



Para ser relevante.

www.fdc.org.br



Programa de Pós-graduação em Gestão de Negócios

PROJETO APLICATIVO 2022

Prof. José Fernando Pereira Junior

FUNDAÇÃO DOM CABRAL

SEST SENAT | Serviço Social do Transporte
Serviço Nacional de
Aprendizagem do Transporte

FDC

MANUFATURA ADITIVA

Encurtar a cadeia logística, fornecendo peças de reposição automotivas

Henrique Vilela Ribeiro

Júlio César Luiz Ribeiro

Marcelo Alves de Siqueira

Oswaldo Galis Junior

Rafael do Carmo Pinto

Ricardo de Mello Soares

São Paulo

2022

Henrique Vilela Ribeiro
Júlio César Luiz Ribeiro
Marcelo Alves de Siqueira
Oswaldo Galis Junior
Rafael do Carmo Pinto
Ricardo de Mello Soares

MANUFATURA ADITIVA

Encurtar a cadeia logística, fornecendo peças de reposição automotivas

**Projeto apresentado à Fundação Dom
Cabral como requisito parcial para a
conclusão da Especialização em
Gestão de Negócios.**

**Professor Orientador: José Fernando
Pereira Junior**

São Paulo
2022

RESUMO

As empresas que operam o transporte público de passageiros vêm enfrentando, nos últimos anos, os mais diversos desafios, seja sob perspectivas financeiras (diante de um setor que acumula prejuízos bilionários ao longo dos últimos anos), seja sob o ponto de vista do aumento do transporte individual motorizado (que também traz prejuízos nas condições de mobilidade dos centros urbanos). Diante do cenário ora ilustrado, há uma grande predominância no uso do transporte coletivo realizado por ônibus, com mais de 85% do total das viagens. O referido modal atende mais de 2.700 cidades ao redor do Brasil, por meio de serviços organizados de transporte público, com uma frota superior a 107.000 veículos e idade média de cerca de 6 anos de uso. Para atender as mais de 27 milhões de viagens médias realizadas por dia no país, as mais de 1.700 empresas operadoras são desafiadas a encontrar formas mais eficientes e desenvolver diferenciais competitivos para a sustentação de suas operações e atendimento deste serviço essencial para a sociedade. As metodologias exploradas neste estudo estão diretamente relacionadas com esta necessidade e expectativas, visando ao desenvolvimento de fornecimento de peças de reposição para os ônibus que operam no sistema público de transporte coletivo, através do processo de manufatura aditiva, sendo este um processo alternativo de encurtamento da cadeia de fornecimento das partes, uma vez que a matéria-prima é única para as mais vastas aplicações, ao passo em que o fornecimento das peças pode ser efetuado de forma independente de grandes estoques e fornecedores, atendendo, assim, as necessidades operacionais e ampliação da disponibilidade dos ativos, de forma mais sustentável no aspecto econômico, combinado com um menor impacto ambiental, por meio da redução da pegada de carbono oriunda da logística dessas peças.

Palavras-chave: Transporte Público. Mobilidade Urbana. Manufatura Aditiva. Impressão 3D. Gestão de Custos. Eficiência Operacional.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação de uma peça desenhada na ferramenta CAD	16
Figura 2 – Exemplo de Escaneamento 3D.....	17
Figura 3 – Processo de manufatura por adição de camadas.....	18
Figura 4 – Modelo geral da cadeia de suprimento (<i>supply chain</i>).....	20
Figura 5 – Processo de impressão 3D: Polimerização da Cuba	28
Figura 6 – Processo de impressão 3D: Fusão de Cama em Pó (Metais).....	29
Figura 7 – Processo de impressão 3D: Modelagem por deposição fundida	30
Figura 8 – Processo de impressão 3D: Jet Binder	31
Figura 9 – Processo de impressão 3D - PolyJet ou Material Jetting	31
Figura 10 – Processo de impressão 3D - PolyJet ou Material Jetting	32
Figura 11 – Interrupção da prestação de serviços	48
Figura 12 – Divisão Modal	49
Figura 13 – Cenário nacional e frota.....	50
Figura 14 – Viagens realizadas, empresas operadoras, projetos de priorização, mortes, gratuidades e subsídios	51
Figura 15 – Dispositivo da Vale.....	58
Figura 16 – Modelagem das peças	58
Figura 17 – Peças impressas	58
Figura 18 – Custo por peça e <i>lead time</i>	59
Figura 19 – Peça original	60
Figura 20 – Peça impressa e testada.....	60
Figura 21 – Custo por peça e <i>lead time</i>	60
Figura 22 – Modelo de impressora utilizada na Ambev.....	62
Figura 23 – Peças para análise de aplicabilidade de suas fabricações com manufatura aditiva	74
Figura 24 – Cronograma do projeto aplicativo de implementação da manufatura aditiva na manutenção nos ônibus do transporte coletivo.....	75
Figura 25 – Desenho em CAD das peças prioritárias para validação do projeto	77
Figura 26 – Peças do lacre de emergência impressas por impressão aditiva... 78	
Figura 27 – Peça do batente de porta impressa por impressão aditiva	78

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Modais de transporte utilizados no Brasil	21
Gráfico 2 – Custo por peça vs processo de fabricação	26
Gráfico 3 – Prejuízo acumulado pelo setor	47

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Estrutura de custos para cada modal	23
Quadro 2 – Comparação entre o processo de impressão 3d e corte a laser	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características operacionais relativas por modal de transporte (a menor pontuação indica uma melhor classificação).....	23
Tabela 2 – Comparação entre o processo de impressão 3d e injeção	26
Tabela 3 – Licenciamento e emplacamento	50
Tabela 4 – Aquisição de partes de reposição – período de janeiro a junho de 2022.....	75
Tabela 5 – Economia das peças elencadas com impressão aditiva em comparação com a aquisição no mercado usual	80
Tabela 6 – Cronograma de implementação	85

SUMÁRIO

1 RESUMO EXECUTIVO	10
1.1 Problema de pesquisa	11
1.2 Justificativa da escolha do problema e relevância do projeto para a organização	12
1.3 Objetivos	13
1.3.1 Objetivo geral	13
1.3.2 Objetivos específicos	13
1.4 Breve apresentação dos capítulos do “Projeto Aplicativo”	13
2 BASES CONCEITUAIS	15
2.1 O que é manufatura aditiva	15
2.2 Processos logísticos	18
2.3 Eficiência logística	24
2.4 Tecnologias de manufatura aditiva	26
2.4.1 Estereolitografia (SLA)	27
2.4.2 Sinterização seletiva a laser (SLS)	28
2.4.3 Modelagem por deposição fundida (FDM)	29
2.4.4 Jateamento de aglutinantes (Binder Jetting)	30
2.4.5 PolyJet ou Material Jetting	31
2.5 Vantagens e desvantagens da manufatura aditiva	32
2.5.1 Vantagens	32
2.5.1.1 <i>Facilidade nas alterações de produtos</i>	33
2.5.1.2 <i>Redução de falhas de projeto</i>	33
2.5.1.3 <i>Grande variedade de materiais</i>	33
2.5.1.4 <i>Mais velocidade para ir ao mercado</i>	33
2.5.1.5 <i>Agilidade (cadeia logística mais ágil)</i>	33
2.5.1.6 <i>Desempenho de produto exclusivo com impressão 3D</i>	34
2.5.1.7 <i>Redução de custos (produção, transporte, estocagem e armazenamento)</i> ..	34
2.5.1.8 <i>Mão de obra reduzida</i>	35
2.5.1.9 <i>Complexidade</i>	35
2.5.1.10 <i>Customização</i>	35
2.5.1.11 <i>Redução de resíduos e desperdícios de material</i>	35
2.5.1.12 <i>Economia de energia</i>	36
2.5.1.13 <i>Diferenciação competitiva</i>	36
2.5.2 Desvantagens	36
2.5.2.1 <i>Preço</i>	36
2.5.2.2 <i>Conhecimento</i>	37
2.5.2.3 <i>Complexidade das peças fabricadas</i>	37
2.5.2.4 <i>Manutenção</i>	37
3 METODOLOGIA DE PESQUISA	38

3.1 Classificação da Pesquisa	38
3.2 Metodologia	39
3.3 Técnica de pesquisa	40
3.4 Instrumentos de pesquisa	41
3.5 Coleta e análise dos dados	41
4 BENCHMARKING, CUSTOS E APLICAÇÃO PRÁTICA	43
4.1 Benchmark em empresa do ramo (manufatura aditiva)	43
4.1.1 Empresa selecionada	43
4.1.2 Atuação da empresa utilizada como benchmark	43
4.1.3 Atuação da empresa-benchmark junto à Ambev	44
4.1.4 Metodologia da empresa-benchmark	45
4.2 Custos	45
4.3 Pesquisa – mercado das empresas de ônibus no Brasil	45
4.3.1 Impacto provocado pela pandemia da Covid-19	46
4.3.2 Números da mobilidade urbana no Brasil	49
5 PESQUISAS E LEVANTAMENTOS	54
5.1 Aplicação dos principais conceitos	54
5.2 Aplicações de manufatura aditiva em diversos segmentos	57
5.2.1 Empresa Vale	57
5.2.1.1 Estudo de caso – Empresa Vale – Equipamento 1	57
5.2.1.2 Estudo de caso – Empresa Vale – Equipamento 2	59
5.2.2 Empresa Ambev	61
5.2.3 Empresa GOL	63
5.2.4 Segmento de plataformas de petróleo	63
5.2.5 Empresa Eletrolux	63
5.2.6 Empresa Volkswagen	64
5.2.7 Área da saúde	64
5.2.8 Automobilismo	64
5.2.9 Culinária	64
5.2.10 Transporte de passageiro por ônibus	64
5.3 Fator Crítico de sucesso	67
6 PROPOSTA DE SOLUÇÃO	69
6.1 Aplicação prática em empresa do setor de transporte de passageiros	69
6.1.1 Escolha da empresa e leitura de sua realidade atual	69
6.1.2 Visão geral de custos, referente à empresa escolhida	70
6.1.3 Estrutura, qualificação, treinamento, pessoas, tecnologias e processos 71	
6.1.3.1 Estrutura de tecnologia	71
6.1.3.2 Pessoas (qualificação e treinamento)	71
6.1.3.3 Processos	71
7 ANÁLISE DE VIABILIDADE	73
7.1 Unidade de negócios eleita para o mapeamento de oportunidades	73

7.2 Análise de viabilidade Técnica.....	76
7.3 Análise de viabilidade Financeira	78
8 CONCLUSÕES.....	86
REFERÊNCIAS	88

1 RESUMO EXECUTIVO

O transporte público de passageiros das cidades brasileiras vem perdendo consistentemente o volume de demanda de usuários, ao mesmo tempo em que o desenvolvimento e sustentabilidade das cidades dependem fundamentalmente de um sistema de transporte coletivo conectado e de qualidade.

