado deverá diminuir com a aplicação da Manufatura Aditiva nas organizações devido aos ciclos de *design* e prototipagem mais curtos, capacidade de fabricação mais previsível, e a eliminação de ferramental para novos produtos” e a proposição 7 afirma que “A Manufatura Aditiva permite um arranjo físico mais enxuto, uma vez que várias operações são condensadas em apenas uma”. Com relação a estas proposições, constatou-se que a Manufatura Aditiva confere maior velocidade aos sistemas produtivos. Os aspectos relacionados com a redução dos tempos de desenvolvimento e de manufatura encontram-se mais alinhados com o critério competitivo Velocidade do que com o critério Desempenho de Entrega, pois referem-se à entrega mais rápida do produto no mercado, desde sua concepção até sua entrega no cliente final.

Cabe destacar que, mesmo que estes fatores proporcionem redução nos prazos de entrega, o critério Desempenho de Entrega está relacionado com a acuracidade do prazo de entrega prometido ao cliente e não à sua entrega mais rápida, característica do critério competitivo Velocidade.

A Flexibilidade é apresentada como uma das maiores vantagens conferidas pela Manufatura Aditiva aos sistemas produtivos que impactam a competitividade destes sistemas. Essas vantagens são ilustradas pela proposição 8 (“A Flexibilidade é a maior vantagem em termos de critérios competitivos com a implantação da Manufatura Aditiva”) e pela proposição 9 (“Assim como a Customização em massa, a Manufatura Aditiva permite às empresas construir produtos personalizados em pequenas quantidades de maneira mais econômica”).

Essa flexibilidade foi verificada no campo empírico estudado, tanto para o desenvolvimento de produtos quanto para a produção de peças em baixa escala e comprovam a proposição 8. O tempo de desenvolvimento de produto, no IEAv, foi reduzido em 70% com a Manufatura Aditiva. Além disso, como o processo foi verticalizado, a segurança da informação é maior, reduzindo os riscos de sigilo e propriedade. Na empresa aeronáutica, a produção de componentes viabilizou o *just in time*, reduzindo o tempo de atravessamento para estes itens. A única ressalva para esta flexibilidade está relacionada à troca de material para a Manufatura Aditivametálica, característica verificada na análise das entrevistas e que não se traduz em ganhos de flexibilidade para os sistemas produtivos.

Outra proposição comprovada pela pesquisa refere-se ao fato de a Manufatura Aditiva não oferecer economia de escala (Proposição 10). Entretanto, esta proposição pode ser falseada no médio prazo. Ao acompanhar a evolução da tecnologia no que se refere à velocidade de impressão, pode-se inferir que este limitante será resolvido e a Manufatura Aditiva pode tornar-se viável para economias de escala, conferindo a elas vantagens em relação à manufatura convencional. No estudo de caso realizado na empresa fabricante de armas, verifica-se que, com a tecnologia MIM, por injeção, mesmo com a necessidade da troca dos moldes, a flexibilidade da manufatura foi beneficiada. Nesse sentido, ao resolver o limitante da velocidade de impressão, mesmo para as economias de escala, a Manufatura Aditiva implicará a produção em lote unitário, reduzindo estoques, tempos de espera e garantindo, assim, maior agilidade e flexibilidade para a produção.

Quanto à Qualidade, a proposição 11 (“A qualidade e confiabilidade dos produtos e processos são a grande barreira para a utilização da Manufatura Aditiva pelas organizações”) e a proposição 12 (“Os sistemas de manufatura Aditiva simplesmente não são precisos ou robustos o suficiente para serem ampliados e utilizados para fabricação em massa de produtos comerciais”) apresentaram-se divergentes quanto às observações realizadas pelos especialistas e nos estudos empíricos no que se refere aos problemas acerca das propriedades físicas e mecânicas (resistência).

Neste aspecto, tanto os especialistas quanto as evidências empíricas (principalmente no estudo realizado na empresa aeronáutica) demonstram que este é um problema superado pela Manufatura Aditiva. Essas evidências são apresentadas na análise com base nas respostas a seguir:

[...] a questão de propriedades e resistência não deixam mais a desejar. Não, pelo contrário. Eu já vi estrutura completa de um avião impresso há quatro anos atrás [...] (Entrevistado 16).

Em muitos casos, os testes demonstraram que em termos de propriedades (resistência), os componentes fabricados pela Manufatura Aditiva metálica se assemelham ou são até superiores que a manufatura convencional [...] (Entrevistado 1).

Tanto os produtos fabricados por materiais termoplásticos quanto aqueles fabricados pela Manufatura Aditiva metálica não deixam a desejar em termos de propriedades e resistência quando comparados aos fabricados pela manufatura tradicional. No entanto, ao se referir à qualidade aparente (aspecto visual), a Manufatura Aditiva deixa a desejar. A proposição 13 afirma que “Operações complementares, para garantir a qualidade final do produto, são atualmente necessárias quando da utilização da Manufatura Aditiva”. Para peças e componentes que se apresentarão visíveis no produto final, processos complementares são necessários.

De acordo com o Entrevistado 3, são necessários processos complementares após a fabricação na impressora 3D. Lixar, equalizar a superfície e pintar são exemplos de operações complementares. Destaca-se que, para produtos que não ficarão aparentes no produto final, este acabamento não é necessário. Mesmo com a necessidade dessa operação complementar, a Manufatura Aditiva ainda é viável. Esta afirmação é comprovada pelo caso da empresa fabricante de armas. Mesmo não sendo uma tecnologia de Manufatura Aditiva, pela similaridade do processo, os resultados visualizados tendem a ser parecidos. No processo MIM, uma operação de acabamento (usinagem) é utilizada e, mesmo assim, os ganhos do processo são relevantes quando comparados com a manufatura tradicional. Nesse sentido, mesmo sendo necessária uma operação complementar, a Manufatura Aditiva apresenta-se viável.

Por fim, são discutidas as proposições relacionadas ao critério competitivo Sustentabilidade. Nesse sentido, evidencia-se que a Sustentabilidade pode ser explorada pelos sistemas que utilizam a Manufatura Aditiva (Proposição 14). Mesmo que as opiniões dos entrevistados estejam alinhadas ao potencial da Manufatura Aditiva como uma tecnologia mais limpa e, por consequência, mais sustentável, esta

característica é pouco explorada pelas empresas brasileiras, conforme destaca o Entrevistado 4, representante da Stratasys, líder mundial em impressoras 3D. Esta perspectiva é melhor explorada por empresas americanas e europeias.

A proposição 15 afirma que “A Manufatura Aditiva tem o potencial de reduzir significativamente o consumo de energia e emissões de carbono, gerando impacto positivo sobre o meio ambiente”. Este aspecto relacionado ao menor consumo de energia, como mencionado nas proposições referentes ao critério custo, não teve comprovação total pela pesquisa. O processo de fabricação aditiva metálica, principalmente a tecnologia de sinterização a laser, consome mais energia que a manufatura tradicional, não convergindo com a proposição generalizada na literatura para qualquer tipo de tecnologia de Manufatura Aditiva.

Outro ponto convergente é apresentado na proposição 16 (“Coma utilização da Manufatura Aditiva, a geração de resíduos é menor devido a ser um processo mais direto quando comparada à manufatura tradicional). No processo de fabricação camada a camada, o desperdício de material é mínimo, cerca de 3% de acordo com resultado identificado na análise das entrevistas e confirmado nos estudos empíricos. Esta é uma das características mais visíveis do processo de Manufatura Aditiva em relação aos processos subtrativos de produção.

Em síntese, a maior parte das proposições relacionadas às repercussões da Manufatura Aditiva nos critérios competitivos convergiram com as análises realizadas nas respostas dos entrevistados e nos estudos empíricos. Por ora, as divergências quanto às proposições, ou seja, aquelas que não foram validadas na sua totalidade, apresentam indícios que podem ser solucionadas com o avanço tecnológico. De acordo com as proposições validadas, pode-se inferir que, com o atual estágio da tecnologia, empresas que se caracterizam pelo baixo volume de produção e utilizam a Manufatura Aditiva no seu sistema produtivo podem ser competitivas em uma combinação de critérios. Alguns *trade-offs* podem ser quebrados com a tecnologia. Este aspecto será discutido na próxima seção deste capítulo.

### 8.3 SÍNTESE DAS DISCUSSÕES E RELEVÂNCIA DOS RESULTADOS



A decisão pela adoção da Manufatura Aditiva pelas empresas inicia por meio da comparação com o processo tradicional de manufatura utilizado pela empresa. Nessa perspectiva, um ponto que causa impacto à primeira vista é o tempo de ciclo da Manufatura Aditiva. Em muitos casos, por desconhecimento da tecnologia, a discussão é encerrada neste momento e a solução é não optar pela Manufatura Aditiva.

Contudo, essa discussão é mais ampla. A avaliação deve ser feita não pelo tempo de ciclo, mas sim pelo *lead time*. Observando o *lead time*, é possível verificar o impacto da Manufatura Aditiva no todo, uma vez que ela não substitui apenas um equipamento, ela substitui um conjunto de operações da manufatura tradicional. Ainda, existem outros impactos a serem considerados. A produção em fluxo unitário da Manufatura Aditiva reduz, ou até mesmo elimina, os estoques em processo, o que, por consequência, reduz o tempo de espera. Nesse caso, o tempo de espera para aquelas operações que serão eliminadas pela Manufatura Aditiva deixa de existir. Esta constatação é melhor compreendida se analisada sob a ótica do Mecanismo da Função Produção. O Mecanismo da Função Produção (MFP) define os sistemas produtivos como uma rede de processos e operações (ANTUNES et al., 2008; SHINGO, 1996b). Ao avaliar apenas o tempo de ciclo, a análise está sendo realizada sob o ponto de vista da função operação, ou seja, o fluxo do sujeito do trabalho (homens - trabalho “vivo”, máquina e equipamentos - trabalho “morto”) no tempo e no espaço. Esta análise local deixa a visão comparativa míope, pois desconsidera os aspectos relacionados ao fluxo do material.

Ao realizar a análise comparativa sob a ótica da função processo, ou seja, o fluxo do objeto do trabalho (materiais, serviços e ideias) no tempo e no espaço, a análise deixa de ser local e passa a ser global. O fluxo é analisado desde a entrada da matéria-prima até o produto acabado; identificando, assim, todos os elementos da manufatura envolvidos no processo tradicional e pela Manufatura Aditiva. No estudo de caso realizado na empresa fabricante de armas, a pesquisa foi realizada para a verificação do *lead time*. Devido à solicitação de restrição de informações e sigilo em alguns dados, foi possível identificar, no estudo de caso, apenas a redução no *lead time*, a quantidade de recursos que era usada antes e que passou a ser usada no novo processo, os turnos de trabalho necessários para atender a mesma demanda e os índices de sucata do processo. Para todos estes indicadores



examinados, os resultados foram significativos como demonstrado no Quadro 62, apresentado anteriormente.

Esta análise da função processo permite identificar e quantificar os fatores que impactam positiva ou negativamente o *lead time* em cada caso verificado. Além do processamento em si (a agregação de valor propriamente dita), podem ser medidos os tempos de inspeção, transporte e principalmente das esperas que podem ser provenientes do tamanho dos lotes e da sincronização da produção.

Os tempos de transporte com o uso da Manufatura Aditiva são reduzidos, pois são eliminados os deslocamentos de matéria-prima entre uma operação e outra, visto que na Manufatura Aditiva a atividade é concentrada em um único equipamento. A Manufatura Aditiva permite, ainda, lotes unitários de produção, o que elimina a necessidade da produção em lotes, ocasionada pelo elevado tempo de troca de ferramental, inexistente na Manufatura Aditiva. Esses lotes unitários eliminam a espera de lotes que ocorrem na manufatura tradicional. Ainda sobre as esperas, a complexidade da programação também é reduzida, acarretando menos problemas de sincronização da produção.

Após realizar esse comparativo sob o ponto de vista da função processo, pode ser observada a redução da necessidade de mão de obra operacional entre os processos. Dessa maneira, além de realizar o comparativo do tempo de produção, é possível quantificar os custos eliminados pelo processo como um todo, realizando a análise comparativa de maneira sistêmica. Atualmente, evidencia-se que, para sistemas de produção voltados a produtos customizados e em baixa escala de produção, a Manufatura Aditiva é uma realidade a ser explorada pelas empresas. Para sistemas de produção em alta escala, mesmo avaliando de maneira sistêmica, para atender a demanda com o atual estágio da tecnologia, o limitante é o tempo de ciclo.

Uma questão que emergiu das entrevistas com os especialistas foi a alteração do sistema produtivo. O questionamento era se a Manufatura Aditiva iria substituir o Sistema Toyota de Produção (STP), ou a produção enxuta. Para discutir este aspecto, é preciso entender o objetivo principal do Sistema Toyota de Produção: reduzir o tempo de atravessamento, desde o recebimento do pedido até a entrega do produto final, por meio da eliminação das atividades que geram custos e não agregam valor ao produto (SHINGO, 1996a). Após analisar os impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos, resta evidente que a Manufatura Aditiva

não irá substituir o STP, mas irá potencializar seus resultados. A Manufatura Aditiva possibilita a eliminação das perdas de Shingo e Ohno (SHINGO, 1996a) conforme ilustra o Quadro 65.

Quadro 64: Comparação das Perdas do Sistema Toyota com os Impactos da Manufatura Aditiva

Perdas do STP	Impactos da Manufatura Aditiva
Movimentação	Em termos de <i>layout</i> , foi possível equilibrar/balancear melhor a mão de obra envolvida no processo produtivo (Estudo de Campo – Empresa Aeronáutica).
Transporte	“[...] à medida que se tem mais horizontalidade, mais networking e mais colaboração entre as diferentes entidades, a rastreabilidade torna-se mais importante. O Transporte será reduzido dentro e fora da empresa [...]” (Entrevistado 5).
Produtos defeituosos	A sucata é reduzida no processo MIM. Dependendo da tecnologia, varia entre 2% e 4% (Estudo de Caso – Empresa fabricante de armas).
Estoques	“[...] a tecnologia de Manufatura Aditiva posicionada nestes pontos de manutenção pode propiciar a substituição dos estoques físicos por estoques virtuais [...]” (Entrevistado 1). “[...] a impressora 3D pode substituir o Kanban físico [...]” (Entrevistado 6). “[...]a redução de estoques se dará em WIP e produto acabado [...]” (Entrevistado 8).
Espera	“[...] essa tecnologia permite programar por meio de kits. Uma das grandes vantagens dessa formação de kits é o auxílio no JIT [...]. Pela Manufatura Aditiva é possível fazer as peças em sequência na quantidade e ordem em que serão montadas no produto ( <i>part numbers</i> diferentes). O produto entra em uma fila de prioridade de impressão, mas a máquina funciona 24 horas por dia [...]”(Entrevistado 13).
Processamento em si	“[...] o que antes levava meses para ser produzido, a impressora 3D faz em dias ou horas [...]” (Entrevistado 9).

Perdas do STP	Impactos da Manufatura Aditiva
Superprodução	“As cadeias de abastecimento são impactadas positivamente, pois somente são produzidos produtos sob demanda, eliminando a necessidade de estoque [...]” (Entrevistado 12).

Fonte: Elaborado pelo autor

Com base nas evidências apresentadas, verifica-se que a Manufatura Aditiva influenciará para a redução dos desperdícios nas organizações, contribuindo com os resultados perseguidos pelo Sistema Toyota de Produção. Os colaboradores serão multifuncionais, pois as máquinas são autônomas, o que vai fazer com que a movimentação seja reduzida, ou seja, os colaboradores serão preparados para operar vários equipamentos ao mesmo tempo, reduzindo as perdas por movimentação.

O fluxo da matéria-prima e dos produtos será reduzido, já que o produto será fabricado por meio de um equipamento único, reduzindo um conjunto de etapas da manufatura tradicional. Ainda, este aspecto facilita a produção de lotes unitários, o que elimina estoques intermediários e por consequência as esperas. Não haverá operações desnecessárias, pois o produto será impresso, camada à camada, até ficar pronto, evitando perdas no processamento em si por meio de etapas de processo desnecessárias.

Por fim, não ocorrerão as perdas por superprodução, pois os produtos serão fabricados sob demanda, de acordo com a necessidade, de maneira mais ágil. Cabe destacar que estes aspectos, devido ao atual estado de evolução da tecnologia de Manufatura Aditiva, podem ser conferidos à produção em pequenos volumes e alta variedade. Para produção em grandes lotes, o tempo de ciclo é uma limitação, existe a necessidade de evolução da tecnologia, que é a causa principal dos aspectos e repercussões negativas apresentadas nesta pesquisa.