É fato que a sociedade almeja por mudanças significativas no transporte público, demandando um sistema integrado multimodal, que permita o deslocamento dentro das cidades, de forma mais ágil, segura e confortável, exigindo dos operadores investimentos massivos e recorrentes na renovação dos veículos, o que se torna amplamente desafiador, quando considerado o modelo de atuação pressionado por margens financeiras cada vez mais desafiadoras e sustentado por tarifas pagas por usuários de menor renda e maior vulnerabilidade social.

Diante deste cenário, o aperfeiçoamento do nível de eficiência operacional torna-se essencial para a sustentabilidade do negócio, tornando-se ainda mais desafiador, quando consideradas as mais vastas e imprevisíveis características de atuação ao redor de um país de dimensões continentais como o Brasil, seja pela grande desigualdade de infraestrutura nas diferentes regiões, seja pela dificuldade de acesso aos recursos necessários para a sustentação de uma operação regular e de qualidade.

O objetivo deste estudo é explorar meios alternativos e inovadores de encurtamento da cadeia logística, através do processo de manufatura aditiva, com a internalização da produção de peças de reposição de veículos, utilizando-se a tecnologia de impressão 3D, e consequentes reduções nos custos de transporte, prazos e capital imobilizado na forma de estoques, além da maximização da disponibilidade dos ativos, combinado com um menor impacto ambiental, por meio da redução da pegada de carbono oriunda da logística destas peças.

Foram mapeados, durante as etapas do estudo, os diferentes processos de produção com adição de camadas, que utilizam como base um modelo geométrico 3D, e as diferentes tecnologias disponíveis para a integração das etapas de desenvolvimento do projeto, a custo viável, com a utilização do sistema CAD (Volpato e Carvalho, 2018 e Romeiro Filho, 2010). Além disso, com o objetivo de explorar meios de tornar o processo mais ágil e mais escalável, foram mapeadas as diferentes

tecnologias de Engenharia Reversa, que consistem em replicar digitalmente, em um modelo tridimensional, a partir de um objeto real já existente.

O desenvolvimento das metodologias de aplicação prática, mapeamento de riscos e o estudo de viabilidade econômica foram efetuados em uma parceria com a empresa Forge (especializada no desenvolvimento de soluções através de manufatura aditiva em escala), vislumbrando-se a implementação de um projeto-piloto na unidade de transporte público do Grupo CSC localizada na cidade de Itaquaquecetuba, na grande São Paulo.

1.1 Problema de pesquisa

Além dos fatores mencionados anteriormente, o transporte coletivo foi severamente atingido pelos efeitos da pandemia do coronavírus. A medida de manter em operação o maior número de veículos durante os primeiros meses de pandemia, mesmo com a drástica redução de demanda de passageiros, gerou uma condição de grande endividamento para as empresas de transporte de passageiros.

A queda diária no volume de demanda de passageiros, segundo estudo realizado em maio e junho de 2020 pela Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos (NTU) alcançou cerca de 30 milhões de usuários e prejuízo de R\$ 3,72 bilhões, acumulados de março a junho de 2020. Ao longo dos dois anos de pandemia, este número chegou a R\$ 25,7 bilhões. (NTU 2020, NTU 2022)

Ainda assim, a pandemia não é a única responsável por esta queda de demanda no transporte coletivo, que já apresentava redução de 25% do volume entre os anos de 2014 e 2018. (Filho, Otávio Vieira da Cunha, 2020).

Outra pesquisa, também encomendada pela Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos (NTU, 2017), revelou que cerca de 70% das companhias avaliadas possuíam dívidas de origem tributária ou previdenciária, e ainda 3 em cada 10 empresas possuíam dívidas com a Previdência Social. Tais dívidas superam 30% do faturamento anual das companhias, e comprometem a qualidade dos serviços oferecidos aos usuários do sistema de transporte público urbano.

Os desafios aos operadores de transporte coletivo de passageiros se tornam ainda mais amplos quando suas operações estão concentradas em áreas remotas,

como exemplo a região Norte do Brasil, em que, segundo pesquisa CNT de Rodovias de 2021, 50% do total de km das vias são consideradas em péssimas condições.

Por fim, as consequências das operações em vias degradadas são refletidas nas condições dos veículos que efetuam o transporte de passageiros que, além de uma maior exposição de riscos à segurança dos usuários, também estão sujeitas a longos períodos de indisponibilidade dos ativos, uma vez que os fornecedores de peças de reposição não possuem representantes nestas localidades, impossibilitando a restauração e retorno ao serviço dos veículos danificados.

1.2 Justificativa da escolha do problema e relevância do projeto para a organização

O cenário de operação com margens financeiras cada vez mais justas pressionou as companhias a desenvolverem metodologias e processos que resultem em uma maior eficiência operacional, entregando aos usuários mais qualidade, segurança e agilidade, ao mesmo tempo em que os custos operacionais sejam otimizados.

A escolha do tema explorado foi direcionada pela necessidade de encurtamento da cadeia de fornecimento de partes de reposição de veículos, amplamente impactada pela pandemia do coronavírus, porém não exclusiva a este fato.

Diante de tais desafios logísticos, vislumbra-se que a manufatura aditiva apresenta um potencial diferencial competitivo, quando avaliada sua capacidade de fornecimento de peças de reposição através de um processo de produção interno e independente, e consequente redução dos custos de transporte, prazos de entrega e potencial capacidade de sustentação das operações das empresas com um menor impacto ambiental, por meio da redução da pegada de carbono oriunda da logística destas partes.

Além disso, há oportunidades de se explorar a redução dos recursos investidos na estocagem de peças, uma vez que a matéria-prima utilizada para a impressão de partes é única. Desta forma, é possível que as companhias utilizem desta oportunidade para geração de receita e consequente minimização dos impactos

financeiros provenientes da pandemia, com a comercialização das partes e dos imóveis utilizados para a acomodação destes itens.

Nesse sentido, portanto, formula-se a pergunta norteadora do presente estudo, a qual se pretende responder nos próximos capítulos: qual a atratividade para a implementação da manufatura aditiva em empresas do segmento do transporte rodoviário urbano de passageiros?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um modelo para a manufatura aditiva, tendo como estudo de caso uma empresa de transporte coletivo urbano de passageiros. Pretende-se, assim, evidenciar a potencial oportunidade de redução de custos, diante da possibilidade de se substituir a tradicional cadeia de fornecimento de peças de reposição, por um processo de produção interno, independente e customizado.

1.3.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos a serem alcançados pelo projeto, destacam-se:

- a) Contextualizar o cenário do transporte público de passageiros e os desafios enfrentados pelas empresas que operam a modalidade;
- b) Avaliar a viabilidade técnica, operacional e financeira da solução;
- c) Propor uma nova forma de atender as necessidades de peças das empresas, de uma forma disruptiva e inovadora;
- d) Ampliar o nível de qualidade e percepção dos usuários em relação ao serviço prestado.

1.4 Breve apresentação dos capítulos do “Projeto Aplicativo”

O estudo apresentado é composto por 8 capítulos, que têm como objetivo trazer maior estruturação, coesão e robustez aos assuntos abordados. Em regra, o primeiro

capítulo traz o resumo contemplando o cenário; a problemática da pesquisa, bem como os objetivos a serem alcançados. O segundo capítulo traz as bases conceituais que circundam as mais vastas tecnologias e processos de manufatura aditiva disponíveis no mercado atual. Para endossar a relevância do tema, são pontuadas questões relacionadas à aplicação das tecnologias, avaliação de indicadores de custos e desafios relacionados às atividades de confecção das partes de forma descentralizada.

No terceiro capítulo é exposta a metodologia de pesquisa, considerando-se o levantamento bibliográfico e a pesquisa-ação. O presente trabalho se baseou em uma apresentação das diferentes abordagens de metodologia, além da importância da revisão bibliográfica para embasamento do tema, contendo classificação, etapas e amostragens observadas pelos participantes do grupo.

No quarto capítulo, foram explorados os temas relacionados à análise do setor de manufatura aditiva e informações estruturadas acerca das realidades organizacionais do mercado das empresas de ônibus no Brasil. O quinto capítulo aprofunda-se nos conceitos e principais aplicações da manufatura aditiva nas mais diversas atividades produtivas e econômicas do Brasil.

No sexto e sétimo capítulos, são trazidas a análise de viabilidade, assim como a descrição da solução proposta para atender os objetivos específicos deste trabalho.

Por fim, o oitavo capítulo evidencia as considerações finais e um breve resumo sobre a relevância do tema para desenvolvimentos de futuros estudos.

2 BASES CONCEITUAIS

2.1 O que é manufatura aditiva

Não podemos fazer qualquer abordagem acerca da manufatura aditiva sem trazer à luz o conceito de “indústria 4.0”. Trata-se de termo que foi criado e disseminado pelos alemães no ano de 2011, durante uma importante feira de tecnologia, que contou com o apoio do governo e de indústrias do próprio setor.

A chamada “indústria 4.0” faz parte de um conjunto de estratégias que desafiam o setor industrial a realizar uma espécie de “4ª Revolução Industrial”, de forma que todo o seu processo se torne interconectado por meio de redes inteligentes, tornando-a mais eficaz e competitiva, e, em um segundo momento, permitindo que esses processos produtivos sejam capazes de se autogovernarem.

A indústria 4.0 traz inovações tecnológicas, a fim de tornar o processo produtivo mais eficaz e competitivo, de modo que, em tal cenário, a manufatura aditiva torna-se uma importante tecnologia, sendo utilizada nos processos de fabricação aplicados em diversos setores industriais.