A partir dessa necessidade, emerge a discussão da tecnologia, mais precisamente sob dois aspectos: i) em quanto tempo a tecnologia vai conseguir reduzir de maneira significativa o tempo de ciclo dos equipamentos de Manufatura Aditiva para viabilizar todos os tipos de sistemas produtivos; e ii) qual será esse tempo “ideal”.

O primeiro aspecto apresenta indícios positivos na literatura. Ao longo dos últimos quatro anos, por exemplo, a velocidade de impressão tem sido elevada

constantemente. A Desktop Metal, com sede em Massachusetts, que afirma ter desenvolvido o primeiro sistema de impressão de metal 3D para produção em massa, destaca a redução do tempo de ciclo do equipamento (GO; HART, 2017). O segundo aspecto trata de qual será o tempo de ciclo ideal a que a tecnologia deve chegar. Esta discussão pode ser respondida pelo *Takt time*. Para definir qual o tempo de ciclo ideal para que a Manufatura Aditiva possa ser implementada na empresa sob o ponto de vista do volume de produção, basta entender o *takt time*, ou seja, no momento em que a velocidade for suficiente para igualar ao *takt time*, a Manufatura Aditiva torna-se viável. Esta afirmação é feita de maneira isolada, sem considerar o poder de investimento da empresa e a análise econômico financeira, que deve ser realizada de maneira sistêmica. Caso seja realizada localmente, ela nunca irá se viabilizar. Se o retorno sobre o investimento for interessante, a empresa pode duplicar ou triplicar o número de equipamentos, de acordo com a relação *takt time* x tempo de ciclo.

Esse aspecto vai viabilizar a competitividade baseada em tempo. Os elementos apresentados por Rohr e Corrêa (1998) em seu modelo de competitividade baseado em tempo são corroborados pela Manufatura Aditiva. A Manufatura Aditiva, conforme os resultados apresentados e que defendem a tese desta pesquisa, impacta positivamente os elementos do modelo proposto como a estratégia, gerenciamento de capacidade, tecnologia de processo, *layout*, cadeia de suprimentos, habilidades de aprendizagem, fluxo de informações, medidas de desempenho, organização de produção, configurações, práticas de manutenção, estoques, estrutura organizacional e recursos humanos. Sendo assim, identifica-se a Manufatura Aditiva como uma tecnologia que propicia esta vantagem competitiva para as organizações, mesmo que ainda existam alguns limitantes em relação a referida tecnologia.

Apesar de algumas ideias e benefícios da Manufatura Aditiva ainda estarem condicionadas ao tempo de evolução da tecnologia, outros benefícios podem ser verificados na atualidade. Estes benefícios foram listados e classificados no Quadro 66.

Quadro 65: Impactos da Manufatura Aditiva - Hoje x Futuro

HOJE	FUTURO
------	--------

HOJE	FUTURO
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilização para desenvolvimento de produtos.</li> <li>• Fabricação de produtos customizados.</li> <li>• Produção em pequenos lotes.</li> <li>• Propriedades físicas e mecânicas similares aos produtos fabricados pela manufatura convencional.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produção em alta escala.</li> <li>• Novos modelos de negócio.</li> <li>• <i>Hubs</i> de Manufatura Aditiva.</li> <li>• Melhoria na qualidade visível do produto final.</li> <li>• Fabricação de peças de grandes dimensões.</li> <li>• Regulamentação para fabricação de componentes estruturais.</li> <li>• Segurança da informação para proteção de propriedade intelectual e patentes.</li> <li>• Eliminação dos <i>trade-offs</i> de manufatura.</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor

O Desenvolvimento de Produtos apresenta-se, na atualidade, como o grande benefício da Manufatura Aditiva para os Sistemas Produtivos. Os impactos na redução de tempo e dos custos no processo de Desenvolvimento de Produtos foram identificados nos estudos empíricos realizados e independem do tipo de produção da empresa. Ao desenvolver seus produtos com a ajuda da Manufatura Aditiva, as empresas não necessitam mais de intermediários e terceiros como fabricantes de moldes, por exemplo. Todo o processo é interno, proporcionando maior segurança e menos burocracia. Para empresas ou institutos públicos, esse ganho é ainda maior.

No caso apresentado pelo Instituto de Estudos Avançados (IEAv), a etapa de licitação, uma das mais morosas, deixam de existir, como pode ser confirmado na afirmação “[...] toda a parte de licitação, três orçamentos, tempo de avaliação e definição foram eliminados [...]” (Entrevistado 6).

Esses impactos tornam-se ainda mais interessantes quando a Manufatura Aditiva também é usada na fabricação dos produtos, pois ela permite a utilização de formas que a manufatura tradicional não consegue realizar, o que possibilita fabricar produtos mais leves e com menos consumo de matéria-prima.

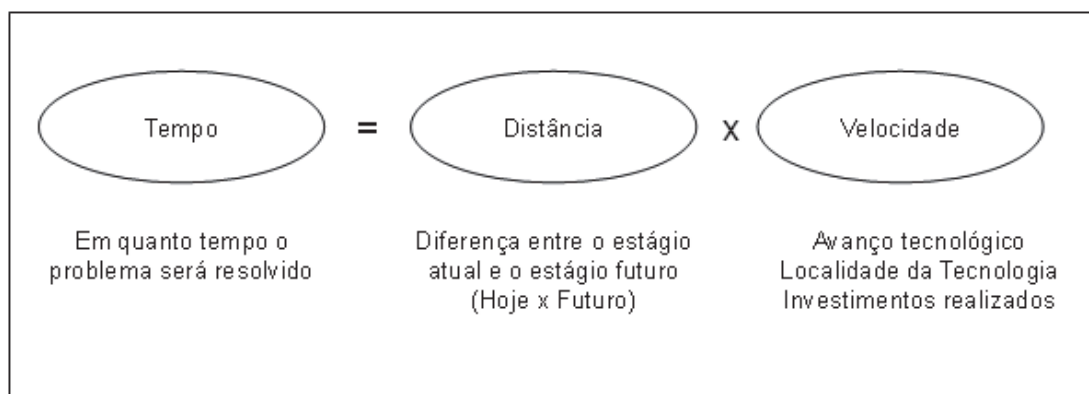
Para empresas de produção customizada ou em baixa escala, em que a matéria-prima são os materiais termoplásticos ou metálicos, a Manufatura Aditiva pode ser usada também nos sistemas de manufatura. Cabe destacar que o estágio atual da Manufatura Aditiva confere aos produtos propriedades físicas e mecânicas similares aos produtos fabricados por meio da manufatura tradicional.

Para o futuro, a Manufatura Aditiva pode ser viabilizada para produção em grandes lotes de produção. A restrição atual que necessita ser quebrada é o tempo de ciclo. Do mesmo modo, limitações tecnológicas restringem a criação de novos modelos de negócio que se deslocam cada vez mais dos modelos *Business-To-Business* (B2B) para os modelos B2C, ou seja, intermediários poderão deixar a cadeia e a produção será realizada cada vez mais próxima do consumidor final. Para tal, problemas como a segurança da informação devem ser solucionados, a fim de que a propriedade intelectual e as patentes, por exemplo, sejam resguardadas.

Outro aspecto que pode ser incrementado no futuro é a regulamentação para fabricação por meio da Manufatura Aditiva de componentes estruturais. Atualmente, a maior parte das peças homologadas e fabricadas por meio da Manufatura Aditiva não impactam a estrutura do produto final como uma aeronave, por exemplo. Mesmo com a aprovação em testes estruturais, a tecnologia não está madura o suficiente para ser testada em uma aeronave com capacidade para 300 pessoas. Esse processo de maturidade da Manufatura Aditiva depende de sua maior utilização e evolução tecnológica.

Todos estes aspectos relacionados às oportunidades da Manufatura Aditiva no futuro serão viáveis ao longo do tempo. A incerteza é então direcionada a quanto tempo isso pode levar. O tempo necessário para viabilizar as oportunidades futuras do uso da Manufatura Aditiva é dependente da distância entre o estágio atual da Manufatura Aditiva e de onde ela precisa chegar (hoje e no futuro) e, é claro, da velocidade dessa transformação. Essa velocidade depende da evolução da tecnologia, do local em que ela será desenvolvida e do investimento realizado para materializar a evolução dos equipamentos. A Figura 39 ilustra as variáveis relacionadas a esta questão.

Figura 39: Tempo de Evolução Tecnológico da Manufatura Aditiva



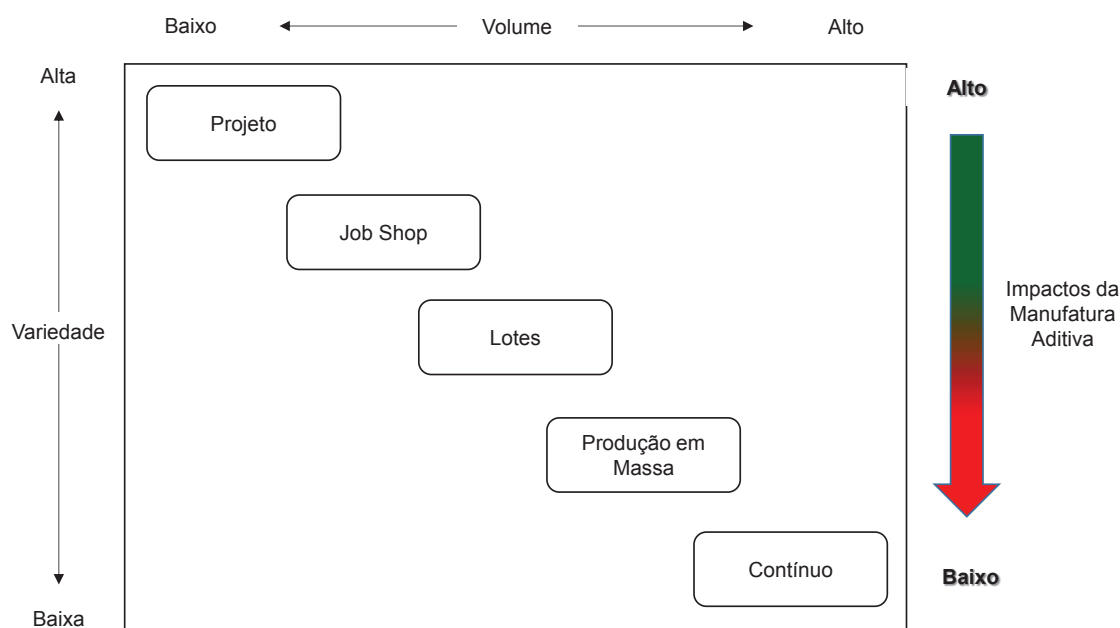
Fonte: Elaborado pelo autor

Os indícios apresentados ao longo da pesquisa comprovam que nos últimos anos a tecnologia evoluiu em praticamente todos os aspectos, principalmente na questão velocidade. Para fundamentar essa discussão, resgatou-se a afirmação do Entrevistado 16:

Outra coisa é tempo, mas isso está avançando muito rápido, isso já melhorou entre cem e mil vezes nos últimos quatro anos, e tem várias tecnologias concorrentes, tem uma empresa em Boston que está fazendo impressão de metal combinado com polímero, e aí você imprime isso rápido e você coloca em um forno para sinterizar o negócio, você tem duas etapas e aí você tem uma velocidade comparável com a velocidade de outros processos.

Este estado futuro da Manufatura Aditiva, que permite a impressão de objetos no local onde serão utilizados e a redução de elos da cadeia de abastecimento como um todo, está mais próximo de acontecer. Apesar de alguns limitantes a serem resolvidos, a Manufatura Aditiva apresenta impactos positivos nos sistemas produtivos mesmo com o atual estágio tecnológico dos equipamentos. Nesse sentido, a Figura 40 apresenta o nível dos impactos da Manufatura Aditiva em alguns tipos de sistemas produtivos existentes.

Figura 40: Adaptação da Matriz Volume x Variedade para os Impactos da Manufatura Aditiva



Fonte: Adaptado pelo autor a partir de Slack et al. (1996)

Observando a adaptação da matriz *volume x variedade* de Slack et al. (1996), é possível verificar que, quanto maior a variedade de componentes e menor o volume, maiores são os impactos da Manufatura Aditiva nestes sistemas. Em sentido oposto, quanto menor a variedade e maior o volume, menores são os impactos da Manufatura Aditiva. Cabe destacar que essa adaptação realizada na matriz tem validade com o atual estágio tecnológico da Manufatura Aditiva. Para fundamentar esse resultado, apresenta-se os estudos empíricos realizados.

O estudo de campo realizado na empresa aeronáutica, por exemplo, classifica-se como um tipo de produção por projeto. Nesse caso, todos os impactos da Manufatura Aditiva apontados nesta pesquisa se encaixam para esse tipo de organização. A empresa estudada, ao utilizar a Manufatura Aditiva foi impactada positivamente na redução do tempo de desenvolvimento de produto e no *lead time* de fabricação dos componentes. Ainda, pela fabricação em lotes unitários e em sequência de produção, foram reduzidos os estoques intermediários e as esperas consequentes destes lotes. Nesse sentido, a programação da produção e dos materiais se apresentou menos complexa, visto que a quantidade de equipamentos a serem programados diminuiu. Em linhas gerais, com o atual estado da tecnologia, este é o tipo de produção mais beneficiado pela Manufatura Aditiva.

Ao tomar como exemplo a indústria de armas, caracterizada como produção em massa, poderia ser beneficiada pela Manufatura Aditiva no que se refere ao desenvolvimento de produto, mas os lotes elevados de produção inviabilizariam a



utilização da Manufatura Aditiva na produção dos componentes. Para que isso fosse possível, teria que ser realizado investimento em um número elevado de equipamentos para compensar o tempo de ciclo da Manufatura Aditiva. Cabe destacar que, à medida que as tecnologias forem evoluindo, os impactos da Manufatura Aditiva nos tipos de sistema produtivos com menor variedade e maior volume de produção passam a ser mais beneficiados pelo uso da Manufatura Aditiva.

Outra discussão que emergiu durante a realização das entrevistas e das observações de campo trata da mão de obra. Resta evidente que, a partir da utilização da Manufatura Aditiva nos sistemas de manufatura, vai demandar menor quantidade de mão de obra. A redução do número de equipamentos e a autonomia possibilitam, além da redução, desenvolver a multifuncionalidade dessa mão de obra. Isto posto, verificou-se a preocupação com o desemprego causado pelo uso da tecnologia. Se por um lado se adaptar às questões tecnológicas pode causar a redução da mão de obra, por outro lado, ao não se adaptar e decidir continuar com os modelos tradicionais de manufatura, no momento que a indústria vai ao encontro das novas tecnologias de fabricação, pode levar a empresa a perder competitividade. Assim, ao perder competitividade, a demanda é reduzida, a ociosidade aumenta e a consequência é a mesma, ou seja, a mão de obra acaba tendo que ser reduzida. De acordo com Paul Oyer, Ph.D. em Economia pela Universidade de Princeton e professor da Universidade de Stanford, “[...] as fábricas do futuro vão absorver cada vez menos mão de obra, mas o mercado encontrará mecanismos para evitar o aumento do desemprego. Nesse sentido, qualificar os trabalhadores é fundamental [...]” (EXAME, 2017, p.83).

Ainda, cabe destacar que outros postos de trabalho, que exigem maior qualificação, podem ser criados. A tecnologia exige profissionais mais qualificados em engenharia, automação, manutenção e até *designers*. Resta evidente que estes novos postos de maior qualificação não são proporcionais ao número de mão de obra operacional que venha a ser reduzida, mas o caminho a ser trilhado é o da competitividade.

Na linha do tempo da engenharia de produção, passaram três revoluções industriais, todas elas com preocupações parecidas no que se refere a mão de obra. Grande parte das ocupações profissionais que existem hoje não existia há dez anos atrás, da mesma maneira que grande parte das profissões existentes hoje serão

diferentes nos próximos dez anos. O erro é ficar estagnado e não se adaptar à mudança que vem ocorrendo nas grandes potências mundiais como Estados Unidos e Alemanha.

Ao entender a necessidade de não ficar estagnado, um agente importante neste processo de transformação da indústria e mais especificamente na Manufatura Aditiva é o governo. No entanto, de acordo com o Workshop de Manufatura Avançada, realizado no Brasil no ano de 2016 e que gerou o relatório “Perspectivas de especialistas brasileiros sobre oportunidades e desafios para a manufatura avançada no Brasil”, a Manufatura Aditiva foi negligenciada entre as tecnologias da Indústria 4.0, divergindo de países como os Estados Unidos, por exemplo, que tratam a manufatura avançada como um dos temas mais importantes da Indústria 4.0.

Nesse sentido, destaca-se que a criação de linhas de investimento para micro e pequenas empresas e programas de incentivo à inovação são importantes, mas o principal fator é disseminar o conhecimento das tecnologias de Manufatura Aditiva para as empresas. Além disso, copiar modelos de outros países em estágio mais avançado na implantação da Manufatura Aditiva pode ser uma boa prática.

O modelo americano, por exemplo, que define universidades ou centros de pesquisa em tecnologias específicas e estas são referência para as empresas de uma região ou do país, faz com que se use o ativo de conhecimento mais nobre do país. Uma frase do Entrevistado 16 ilustra o ponto que evidencia um dos motivos dessa “defasagem” do Brasil quanto a estas tecnologias: “[...] eu diria que os EUA é uma máquina de mudar e aprender, e o Brasil é uma máquina de conservar as coisas do passado [...]”.

A parte financeira é necessária, mas, sem o conhecimento dos impactos que a tecnologia trará aos sistemas produtivos e repercutirá na competitividade, a chance de os investimentos serem realizados de maneira errada aumenta substancialmente. Outra discussão essencial de responsabilidade do governo é a questão da infraestrutura. A Manufatura Aditiva metálica, por exemplo, necessita uma rede elétrica estável, pois o laser de sinterização não pode variar a energia a ponto de as propriedades físicas e mecânicas do produto fabricados serem alteradas, não garantindo a qualidade do produto. Por fim, de nada adianta investimentos elevados se eles não puderem ser usados da melhor maneira.

Uma das discussões mais importantes a respeito da utilização da Manufatura Aditiva pelos sistemas produtivos versa sobre os novos modelos de negócio que emergem a partir das características da tecnologia. Como mencionado anteriormente, os modelos de negócio tendem a sair dos tradicionais modelos B2B para modelos B2C. Os sistemas de manufatura restringem os modelos de negócio. Ao avançar em direção a novos paradigmas dos sistemas produtivos, como a Manufatura Aditiva, as possibilidades de ampliar os modelos de negócio são evidenciadas. O Quadro 67 apresenta alguns modelos de negócio identificados nas entrevistas com os especialistas.

Quadro 66: Possíveis Modelos de Negócio com a Manufatura Aditiva

**Modelos de negócio sugeridos pelos especialistas**

*“A tecnologia de Manufatura Aditiva posicionada nestes pontos de manutenção pode propiciar a substituição dos estoques físicos por estoques virtuais. Assim o componente a ser trocado é rastreado, identificado e fabricado sob demanda nos “hubs de impressão” espalhados pelo mundo [...]” (Entrevistado 1).*

*“Viabilizando esta prática, ela pode ser extrapolada para qualquer outra área ou setor da indústria como por exemplo o automobilístico, peças de reposição. O modelo se assemelha à compra da internet [...]” (Entrevistado 1).*

*“A medida que se tem mais horizontalidade, mais networking e mais colaboração entre as diferentes entidades, a rastreabilidade torna-se mais importante. O Transporte será reduzido dentro e fora da empresa. Podemos reduzir o uso e o número de caminhões nas estradas, pois as peças podem ser impressas no seu ponto de consumo [...]” (Entrevistado 5).*

*“Então ao invés de você mandar um monte de ferramenta para o Afeganistão ou para a lua, você vai imprimir, você vai fazer a diferenciação dos produtos junto ao cliente e você vai reduzir estoque e tempo. Isso é um impacto na manufatura num sentido geral, no sentido mais tradicional, um outro impacto é que você libera a criação de coisas que não eram possíveis antes [...]” (Entrevistado 16).*

Fonte: Elaborado pelo autor

Um modelo de negócio possível pode ser implantado nas relações entre clientes e fornecedores no próprio sistema produtivo. Os atuais sistemas Kanban, por exemplo, atualmente, utilizam-se de um estoque dimensionado e controlado, mas físico. Com a Manufatura Aditiva, estes estoques podem se transformar em estoques virtuais, nos quais os fornecedores venderiam o projeto do produto que seria impresso de acordo com a demanda no local de consumo do produto.

Nessa mesma linha, *hubs* de Manufatura Aditiva podem substituir os tradicionais centros de distribuição. Os estoques físicos passariam a ser de matéria-prima e não mais de produtos. Isso reduziria a complexidade de gerenciamento e

também da necessidade de espaço físico. Os *hubs* de Manufatura Aditiva comportariam um conjunto de equipamentos e a matéria-prima, fabricando as peças em pontos estratégicos e próximos ao ponto de consumo final de acordo com a demanda.

Ainda seria possível o modelo que acaba com praticamente todos os elos intermediários da cadeia. Nesse modelo, os produtos são impressos pelo próprio consumidor final. Cabe esclarecer que todos esses modelos de negócio são sustentados pela digitalização do produto. Além disso, o envio virtual do produto para os locais onde serão impressos impacta significativamente a redução dos transportes físicos e diminui, praticamente a zero, os custos com frete, por exemplo.

Estes modelos de negócio impactariam diretamente as questões de sustentabilidade, pois usariam equipamentos que consomem menos material, consomem, em alguns casos, menos energia ao substituir o transporte do produto físico pelo virtual, diminuiria o número de veículos necessários e a consequente emissão de carbono e consumo de combustível.

Contudo, para que estes modelos de negócio se tornem viáveis, aspectos relacionados à segurança da informação precisam ser pensados. Como garantir que o projeto enviado para ser impresso em um *hub* de Manufatura Aditiva ou até mesmo no cliente final seja impresso apenas na quantidade comprada? Trata-se, evidentemente, de um ponto intrigante. Mesmo que esse controle seja possível, o projeto do produto, digitalizado, está armazenado em nuvem e pode ser enviado para equipamentos de Manufatura Aditiva em todas as partes do mundo.

Garantir sigilo e a propriedade intelectual do projeto é o grande desafio para a área de sistemas de informação. Em síntese, a Manufatura Aditiva permite modelos de negócio que não estão pensados, ou seja, repensar os modelos de negócio pode tornar a empresa mais competitiva, partindo da utilização da Manufatura Aditiva.

Do ponto de vista da competitividade, durante a realização desta pesquisa, foi possível identificar que, com a utilização da Manufatura Aditiva, a empresa pode vir a ser competitiva em mais de um critério. Para ilustrar tal discussão, o Quadro 68 apresenta alguns trechos da literatura e das entrevistas que comprovam esta afirmação.

Quadro 67: Relação dos Critérios Competitivos na Manufatura Aditiva

TRECHO	AUTOR
“Os produtos personalizados e de custo reduzido fazem a Manufatura Aditiva provocar uma mudança radical na cultura de produção contemporânea”.	(PRINCE, 2014)
“Estas características garantem velocidade ao processo de inovação, uma vez que os protótipos são construídos com maior velocidade e custos menores”.	(BERMAN, 2012)
“Níveis adicionais de complexidade do produto não adicionam custos de produção para além da fase de concepção, uma vez que o projeto estiver definido”.	(FORD, 2014)
“As empresas que empregam a Manufatura Aditiva estão começando a alcançar benefícios como o aumento da eficiência da cadeia de abastecimento; redução do tempo de mercado; movendo-se de produção em massa à customização em massa”.	(FORD, 2014)
“Customização com redução de velocidade de entrega e normalmente maior flexibilidade não somente produtiva, mas de <i>design</i> com a capacidade de aumentar o poder de percepção de valor pelo cliente final”.	(Entrevistado 8)
“Redução de tempo e custos, pois substitui métodos tradicionais como usinagem ou moldagem por injeção que são caros e demorados”.	(Entrevistado 12)

Fonte: Elaborado pelo autor

Os trechos descritos apontam a competitividade em mais de um critério competitivo para as empresas que utilizarem a Manufatura Aditiva. Do ponto de vista da produção em baixa escala, por exemplo, as evidências mostram que, com a Manufatura Aditiva, é possível que a empresa seja competitiva em custo e desempenho de entrega, custo e velocidade, custo, velocidade e sustentabilidade, entre outros. Praticamente todos os critérios competitivos são repercutidos positivamente quando usam a Manufatura Aditiva em seus sistemas produtivos.

Todavia, essas vantagens ainda não podem ser generalizadas para todos os tipos de produção. Como a Manufatura Aditiva ainda é inviável para a produção em escala, com a atual tecnologia, ela não consegue ser competitiva em um conjunto maior de critérios, mas este é um ponto relacionado à tecnologia que pode ser resolvido no médio prazo.

Para incrementar essa discussão a respeito dos *trade-offs*, evidencia-se três limitantes que devem ser superados para que a Manufatura Aditiva venha a ser

considerada um “*trade-offwaster*”, ou seja, um destruidor de *trade-offs* para qualquer tipo de produção. Os fatores são tempo, custo e a qualidade.

O tempo mencionado refere-se ao elevado tempo de ciclo que, como mencionado anteriormente, está sendo reduzido constantemente pelo aumento da velocidade de impressão. Ao resolver o problema do tempo, o custo relacionado à produção em lotes maiores é solucionado de maneira direta, restando apenas a qualidade aparente que, da mesma forma, vem sendo trabalhada no âmbito tecnológico.

Ao entender os impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos e suas repercussões na competitividade, evidencia-se uma demanda potencial pela Manufatura Aditiva nas organizações. Uma das respostas buscadas por esta pesquisa foi como transformar essa demanda potencial em demanda real, assim como fez Henri Ford em 1913.

Henry Ford, ao desenvolver o modelo T, encontrou a maneira de transformar a demanda potencial de automóveis em demanda real. Na época, identificou que o preço era a chave da estratégia, ou seja, precisaria reduzir os custos de produção para que a demanda potencial pudesse ser transformada em demanda real. Na mesma linha, atualmente, a demanda potencial da Manufatura Aditiva está represada.

A chave da estratégia para que a Manufatura Aditiva possa ser disseminada entre os sistemas produtivos é a velocidade de impressão. A partir do momento que este ponto for resolvido, a Manufatura Aditiva será viabilizada para todos os tipos de produção, independente de variedade e volume, fazendo com que a demanda potencial se transforme em demanda real.

Outra discussão interessante do ponto de vista da implantação da Manufatura Aditiva pelos sistemas produtivos está ligada às questões de sustentabilidade. Torna-se evidente que a Manufatura Aditiva é uma tecnologia mais limpa e pode reduzir o impacto ambiental dos processos tradicionais de fabricação. É possível dizer, então, que há uma crescente pressão social para que as organizações reduzam suas taxas de consumo de recursos naturais não renováveis (CORRÊA; XAVIER, 2013). A Manufatura Aditiva pode impactar positivamente essa pressão, tanto do ponto de vista da manufatura quanto do ponto de vista da cadeia de suprimentos.

A redução do desperdício e do consumo de materiais, a menor geração de sucata, consumo de energia e pegada carbono são evidências que sustentam esse argumento. Algumas das discussões realizadas nesta seção suportam essa discussão. A redução da necessidade de estoques e os novos modelos de negócios podem alterar completamente a maneira de gerenciar as cadeias de suprimentos. Além da virtualização dos estoques, há a possibilidade de eliminar o transporte físico. Conforme afirma o Entrevistado 5, “[...] podemos reduzir o uso e o número de caminhões nas estradas, pois as peças podem ser impressas no seu ponto de consumo [...]”. Verifica-se, então, que cadeias mais ágeis e sustentáveis serão, no futuro, repercussões significativas da Manufatura Aditiva não apenas para as empresas, mas para o meio ambiente.

Em síntese, a Manufatura Aditiva vai fazer as empresas repensarem seus sistemas produtivos e suas estratégias de operações. Mesmo apresentando algumas restrições para utilização quanto ao volume e variedade de produção na manufatura, os impactos positivos gerados na etapa de desenvolvimento de produto podem ser repercutidos para qualquer organização.

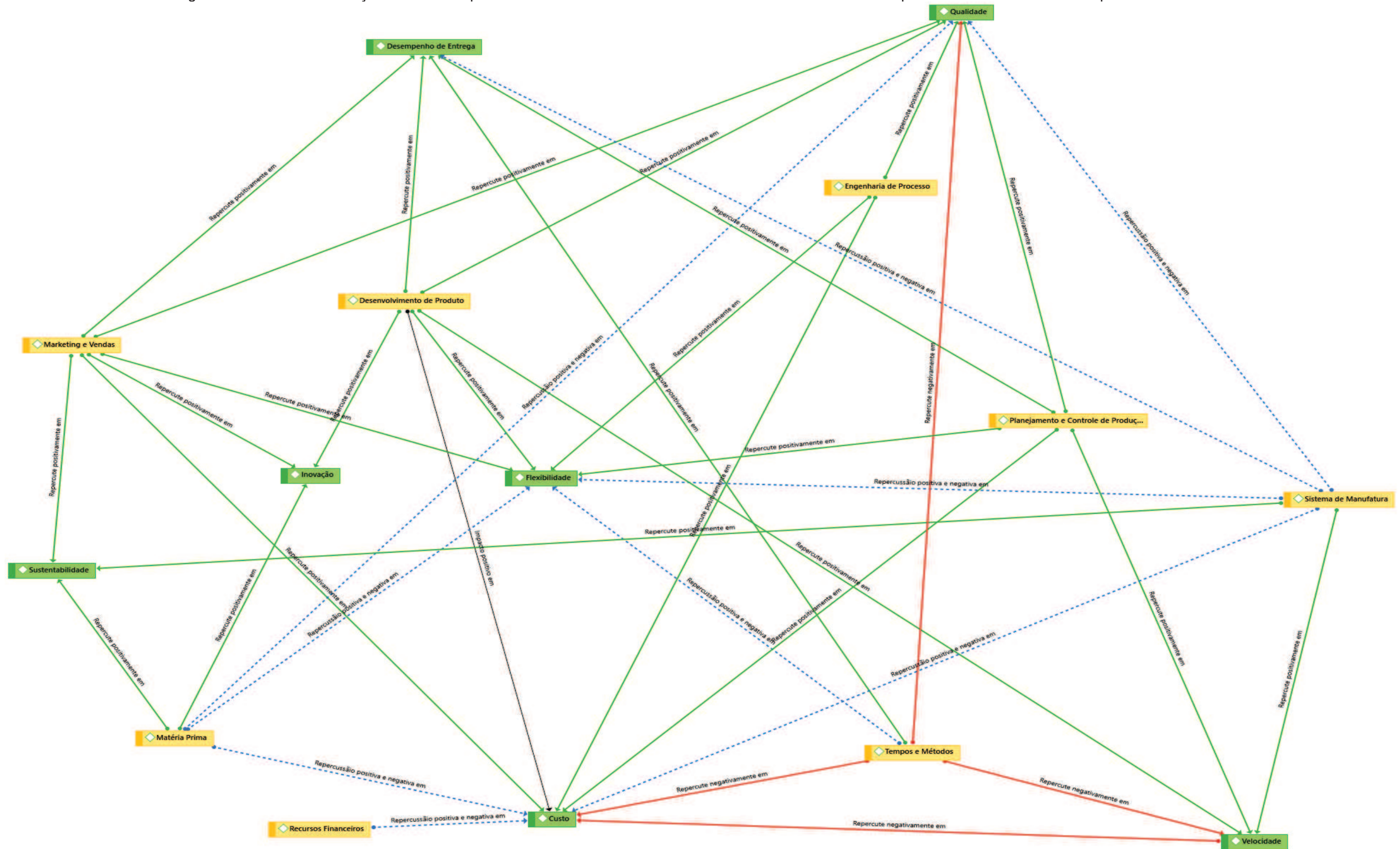
No que tange à fabricação de peças, o volume e a variedade de produção ainda limitam o uso da Manufatura Aditiva, porém a rápida evolução da tecnologia vem aumentando a velocidade de impressão e, aos poucos, tornando-se viável para um número maior de organizações. Além dos ganhos na manufatura, para aquelas empresas em que a Manufatura Aditiva é viável, ainda são beneficiadas com ganhos de competitividade. Cabe dizer ainda que as empresas podem competir por meio de uma combinação de critérios. A Manufatura Aditiva utilizada nos sistemas de produção de baixa escala repercute positivamente em Custo, Desempenho de Entrega, Flexibilidade, Inovação, Sustentabilidade e Velocidade, deixando a desejar em relação a algumas questões de aparência final do produto no critério Qualidade. Para melhorar o aspecto final dos produtos fabricados via Manufatura Aditiva, atualmente, estão sendo usadas operações complementares. Mesmo assim, observando de maneira sistêmica, as repercussões em termos de competitividade são percebidas.