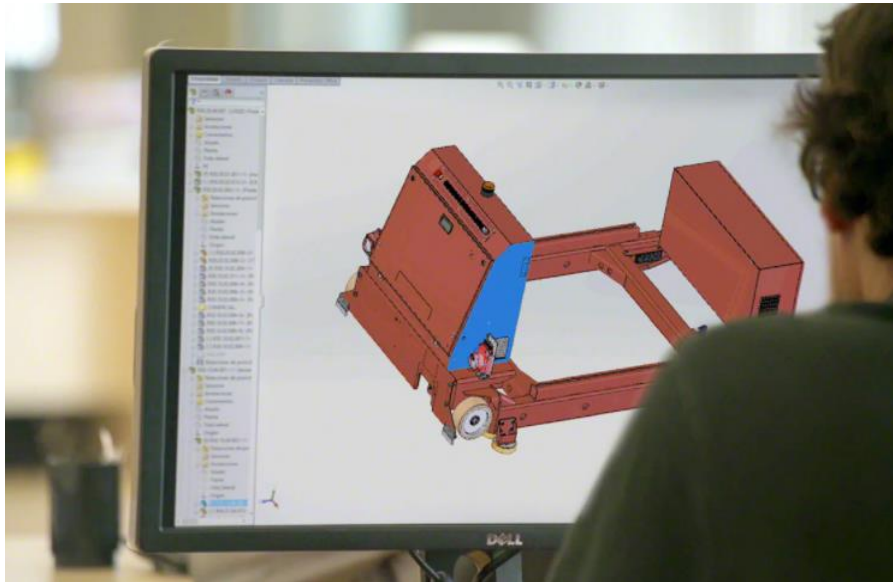
De acordo com Rodrigues, Jesus e Schützer (2016), Blanchet *et al.* (2014), sugere-se, assim, um novo cenário industrial, com a utilização de robôs, impressoras 3D e dispositivos sensoriais trabalhando de forma integrada, de maneira a viabilizar a flexibilização da cadeia produtiva e possibilitar a criação de produtos personalizados, nos quais a perda de material seja notadamente diminuída, justamente graças a um processo norteado pela manufatura aditiva.

Segundo Volpato e Carvalho (2018), a Manufatura Aditiva (ou AM, sigla em inglês para *Additive Manufacturing*) é um processo de produção com adição de camadas, que utiliza como base um modelo geométrico 3D, originado por um sistema de desenho assistido por computador (ou, em inglês, *Computer Aided Design - CAD*), que permite a fabricação de componentes físicos.

Conforme encontrado em diversos estudos, as ferramentas tecnológicas têm tido uma participação fundamental no processo de manufatura aditiva. Uma de suas vantagens é permitir a integração durante toda a etapa de desenvolvimento. Logo, o sistema CAD tornou-se uma ferramenta indispensável para que os produtos possam ser rapidamente projetados a custo viável (ROMEIRO FILHO, 2010).

O CAD (Figura 1) pode reduzir o tempo gasto no projeto, o número de protótipos que precisam ser feitos e, dependendo do tipo de produto, o número de moldes a serem fabricados, antes de se chegar à versão definitiva, buscando-se, assim, garantir a qualidade do produto.

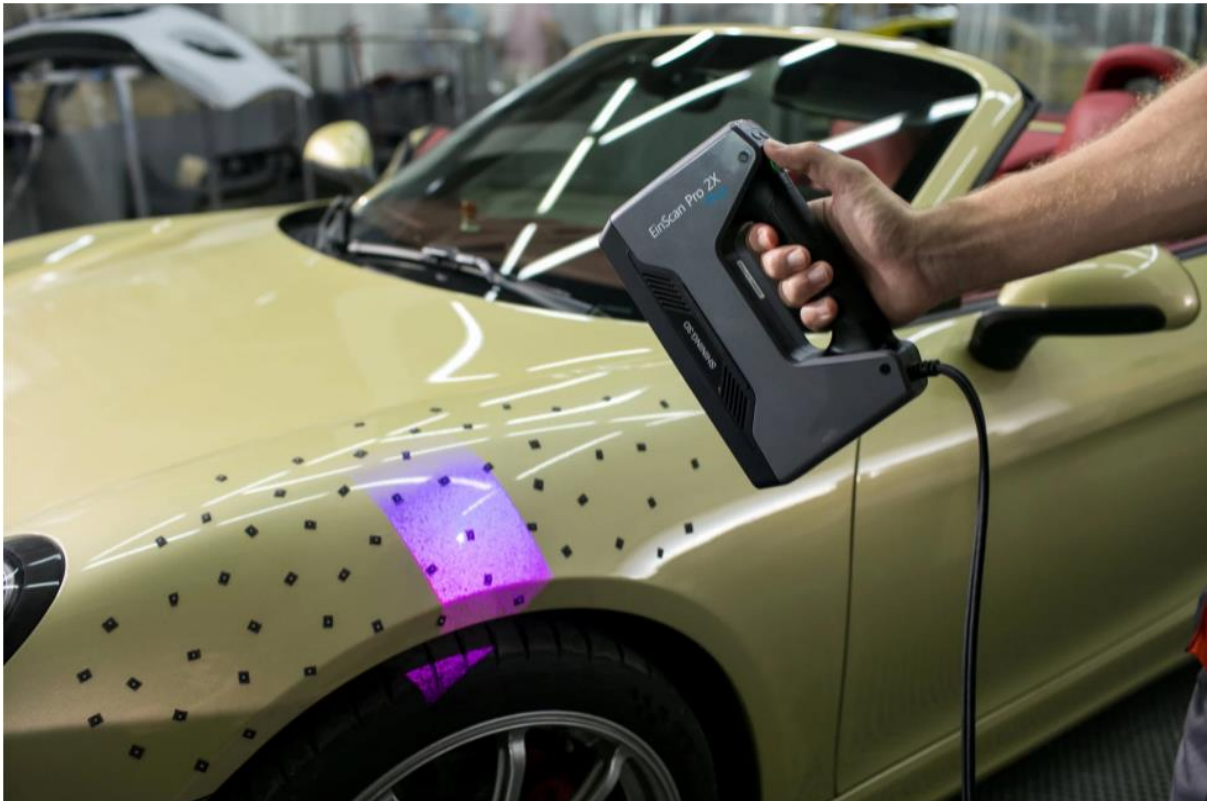
Figura 1 – Representação de uma peça desenhada na ferramenta CAD



Fonte: Mecalux (s.d.).

Outra tecnologia que pode promover economia de tempo no processo de manufatura aditiva é a Engenharia Reversa (ER). Trata-se de nova tecnologia que consiste em criar um modelo tridimensional no computador, que será visualizado no CAD, partindo-se de um objeto real já existente, por meio do uso de um digitalizador tridimensional (*scanner*, Figura 2), podendo ser por “apalpagem”, digitalização óptica ou digitalização a laser. Verifica-se, enfim, que a ER permite a alteração e o acréscimo de formas a um modelo, além da geração dos desenhos exatos do modelo escaneado.

Figura 2 – Exemplo de Escaneamento 3D

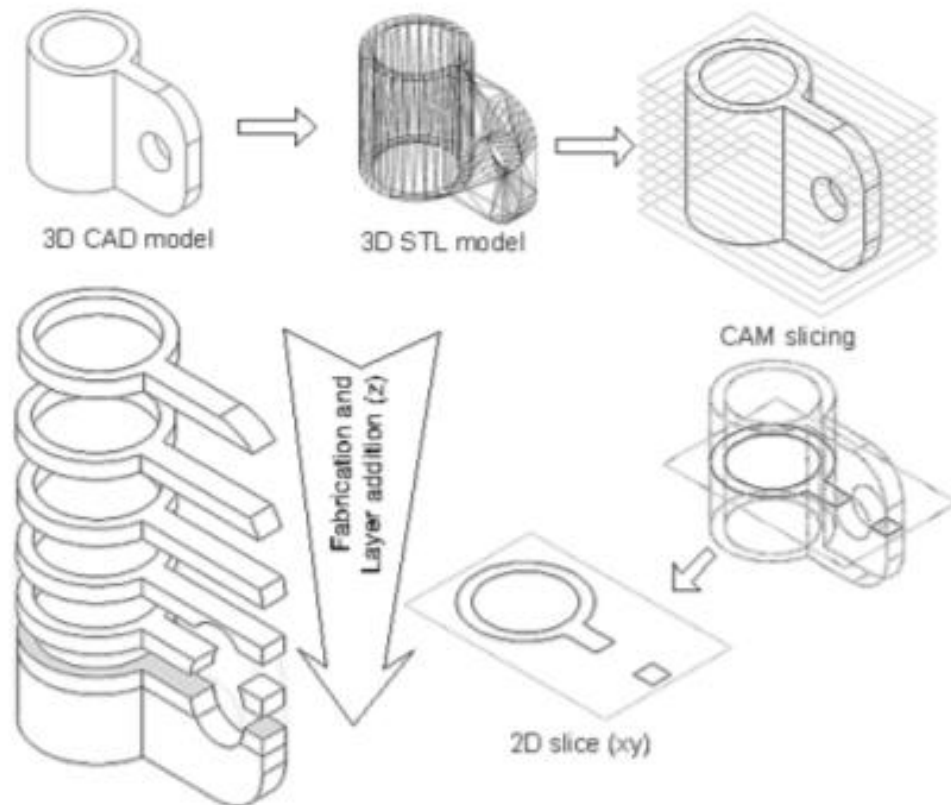


Fonte: PRINTIT3D (s.d.).

Baseado no modelo criado no CAD (desenhado na ferramenta ou escaneado a partir da engenharia reversa), o próximo estágio seria o “fatiamento” do modelo em curvas em 2D, definindo-se, de tal forma, as estruturas de suporte que serão a base da peça. Ainda nesse mesmo estágio, também é definido o tipo de material que será utilizado, de modo que, na próxima fase, a peça seja efetivamente fabricada.

Na Figura 3, com o objetivo de ilustrar o processo explicado, é apresentada uma sequência básica do processo de fabricação de um protótipo. Inicialmente, é criado um modelo CAD da peça (desenhado ou escaneado), depois converte-se o arquivo CAD em formato STL e, posteriormente, é feito o fatiamento da peça em finas camadas transversais. A construção física do modelo é gerada pela máquina, empilhando-se uma camada sobre a outra e, finalmente, é feito o acabamento. O modelo é montado através do depósito de camadas, umas sobre as outras, de um material como plástico, gesso-resina, dentre outros.

Figura 3 – Processo de manufatura por adição de camadas



Fonte: Beal (2005).

Após a conclusão da fabricação da peça, dá-se início à fase final do processo, denominada “pós-processamento”. Nessa fase, é realizado o acabamento da peça, que pode variar de acordo com a tecnologia usada no processo de impressão.

Esse conceito de fabricação cria objetos, adicionando camadas de material, metal ou plástico, como matéria-prima. Utilizada na fabricação em série, a manufatura aditiva pode reduzir custos, produzir com maior agilidade e precisão.

Conclui-se, por fim, que o processo em análise pode ser mais bem aplicado em setores nos quais a personalização e a precisão são fundamentais. Por meio dele, portanto, é possível fabricar peças e componentes de reposição para a indústria de transporte automotivo, aéreo, ferroviário, etc.