Para sistemas de produção com volumes maiores, estas repercussões são dependentes da velocidade de impressão. Nos últimos anos, a velocidade vem sendo melhorada, o que reflete na redução do tempo de ciclo para fabricação. Com o tempo menor, o custo para produção tende a cair. Além disso, diminui-se a

necessidade de investimento em um número elevado de equipamentos de Manufatura Aditiva, o que viabilizará a tecnologia para um número maior de empresas. Ela pode ser um “destruidor de trade-offs”. Os indícios apresentados na pesquisa e as repercussões que a Manufatura Aditiva apresenta atualmente nos critérios competitivos permitem inferir que os *trade-offs* de manufatura podem ser superados. Esta relação entre os impactos positivos e negativos gerados pelo sistema produtivo em cada critério pode ser conferido na Figura 41, gerada a partir da análise de redes (*Network*) do software ATLAS.ti. Na referida figura, as repercussões positivas entre as categorias dos Sistemas Produtivos e as categorias dos Critérios Competitivos são apresentadas por uma seta verde. Aquelas relações em que as repercussões são consideradas negativas por uma parte dos entrevistados e positiva por outros são apresentadas com as setas azuis pontilhadas e, por fim, as repercussões negativas aparecem com as setas vermelhas. Estas relações evidenciam a restrição do tempo e suas repercussões nos critérios como apresentado nesta seção. Ficam evidenciadas as repercussões negativas (setas vermelhas) nos critérios Custo, Qualidade e Velocidade discutidas anteriormente.



Figura 41: Síntese das Relações entre os Impactos da Manufatura Aditiva nos Sistemas Produtivos e suas Repercussões nos Critérios Competitivos



Fonte: Elaborado pelo autor

Mesmo se apresentando como uma quebra de paradigma para os sistemas produtivos, a Manufatura Aditiva deve ser considerada como uma tecnologia que vem auxiliar os sistemas tradicionais de manufatura. No atual estágio tecnológico em que se encontra, ela não permite a eliminação da linha de montagem, por exemplo, mas pode deixar esta linha mais enxuta do ponto de vista de estoques, sincronização, flexibilidade e abastecimento. A Manufatura Aditiva pode ser utilizada como um catalizador para o *lean manufacturing*. Não é uma troca de modelo de produção, e sim uma tecnologia que potencializa os resultados perseguidos pelo sistema *lean*.

Do ponto de vista do futuro, a Manufatura Aditiva possibilita pensar em novos modelos de negócio não existentes atualmente. A Manufatura Aditiva vai deslocar os tradicionais modelos B2B para os modelos B2C, com um conjunto de impactos positivos relevantes. A digitalização do produto vai permitir que o tempo de resposta para a entrega de um produto em um cliente ou uma peça crítica para manutenção de um equipamento seja colocada no cliente final em minutos, reduzindo o tempo de espera de uma linha de montagem ou equipamento parado ao tempo de impressão deste produto ou peça. Os problemas de segurança da informação limitam esses modelos de negócio atualmente, mas não estão longe de serem viabilizados.

No que se refere aos aspectos sociais, limitar a tecnologia não deve ser alternativa para a preocupação da redução dos postos de trabalho. Se a empresa ficar estagnada pensando na mão de obra, pode perder competitividade e o impacto no desemprego ser na mesma proporção. A diferença é que, com a Manufatura Aditiva, além de se tornar mais competitiva, haverá necessidade de realocação de profissionais mais capacitados e valorização de profissionais com maior conhecimento.

A capacitação para auxiliar as empresas no incremento de novas tecnologias como a Manufatura Aditiva passa pelo apoio do governo. Logo, programas de incentivo à tecnologia e maior relação com as Universidades para disseminar conhecimento e auxiliar as empresas a colher os benefícios da tecnologia são fundamentais para o crescimento da indústria do país. O investimento é importante, mas viabilizar conhecimento para que este seja utilizado de maneira correta pode fazer com que os erros sejam reduzidos e a competitividade da indústria como um todo seja incrementada.

## 9 CONCLUSÕES

A Manufatura Aditiva deve ser considerada uma realidade para as organizações. A tecnologia que era vista como algo distante para a aplicação nos sistemas produtivos, hoje é algo presente em organizações com resultados satisfatórios, mesmo que dependente do tipo de produção da empresa.

Ao identificar os impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos e suas repercussões para a competitividade das empresas, foi confirmado o objetivo geral desta tese. Para sintetizar as análises realizadas, destaca-se que a Manufatura Aditiva pode ser considerada um diferencial competitivo para as empresas. Para os processos de desenvolvimento de produtos e para manufatura de alta variedade e baixos volumes é considerada uma realidade. Assim que as limitações relacionadas à velocidade de impressão forem resolvidas, será viável para um conjunto ainda maior de empresas. Estas alterações nos sistemas produtivos repercutem na competitividade das empresas, apresentando redução de custos, garantindo um melhor desempenho de entrega, um menor atravessamento, mais flexibilidade e sustentabilidade, por exemplo. Além disso, por meio da análise de conteúdo da literatura e das percepções dos especialistas, foram avaliados criticamente estes impactos e repercussões. Uma análise integrada identificou como cada elemento do sistema produtivo impacta em cada critério competitivo.

Estes impactos e repercussões foram evidenciados empiricamente por meio de dois estudos de campo e um estudo de caso. A Manufatura Aditiva é considerada um diferencial competitivo, e as restrições de acesso às informações foi uma limitação nos estudos empíricos quanto a indicadores quantitativos, porém pode-se evidenciar os elementos identificados na literatura e nas percepções dos especialistas.

Por fim, foi explicitado o potencial da Manufatura Aditiva para os sistemas produtivos e para os critérios competitivos, hoje e no futuro. As limitações da tecnologia impedem alguns benefícios da Manufatura Aditiva hoje, mas, assim que superadas, irão potencializar seus resultados para um conjunto amplo de organizações.

Sendo assim, para que a Manufatura Aditiva faça parte dessa realidade, as organizações devem pensá-la de maneira sistêmica, ampla, avaliando todos os

benefícios que podem ser alcançados a partir da sua utilização. Nesse sentido, as empresas não devem pensar apenas na troca do equipamento, *per se*. Ao avaliar a viabilidade da Manufatura Aditiva, as empresas devem pensar nos impactos positivos em termos de redução de estoques, esperas e a consequente redução do *lead time* de produção.

Além disso, devem ser pensadas as oportunidades de novos modelos de negócio. A Manufatura Aditiva vai permitir negócios até hoje não pensados e alterar a maneira de comercialização e distribuição dos produtos. Os centros de distribuição, por sua vez, podem se transformar em *hubs* de impressão, ocupando áreas menores e produzindo de acordo com a demanda. Ainda, devido ao fato de necessitar apenas do projeto do produto, digital, a Manufatura Aditiva vai permitir a comercialização apenas do desenho, sendo este produzido próximo ou no local de consumo do cliente final, eliminando, em parte ou até mesmo completamente, a necessidade do transporte do produto físico. Esses novos modelos de negócio dependem ainda de legislação para garantir a segurança da informação e propriedade intelectual destes projetos virtuais, porém não se apresentam como algo distante, podendo significar repercussões positivas para as organizações no curto prazo.

Nessa perspectiva, com a utilização da Manufatura Aditiva, a tendência é que os negócios passem a ser mais B2C do que B2B. Elos da cadeia poderão ser eliminados ou reduzidos. Estas alterações dos modelos de negócio podem tornar as empresas mais ágeis, ampliar seu raio de atuação e mercado, além de reduzir custos.

No entanto, nem todos os benefícios da Manufatura Aditiva serão colhidos no futuro. A Manufatura Aditivapossibilita fabricar aquilo que a criatividade permite. Essa liberdade geométrica comporta, além de desenvolver novos produtos, redesenhar produtos existentes, reestruturando sua forma, reduzindo o peso final do produto, proporcionando maior agregação de valor. Sendo assim, a Manufatura Aditiva utilizada para o desenvolvimento de produto traz evidentes ganhos em termos de prazo e custo. Com a Manufatura Aditiva, o produto pode ser desenvolvido na própria empresa, sem a necessidade de terceirizar projeto para desenvolvimento de ferramental e com baixo custo. Ainda, se necessitar alteração de projeto, basta realizar as modificações de desenho e imprimir novamente. Exemplos reais comprovam a eficácia em termos de redução do *lead time* de



desenvolvimento, chegando até a 70% e redução de custos que podem chegar a 1/10 do valor gasto para desenvolvimento pelo processo tradicional de manufatura. Outrossim, fatores como a burocracia de contratos e necessidade de proteção e sigilo dos projetos passam a ser menos complexos, uma vez que todo o desenvolvimento é realizado internamente. Este é um benefício evidente da Manufatura Aditiva na atualidade e que pode ser usado por qualquer organização, independentemente da relação variedade e volume da sua produção.

Também se torna possível considerar que a Manufatura Aditiva é uma tecnologia complementar à modularidade de produto. Em casos em que a impressão total do produto final não é viável devido à sua alta complexidade, é possível efetuar a impressão de diferentes módulos, que podem ser combinados em uma linha de montagem final. Esse aspecto pode ser potencializado com a evolução dos equipamentos de Manufatura Aditiva que permitem a combinação de materiais.

Conclui-se, ainda, que o atual estágio tecnológico da Manufatura Aditiva é um limitante para empresas em que o tipo de produção é caracterizado pela baixa variedade e alto volume, como as empresas que produzem em massa, ou até mesmo em grandes lotes de produção. Esta restrição está vinculada à velocidade de impressão, que deixa o tempo de ciclo da Manufatura Aditiva elevado para atender a produção em série. Além disso, a tecnologia atual ainda deixa a desejar na qualidade aparente dos produtos fabricados a partir da Manufatura Aditiva. Entretanto, utilizar uma operação complementar como a usinagem ou aplicação de *primer* ainda pode deixar a Manufatura Aditiva mais vantajosa se comparada com os atuais modelos de manufatura. Essa evidência é comprovada no caso da empresa fabricante de armas, que usou um processo similar à Manufatura Aditiva que necessita de uma operação complementar de acabamento e mesmo assim os ganhos foram significativos ao serem comparados com o processo tradicional de produção.

Sendo assim, resta evidente que, quanto mais a empresa se aproximar de uma produção caracterizada por alta variedade de produtos e baixo volume de produção, maiores serão as repercussões positivas a partir do uso da Manufatura Aditiva. Portanto, maior será sua viabilidade no atual estágio em que se encontra as tecnologias de Manufatura Aditiva.

Os produtos fabricados atualmente em sistemas de produção tradicionais, passam por um conjunto de operações até que se transformem em produto

acabado. Com a utilização da Manufatura Aditiva, esse conjunto de operações será reduzido, em alguns casos até para operações únicas, visto que uma impressora 3D fabricará produtos ou peças desde a matéria-prima até seu estágio final. Cabe destacar que esta visão corrobora com os princípios do Sistema Toyota de Produção. O Sistema Toyota de Produção busca otimizar os recursos da organização, por meio da identificação e eliminação dos desperdícios. A partir da análise realizada neste estudo, verifica-se que a Manufatura Aditiva potencializa esta redução de desperdícios, promovendo a redução de perdas produtivas como estoques, transporte, espera e movimentação, por exemplo. Este ponto apenas converge com a visão de que a Manufatura Aditiva será uma tecnologia complementar aos processos de fabricação tradicionais, aumentando os resultados dos sistemas produtivos das organizações.

Sob o ponto de vista dos critérios competitivos, cabe ressaltar que, em sua maioria eles são beneficiados pela utilização da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos. Torna-se evidente que os critérios competitivos Desempenho de Entrega, Flexibilidade, Velocidade, Inovação e Sustentabilidade são incrementados pelo uso da Manufatura Aditiva. Do ponto de vista do critério Qualidade, avanços tecnológicos precisam ser realizados para que operações complementares deixem de ser necessárias. Quanto a Custo, para produção em baixo volume e alta variedade, os benefícios da Manufatura Aditiva são visualizados na prática, porém para a produção em alta escala, o elevado tempo de ciclo é um limitante.

O tempo de ciclo atual da Manufatura Aditiva é a chave da estratégia para transformar a demanda potencial pela tecnologia em demanda real. À medida que esta questão seja solucionada, a Manufatura Aditiva poderá ser viabilizada para os demais tipos de produção, conferindo a eles todas as vantagens que atualmente são identificadas para os modelos de produção de baixa escala.

A partir deste momento, os *trade-offs* de manufatura podem ser quebrados, visto que a Manufatura Aditiva vai possibilitar que a empresa obtenha seu diferencial competitivo por qualquer combinação de critério, sendo considerada como um *trade-off waster* (destruidor de *trade-off*).

Uma limitação deste trabalho é relacionada ao número de empresas que usa a Manufatura Aditiva em seus sistemas produtivos, o que restringiu o acesso a estudos empíricos para verificar os impactos da utilização da Manufatura Aditiva. Além disso, as empresas estudadas restringem o acesso aos dados, devido ao seu

potencial como diferencial competitivo frente as outras organizações, sendo esta considerada uma segunda limitação deste trabalho.

Para trabalhos futuros, sugere-se a realização de estudos relacionados às tecnologias de Manufatura Aditiva existentes. Devido ao elevado número de tecnologias de Manufatura Aditiva, entender suas características e identificar como impactam os resultados da organização, pode ser um diferencial para os gestores. Além disso, sugerem-se estudos que estruturam novos modelos de negócios que serão viabilizados a partir da Manufatura Aditiva, discutindo questões de legislação e segurança da informação.

Por fim, destaca-se que a Manufatura Aditiva é considerada uma das grandes tendências mundiais para o futuro da indústria. Os próximos anos vão trazer novas oportunidades e desafios. Diante desse cenário, as empresas que estiverem preparadas para a mudança, construindo as capacidades organizacionais necessárias, estarão em vantagem competitiva e se beneficiarão dessa tecnologia inovadora.

## REFERÊNCIAS

ABURAIÁ, M.; MARKL, E.; STUJA, K. New Concept for Design and Control of 4 Axis Robot Using the Additive Manufacturing Technology. **Annals of DAAAM & Proceedings**, v. 25, n. 1, p. 1364-1369, jan. 2014.

ADDITIVELY. **Photopolymer Jetting (PJ)**. Disponível em: <[www.additively.com/en/learn-about/photopolymer-jetting#read-more](http://www.additively.com/en/learn-about/photopolymer-jetting#read-more)>. Acesso em: 13 Mar. 2017a.

\_\_\_\_\_. **Electrom Beam Melting (EBM)**. Disponível em: <[www.additively.com/en/learn-about/photopolymer-jetting#read-more](http://www.additively.com/en/learn-about/photopolymer-jetting#read-more)>. Acesso em: 13 Mar. 2017b.

ALBERTI, E. A.; DA SILVA, L. J.; OLIVEIRA, A. S. C. M. Additive manufacturing: the role of welding in this window of opportunity. **Welding International**, v. 30, n. 6, p. 413-422, 2016.

ANTUNES, J. A. V. et al. **Sistemas de Produção**: Conceitos e práticas para projeto e gestão da produção enxuta. Porto Alegre: Bookman, 2008.

ARAÚJO, Mauro Lopes de. **Fatores competitivos de desempenho em uma empresa de sistemas de segurança patrimonial**: identificação e avaliação sob a ótica do cliente. 2004. 103 f. Trabalho de conclusão (Mestrado profissional em Engenharia) -- Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2004. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/5146>>. Acesso em: 22 jan. 2018.

ATTARAN, M. Additive Manufacturing: The Most Promising Technology to Alter the Supply Chain and Logistics. **Journal of Service Science and Management**, v. 10, n. 3, p. 189-206, 2017.

AZEVEDO, C. E. F. et al. A Estratégia de Triangulação: Objetivos, Possibilidades, Limitações e Proximidades com o Pragmatismo. **Encontro de Ensino e Pesquisa em Administração e Contabilidade**, p. 1-16, 2013.

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. São Paulo: Edição 70, 2011.

BARRATT, M.; CHOI, T.; LI, M. Qualitative case studies in operations management:



trends, research outcomes, and future research implications. **Journal of Operations Management**, v. 29, n. 4, p. 329-342, 2011.

BAUER, M. W.; GASKELL, G. **Pesquisa qualitativa com texto, imagem e som**. 4. ed. Petrópolis: Vozes, 2002.

BECHMANN, F. Changing the future of additive manufacturing. **Metal Powder Report**, v. 69, n. 3, p. 37-40, maio 2014.

BERMAN, B. 3-D printing: The new industrial revolution. **Business Horizons**, v. 55, n. 2, p. 155-162, mar. 2012.

BERTO, R. M. V. S.; NAKANO, D. N. Métodos de pesquisa na engenharia de produção. XVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. **Anais...Niterói**, RJ: 1998.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. A produção científica nos Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção: um levantamento de métodos e tipos de pesquisa. **Produção**, v. 9, n. 2, p. 65-76, 2000.

BLACK, J. T. **O projeto da fábrica com futuro**. Porto Alegre: Bookman, 1998.

BOBB, L. M.; SHAPIRO, S.; HARRIS, P. The Productivity Paradox: A Philosophical Analysis And Its Impact In Management. **Global Conference on Business & Finance Proceedings**, v. 7, n. 2, p. 33, jun. 2012.

BONALDI, P. O.; SCHAEFFER, L. Processo de moldagem de pós metálicos por injeção – uma revisão. **Revista Engenharia**, v. 589, p. 164-167, 2008.

BOTTER, R. C. Marítima Brasileira. **Revista Administração**, v. 45, n. 1, p. 18-29, 2010.

BOURHIS, F. LE et al. Sustainable manufacturing: evaluation and modeling of environmental impacts in additive manufacturing. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 69, n. 9-12, p. 1927-1939, dez. 2013.

BOYER, K. K.; LEWIS, M. W. Competitive priorities: Investigating the need for trade-offs in operations strategy. **Production and Operations Management**, v. 11, n. 1, p. 9–20, 2002.

CAFFREY, T.; WOHLERS, T.; CAMPBELL, R. I. **Executive summary of the**

**Wohlers Report 2016.** p. 1-10, 2016.

CAUCHICK MIGUEL, P. A. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações.** 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

CHRYSSOLOURIS, G. **Manufacturing Systems:** Theory and Practice. New York: Springer Science & Business Media B.V., 1992.

COHEN, D.; GEORGE, K.; SHAW, C. Are you ready for 3-D printing? **McKinsey Quarterly**, n. 4, p. 20-23, dez. 2014.

CORRÊA, H. L.; XAVIER, L. H. Concepts , design and implementation of Reverse Logistics Systems for sustainable supply chains in Brazil. **Journal of Operations and Supply Chain Management**, v. 6, n. Jun. 2013, p. 1-25, 2013.

CRANE, N. B.; TUCKERMAN, J.; NIELSON, G. N. Self-assembly in additive manufacturing: opportunities and obstacles. **Rapid Prototyping Journal**, v. 17, n. 3, p. 211-217, 26 abr. 2011.

CRUMP, S. **Manufatura Aditiva:** 20 anos de evolução na indústria. 2016. Disponível em: <<http://www.cadxpert.com.br/ideias/manufatura-aditiva-20-anos-de-evolucao-na-industria/>>. Acesso em: 20 jan. 2017.

D'AVENI, R. The 3-D Printing Revolution. **Harvard Business Review**, v. 93, n. 5, p. 40-48, maio 2015.

DAVIS, Mark M; AQUILANO, Nicholas J; CHASE, Richard B. **Fundamentos da administração da produção.** 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

DIAS, M. F. P.; FENSTERSEIFER, J. E. Critérios Competitivos de operações agroindustriais: um estudo de caso na indústria arroseira. **Revista Eletrônica de Administração**, v. 11, n. 3, 2005.

DING, S.; BAO, X. a 3D Printing Practice for Preoperative Rehearsal Based on the Additive and Subtractive Manufacturing. **Journal of Mechanics in Medicine and Biology**, v. 16, n. 8, p. 1640031, 2016.

DRESCH, A. et al. **Design Science Research:** Método de Pesquisa para o Avanço da Ciência e Tecnologia. Porto Alegre: Bookman, 2015.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; JÚNIOR, J. A. V. A. **Design Science Research:**

Método de Pesquisa para avanço da ciência e tecnologia. Porto Alegre: Book, 2015.

DUBÉ, L.; PARÉ, G. Rigor in information systems positivist case research: current practices, trends, and recommendations. **Mis Quarterly**, v. 27, n. 4, p. 597-636, 2003.

EXAME. **Exame CEO: o futuro da Indústria**. Ed. 27, p.83, set. 2017.

FALLIS, A.. No Title No Title. **Journal of Chemical Information and Modeling**, v. 53, n. 9, p. 1689-1699, 2013.

FARISH, M. A new dimension. **Automotive Manufacturing Solutions**, v. 16, n. 4, p. 58-59, jul. 2015.

FERDOWS, K.; MEYER, A. Lasting improvements Of, in manufacturing: in search of a new theory. **Journal Operations Management**, v. 9, n. 2, p. 168-184, 1990.

FILIPPINI, R. Operations management research: some reflections on evolution, models and empirical studies in OM. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 17, n. 7, p. 655-670, 1997.

FINE, C. H.; HAX, A. C. **Manufacturing Strategy: A Methodology and an Illustration**, Interfaces, v. 15, n. 6, 1985.

FORD, S. L. N. Additive Manufacturing Technology: Potential Implications for U.S. Manufacturing Competitiveness. **Journal of International Commerce & Economics**, p. 1-35, set. 2014.

FRAZIER, W. Metal Additive Manufacturing: A Review. **Journal of Materials Engineering & Performance**, v. 23, n. 6, p. 1917-1928, jun. 2014.

GALBRAITH, J.; DOWNEY, D.; KATES, A. **Livro Projeto de Organizações Dinâmicas**. Porto Alegre: Bookman, 2011.

GARDINER, G. 3D Printing: Niche or next step to manufacturing on demand? **Composites Technology**, v. 1, n. 5, p. 42-47, maio 2015.

GEBLER, M.; SCHOOT UITERKAMP, A. J. M.; VISSER, C. **Energy Policy**, v. 74, p. 158-167, 2014.

GIANNITELLI, S. M. et al. Combined additive manufacturing approaches in tissue

engineering. **Acta Biomaterialia**, v. 24, p. 1-11, 15 set. 2015.

GMBH, F. P. **Electron Beam Melting (EBM) - Metal 3D Printing**. Disponível em: <[http://www.fit-prototyping.de/electron\\_beam\\_melting.php?language=2](http://www.fit-prototyping.de/electron_beam_melting.php?language=2)>. Acesso em: 15 Jul. 2017.

GO, J.; HART, A. J. Fast Desktop-Scale Extrusion Additive Manufacturing. **Additive Manufacturing**, v. 18, p. 276-284, 2017.

GODIN, B. **Innovation: The History of a Category**. Montreal: INRS, 2008.

GOODMAN, L. Snowball Sampling. In: **Annals of Mathematical Statistics**, v. 32, p.148-170, 1961.

GOODRICH, M. 3D REVOLUTION. **Research** (Michigan Technological University), p. 8-11, jan. 2014.

GRESS, D.R.; KALAFSKY, R. V. Geoforum Geographies of production in 3D: Theoretical and research implications stemming from additive manufacturing q. **GEOFORUM**, v. 60, p.43-52, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.geoforum.2015.01.003>>. Acesso em: 15 Jul. 2017.

HARRIS, I. D. Additive Manufacturing: A Transformational Advanced Manufacturing Technology. **Advanced Materials & Processes**, v. 170, n. 5, p. 25-29, maio 2012.

HAYES, R. H.; PISANO, G. P. Manufacturing Strategy: At the Intersection of Two Paradigm Shifts. **Production and Operations Management**, v. 5, n. 1, p. 25-41, 1996.

HENGSBACH, S.; LANTADA, A. D. Rapid prototyping of multi-scale biomedical microdevices by combining additive manufacturing technologies. **Biomedical Microdevices**, v. 16, n. 4, p. 617-627, ago. 2014.

HILL, T. J. Manufacturing strategy: keeping it relevant by addressing the needs of the market. **Integrated Manufacturing Systems**, v. 8/5, p. 257-264, 1997.

HORN, T. J.; HARRYSSON, O. L. A. Overview of current additive manufacturing technologies and selected applications. **Science Progress**, v. 95, n. Pt. 3, p. 255-282, 2012.

HUANG, S. et al. Additive manufacturing and its societal impact: a literature review.

**International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 67, n. 5-8, p. 1191-1203, 15 jul. 2013.

IDA. **Emerging Global Trends in Advanced Manufacturing**. Alexandria, VA:Institute for Defense Analyses, 2012.

IEAV. **Site do IEAv**. Disponível em: <<http://www.ieav.cta.br/>>. Acesso em: 20 Dez. 2017.

JONES, J. B.; WIMPENNY, D. I.; GIBBONS, G. J. Additive manufacturing under pressure. **Rapid Prototyping Journal**, v. 21, n. 1, p. 89-97, 19 jan. 2015.

KARUNAKARAN, K. P. et al. Low Cost Integration of Additive and Subtractive Processes for Hybrid Layered Manufacturing. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 26, n. 5, p.490-499, 2010.

KHAJAVI, S. H.; PARTANEN, J.; HOLMSTRÖM, J. Additive manufacturing in the spare parts supply chain. **Computers in Industry**, v. 65, n. 1, p. 50-63, jan. 2014.

KIETZMANN, J.; PITT, L.; BERTHON, P. Disruptions, decisions, and destinations: Enter the age of 3-D printing and additive manufacturing. **Business Horizons**, v. 58, n. 2, p. 209-215, mar. 2015.

KIEVIET, A.; ALEXANDER, S. M. Is Your Supply Chain Ready for Additive Manufacturing? **Supply Chain Management Review**, v. 19, n. 3, p. 34-39, maio 2015.

KUPFER, D. Focos para a política tecnológica brasileira. **Valor Econômico**, v. 07, Abr., 2010.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. DE A. **Metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 2011.

LECKLIDER, T. 3D printing drives automotive innovation. **EE: Evaluation Engineering**, v. 56, n. 1, p. 16-19, 2017.

LI, D.; SOAR, R. C. Temperature measurements of monolithic 3003 samples during ultrasonic consolidation process. **Rapid Manufacturing Research Group**, Loughborough University, Loughborough, p. 1-11, 2007.

LIRA, A. C. DE Q.; GOMES, M. DE L. B.; CAVALCANTI, V. Y. S. DE L. **Modelo de alinhamento estratégico de produção – MAP: contribuição teórica para a área de estratégia de produção.** [s.l.]: [s.n.], 2015. p. 416-427.

LONG, Y. et al. 3D printing technology and its impact on Chinese manufacturing. **International Journal of Production Research**, v. 7543, n. Jan., p. 1-10, 2017.

LOWSON, R. H. Operations strategy: genealogy, classification and anatomy. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 10, p. 1112-1129, 2002.

LUSTOSA, L.; MESQUITA, M.A.; QUELHAS, O.; OLIVEIRA, R. **Planejamento e controle da Produção.** Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2008.

MAHAMOOD, R. M. et al. Revolutionary Additive Manufacturing: An Overview. **Lasers in Engineering** (Old City Publishing), v. 27, n. 3/4, p. 161-178, jun. 2014.

MALONE, E.; LIPSON, H. Fab@Home: The Personal Desktop Fabricator Kit. **Rapid Prototyping Journal**, v. 13, n. 4, p. 245-255, 2007.

MANGAN, J.; LALWANI, C.; GARDNER, B. Combining quantitative and qualitative methodologies in logistics research. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 34, n. 7, p. 565-578, 2004.

MANOGHARAN, G.; WYSK, R. A.; HARRYSSON, O. L. A. Additive manufacturing-integrated hybrid manufacturing and subtractive processes: Economic model and analysis. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 29, n. 5, p. 473-488, 2016.

MANSON, N. J. Is operations research really research? **Operations Research Society of South Africa**, 2006.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica.** 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MELLOR, S.; HAO, L.; ZHANG, D. Additive manufacturing: A framework for implementation. **International Journal of Production Economics**, v. 149, p. 194-201, mar. 2014.

MENDRICKY, R. Accuracy Analysis of Additive Technique for Parts Manufacturing. **MM Science Journal**, v. 2016, n. 5, p. 1502-1508, nov. 2016.

MILES, M. B.; HUBERMAN, A. M.; SALDAÑA, J. **Qualitative Data Analysis**. 3. ed. Los Angeles: Sage Publications, 2014.

MILLER, R. Additive Manufacturing (3D Printing): Past, Present and Future. **Industrial Heating**, v. 82, n. 5, p. 39-43, maio 2014.

MILTENBURG, J. Setting manufacturing strategy for a factory-within-a-factory. **International Journal of Production Economics**, v. 113, p. 307-323, 2008.

MINETOLA, P. et al. Impact of additive manufacturing on engineering education – evidence from Italy. **Rapid Prototyping Journal**, v. 21, n. 5, p. 535-555, set. 2015.

MISHRA, S. Helping additive manufacturing “learn”. **Metal Powder Report**, v. 68, n. 4, p. 38-39, jul. 2013.

MIZZARO, S. Relevance The Whole History. **Journal of the American society for Information Science**, v. 48, n. 9, p. 810-832, 1997.

MORANDI, M. I. W. M.; CAMARGO, L. F. R. Revisão Sistemática da Literatura. In: **Design Science Research: Método de Pesquisa para Avanço da Ciência e Tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015a. p. 141-172.

MORANDI, M. I. W. M.; CAMARGO, L. F. R. Revisão Sistemática da Literatura. In: DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES, J. A. V. (Eds.). **Design Science Research Método de Pesquisa para Avanço da Ciência e Tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015b. p. 181.

MOREIRA, D. A. **Administração da produção e operações**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2009.

NANNEY, R.; COTTELEER, M. 3D Printing Is Transforming the Supply Chain. **CIO Insight**, p. 1, 2 mar. 2015.

NELSON, B. J. W. et al. **Injection Molding with an**. n. Aug., 2017.

NSTC. **A National Strategic Plan for Advanced Manufacturing**. Washington, DC: Executive Office of the President of The US, 2012.

OVERTON, G. How does additive manufacturing “stack up” against subtractive methods? (cover story). **Laser Focus World**, v. 50, n. 2, p. 23-27, fev. 2014.

PAIM, R. et al. **Gestão de Processos**: Pensar, Agir e Aprender - Em edição. Porto Alegre: Bookman, 2008.

PAIVA; E. L.; CARVALHO JR., J. M. de; FENSTERSEIFER, J. E. **Estratégia de Produção e Operações**: Conceitos, Melhores Práticas, Visão de Futuro. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

PALLAROLAS, E.A.F.F. **Revisão Técnica de Processos de Manufatura Aditiva e Estudo de Configurações para Estruturas de Impressoras Tridimensionais**. Monografia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

PATERSON, A. M. et al. Comparing additive manufacturing technologies for customised wrist splints. **Rapid Prototyping Journal**, v. 21, n. 3, p. 230-243, maio 2015.

PEARSONS, T. M. Opportunities, Challenges, and Policy Implications of Additive Manufacturing. GAO Reports. **Anais...** U.S. Government Accountability Office, 24 jun. 2015. Disponível em: <<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=103526013&lang=pt-br&site=ehost-live>>. Acesso em: 07 Ago. 2017.

PELESHENKO, S. et al. Analysis of the current state of additive welding technologies for manufacturing volume metallic products (review). **Eastern-European Journal of Enterprise Technologies**, v. 3, n. 1 (87), p. 42-52, 2017.

PETRICK, I. J.; SIMPSON, T. W. 3D Printing Disrupts Manufacturing. **Research Technology Management**, v. 56, n. 6, p. 12-16, nov. 2013.

PICKETT, L. 3-D Printing: The New Normal. **Appliance Design**, v. 63, n. 2, p. 18-21, fev. 2015.

PILIPOVIC, A. et al. Laminate Object Manufacturing Vs. Fused Deposition Modeling - Machine Comparison. **Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium**, v. 22, n. 1, p. 221-222, 2011.

PLATTS, K.W.; GREGORY, M.J.A Manufacturing Audit Approach to Strategy Formulation. In: **UNSPECIFIED**, p. 29-55, 1992.

PRINCE, J. D. 3D Printing: An Industrial Revolution. **Journal of Electronic Resources in Medical Libraries**, v. 11, n. 1, p. 39-45, jan. 2014.



RAYNA, T.; STRIUKOVA, L. From rapid prototyping to home fabrication: how 3D printing is changing business model innovation Tech. **Forecasting Soc. Chang.**, v. 102, p. 214-224, 2016.

READE, L. 3D print: shaping the future. **Chemistry & Industry**, n. 8, p. 14-15, 25 abr. 2011.

RIFKIN, J. **Sociedade com Custo Marginal Zero**. São Paulo: M. Books do Brasil Editora Ltda., 2016.

ROHR, S. S.; CORREA, H. L. Time-based competitiveness in Brazil: whys and hows. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 18, n. 3, p. 233+, 1998.

ROSENZWEIG, E.D.; EASTON, G.S. Tradeoffs in Manufacturing? **A Meta-Analysis and Critique of the Literature Production and Operations Management**, v. 19, n. 2, p. 127-141, 2010.

SALLES, A. S.; GYI, D. E. Delivering personalised insoles to the high street using additive manufacturing. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 26, n. 5, p. 386-400, maio 2013.

SASSON, A.; JOHNSON, J. C. The 3D printing order: variability, supercenters and supply chain reconfigurations. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 46, n. 1, p. 82-94, 2016.

SAUNDERS, M.; LEWIS, P.; HORNHILL, A. **Research Methods for Business Students**. Londres: Pratice Hall, 2009.

SCOTT, A. Is Additive Manufacturing a Plus For You? **Material Handling & Logistics**, v. 68, n. 7, p. 17-18, jul. 2013.