2.2 Processos logísticos

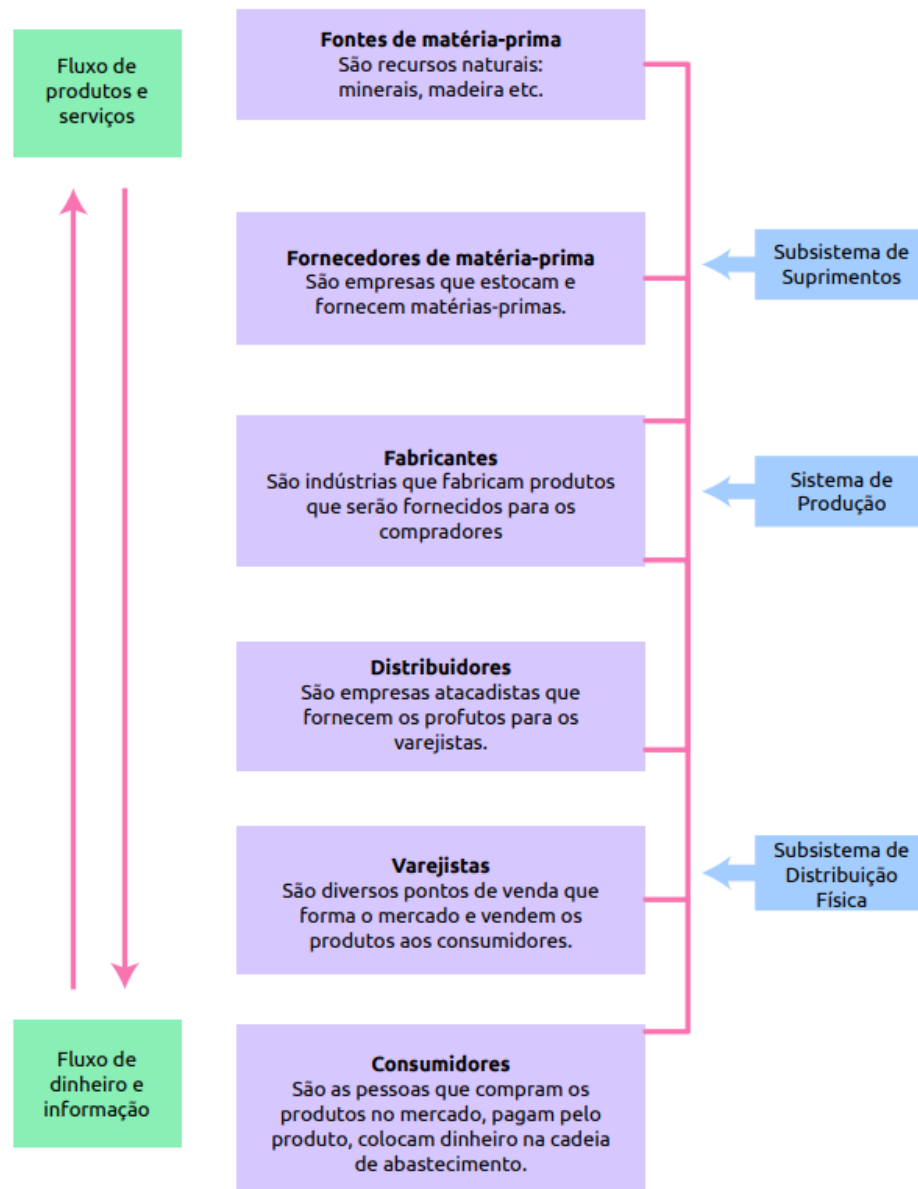
Para compreender os conceitos que estão relacionados com *supply chain management* (gerenciamento da cadeia de suprimento), é necessário entender a evolução do conceito de logística integrada, que pode ser dividida em cinco fases:

- Na primeira fase, o gerenciamento está voltado para a administração de materiais, destacando-se a gestão de estoque.
- Na segunda fase, o gerenciamento concentra-se na distribuição dos produtos com a otimização dos sistemas de transporte.
- Na terceira fase, a grande preocupação é com a implantação da logística integrada, unindo os diferentes participantes da cadeia de suprimentos (o fornecedor, o cliente, o transportador etc.).
- Na quarta fase, a perspectiva dominante passa a ser o gerenciamento da cadeia de suprimento – *supply chain management*.
- Na quinta fase, que acontece após a empresa estar integrada com todos os segmentos da cadeia de suprimento, procura-se aprimorar essa integração incorporando ao processo novas técnicas de gerenciamento dos negócios, por exemplo, a resposta eficiente ao consumidor – ECR. Nesta etapa, predominam amplas alianças e parcerias entre as empresas.

A cadeia de suprimento tem como objetivo principal fornecer para o consumidor final (aquele que compra o produto) produtos em qualidade e quantidade de acordo com suas necessidades, e a preços compatíveis (preços que ele possa pagar).

Na Figura 4, cada caixa representa um segmento ou um agente da cadeia, que depende daquela que a antecede. A indústria depende dos fornecedores de matéria-prima, e os distribuidores dependem dos fabricantes. É possível ver claramente que existe uma corrente do primeiro ao último segmento. Cada agente está ligado a um segmento que o antecede ou que o precede. É a chamada cadeia de suprimentos. Nessa cadeia existem dois fluxos (representados pelas setas): um que vai dos fornecedores da matéria-prima até o consumidor final (fluxo de material ou fluxo físico) e outro que vai do consumidor até o fornecedor de matéria-prima (fluxo de dinheiro e informação). É chamado de fluxo, porque o produto percorre um caminho e, nesse trajeto, existem os serviços, como o transporte, que desloca o produto de um segmento para o outro. Já o fluxo de informação e dinheiro origina-se quando o consumidor faz o pedido. É ele que dispara todos os outros fluxos.

Figura 4 – Modelo geral da cadeia de suprimento (*supply chain*)



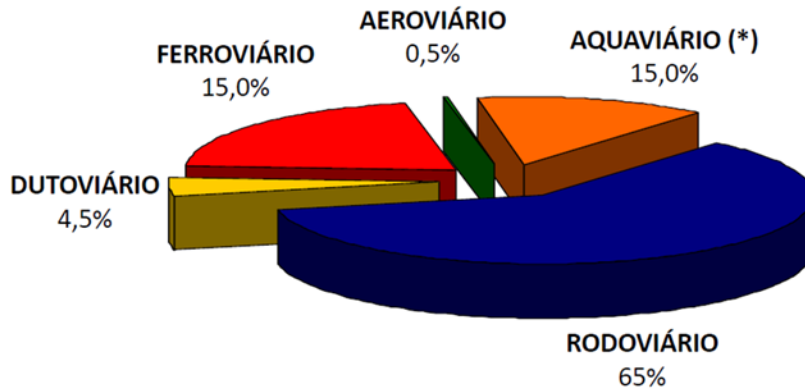
Fonte: SEST_SENAT (2016).

Inicialmente, antes de analisar qualquer outro aspecto pertinente aos processos logísticos, é importante destacar a função do transporte dentro de tal ciclo, uma vez que se trata do elemento mais significativo no que se refere à operação logística, podendo representar até 70% do custo logístico total.

Verifica-se que o transporte unifica o movimento de bens desde o ponto de origem (seja ele sua extração, produção ou comercialização) até o ponto de consumo, caracterizando-se como o processo que proporciona a disponibilidade desses produtos à sociedade.

Dados da CNT de agosto/2021 indicam uma forte dependência da matriz de transporte brasileira ao modal rodoviário, correspondendo a cerca de 65% das operações, conforme Gráfico 1.

Gráfico 1 – Modais de transporte utilizados no Brasil



Fonte: CNT-AGO /2021.

(*) Inclui navegação interior, de cabotagem e de longo curso.

Fonte: CNT (2021).

Diante de tais dados, conclui-se que o desenvolvimento de processos logísticos mais eficientes se faz essencial à longevidade das operações das companhias e está diretamente ligado a um planejamento adequado e visão sistêmica do negócio, de forma agregada à cadeia de fornecimento em que a empresa está inserida.

A logística é uma área da Administração que se dedica a organizar os processos de produção das organizações, cujo escopo compreende toda a movimentação de materiais, dentro e fora das empresas, incluindo a chegada de matéria-prima, estoques, produção e distribuição, até o momento em que o produto é colocado à disposição do consumidor final.

Os processos logísticos específicos de cada empresa devem ser devidamente mapeados, com a identificação de oportunidades de desenvolvimento de melhores práticas a partir da compreensão geral dos processos e de como interagem com os diversos departamentos. De tal sorte, é possível dimensionar adequadamente os recursos e implementar ferramentas de gestão, reduzindo desperdícios e ampliando a produtividade dos envolvidos em cada uma das etapas do processo (gerenciamento

de materiais e recursos, armazenamento, distribuição, gerenciamento de compras e transporte).

A logística integrada apresenta-se como uma importante ferramenta para o alcance dessa eficiência, pois atua no agrupamento de todo o processo logístico da empresa junto aos seus clientes e fornecedores, permitindo que as informações sejam convertidas e filtradas em planos específicos, dentro das diversas áreas de atuação das organizações. Essa integração traz diversos benefícios operacionais, como: uma resposta mais rápida às oportunidades de mercado; diminuição dos volumes de estoque; consolidação da movimentação e ganho de escala; e maior qualidade dos serviços prestados, na perspectiva do cliente.

Tem-se, no âmbito do referido conceito, a necessidade de administração e monitoramento das diversas etapas existentes nos fluxos logísticos integrados, que são agrupados em 3 diferentes áreas:

- Logística *inbound*: processos internos de gestão, que envolvem a aquisição, transporte e armazenamento, com o monitoramento de qualidade junto aos fornecedores.
- Logística industrial: atuação focada no fornecimento de insumos aos departamentos de produção, assim como o transporte e controles internos dos produtos produzidos.
- Logística *outbound*: processos logísticos aos consumidores finais, no ambiente externo às empresas.

A etapa de distribuição, dentro do processo logístico, agrupa as atividades relacionadas ao gerenciamento dos produtos que deixam as unidades fabris ou de comercialização em direção aos clientes que adquiriram essas mercadorias. Essas atividades envolvem planejamento das cargas e definição do modal a ser aplicado, roteirização das entregas e administração dos indicadores de eficiência e satisfação dos clientes finais.

Os cinco modais de transporte básicos utilizados na distribuição são os seguintes: ferroviário, rodoviário, aquaviário, dutoviário e aéreo. A importância relativa de cada modal pode ser medida em termos da quilometragem do sistema, volume de tráfego, receita e natureza da composição do tráfego.