SHAHBAZPOUR, M.; SEIDEL, R. Strategic manufacturing system and process innovation through elimination of trade-offs. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 20, n. 5, p. 413-422, 2007.

SHINGO, S. **Sistemas de produção com estoque zero**: o sistema Shingo para melhorias contínuas. Porto Alegre: Bookman, 1996a.

\_\_\_\_\_. **Sistemas de produção com estoque zero**: o Sistema Shingo para melhorias contínuas. Porto Alegre: Bookman, 1996b.

SHULMAN, H.; SPRADLING, D.; HOAG, C. Introduction to Additive Manufacturing. **Ceramic Industry**, v. 162, n. 12, p. 15-19, dez. 2012.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. Florianópolis: Editora UFSC, 2005.

SILVA, G. V. et al. O que se publica sobre gestão pública local? Classificação e análise da produção científica dos últimos dez anos do EnANPAD a partir dos aspectos metodológicos e de conteúdo. **Anais do XXXV ENANPAD**, Rio de Janeiro, 2011.

SKINNER, W. Manufacturing--missing link in corporate strategy. **Harvard Business Review**, v. 47, n. 3, p. 136-145, 1969.

\_\_\_\_\_. The Focused Factory. **Harvard Business Review**, v. 52, n. 3, p. 113-121, 1974.

SLACK, N. **Vantagem competitiva em manufatura**: atingindo competitividade nas operações industriais. São Paulo: Atlas, 1993.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R.. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2009.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. **Administração da produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

SLACK, N.; LEWIS, M. **Estratégia de operações**. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

SMITH, N. Interview 3D Design. **Engineering & Technology** (17509637), v. 9, n. 2, p. 64-67, mar. 2014.

SMLC. **Implementing 21st Century Smart Manufacturing**. Workshop Summary Report. Washington, DC: SMLC, 2011.

STANEK, M. et al. RAPID PROTOTYPING THE FAST TOOL FOR MODEL PRODUCTION. **Annals of DAAAM & Proceedings**, p. 157-158, jan. 2011.

STANSBURY, J. W.; IDACAVAGE, M. J. 3D Printing with Polymers: Challenges Among expanding Options and Opportunities. **Dental Materials**, v. 32, n. 1, p. 54-64, 2016.

STRATASYS. **Site da Stratasys**. Disponível em: <<http://www.stratasys.com/br>>. Acesso em: 20 de Dez. 2017.

STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY. Will Additive Manufacturing Replace Conventional Manufacturing? **Stratfor Geopolitical Diary**, p. 20, Out. 2013.

STRAUSS, J. T. Preface: Additive Manufacturing. **International Journal of Powder Metallurgy**, v. 51, n. 1, p. 23-24, 2015.

TASSEY, G. Modeling and Measuring the Economic Roles of Technology Infrastructure. **Economics of Innovation and New Technology**, v. 17, n. 7, p. 617-631, 2008.

TEIXEIRA, R. et al. **Estratégia de Produção**: 20 artigos clássicos para aumentar a competitividade da empresa. Porto Alegre: Bookman, 2014.

TEIXEIRA, R.; PAIVA, E. L. Trade-offs em serviços customizados e o ponto de vista do cliente. **Rev. adm. contemp.** [online], v.12, n.2, p.457-480, 2008. ISSN 1982-7849.

THOMAS, D. Costs, benefits, and adoption of additive manufacturing: a supply chain perspective. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 85, n. 5-8, p. 1857-1876, 2016.

THÜRER, M. et al. Small manufacturers in Brazil: competitive priorities vs. capabilities. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 74, n. 9-12, p. 1175-1185, 2014.

TOMASZEWSKI, L. A.; LACERDA, D. P.; TEIXEIRA, R. **Estratégia de operações em serviços de saúde preventiva**: análise dos critérios competitivos e recomendações operacionais. p. 381-396, 2016.

TUBINO, D.F. **O Planejamento e Controle da Produção** – Teoria e Prática. São Paulo: Editora Atlas, 2007.

TUOMI, J. et al. A novel classification and online platform for planning and documentation of medical applications of additive manufacturing. **Surgical Innovation**, v. 21, n. 6, p. 553-559, dez. 2014.

URBONAITĒ, G.; KIBIRKŠTIS, E.; MILIŪNAS, V. 3D Print Technologies Analysis. **Mechanika**, p. 244-247, fev. 2013.

VAEZI, M.; SEITZ, H.; YANG, S. A review on 3D micro-additive manufacturing technologies. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 67, n. 5-8, p. 1721-1754, 15 jul. 2013.

VOLLMAN, E.T. et al. **Sistemas de Planejamento & Controle da Produção para o gerenciamento da Cadeia de Suprimentos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

VOLPATO, N.; COSTA, C. A. **Competências e recursos da Rede de Manufatura Aditiva (RMA) no Brasil**. Itatiaia: Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânica, 7º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2013.

VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. Case research in operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 195-219, 2002.

WANG, Zhou et al. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity. **IEEE Transactions on Image Processing**, v.13, Issue: 4, 2004.

WEF. **The Future of Manufacturing** -Opportunities to drive economic growth. Genebra, Suíça: WEF, 2012.

\_\_\_\_\_. **The Global Competitiveness Report 2016–2017**. [s.l: s.n.], 2016.

WELLER, C.; KLEER, R.; PILLER, F. T. Economic implications of 3D printing: Market structure models in light of additive manufacturing revisited. **International Journal of Production Economics**, v. 164, p. 43-56, 2015.

WHEELWRIGHT, S. C. Manufacturing strategy: defining the missing link. **Strategic Management Journal**, v. 5, n. 1, p. 77-91, 1984.

WHETTEN, D. A. O que constitui uma contribuição teórica? **Revista Eletrônica de Administração**, v. 43, n. 3, p. 69-73, 2003.

WITHERS, N. 3D Fabrication: Behold the fold. **Nature Chemistry**, v. 2, n. 7, p. 526, jul. 2010.

WOHLERS ASSOCIATES. **Global additive manufacturing market size and forecast**. [s.l: s.n.], 2014.

WOHLERS, T. **Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry Annual Worldwide Progress Report**. [s.l.: Wohlers Report, 2012.

WONG, K. V.; HERNANDEZ, A. A Review of Additive Manufacturing. **ISRN Mechanical Engineering**, 2012a.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. A Review of Additive Manufacturing. **ISRN Mechanical Engineering**, p. 1-10, jan. 2012b.

WRAY, P. Additive manufacturing--Turning manufacturing inside out. (Cover story). **American Ceramic Society Bulletin**, v. 93, n. 3, p. 17-23, abr. 2014.

WU, B. **Manufacturing Systems Design and Analysis**. New York: Springer Science & Business Media B.V., 1992.

WU, D. D.; HO, C.-T. B. Productivity and efficiency analysis of Taiwan's integrated circuit industry. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 56, n. 8, p. 715-730, 2007.

YIN, R. K. **Case Study Research: Design and Methods**. 5. ed. [s.l.] SAGE Publications, 2013.

ZHAI, Y.; LADOS, D.; LAGOY, J. Additive Manufacturing: Making Imagination the Major Limitation. **JOM: The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society (TMS)**, v. 66, n. 5, p. 808-816, maio 2014.

ZHU, Zegang. Technologies Prompt Development of 3D Printing, Innovation Guide Future of Manufacturing Industry. **Screen Printing Industry**, v. 3, p. 49-53, 2015.

## APÊNDICE A: PROTOCOLO DE REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Protocolo da Revisão Sistemática da Literatura: Estratégia de Busca		
<p><b>Tema Central:</b> O tema central é a Manufatura Aditiva. Este tema será utilizado de forma aberta, pois objetiva-se uma pesquisa mais extensa e a avaliação do maior número de publicações acadêmico-científicas a respeito do tema.</p>		
<p><b>Framework Conceitual:</b> A Manufatura Aditiva vai alterar o modo tradicional de trabalho das empresas. Desta forma, seus sistemas produtivos serão alterados de igual forma. A revisão tem como escopo identificar os estudos que contemplam os impactos da Manufatura Aditiva no sistema de produção como um todo.</p>		
<b>Contexto:</b>	Os impactos da Manufatura Aditiva nos Sistemas de Produção.	
<b>Horizonte:</b>	Não será utilizada delimitação, sendo utilizado todo o período disponível nas bases de busca.	
<b>Correntes Teóricas:</b>	Manufatura Aditiva	
<b>Idiomas:</b>	Não será limitado na busca, porém os termos de busca serão em inglês e português. Caso sejam encontrados artigos em outros idiomas, os mesmos serão traduzidos apenas se o <i>abstract</i> apresente contribuições relevantes para a pesquisa.	
<p><b>Questão de Revisão:</b> Quais os impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos e suas repercussões nos critérios competitivos?</p>		
<b>Estratégia de Revisão:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Configurativa <input type="checkbox"/> Agregativa	
<b>Critérios de Seleção:</b>	<b>Critérios de Inclusão</b>	<b>Critérios de Exclusão</b>
	Indicar aspectos que ajudem a identificar os impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos e suas repercussões nos critérios competitivos	

<b>Termos de busca:</b>	<i>Additive manufacturing / Manufatura aditiva</i>		
<b>Fontes de busca</b>			
<b>Bases de dados</b>	<b>Anais</b>	<b>Internet</b>	<b>Outras</b>
<input checked="" type="checkbox"/> Periódicos Capes <input checked="" type="checkbox"/> EBSCO <input type="checkbox"/> Web of Science <input type="checkbox"/> Scopus/ Elsevier <input checked="" type="checkbox"/> Scielo <input type="checkbox"/> ProQuest <input type="checkbox"/> Emerald	<input type="checkbox"/> ENEGEP	<input type="checkbox"/> Google Acadêmico	

## APÊNDICE B: LISTA DOS ARTIGOS SELECIONADOS

ID	TÍTULO DO ARTIGO	AUTORES	ANO	JOURNAL
<b>AM01</b>	Additive manufacturing: A framework for implementation.	Mellor, Stephen; Hao, Liang; Zhang, David	2014	International Journal of Production Economics
<b>AM02</b>	Impact of additive manufacturing on engineering education – evidence from Italy.	Minetola, Paolo; Iuliano, Luca; Bassoli, Elena; Gatto, Andrea	2015	Rapid Prototyping Journal
<b>AM03</b>	Helping additive manufacturing 'learn'.	Mishra, Sandipan	2013	Metal Powder Report
<b>AM04</b>	3D Printing Is Transforming the Supply Chain.	Nanney, Roger; Cotteleer, Mark	2015	CIO Insight
<b>AM05</b>	Manufacturing Systems By Rapid Prototyping Technology Application	NOVAK-MARCINCIN, Jozef	2014	Acta Technica Corvininensis - Bulletin of Engineering
<b>AM06</b>	How does additive manufacturing 'stack up' against subtractive methods? (cover story)	OVERTON, GAIL	2014	Laser Focus World
<b>AM07</b>	Comparing additive manufacturing technologies for customised wrist splints.	Paterson, Abby Megan; Bibb, Richard; Campbell, R Ian; Bingham, Guy	2013	Rapid Prototyping Journal
<b>AM08</b>	3D Printing Disrupts Manufacturing.	Petrick, Irene J. ; Simpson, Timothy W.	2013	Research Technology Management
<b>AM09</b>	3-D Printing: The New Normal	Pickett, Leah	2015	Appliance Design
<b>AM10</b>	3D Printing: An Industrial Revolution.	Prince, J Dale	2014	Journal of Electronic Resources in Medical Libraries
<b>AM11</b>	3D print: shaping the future.	Reade, Lou	2011	Chemistry & Industry



ID	TÍTULO DO ARTIGO	AUTORES	ANO	JOURNAL
<b>AM12</b>	Delivering personalised insoles to the high street using additive manufacturing.	Salles, Andre S.; Gyi, Diane E	2013	International Journal of Computer Integrated Manufacturing
<b>AM13</b>	3D printing: exploring capabilities.	SAMUELS, KYLE; FLOWERS, JIM	2015	Technology & Engineering Teacher
<b>AM14</b>	Is Additive Manufacturing a Plus For You?	Scott, Alex	2013	Material Handling & Logistics
<b>AM15</b>	Introduction to Additive Manufacturing.	Shulman, Holly; Spradling, Drew; Hoag, Cheyne	2012	Ceramic Industry
<b>AM16</b>	Interview 3D Design	Smith, Nick	2014	Engineering & Technology (17509637)
<b>AM17</b>	Rapid Prototyping: The fast Tool for Model Production	Stanek, Michal; Manas, Miroslav; Manas, David; Kyas, Kamil	2011	Annals of DAAAM & Proceedings
<b>AM18</b>	Preface: Additive Manufacturing	Strauss, Joseph Tunick	2015	International Journal of Powder Metallurgy
<b>AM19</b>	A novel classification and online platform for planning and documentation of medical applications of additive manufacturing.	Tuomi, Jukka; Paloheimo, Kaija-Stiina; Vehviläinen, Juho; Björkstrand, Roy; Salmi, Mika; Huotilainen, Eero	2014	Surgical Innovation
<b>AM20</b>	Rapid Manufacturing Technologies	-	2001	Advanced Materials & Processes
<b>AM21</b>	Additive Manufacturing: A Transformational Advanced Manufacturing Technology.	-	2012	Advanced Materials & Processes
<b>AM22</b>	Obama Administration establishes new AM institute in Ohio.	-	2012	Metal Powder Report

ID	TÍTULO DO ARTIGO	AUTORES	ANO	JOURNAL
<b>AM23</b>	3D printing and additive manufacturing global summit.	-	2013	Automotive Manufacturing Solutions
<b>AM24</b>	Process Technology	-	2013	Advanced Materials & Processes
<b>AM25</b>	Shapeways bringing 3-D printing to the masses.	-	2013	IEEE Spectrum
<b>AM26</b>	Will Additive Manufacturing Replace Conventional Manufacturing?	-	2013	Stratfor Geopolitical Diary
<b>AM27</b>	3D printing brings a new dimension to implant manufacture.	-	2014	Veterinary Record: Journal of the British Veterinary Association
<b>AM28</b>	3D printing enhances fusion research	-	2014	Advanced Materials & Processes
<b>AM29</b>	3D printing market to grow 23% annually.	-	2014	Acta Physica Polonica, A.
<b>AM30</b>	3D printing, inspired by wood.	-	2014	Physics Today
<b>AM31</b>	Additive Manufacturing (3D Printing): Past, Present and Future.	-	2014	Industrial Heating
<b>AM32</b>	The Types of 3-D Printing.	-	2014	Library Technology Reports
<b>AM33</b>	New Zealand company achieves 55 successful 3D printed implants.	-	2015	Metal Powder Report
<b>AM34</b>	Opportunities, Challenges, and Policy Implications of Additive Manufacturing.	-	2015	GAO Reports

ID	TÍTULO DO ARTIGO	AUTORES	ANO	JOURNAL
AM35	3D Print Technologies Analysis.	Urbonaitė, G; Kibirkštis, E; Miliūnas, V	2013	Mechanika
AM36	A review on 3D micro-additive manufacturing technologies	Vaezi, Mohammad; Seitz, Hermann; Yang, Shoufeng	2012	International Journal of Advanced Manufacturing Technology
AM37	3-D Printers Proliferate [Hands On].	Wallich, Paul	2010	IEEE Spectrum
AM38	3D Fabrication: Behold the fold.	Withers, Neil	2010	Nature Chemistry
AM39	A Review of Additive Manufacturing	Wong, Kaufui V.; Hernandez, Aldo	2012	ISRN Mechanical Engineering
AM40	Additive manufacturing-- Turning manufacturing inside out.	Wray, Peter	2014	American Ceramic Society Bulletin
AM41	Additive Manufacturing: Making Imagination the Major Limitation	Zhai, Yuwei; Lados, Diana; LaGoy, Jane	2014	JOM: The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society (TMS)
AM42	New Concept for Design and Control of 4 Axis Robot Using the Additive Manufacturing Technology	Aburaia, Mohamed; Markl, Erich; Stuja, Kemajl	2014	Annals of DAAAM & Proceedings
AM43	Changing the future of additive manufacturing	Bechmann, Florian	2014	Metal Powder Report
AM44	3-D printing: The new industrial revolution	Berman, Barry	2012	Business Horizons
AM45	Sustainable manufacturing: evaluation and modeling of environmental impacts in additive manufacturing	Bourhis, Florent Le; Kerbrat, Olivier; Hascoet, Jean-Yves; Mognol, Pascal	2013	International Journal of Advanced Manufacturing Technology
AM46	Additive Manufacturing as an enabler for enhanced consumer involvement	Campbell, R I; de Beer, D J; Mauchline, D A; Becker, L; van der	2012	South African Journal of Industrial Engineering

ID	TÍTULO DO ARTIGO	AUTORES	ANO	JOURNAL
		Grijp, R; Ariadi, Y; Evans, M A		
<b>AM47</b>	Are you ready for 3-D printing?	Cohen, Daniel; George, Katy; Shaw, Colin	2014	McKinsey Quarterly
<b>AM48</b>	How to Leverage Additive Manufacturing to build better products	Connelly, Rob	2015	Appliance Design
<b>AM49</b>	Cyber-enabled manufacturing systems for additive manufacturing	Cooper, Khershed P.; Wachter, Ralph F.	2014	Rapid Prototyping Journal
<b>AM50</b>	Self-assembly in additive manufacturing: opportunities and obstacles	Crane, N B; Tuckerman, J; Nielson, G N	2011	Rapid Prototyping Journal
<b>AM51</b>	The 3D Printing Revolution	D'Aveni, Richard	2015	Harvard Business Review
<b>AM52</b>	A new dimension	Farish, Mike	2015	Automotive Manufacturing Solutions
<b>AM53</b>	Additive Manufacturing Technology: Potential Implications for U.S. Manufacturing Competitiveness	Ford, Sharon L N	2014	Journal of International Commerce & Economics
<b>AM54</b>	Metal Additive Manufacturing: A Review.	Frazier, William	2014	Journal of Materials Engineering & Performance
<b>AM55</b>	3D Printing: Niche or next step to manufacturing on demand?	Gardiner, Ginger	2015	Composites Technology
<b>AM56</b>	Multi-disciplinary approach in engineering education: learning with additive manufacturing and reverse engineering	Gatto, Andrea; Bassoli, Elena; Denti, Lucia; Iuliano, Luca; Minetola, Paolo	2015	Rapid Prototyping Journal

ID	TÍTULO DO ARTIGO	AUTORES	ANO	JOURNAL
<b>AM57</b>	3D Revolution	GOODRICH, Marcia	2014	Research (Michigan Technological University)
<b>AM58</b>	Rapid prototyping of multi-scale biomedical microdevices by combining additive manufacturing technologies.	Hengsbach, Stefan; Lantada, Andrés Díaz	2014	Biomedical Microdevices
<b>AM59</b>	Key events drive additive manufacturing	HOLMES, Mark	2014	Acta Physica Polonica, A.
<b>AM60</b>	Overview of current additive manufacturing technologies and selected applications	Horn, Timothy J; Harrysson, Ola L A	2012	Science Progress
<b>AM61</b>	Additive manufacturing and its societal impact: a literature review	Huang, Samuel; Liu, Peng; Mokasdar, Abhiram; Hou, Liang	2012	International Journal of Advanced Manufacturing Technology
<b>AM62</b>	Additive manufacturing under pressure	Jones, Jason B; Wimpenny, David I; Gibbons, Greg J	2013	Rapid Prototyping Journal
<b>AM63</b>	A Business model for Rapid Prototyping in South Africa	Jordaan, G D	2010	Annals of DAAAM & Proceedings
<b>AM64</b>	Disruptions, decisions, and destinations: Enter the age of 3-D printing and additive manufacturing	Kietzmann, Jan; Pitt, Leyland; Berthon, Pierre	2015	Business Horizons
<b>AM65</b>	Is Your Supply Chain Ready for Additive Manufacturing?	Kieviet, André; Alexander, Suraj M	2015	Supply Chain Management Review
<b>AM66</b>	Rethinking Additive Manufacturing and Intellectual Property Protection.	Kurfess, Thomas; Cass, William J	2014	Research Technology Management
<b>AM67</b>	Revolutionary Additive Manufacturing: An Overview	MAHAMOOD, R M; AKINLABI, E T; SHUKLA, M; PITYANA, S	2014	Lasers in Engineering (Old City Publishing)
<b>AM68</b>	Combined additive manufacturing approaches in tissue engineering.	Giannitelli, S M; Mozetic, P; Trombetta, M; Rainer, A	2015	Acta Biomaterialia

ID	TÍTULO DO ARTIGO	AUTORES	ANO	JOURNAL
AM69	Integration of Additive Manufacturing and Virtual Verification Strategies within a Commercial CAM System	Hedrick, R W; Urbanic, R J	2013	Computer-Aided Design & Applications (Computer-Aided Design & Applications)
AM70	Additive manufacturing in the spare parts supply chain.	Khajavi, Siavash H; Partanen, Jouni; Holmström, Jan	2014	Computers in Industry
AM71	Additive manufacturing process selection based on parts' selection criteria	Mançanares, Cauê; S. Zancul, Eduardo; Cavalcante da Silva, Juliana; Cauchick Miguel, Paulo	2015	International Journal of Advanced Manufacturing Technology
AM72	3D printing technology and its impact on Chinese manufacturing	Long, Yunguang; Pan, Jieyi; Zhang, Qinghui; Hao, Yingjie	2017	International Journal of Production Research
AM73	Injection Molding with an Additive Manufacturing Tool	NELSON et al.	2017	Plastics Engineering
AM74	Analysis of the current state of additive welding technologies for manufacturing volume metallic products (review)	PELESHENKO et al.	2017	Engineering Technological Systems
AM75	Additive manufacturing–integrated hybrid manufacturing and subtractive processes: economic model and analysis	MANOGHARAN; WYSK; HARRYSSON	2016	International Journal of Computer Integrated Manufacturing
AM76	Costs, benefits, and adoption of additive manufacturing: a supply chain perspective	Thomas, Douglas	2015	International Journal of Advanced Manufacturing Technology
AM77	Additive manufacturing: the role of welding in this window of opportunity	ALBERTI; DA SILVA; OLIVEIRA	2016	Welding International
AM78	A 3D printing practice for preoperative rehearsal based on the additive and subtractive manufacturing	DING; BAO,	2016	Journal of Mechanics in Medicine and Biology
AM79	3D printing drives automotive innovation	Lecklider, Tom	2017	evaluationengineering.com

ID	TÍTULO DO ARTIGO	AUTORES	ANO	JOURNAL
<b>AM80</b>	Fast Desktop-Scale Extrusion Additive Manufacturing	Jamison Go, A. John Hart	2017	Additive Manufacturing
<b>AM81</b>	Additive Manufacturing: The Most Promising Technology to Alter the Supply Chain and Logistics	Mohsen Attaran	2017	Journal of Service Science and Management

## APÊNDICE C: ROTEIRO DE ENTREVISTAS – IMPACTOS DA MANUFATURA ADITIVA NOS SISTEMAS PRODUTIVOS

#	PROPOSIÇÃO	AUTORES	PERGUNTAS	OBJETIVO
PSP1	A Manufatura Aditiva não é robusta suficiente para ser utilizada em sistemas de fabricação em massa.	(MISHRA, 2013); (PETRICK; SIMPSON, 2013); (D'AVENI, 2015)	Atualmente a Manufatura Aditiva é indicada para produção customizada e de lote unitário. É possível que esta tecnologia possa ser utilizada para produção em larga escala? Essa mudança de paradigma de produção trará vantagens para o sistema produtivo das organizações?	Verificar para que tipo de sistema de produção a Manufatura Aditiva pode ser aplicada mantendo suas vantagens e prospectar sua utilização a partir da sua evolução.
PSP2	A Manufatura Aditiva tem o potencial para tornar o processo de customização possível para ser utilizado em sistemas produtivos.	(SALLES; GYI, 2013); (BERMAN, 2012); (D'AVENI, 2015); (FORD, 2014); (SASSON; JOHNSON, 2016)		
PSP3	A Manufatura Aditiva irá substituir a dinâmica competitiva das economias de produção em escala para um modelo de produção unitária, customizado, sendo indicada para pequenos volumes de produção.	(PETRICK; SIMPSON, 2013); (SALLES; GYI, 2013); (WRAY, 2014); (BERMAN, 2012); (D'AVENI, 2015); (FORD, 2014); (SASSON; JOHNSON, 2016)	Com a Manufatura Aditiva as empresas tendem a se aproximar mais do modelo de produção enxuta, com menos desperdícios e lote unitário proposto pelo Sistema Toyota de Produção?	Identificar o potencial da Manufatura Aditiva para contribuir/potencializar os efeitos do Sistema Toyota de Produção.
PSP4	Com a utilização da Manufatura Aditiva, todas as etapas ao longo da cadeia de abastecimento, manufatura e varejo terão que repensar suas estratégias e operações.	(D'AVENI, 2015)	Qual o impacto da utilização da Manufatura Aditiva nas cadeias de abastecimento? Quais as principais alterações que acontecerão com a utilização da tecnologia?	Identificar as alterações nas estratégias das organizações no que tange a cadeia de abastecimento/logística com a utilização da Manufatura Aditiva.
PSP5	As empresas que empregarem as tecnologias de Manufatura Aditiva podem alcançar aumento da eficiência da cadeia de abastecimento e a redução do tempo de mercado.	(FORD, 2014); (SASSON; JOHNSON, 2016); (RAYNA; STRIUKOVA, 2016); (ZHU, 2015); (LONG et al., 2017)	A cadeia de abastecimento se tornará mais eficiente, deixando os prazos de entrega mais competitivos?	
PSP6	O uso da Manufatura Aditiva reduz a necessidade de manter estoques/inventário, uma vez que o produto pode ser fabricado próximo ao local em que será utilizado, reduzindo necessidade de espaço físico.	(STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY, 2013); (SALLES; GYI, 2013); (KIETZMANN; PITT; BERTHON, 2015); (SASSON; JOHNSON, 2016); (RAYNA; STRIUKOVA, 2016); (LONG et al., 2017)	A Manufatura Aditiva reduz a necessidade de estoques no sistema produtivo? Essa redução acontece com os estoques de maneira geral, MP, WIP ou Produto Acabado?	Verificar a potencial redução de estoques e em qual etapa do processo produtivo essa redução terá maior impacto.



#	PROPOSIÇÃO	AUTORES	PERGUNTAS	OBJETIVO
PSP7	Devido a sua versatilidade, a Manufatura Aditiva permite/facilita o sistema de produção <i>just in time</i> e pode se tornar o novo Kanban	(FRAZIER, 2014); (KIETZMANN; PITT; BERTHON 2015)	É possível que o sistema Kanban seja substituído pelos equipamentos de Manufatura Aditiva? Quais os impactos dessa substituição?	Identificar o potencial da Manufatura Aditiva para contribuir/potencializar os efeitos do Sistema Toyota de Produção.
PSP8	A Manufatura Aditiva tem a capacidade para fabricar peças sem a necessidade de ferramental, pois é considerado um método sem contato	(SALLES; GYI, 2013); (SHULMAN; SPRADLING; HOAG, 2012); (FORD, 2014); (GARDAN, 2015); (LONG et al., 2017)	A Manufatura Aditiva não necessita de moldes ou ferramentas para a fabricação de produtos/peças. Quais os impactos dessa característica para o sistema produtivo das organizações?	Verificar o impacto na Manufatura Aditiva na flexibilidade dos sistemas produtivos e da necessidade da capacitação da mão de obra.
PSP9	A Manufatura Aditiva evita a falta de flexibilidade na fabricação	(D'AVENI, 2015); (LONG et al., 2017)	Quais serão as alterações no setor de manutenção das organizações? Redução de quadro ou especialização dos colaboradores?	
PSP10	Produtos complexos montados a partir de inúmeras peças podem, por meio da Manufatura Aditiva, ser impressos a partir de um modelo de computador único, facilitando a integração entre as etapas de produção.	(STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY, 2013); (HORN; HARRYSSON, 2012); (WELLER; KLEER; PILLER, 2015); (GRESS; KALAFSKY, 2015)	A Manufatura Aditiva irá reduzir a complexidade dos sistemas de produção no que tange ao fluxo físico dos produtos?	Identificar o impacto da Manufatura Aditiva na construção de um fluxo direto de produção e na gestão do fluxo produtivo de maneira geral.
PSP11	A Manufatura Aditiva facilita o layout em células de manufatura, caracterizando-se como elemento chave para sistemas de produção mais ambiciosos.	(GARDINER, 2015); (HORN; HARRYSSON, 2012); (WELLER; KLEER; PILLER, 2015); (GRESS; KALAFSKY, 2015)	O layout em célula e com fluxo unitário de produção é viável e vantajoso com a utilização desta tecnologia?	
PSP12	A Manufatura Aditiva propicia conectividade perfeita, o que torna muitos dos processos de produção redundantes.	(LONG et al., 2017)	Com a conectividade direta entre as operações, o controle e a rastreabilidade dos pedidos será mais fácil sob o ponto de vista da gestão?	
PSP13	A Manufatura Aditiva não irá substituir a manufatura tradicional. Elas devem ser combinadas para manter as vantagens da nova tecnologia promovendo a manufatura híbrida.	(LONG et al., 2017); (PEARSONS, 2015); (GARDINER, 2015)	A Manufatura Aditiva pode substituir completamente a Manufatura Tradicional?	Identificar a possibilidade da Manufatura Aditiva eliminar os sistemas tradicionais de produção.
PSP14	A Manufatura Aditiva irá reduzir a necessidade de mão de obra nas fábricas, pois necessita menos "trabalho" de produção.	(PICKETT, 2015); (SHULMAN; SPRADLING; HOAG, 2012); (LONG et al., 2017)	Com a utilização da Manufatura Aditiva pelas organizações, qual impacto acontecerá com a mão de obra? A mão de obra terá que se especializar?	Identificar o impacto da Manufatura Aditiva na mão de obra das organizações.

#	PROPOSIÇÃO	AUTORES	PERGUNTAS	OBJETIVO
PSP15	A Manufatura Aditiva facilita a terceirização, bem como o compartilhamento de projetos entre os designers e usuários.	(BERMAN, 2012)	Serão oferecidos menos postos de trabalho na produção? Será necessário aumentar a estrutura em outra(s) área(s) da organização?	
PSP16	A Manufatura Aditiva proporciona menos desperdício de material e consumo de energia.	(SHULMAN; SPRADLING; HOAG, 2012); (PICKETT, 2015); (BOURHIS et al., 2013); (FORD, 2014); (LONG et al., 2017); (GEBLER; SCHOOT UITERKAMP; VISSER, 2014)	Quais os principais desperdícios serão reduzidos/eliminados com a utilização da Manufatura Aditiva?	Verificar a potencialidade da redução de desperdícios com a utilização da Manufatura Aditiva e identificar quais são estes desperdícios.
PSP17	A Manufatura Aditiva consome menos matéria-prima para a fabricação dos produtos ou peças: ela utiliza apenas o que é estruturalmente necessário.	(STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY, 2013); (BOURHIS et al., 2013)	É possível identificar a redução no consumo de energia e também no consumo de Matéria-Prima?	
PSP18	Ainda é um limitante o número reduzido de materiais, cores e acabamentos de superfície	(BERMAN, 2012)	O número de materiais é uma restrição para a utilização desta tecnologia? No médio prazo é possível visualizar uma gama maior de materiais sendo utilizado como MP desta tecnologia?	Identificar as restrições da utilização da tecnologia causadas pela limitação dos materiais que podem ser utilizados pelos equipamentos de Manufatura Aditiva.
PSP19	A disponibilidade de materiais para Manufatura Aditiva tem aumentado constantemente nos últimos anos.	(LONG et al., 2017)		

## APÊNDICE D: ROTEIRO DE ENTREVISTAS – REPERCUSSÕES DA MANUFATURA ADITIVA NOS CRITÉRIOS COMPETITIVOS

#	PROPOSIÇÃO	AUTORES	PERGUNTAS	OBJETIVO
PCC1	A Manufatura Aditiva, devido a necessidade de investimento inicial a ser realizado, tem custos de produção relativamente mais elevados.	BERMAN (2012); BOBB; SHAPIRO; HARRIS (2012); SCOTT (2013); ZHU (2015)	O investimento inicial para a implantação da manufatura Aditiva na organização pode inviabilizar a utilização desta tecnologia? O retorno sobre este investimento é identificado pela organização?	Identificar o impacto da utilização da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos das organizações no critério competitivo custo.
PCC2	Os custos mais altos para a produção de grandes séries em relação à moldagem por injeção limitam o uso da Manufatura Aditiva.	BERMAN (2012); BOBB; SHAPIRO; HARRIS (2012); SCOTT (2013)	Para um tipo de produção em escala, a Manufatura Aditiva aumenta o custo do produto final?	
PCC3	A Manufatura Aditiva irá reduzir o custo do produto final pois o processo será reduzido a um número menor de operações que o processo tradicional.	PRINCE (2014); SALLES; GYI (2013); SHULMAN; SPRADLING; HOAG (2012)	O custo do produto final será reduzido com a utilização da Manufatura Aditiva?	
PCC4	A Manufatura Aditiva acarretará em cadeias menores, menos dispendiosas e mais ágeis de fornecimento.	FORD (2014); FARISH (2015); STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY (2013); SASSON; JOHNSON (2016)	A utilização da Manufatura Aditiva reduzirá o lead time dos produtos? A cadeia de abastecimento será mais enxuta?	Identificar o impacto da utilização da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos das organizações no critério competitivo desempenho de entrega.
PCC5	A redução do lead time de produção é vantagem comprovada do uso das tecnologias de Manufatura Aditiva, diminuindo o prazo de entrega.	FORD (2014); FARISH (2015); STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY (2013); SASSON; JOHNSON (2016)	Os prazos de entrega serão impactados?	
PCC6	O tempo de resposta para o mercado deverá diminuir com a aplicação da Manufatura Aditiva nas organizações devido aos ciclos de design e prototipagem mais curtos, capacidade de fabricação mais previsível, e a eliminação de ferramental para novos produtos.	FORD (2014); FRAZIER (2014); WELLER; KLEER; PILLER (2015)	A Manufatura Aditiva irá reduzir a complexidade dos sistemas de produção no que tange ao fluxo físico dos produtos, deixando o sistema mais rápido para responder à demanda?  Com a conectividade direta entre as operações, o controle e a rastreabilidade dos pedidos será mais fácil sob o ponto de vista da gestão?	Identificar o impacto da utilização da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos das organizações no critério competitivo velocidade.