O Quadro 1 resume a estrutura de custos fixos-variáveis de cada modal, ao passo em que a Tabela 1 classifica as características operacionais de cada modal quanto aos seguintes fatores: velocidade, disponibilidade, confiabilidade, capacidade e frequência. Essas características serão discutidas a seguir.

Quadro 1 – Estrutura de custos para cada modal

<p>FERROVIÁRIO. Altos custos fixos em equipamentos, terminais, vias férreas etc. Custo variável baixo.</p>
<p>RODOVIÁRIO. Custos fixos baixos (rodovias estabelecidas e construídas com fundos públicos). Custo variável médio (combustível, manutenção etc.).</p>
<p>AQUAVIÁRIO. Custo fixo médio (navios e equipamentos). Custo variável baixo (capacidade para transportar grande quantidade de tonelagem).</p>
<p>DUTOVIÁRIO. Custo fixo mais elevado (direitos de acesso, construção, requisitos para controles das estações e capacidade de bombeamento). Custo variável mais baixo (nenhum custo com mão de obra de grande importância).</p>
<p>AEROVIÁRIO. Custo fixo alto (aeronaves e manuseio, e sistemas de carga). Alto custo variável (combustível, mão de obra, manutenção etc.).</p>

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 1 – Características operacionais relativas por modal de transporte (a menor pontuação indica uma melhor classificação)

Características operacionais	Ferrovário	Rodoviário	Aquaviário	Dutoviário	Aéreo
Velocidade	3	2	4	5	1
Disponibilidade	2	1	4	5	3
Confiabilidade	3	2	4	1	5
Capacidade	2	3	1	5	4
Frequência	4	2	5	1	3
Resultado	14	10	18	17	16

Fonte: Elaborada pelos autores.

A “velocidade” refere-se ao tempo decorrido de movimentação em uma dada rota, também conhecido como tempo de trânsito, sendo o modal aéreo o mais rápido de todos.

“Disponibilidade” é a capacidade que um modal tem de atender a qualquer par origem-destino de localidades. As transportadoras rodoviárias apresentam a maior disponibilidade, já que conseguem dirigir-se diretamente aos pontos de origem e destino, caracterizando-se, assim, como um serviço porta a porta.

“Confiabilidade” refere-se à variabilidade potencial das programações de entrega esperadas ou divulgadas. Os dutos, devido ao seu serviço contínuo e à possibilidade restrita de interferência pelas condições de tempo e de congestionamento, ocupam lugar de destaque no item confiabilidade.

“Capacidade” consubstancia a possibilidade de um determinado modal de lidar com qualquer requisito de transporte, como tamanho e tipo de carga. O transporte realizado pela via marítima ou fluvial é o mais indicado para essa tarefa.

A classificação final refere-se à “frequência”, que está relacionada à quantidade de movimentações programadas. Novamente, os dutos lideram o item frequência devido ao seu contínuo serviço realizado entre dois pontos.

2.3 Eficiência logística

A manufatura aditiva possui, como um de seus principais diferenciais competitivos, a possibilidade de dispensar uma cadeia de fornecimento através de um processo de produção interno e independente e, conseqüentemente, reduzir os custos de transporte, prazos de entrega e sustentar as operações das empresas com um menor impacto ambiental, por meio da redução da pegada de carbono oriunda da logística de peças de reposição.

As peças podem ser produzidas de forma independente, seja através do envio, de forma centralizada, dos desenhos que podem ser produzidos, ou por meio de processos de escaneamento 3D, eliminando-se, assim, qualquer necessidade logística. Tal fator torna-se extremamente vantajoso, sobretudo em um país de dimensões continentais como o Brasil (com suas diversas regiões de difícil acesso), apresentando, assim, como uma exponencial oportunidade de incremento de eficiência operacional e redução de custos.

Outro ponto de destaque é a oportunidade de redução dos investimentos em estoques, uma vez que a matéria-prima utilizada para a impressão de partes é única, permitindo que as empresas convertam ou comercializem as áreas anteriormente dedicadas a esse fim.

A manufatura aditiva pode ser comparada com processo de corte a laser, conforme mostra o estudo *Análise comparativa de processos: Manufatura aditiva x Produção em massa*, de 2019, publicado no ENEGEP (Quadro 2).

Quadro 2 – Comparação entre o processo de impressão 3d e corte a laser

	Comparativo entre o processo de impressão 3D e Corte a laser	
	Manufatura aditiva	Corte a laser
Warm up do processo	Tempo de preparo entre usinagens de 20min	Sem necessidade do tempo de preparo
Tempo de usinagem do piloto	5x mais lento que laser para uma peça	20% do tempo da manufatura aditiva
Tempo de usinagem do lote	9x mais lento que o processo a laser para 3	11% do tempo da manufatura aditiva
Acabamento superficial	Pode apresentar problemas devido à temperatura de extrusão	Boa qualidade
Investimento no maquinário	Baixo	Alto
Custo do processo	Dependendo do material utilizado no filamento. No estudo, mais barato o custo foi de R\$ 3,34	Custo por peça de R\$ 5,38 (61% mais caro)

Fonte: ENEGEP (2019).

O processo de impressão 3D pode ser feito por duas formas. A primeira seria o “FDM” (*Fused Deposition Modeling* ou Modelagem de Deposição Fundida). No processo, um fio (filamento) é depositado em camadas, para criar um objeto impresso em 3D. Durante a atividade, o filamento de plástico passa por um bico quente que deixa o plástico maleável, de modo a ser direcionado pelo cabeçote de impressão.

Em paralelo, tem-se o “SLA”, uma resina líquida que é endurecida pela aplicação de luz focalizada ou luz UV (esse processo é chamado de cura). Porém, trata-se de processo que foge do escopo de estudo deste trabalho.

Por fim, tem-se o processo de “injeção”, que consiste em colocar plástico quente sob pressão em um molde.

Traz-se a este estudo um breve comparativo de custos vs quantidade de peças (Tabela 2 e Gráfico 2).

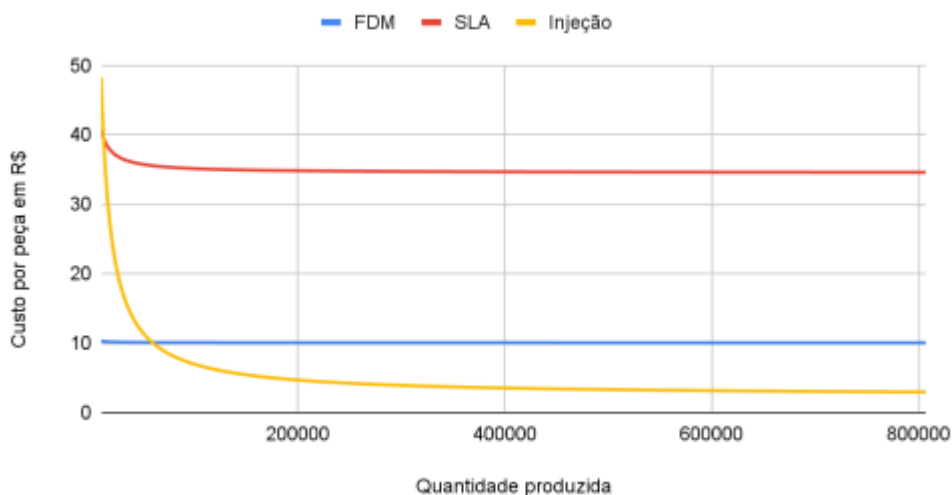
Tabela 2 – Comparação entre o processo de impressão 3d e injeção

	Comparativo entre o processo de impressão 3D e injeção	
	Impressão 3D	Injeção
Investimento no maquinário	R\$2.460,00	R\$459.058,00
Custo por peça	R\$ 2,37	R\$ 0,786
Tempo de fabricação	80 peças/mês	160.000 peças/mês
Custo de material por peça	R\$7,68	R\$1,60

Fonte: Teixeira (2021).

Gráfico 2 – Custo por peça vs processo de fabricação

Custo por peça



Fonte: Teixeira (2021).

2.4 Tecnologias de manufatura aditiva

A manufatura aditiva é uma tecnologia em constante evolução. Estima-se que a origem dos princípios básicos dessa tecnologia seja trazida de tempos muito distantes, quando os egípcios já utilizavam a técnica de construção por sobreposição de camadas, utilizando blocos que eram empilhados em camadas sucessivas para construir suas pirâmides.

Nos tempos atuais, a tecnologia de manufatura aditiva teve como suas precursoras a topografia e a foto escultura, cujos pioneiros foram nomes como Blather (1890), Zang (1964), Swainson (1968), Matsubara (topografia) e Ciraud (foto escultura, 1972). Tais desbravadores da manufatura aditiva realizaram importantes

contribuições, quando então, em 1982, Alan Herbert, funcionário da empresa 3M em Minnesota, publicou a obra *Solid Object Generation* e apresentou, academicamente, um sistema de polimerização por meio de um feixe de laser ultravioleta, comandado por um sistema computadorizado (VOLPATO; CARVALHO, 2018).

No final dos anos 80, surgiram vários tipos de impressoras 3D, que tinham a finalidade de produzir protótipos em três dimensões, de forma rápida e generalizada. O pioneiro no desenvolvimento dessa tecnologia, tendo patenteado a “estereolitografia” em 1986, foi Charles W. Hull, sócio e fundador da 3D Systems, empresa que, no ano de 1988, foi a primeira a comercializar essa tecnologia no mercado (GIORDANO; ZANCUL; RODRIGUES, 2016).

Desde 1988, quando se iniciou a comercialização das impressoras 3D, até os dias atuais, levando-se em consideração a tecnologia empregada ou matéria-prima utilizada para a fabricação das peças (que pode ser líquida, sólida ou em pó), existiram múltiplas variações de como a manufatura aditiva pode ser executada.

Atualmente, existem mais de trinta opções de técnicas disponíveis no mercado, em termos de manufatura aditiva. Dentre elas, traz-se, a seguir, uma retrospectiva descritiva de suas principais.