#	PROPOSIÇÃO	AUTORES	PERGUNTAS	OBJETIVO
PCC7	A Manufatura Aditiva permite um arranjo físico mais enxuto, uma vez que várias operações são condensadas em apenas uma.	LONG et al. (2017); FRAZIER (2014); BERMAN (2012)		
PCC8	A Flexibilidade é a maior vantagem em termos de critérios competitivos com a implantação da Manufatura Aditiva.	BERMAN (2012); SALLES; GYI (2013); PETRICK; SIMPSON (2013); TUOMI et al. (2014); SASSON; JOHNSON (2016)		
PCC9	Assim como a Customização em massa, a Manufatura Aditiva permite às empresas construir produtos personalizados em pequenas quantidades de maneira mais econômica.	BERMAN (2012); SALLES; GYI (2013); PETRICK; SIMPSON (2013); TUOMI et al. (2014); WELLER, KLEER & PILLER (2015); SASSON; JOHNSON (2016)	A Manufatura Aditiva confere mais flexibilidade aos sistemas de produção, uma vez que não necessita de trocas de ferramental e permite fluxo unitário de fabricação?  Quais as vantagens de ter o sistema de produção mais flexível?	Identificar o impacto da utilização da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos das organizações no critério competitivo flexibilidade.
PCC10	A Manufatura Aditiva não oferece a economia de escala por exemplo, no entanto, ela evita a inconveniente falta de flexibilidade na fabricação.	D'AVENI (2015); TUOMI et al. (2014)		
PCC11	A qualidade e confiabilidade dos produtos e processos é a grande barreira para a utilização da Manufatura Aditiva pelas organizações.	MISHRA (2013); MAHAMOOD et al. (2014); BERMAN (2012); STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY (2013); GARDAN (2015)	No que tange a qualidade e confiabilidade, a Manufatura Aditiva é considerada confiável?	
PCC12	Os sistemas de manufatura Aditiva simplesmente não são precisos ou robustos o suficiente para serem ampliados e utilizados para fabricação em massa de produtos comerciais.	MISHRA (2013); MAHAMOOD et al. (2014); BERMAN (2012); STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY (2013)	Com o avanço das tecnologias de Manufatura Aditiva, este problema pode ser resolvido no curto prazo?  Utilizar operações complementares para garantir a qualidade e a confiabilidade dos produtos feitos a partir da Manufatura Aditiva pode inviabilizar o uso da tecnologia?	Identificar o impacto da utilização da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos das organizações no critério competitivo flexibilidade.
PCC13	Operações complementares para garantir a qualidade final do produto são atualmente necessárias quando da utilização da Manufatura Aditiva.	MISHRA (2013); MAHAMOOD et al. (2014); LONG et al. (2017)		

#	PROPOSIÇÃO	AUTORES	PERGUNTAS	OBJETIVO
PCC14	A Manufatura Aditiva é definida como o primeiro passo para o desenvolvimento da sustentabilidade.	BOURHIS et al. (2013); FRAZIER (2014); FORD (2014)	<p>É possível visualizar a Manufatura Aditiva como uma tecnologia que contribui para a sustentabilidade das organizações? Ela pode ser considerada mais sustentável que a Manufatura Tradicional?</p> <p>A redução de desperdícios de materiais e do consumo de energia impactam positivamente na imagem da empresa no mercado? Ou estas reduções apenas geram redução de custos para a organização.</p>	<p>Identificar o impacto da utilização da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos das organizações no critério competitivo flexibilidade.</p>
PCC15	A Manufatura Aditiva tem o potencial de reduzir significativamente o consumo de energia e emissões de carbono, gerando impacto positivo sobre o meio ambiente.	BOURHIS et al. (2013); FRAZIER (2014); FORD (2014); GEBLER, SCHOOT UITERKAMP & VISSER (2014).		
PCC16	Com a utilização da Manufatura Aditiva a geração de resíduos é menor devido a ser um processo mais direto quando comparada a Manufatura Tradicional.	KREIGER E PEARCE (2013); GEBLER, SCHOOT UITERKAMP & VISSER (2014).		

## APÊNDICE E: TERMO DE CONSENTIMENTO E LIVRE ESCLARECIDO

### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Eu, Douglas Rafael Veit, discente no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção de Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – PPGEPS/UNISINOS, nível de Doutorado, tendo como orientador desta pesquisa o Prof. Dr. Daniel Pacheco Lacerda, solicito sua participação como entrevistado na pesquisa intitulada: Os impactos da Manufatura Aditiva nos Sistemas Produtivos e suas repercussões nos Critérios Competitivos.

Esta pesquisa tem como objetivo geral avaliar os impactos da utilização da Manufatura Aditiva nos Sistemas de Produção sob a luz dos Critérios Competitivos e como objetivos específicos: i) Avaliar criticamente a literatura e a visão dos especialistas sobre a Manufatura Aditiva e suas relações com os sistemas produtivos e os critérios competitivos; ii) Evidenciar empiricamente os impactos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos e suas repercussões nos critérios competitivos; iii) Explicitar o potencial da Manufatura Aditiva para os sistemas produtivos e os critérios competitivos.. O estudo justifica-se uma vez que com a chegada da Manufatura Avançada no Brasil, a Manufatura Aditiva (considerada um componente deste novo modelo de produção) os sistemas de produção convencionais serão alterados e suas características e necessidades podem sofrer alterações.

A Manufatura Aditiva foi escolhida como o tema central deste trabalho por se tratar de uma tecnologia não tão recente, mas que atualmente vem tomando proporções maiores. Com o início de sua utilização para a produção de peças para produtos finais e os impactos significativos que a literatura apresenta, entender esses impactos na prática e as alterações que tanto os sistemas produtivos como sua estratégia produtiva é de suma importância para a disseminação desta tecnologia.

Desta forma, o questionário apresentado em anexo norteará este estudo. Para esta pesquisa a coleta de dados será realizada por meio de entrevistas presenciais ou semi-presenciais, utilizando um questionário semi-estruturado, com questões abertas. As entrevistas serão gravadas, possibilitando a confiabilidade dos dados nas transcrições realizadas. Observa-se que os resultados oriundos das entrevistas serão utilizados para fins de estudo, caso contrário os mesmos serão inutilizados.

Em termos de seleção de participantes e das amostras, fica acordado entre as partes que a identidade do entrevistado será preservada, não divulgando suas informações pessoais e profissionais. O entrevistado poderá, também, desistir do estudo a qualquer momento, sem haver prejuízos de qualquer natureza. Pode, ainda, solicitar informações sobre o andamento da pesquisa e/ou seus resultados por meio eletrônico ou contato telefônico:

Endereço Eletrônico: [douglasveit@unisin.br](mailto:douglasveit@unisin.br) ou (51) 99127.6658

Prof. Dr. Daniel Pacheco Lacerda – PPGEPS/Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Endereço Eletrônico: [dlacerda@unisin.br](mailto:dlacerda@unisin.br) ou (51) 98575-1410

Este Termo de Consentimento Livre e Esclarecido será assinado em duas vias, ficando uma via em posse do/a participante, e a outra sob a equipe de pesquisa.

Nome entrevistado: \_\_\_\_\_

RG/CPF: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Entrevistado Prof. Dr. Daniel Pacheco Lacerda  
Orientador

\_\_\_\_\_

Prof. Me. Douglas Rafael Veit  
Pesquisador





Artigos	Des. Produto		Engenharia de Processo		Fornecedores		Marketing e Vendas		Matéria-Prima		PCP		Recursos Financeiros		Sistema de Manufatura		Tempos e Métodos	
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
LECKLIDER, 2017	8	-	2	-	2	-	1	-	2	-	1	-	-	-	6	-	1	-
LONG et al., 2017	1	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	1	-
MAHAMOOD et al., 2014	-	1	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MANOGHARAN; WYSK; HARRYSSON, 2016	3	1	1	-	-	-	1	-	1	-	2	-	-	-	1	1	-	-
MELLOR; HAO; ZHANG, 2014	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-
MISHRA, 2013	1	-	-	1	-	-	-	-	3	-	-	1	-	-	-	-	-	-
NELSON et al., 2017	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PEARSONS, 2015	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-
PELESHENKO et al., 2017	2	-	2	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PETRICK; SIMPSON, 2013	2	-	-	-	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1
PICKET, 2015	2	-	2	-	2	1	-	-	1	-	1	-	-	-	3	-	-	-
PRINCE, 2014	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SALLES; GYI, 2013	4	-	1	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SCOTT, 2013	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	2	-	-	-	-
SHULMAN; SPRADLING; HOAG, 2012	4	-	2	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	4	2	-	-
STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY, 2013	2	-	1	-	2	1	1	-	3	-	3	-	-	-	-	-	3	-
TUOMI et al., 2014	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
WRAY, 2014	2	-	-	-	2	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2	1	-	-
ZHAI; LADOS; LAGOY, 2014	2	1	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	3	1	-	-
<b>Totais</b>	<b>48</b>	<b>5</b>	<b>27</b>	<b>4</b>	<b>15</b>	<b>6</b>	<b>20</b>	<b>2</b>	<b>23</b>	<b>2</b>	<b>14</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>38</b>	<b>11</b>	<b>13</b>	<b>7</b>
	<b>53</b>		<b>31</b>		<b>21</b>		<b>22</b>		<b>25</b>		<b>17</b>		<b>9</b>		<b>49</b>		<b>20</b>	



Artigos	Custo		Desempenho de Entrega		Flexibilidade		Inovação		Qualidade		Sustentabilidade		Velocidade	
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
LECKLIDER, 2017	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LONG et al., 2017	2	-	3	-	2	-	-	-	2	2	-	-	1	-
MAHAMOOD et al., 2014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-
MANOGHARAN; WYSK; HARRYSSON, 2016	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MELLOR; HAO; ZHANG, 2014	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-
MISHRA, 2013	-	1	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	1	-
NELSON et al., 2017	2	-	2	-	1	-	-	-	2	-	-	-	-	-
PEARSONS, 2015	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PELESHENKO et al., 2017	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	1
PETRICK; SIMPSON, 2013	-	-	1	-	2	-	-	-	-	2	-	-	-	1
PICKET, 2015	2	2	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PRINCE, 2014	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SALLES; GYI, 2013	2	-	2	-	2	-	1	-	-	-	1	-	-	-
SCOTT, 2013	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-
SHULMAN; SPRADLING; HOAG, 2012	2	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STRATFOR GEOPOLITICAL DIARY, 2013	2	-	2	-	3	-	-	-	-	2	-	-	1	1
TUOMI et al., 2014	2	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-
WRAY, 2014	-	1	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-
ZHAI; LADOS; LAGOY, 2014	2	1	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
<b>Totais</b>	<b>38</b>	<b>13</b>	<b>20</b>	<b>0</b>	<b>30</b>	<b>2</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>22</b>	<b>13</b>	<b>0</b>	<b>12</b>	<b>5</b>
	<b>51</b>		<b>20</b>		<b>32</b>		<b>7</b>		<b>28</b>		<b>13</b>		<b>17</b>	

**APÊNDICE H: ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DOS IMPACTOS NA MANUFATURA ADITIVA NOS SISTEMAS PRODUTIVOS DE ACORDO COM OS ENTREVISTADOS**

Entrevistados	Des. de Produto		Engenharia de Processo		Fornecedores		Marketing e Vendas		Matéria-Prima		PCP		Recursos Financeiros		Sistema de Manufatura		Tempos e Métodos	
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
AM_01_Entrevistado 1	6	-	4	1	-	-	4	-	1	1	1	-	-	-	2	1	4	1
AM_02_Entrevistado 2	2	1	1	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	1	2
AM_03_Entrevistado 3	-	-	1	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	2	-	1	1
AM_04_Entrevistado 4	2	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	8	3	3	-
AM_05_Entrevistado 5	3	-	-	-	-	-	1	-	2	-	2	-	-	1	5	1	1	-
AM_06_Entrevistado 6	3	1	-	-	-	-	-	-	3	2	-	-	-	-	2	-	1	2
AM_07_Entrevistado 7	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	-
AM_08_Entrevistado 8	1	-	-	-	-	-	1	-	2	1	-	-	-	-	3	1	-	1
AM_09_Entrevistado 9	2	-	-	-	1	-	3	-	-	-	1	-	-	-	2	-	1	-
AM_10_Entrevistado 10	4	-	2	1	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	8	1	3	-
AM_11_Entrevistado 11	5	-	3	-	1	-	1	-	2	-	1	-	-	-	6	-	3	-
AM_12_Entrevistado 12	4	-	-	-	-	-	1	-	3	-	-	-	-	-	3	-	3	-
AM_13_Entrevistado 13	5	-	2	-	1	-	-	-	5	-	7	-	-	-	3	-	4	1
GOV_1_Entrevistado 14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	2	-	-	-	-
GOV_2_Entrevistado 15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-
GOV_3_Entrevistado 16	1	-	-	-	-	-	3	-	1	1	-	-	-	-	1	-	1	1
MIM_1_Entrevistado 17	2	1	1	-	-	-	1	-	1	-	2	-	-	-	-	-	2	-
MIM_2_Entrevistado 18	-	-	3	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	1	-	3	1
MIM_3_Entrevistado 19	-	-	2	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	1	-	1	1

**APÊNDICE I: ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DAS REPERCUSSÕES DA MANUFATURA ADITIVA NOS CRITÉRIOS  
COMPETITIVOS - ENTREVISTAS**

Entrevistados	Custo		Desempenho de Entrega		Flexibilidade		Inovação		Qualidade		Sustentabilidade		Velocidade	
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
AM_01_Entrevistado 1	2	0	1	0	3	2	2	0	1	1	0	0	1	0
AM_02_Entrevistado 2	3	0	2	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
AM_03_Entrevistado 3	4	2	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0
AM_04_Entrevistado 4	8	2	0	0	1	0	1	0	4	0	1	2	2	0
AM_05_Entrevistado 5	0	4	2	0	1	0	0	0	1	0	4	0	2	0
AM_06_Entrevistado 6	7	2	2	0	3	0	1	0	1	0	2	0	0	1
AM_07_Entrevistado 7	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AM_08_Entrevistado 8	3	2	2	0	3	0	1	0	2	1	1	0	1	0
AM_09_Entrevistado 9	3	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
AM_10_Entrevistado 10	2	0	1	0	1	0	1	0	3	0	0	0	1	1
AM_11_Entrevistado 11	1	0	1	0	1	0	1	0	2	0	0	0	0	1
AM_12_Entrevistado 12	5	0	5	0	0	0	0	0	2	0	3	0	2	0
AM_13_Entrevistado 13	6	2	2	0	3	0	0	0	5	0	3	0	6	1
GOV_1_Entrevistado 14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GOV_2_Entrevistado 15	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
GOV_3_Entrevistado 16	2	0	1	0	1	0	0	0	3	0	1	0	2	1
MIM_1_Entrevistado 17	4	0	2	0	1	0	0	0	3	0	0	0	1	0
MIM_2_Entrevistado 18	2	1	0	0	1	0	0	0	3	0	1	0	2	0
MIM_3_Entrevistado 19	1	0	0	0	1	0	0	0	2	0	1	0	1	0
<b>Totais</b>	<b>54</b>	<b>16</b>	<b>24</b>	<b>0</b>	<b>23</b>	<b>2</b>	<b>9</b>	<b>0</b>	<b>34</b>	<b>4</b>	<b>18</b>	<b>2</b>	<b>23</b>	<b>6</b>
	<b>70</b>		<b>24</b>		<b>25</b>		<b>9</b>		<b>38</b>		<b>20</b>		<b>29</b>	