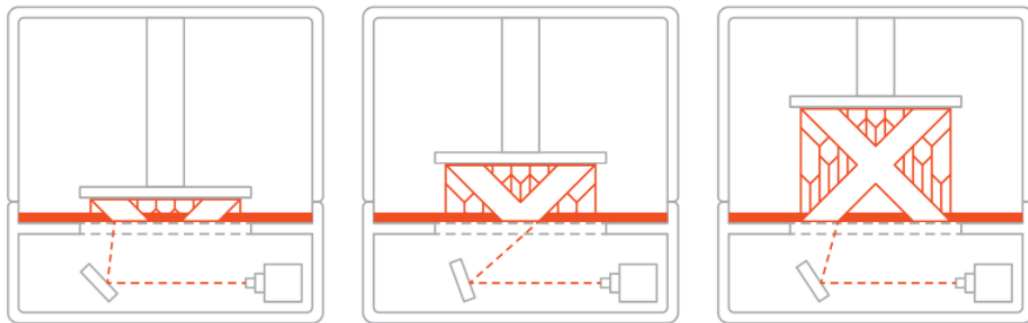
2.4.1 Estereolitografia (SLA)

Também conhecida como “polimerização de cuba”, trata-se da primeira técnica de manufatura aditiva a ser concebida. Esse método utiliza como material de fabricação uma resina líquida solidificada sob o efeito da luz ultravioleta.

Uma impressora “SLA” usa espelhos (conhecidos como galvanômetros ou galvos), sendo um posicionado no eixo X e outro no eixo Y. Esses galvos apontam rapidamente um feixe de laser através de uma cuba de resina, curando seletivamente e solidificando uma seção transversal do objeto dentro dessa área de construção, construindo-a camada por camada. A maioria das impressoras “SLA” usa um laser de estado sólido para curar peças (Figura 5).

A desvantagem desses tipos de tecnologia de impressão 3D (que utilizam um laser de pontos) é a possibilidade de maior demora no rastreamento da seção transversal de um objeto.

Figura 5 – Processo de impressão 3D: Polimerização da Cuba



Fonte: Engiprinters (2019).

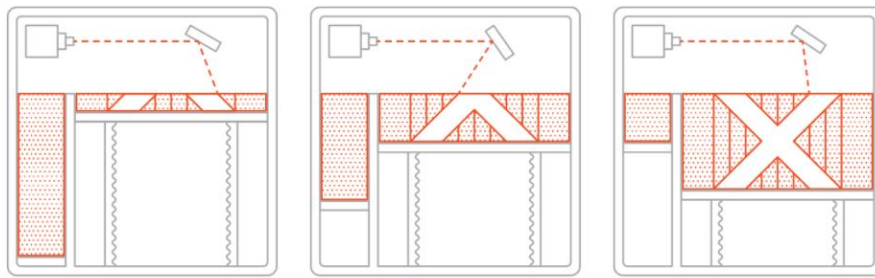
2.4.2 Sinterização seletiva a laser (SLS)

Inventada no final da década de 80, na Universidade do Texas, esse tipo de manufatura aditiva combina um laser com pó de plástico para criar novos objetos.

Primeiro, um recipiente de pó de polímero é aquecido a uma temperatura logo abaixo do ponto de fusão do polímero. Em seguida, uma lâmina de recobrimento (ou um limpador) deposita uma camada muito fina do material em pó – tipicamente 0,1 mm de espessura – sobre uma plataforma de construção. Na sequência, um raio laser de CO₂ começa a escanear a superfície. O laser, então, de forma seletiva, sinterizará o pó e solidificará uma seção transversal do objeto.

Assim como o “SLA”, o laser é focado no local correto por um par de galvus. Quando toda a seção transversal é digitalizada, a plataforma de construção se moverá para baixo, a uma espessura de camada de altura. Em seguida, a lâmina de recobrimento deposita uma nova camada de pó no topo da camada recentemente escaneada, e o laser irá sinterizar a próxima seção transversal do objeto sobre as seções transversais previamente solidificadas. Essas etapas são repetidas até que todos os objetos sejam totalmente fabricados. Por fim, o pó que não foi sinterizado permanece no lugar para suportar o objeto que possui, o que elimina a necessidade de estruturas de suporte (Figura 6).

Figura 6 – Processo de impressão 3D: Fusão de Cama em Pó (Metais)



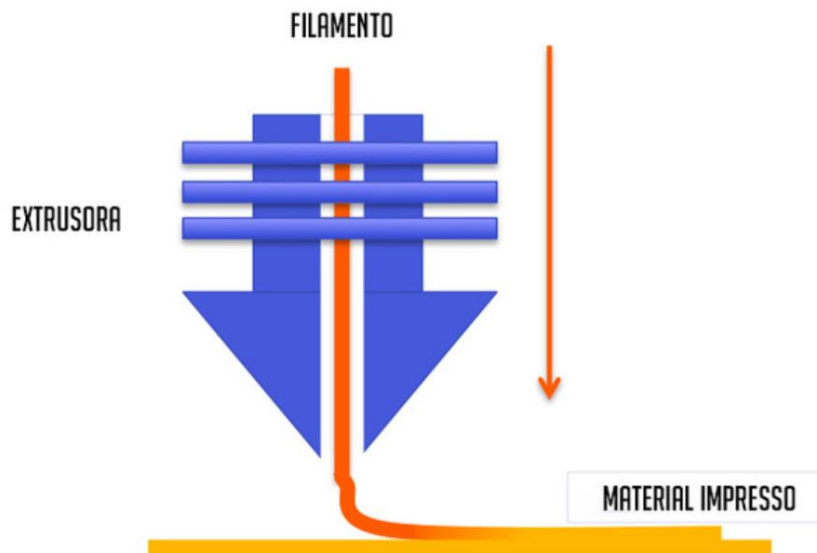
Fonte: Engiprinters (2019).

2.4.3 Modelagem por deposição fundida (FDM)

Popularizada devido ao seu fácil e econômico manuseio, esse sistema — patenteado como “FDM” — permite modelar protótipos e produzir em pequena escala. A “FDM” torna possível a impressão de objetos em 3D para usar “filetagem” de material.

O plástico é um dos materiais mais comumente usados na modelagem por deposição fundida. O processo envolve a distribuição de plástico derretido, camada por camada, usando uma extrusora de movimento, a fim de construir o objeto desejado, sendo, nos dias de hoje, utilizado, principalmente, por impressoras 3D para casas (Figura 7).

Figura 7 – Processo de impressão 3D: Modelagem por deposição fundida



Um diagrama que ilustra a impressão 3D FDM.

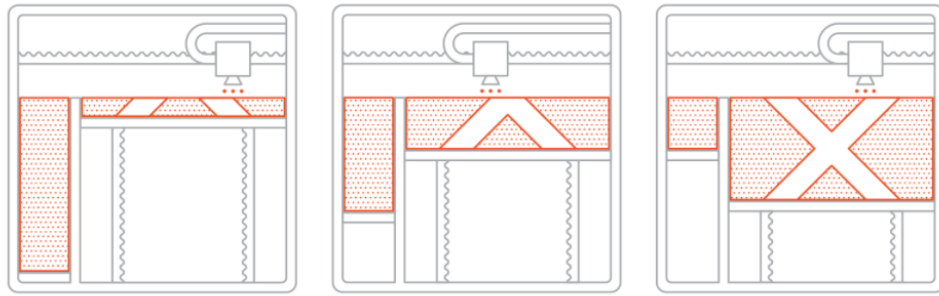
Fonte: Engiprinters (2019).

2.4.4 Jateamento de aglutinantes (*Binder Jetting*)

Consiste em pulverizar um aglutinante líquido sobre um leito de pó que logo se solidifica. Materiais como cerâmica, metal, vidro, areia e polímeros podem ser impressos usando essa técnica. O *Binder Jetting* é uma tecnologia de impressão 3D similar ao “SLS”, com a exigência de uma camada inicial de pó na plataforma de criação. Ao contrário do “SLS”, porém, o qual utiliza um laser para sinterizar o pó, o *Binder Jetting*, por sua vez, movimenta uma cabeça de impressão sobre as gotículas de aglutinante depositadas na superfície do pó, que são, tipicamente, de 80 micra de diâmetro.

Essas gotículas ligam as partículas de pó juntas para produzir cada camada do objeto. Uma vez impressa uma camada, o leito de pó é baixado e uma nova camada de pó é espalhada sobre a camada recentemente impressa. Esse processo é repetido até que um objeto completo seja formado (Figura 8).

Figura 8 – Processo de impressão 3D: Jet Binder

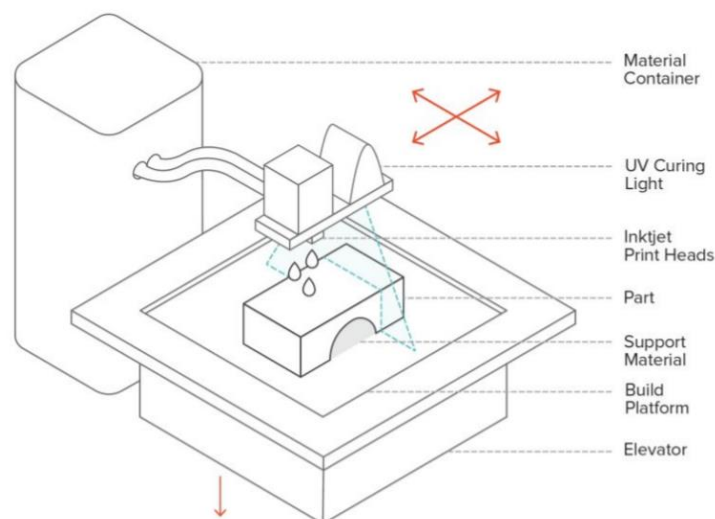


Fonte: Engiprinters (2019).

2.4.5 PolyJet ou Material Jetting

Trata-se de máquina constituída por um laser direcionado a um leito de pó metálico, a qual constrói peças usando gotículas de fopolímero líquido, que são solidificadas com luz UV. Sua utilização é voltada à fabricação de protótipos e peças finais de metal, totalmente funcionais, em questão de dias (Figura 9).

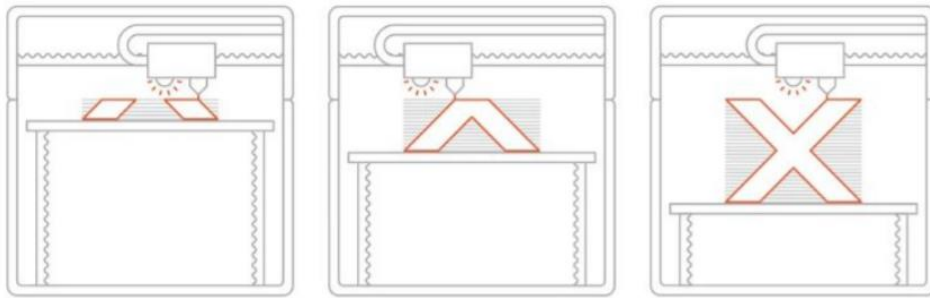
Figura 9 – Processo de impressão 3D - PolyJet ou Material Jetting



Fonte: 3Dnatives (2019).

Várias cabeças de impressão depositam gotículas em uma linha do eixo X, que digitaliza para frente e para trás, ao longo do eixo Y. O processo é repetido em camadas até que o objeto esteja concluído (Figura 10).

Figura 10 – Processo de impressão 3D - PolyJet ou Material Jetting



Fonte: Engiprinters (2019).

Embora existam várias técnicas que utilizam metal e plástico para construir objetos camada por camada, cada vez mais empresas estão experimentando outros materiais, inclusive com alimentos.

Dentre a imensa quantidade de tecnologias que são tendências para o novo modelo de se fazer indústria no século XXI, a manufatura aditiva promete ser uma das principais e das que mais trarão sucesso nesse estágio da “indústria 4.0”.

2.5 Vantagens e desvantagens da manufatura aditiva

A popularização dessa tecnologia proporciona uma série de vantagens ao se aderir à manufatura aditiva na “indústria 4.0”, já que essa se tornou uma tecnologia mais acessível, resultando na economia de investimento, sem que isso interfira na qualidade do serviço, além da praticidade de se poder fabricar uma grande variedade de geometrias e materiais, de uma forma rápida e eficiente, podendo impulsionar os resultados de um negócio.

2.5.1 Vantagens

Para algumas empresas pode ser muito vantajoso trocar os antigos maquinários por impressoras 3D. Nesse sentido, descrever-se-ão, a seguir, alguns dos ganhos mais atraentes.

2.5.1.1 Facilidade nas alterações de produtos

Na manufatura tradicional, as modificações em um projeto na fase de produção podem resultar em aumento nos custos ou atrasos. Já na manufatura aditiva, os projetos estáticos dão lugar a um processo que permite aos engenheiros produzirem várias versões de um único projeto, de maneira econômica.

2.5.1.2 Redução de falhas de projeto

A manufatura aditiva possibilita a impressão de vários protótipos, de modo que se possa melhor observar a função e o apelo estético de um *design*. Assim, empresas conseguem resolver as distorções no *design* ou na funcionalidade de um produto, antes que ele chegue ao mercado. Tudo de forma rápida e com custos menores do que se imaginava, quando apenas a manufatura tradicional estava à disposição.

2.5.1.3 Grande variedade de materiais

Atualmente, os materiais de impressão 3D mais comuns são os plásticos. Porém, o uso de metais em impressoras também encontra espaço em aplicações industriais. Como já citamos, as peças impressas em 3D podem ter alta resistência ao calor, alta resistência ou rigidez e até serem biodegradáveis. Isso resulta em peças com propriedades únicas adequadas às aplicações específicas.

2.5.1.4 Mais velocidade para ir ao mercado

A fabricação aditiva reduz drasticamente o *lead time* de produção.

2.5.1.5 Agilidade (cadeia logística mais ágil)

A produção eficiente do projeto digital ao modelo físico possibilita uma prototipagem rápida. Cadeias de suprimentos tradicionais não são conhecidas por sua capacidade de resposta rápida. Ao reduzir a duração da fabricação e cortar ou reduzir o transporte, a impressão 3D quase anula os prazos de entrega. Dependendo da complexidade, a maioria das peças impressas é produzida em horas, não em

semanas. De tal modo, a produção pode ser facilmente dimensionada com várias máquinas para atender à demanda.

2.5.1.6 Desempenho de produto exclusivo com impressão 3D

A impressão 3D possibilita a produção de pequenos lotes, com uma vantagem significativa: liberdade geométrica. Peças de uso final e peças de reposição feitas com métodos de produção tradicionais, como moldagem por injeção, devem seguir regras restritivas de projeto para fabricação.

Essas regras mudam substancialmente com a impressão 3D, permitindo geometrias mais exóticas e eficientes, o que também pode alavancar o *design* generativo. Essa técnica usa IA (inteligência artificial) para melhorar o desempenho estrutural, economiza o uso de materiais e pode reduzir ainda mais o ciclo de projeto para fabricação.

2.5.1.7 Redução de custos (produção, transporte, estocagem e armazenamento)

A manufatura aditiva permite que peças sejam produzidas em pequenas quantidades, diminuindo-se, assim, o custo unitário. Atualmente, um dos principais usos da impressão 3D é a prototipagem. Comparada a outras tecnologias, as impressoras 3D oferecem mais vantagens em custos e tempo. A velocidade da produção de protótipos acelera o ciclo do design (*design*, teste, aprimoramento, *redesign*). Os produtos que exigiam meses de desenvolvimento, agora, podem ficar prontos em algumas semanas.

Além disso, ao se adotar uma impressora 3D para fabricação de peças sob demanda, é possível economizar até 85% em custos de envio (transporte). Da mesma forma, evitar-se-ão custos relacionados a eventual falta de estoque, pois as peças são impressas na medida exata de sua respectiva demanda.

Portanto, quando se trata de peças de baixa rotatividade, a impressão 3D garante plena disponibilidade do produto por meio de fabricação sob demanda. Essencialmente, as impressoras 3D podem substituir o inventário *just-in-time*. Os armazéns virtuais podem enviar arquivos de modelo 3D, digitalmente, para a impressora 3D mais próxima. Empresas de logística já estão usando a impressão 3D

para complementar seus serviços, quando peças específicas são necessárias no menor tempo possível.

2.5.1.8 Mão de obra reduzida

No passado, a terceirização para fábricas no exterior funcionava bem (em termos financeiros), justamente porque os respectivos custos de mão de obra eram absurdamente baratos. A impressão 3D, por sua vez, reduz a dependência dessa variável.

2.5.1.9 Complexidade

Trata-se de inegável vantagem competitiva, uma vez que a manufatura aditiva permite a criação de peças com geometrias complexas.

2.5.1.10 Customização

Graças à tecnologia em análise, é possível oferecer serviços sob medida, com projetos personalizados para necessidades específicas e com pequenas tiragens de produção. A impressão 3D permite a fácil personalização dos objetos, de sorte que cada item pode ser personalizado de acordo com as ideias do projeto, sem afetar os custos de fabricação. O *design* da peça pode ser facilmente alterado, antes que a produção aconteça, sendo possível desenvolver um protótipo em condições reais para verificar a funcionalidade do produto.

2.5.1.11 Redução de resíduos e desperdícios de material

Quando a comparamos com os métodos tradicionais de manufatura, a manufatura aditiva, sem sombra de dúvidas, gera significativamente menos desperdícios, o que resulta também em menores custos. A impressão 3D produz peças camada sob camada; portanto, ao contrário dos métodos de fabricação subtrativa, como a usinagem CNC, a manufatura aditiva coloca o filamento somente onde é necessário. Menos material desperdiçado significa menos custos de transporte e descarte de resíduos, além de ser mais sustentável.

2.5.1.12 Economia de energia

Como utiliza menos materiais e elimina etapas no processo de produção, a fabricação aditiva pode reduzir significativamente o uso de energia.

2.5.1.13 Diferenciação competitiva

Da mesma forma que a Über influenciou a indústria de táxis e a AirBnb o setor de hospedaria, os consumidores têm um controle cada vez maior sobre as cadeias de suprimentos. Como a digitalização alimenta a “economia de demanda”, a impressão 3D combina perfeitamente com a manufatura conectada.

Essa produção de peças sob demanda oferece a oportunidade de maiores níveis de personalização para produtos finais ou em fase de desenvolvimento. Têm-se, a título de exemplo, roupas com elementos impressos personalizados ou uma capa de *smartphone* com um *design* personalizado. As peças também podem ser individualizadas, como auxiliares de fabricação com ergonomia específica para cada trabalhador.

2.5.2 Desvantagens

De fato, à luz de tantas incalculáveis vantagens, as vendas de impressoras 3D só crescem em todo o mundo. Todavia, assim como qualquer outra tecnologia, a despeito de suas inegáveis vantagens, também é possível enumerar algumas desvantagens possíveis de lhe serem associadas. Nesse sentido, passa-se, a seguir, a se enumerar algumas dessas desvantagens, as quais são consideradas mais relevantes.

2.5.2.1 Preço

As impressoras e seus insumos tornam-se relativamente caros, se não forem bem empregados. Assim, com vistas a se obter o desejado *payback* do investimento empregado, torna-se necessária uma quantidade considerável de produção. Portanto, comprar uma máquina para se ter em casa, ou realizar tal investimento no âmbito de

uma pequena empresa – a menos que seja um *hobby* ou objeto de pesquisa – é algo que, geralmente, não se viabiliza financeiramente.

2.5.2.2 Conhecimento

A manufatura aditiva exige conhecimentos técnicos que não estão ao alcance de qualquer utilizador, justamente por usar *softwares* específicos de modelagem 3D, o que pode se tornar um desafio para os leigos. Dominar as ferramentas ao ponto de transformar as ideias e imagens do computador para objetos do mundo real exige muita dedicação.

2.5.2.3 Complexidade das peças fabricadas

Trabalhos mais elaborados exigem impressoras mais complexas, logo, valores mais elevados atrelados aos equipamentos exigidos (ou seja, um custo mais alto, envolvendo a aquisição da respectiva impressora 3D).

2.5.2.4 Manutenção

Os equipamentos de manufatura aditiva exigem uma manutenção muito específica e de carácter contínuo, sendo necessário, pois, realizar processos de limpeza no maquinário, após cada utilização. Portanto, conclui-se que tais máquinas possuem um custo de manutenção relativamente elevado.

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

Discorrer-se-á, neste tópico, acerca do tipo de pesquisa adotado para este trabalho científico, bem como as técnicas aplicadas para a coleta e análise de dados. A seguir, portanto, serão expostos, de forma mais detalhada, as técnicas e instrumentos a serem utilizados, bem como as etapas que nortearão o desenvolvimento desta produção acadêmica.

3.1 Classificação da Pesquisa

Quanto aos fins

- exploratória
- descritiva
- descritiva-conclusiva
- causal/explicativa

Quanto aos meios:

- estudo de caso único
- estudo comparativo de casos
- estudo de casos múltiplos
- observação-participante
- experimento
- survey/levantamento/estudo de campo
- outro tipo:

Tipo de abordagem:

- qualitativa
- quantitativa
- combinação quali e quanti (triangulação)
- experimento

3.2 Metodologia

Conforme já apontado no capítulo introdutório do presente trabalho, tem-se como objetivo a elaboração de uma robusta base acadêmica que possa servir como referência científica para novos estudos e aplicações da manufatura aditiva, sobretudo no que se refere aos processos e modelos de negócio voltados ao atendimento das prementes necessidades relacionadas à demanda de peças de reposição automotivas, por parte das empresas de transporte urbano de passageiros em regiões que apresentam um déficit de fornecimento de tais partes mecânicas.

Consoante a forma de pesquisa exploratória, pretende-se trazer ao estudo uma maior familiaridade com as características das tecnologias de impressão tridimensional, de forma a expor suas vantagens competitivas, quando aplicadas em diferentes segmentos da indústria, comércio e prestação de serviços. De tal sorte, almeja-se estabelecer alicerces teóricos e científicos suficientemente adequados, com vistas ao desenvolvimento de um modelo de negócio capaz de solucionar as dores de empresas de transporte urbano de passageiros, conforme já sinalizado no capítulo introdutório do presente trabalho.

Diante de tal escopo, busca-se realizar uma pesquisa bibliográfica em torno de referências teóricas publicadas em meios escritos e eletrônicos, tais como livros, artigos científicos e páginas da web. De acordo com Gil (2002, p.44), por pesquisa bibliográfica entende-se a leitura, análise e interpretação de material impresso (livros, documentos, periódicos, imagens, manuscritos, mapas, entre outros). Trata-se, pois, de tarefa que propicia ao pesquisador aprofundar o seu conhecimento acerca daquilo que já se produziu relativamente a esse tema.

O desenvolvimento do trabalho, portanto, foi pautado nas seguintes etapas:

- Etapa I: Delimitação do tema e formulação do problema.
- Etapa II: Elaboração e entrega das bases conceituais.
- Etapa III: Levantamento do material de referência.
- Etapa IV: Análise, ordenação e compilação dos dados que serão parte integrante da pesquisa.
- Etapa V: Elaboração final do trabalho escrito da pesquisa.
- Etapa VI: Revisão e correção do trabalho escrito da pesquisa.

3.3 Técnica de pesquisa

Adotar-se-á, pois, como técnica de pesquisa o estudo de casos múltiplos, de modo que se buscará realizar estudos, com a profundidade que o escopo desta pesquisa permitir, de casos reais de empresas de logística, as quais já utilizam a manufatura aditiva de forma complementar aos seus serviços, quando peças de reposição específicas são necessárias, no menor tempo possível.

A esse respeito, Gil (1999, p.72) ensina que a referida técnica de pesquisa é caracterizada “pelo estudo profundo e exaustivo de um, ou de poucos objetos, de maneira a permitir o seu conhecimento amplo e detalhado”. Trata-se, pois, de técnica que revela um caráter eminentemente empírico, na medida em que objetiva investigar um fenômeno, considerando-se o cenário prático e atual em que está inserido.

Nesse sentido, Gil (2002) descreve os propósitos do estudo de caso:

- a) explorar situações da vida real, cujos limites não estão claramente definidos; b) preservar o caráter unitário do objeto estudado; c) descrever a situação do contexto em que está sendo feita determinada investigação; d) formular hipóteses ou desenvolver teorias; e) explicar as variáveis causais de determinado fenômeno em situações muito complexas que não possibilitam a utilização de levantamentos e experimentos. (GIL, 2002, p.54).

De tal sorte, ou seja, por meio da ampliação do conhecimento empírico, de forma ampla e detalhada, acerca de casos reais de utilização da manufatura aditiva na indústria e setor de serviços (mas, sobretudo, no setor logístico), será possível formular hipóteses, teorias e, enfim, desenvolver as bases teóricas de um modelo de negócio capaz de solucionar as dores de empresas de transporte urbano de passageiros, no que se refere à logística de peças de reposição automotivas.

Já a preponderante vantagem da mencionada técnica de pesquisa é justamente revelar a realidade do setor estudado, bem como as razões que causaram tais fatos. Logo, sua contribuição consubstanciará a identificação dos problemas e suas respectivas possíveis soluções. No que se refere a eventuais limitações, trata-se de método de pesquisa que pode gerar dificuldade de generalização. Segundo Gil (2002):

- A análise de um único ou poucos casos de fato fornece uma base muito frágil para a generalização. No entanto os propósitos do estudo de caso não são os de proporcionar o conhecimento preciso, mas sim proporcionar uma visão global do problema ou de identificar possíveis fatores que o influenciam ou são por eles influenciados. (GIL, 2002, p.55).

3.4 Instrumentos de pesquisa

Adotar-se-á, como instrumento de pesquisa, a observação participante. Desde os primórdios, os seres humanos aprimoraram seu conhecimento empírico justamente por meio da observação, utilizando-a, portanto, para diversas finalidades voltadas ao desenvolvimento do saber científico.

Segundo Gil (1999), “a observação participante, ou observação ativa, consiste na participação real do conhecimento na vida da comunidade, do grupo ou de uma situação determinada”. (GIL, 1999, p.113).

A observação, portanto, na qualidade de instrumento de absorção de conhecimento, permite ao pesquisado coletar dados, visualizar fatos, bem como analisá-los e contestá-los. Neste estudo, almeja-se, pois, realizar a forma “participante” de observação, haja vista que se pretende proceder a uma análise crítica em relação aos dados e fatos colhidos.

3.5 Coleta e análise dos dados

Consoante a obra de Gil (2002, p.141), o estudo de caso deve se valer de procedimentos de coleta de dados, os mais variados, ao passo em que, por tal razão, o seu respectivo procedimento de análise e interpretação pode, naturalmente, envolver diferentes modelos de análise.

Passa-se, então, à coleta e análise de dados. O início da fase de coleta de dados para este trabalho acadêmico deu-se com a busca e avaliação acerca da pertinência das publicações encontradas e selecionadas, dentre aquelas com relevante teor no que se refere à evolução das tecnologias de impressão tridimensional e às vantagens competitivas que a manufatura aditiva proporcionou aos processos, negócios e empresas que a adotaram. Tais dados puderam ser encontrados em portais de periódicos como capes.gov.br, sciencedirect.com, slideshare.net, researchgate.net et al, além de uma busca por dissertações e livros que puderam complementar, com uma robusta base teórica, o desenvolvimento do referido tema.

Adotou-se, portanto, o método de pesquisa por palavras-chave (tais como “manufatura aditiva”, “impressão 3D”, “tecnologia disruptiva”), o qual se mostrou bastante efetivo, uma vez que retornou vasto material, no que diz respeito às várias

abordagens e aplicações que as técnicas de manufatura aditiva vêm recebendo, por todo o Brasil e ao redor do mundo.

Com a conclusão da etapa de coleta do material bibliográfico, iniciou-se um processo de enquadramento das informações adquiridas ao escopo deste trabalho, partindo-se, então, à análise qualitativa do conteúdo do material adquirido. Trata-se, pois, de importante fase da presente pesquisa, pois se mostra determinante ao objetivo de avaliar quais informações possuem a relevância desejada para compor a estrutura desta produção acadêmica.

Por derradeiro, tendo sido finalizada a etapa de análise e ordenação dos fatos e dados relacionados, pretende-se iniciar a arquitetura do trabalho escrito, tendo como objetivo uma redação que possa exteriorizar os dados de forma lógica e linear, de maneira a evidenciar suas principais informações, proporcionar as adequadas discussões que lhes serão pertinentes, e finalizar com uma conclusão assertiva acerca do resultado absorvido por meio desta pesquisa, relacionando-o aos objetivos apregoados desde o seu início.

4 BENCHMARKING, CUSTOS E APLICAÇÃO PRÁTICA

4.1 *Benchmark* em empresa do ramo (manufatura aditiva)

4.1.1 *Empresa selecionada*

A título de *benchmark*, utilizar-se-á, neste trabalho, a empresa *Forge – A 3D Company* (inscrita no CNPJ sob nº 30.227.910/0001-72). Fundada em 2018, por dois colegas paulistas, a Forge tem como objetivo trazer diversas soluções aos seus clientes, através de manufatura aditiva em escala (FDM e SLA), atendendo a indústrias de ponta a ponta, por meio de serviços otimizados que buscam redução de custo, velocidade e sustentabilidade.

4.1.2 *Atuação da empresa utilizada como benchmark*

Sediada no centro de aceleração de *startups* no prédio do Cubo do Itaú, no bairro paulistano Vila Olímpia, a empresa está dividida em três frentes de atuação (FORGE, s.d.):

Consultoria:

- Mapeamento de peças, utilização de *frameworks* especializados para identificação de oportunidades e maior impacto operacional.
- Consultoria estratégica, alocação de profissionais especialistas focados no desenvolvimento de projetos complexos.

Infraestrutura:

- Equipamentos, linha de impressoras, voltada para a produção de componentes de engenharia de alta performance em escala.
- *Softwares*, plataforma de manufatura, otimização baseada no conceito de *EngineerOps*.

Produção:

- *MaaS*, oferta de serviços completa para operações eficientes de manufatura aditiva e produção.
- Produção em escala, capacidade produtiva com mais de 40 equipamentos de manufatura aditiva para escalar produções.

Com foco em linhas de produção e suas respectivas peças de manutenção, a empresa possui parcerias com o Grupo Boticário (segmento de cosméticos), Souza Cruz (tabaco), *Ingredion Incorporated* (processamento e refino de produtos alimentícios), *Speedbird Aero* (aviação nichada em aeronave não tripuladas), *Totvs* (desenvolvimento de softwares), Scania (montadora de caminhões), Azul (linhas aéreas) e Varian (fabricação de equipamentos médicos).

Além dos grandes clientes, a Forge também desenvolve projetos em parceria com empresas como Ambev, Basf (na área de inovações) e Iqus do Brasil. No âmbito dessas parcerias, são executados testes e homologação de novos filamentos que, futuramente, serão disponibilizados no mercado.

4.1.3 Atuação da empresa-benchmark junto à Ambev

No que diz respeito, especificamente, ao seu maior parceiro comercial (Ambev), a Forge desenvolveu, ao longo dos últimos anos, uma impressora customizada para a produção de peças de manutenção, que são utilizadas para reposições nas linhas de produção da Ambev. Além disso, também foram promovidas melhorias contínuas em programas desenvolvidos com os próprios empregados da Ambev, amparando-se em processos da metodologia *kaizen*.

No âmbito da Ambev, a concepção em torno do fornecimento de peças fabricadas por impressão 3D surgiu em uma feira de *startups* em Campinas/SP, ocasião em que, por meio de análises, foi possível estimar que uma parada de planta poderia acarretar a perda de produção de 86.000 litros em média, por dia. Além disso, como as plantas são uma linha de produção muito semelhante, foi verificado que se teria uma repetitividade de equipamentos muito semelhante entre todas elas, ou seja, uma padronização de ativos.

Com base nessas premissas, foi criado um piloto na fábrica modelo da Ambev em Guarulhos/SP, que foi expandida para 35 plantas da companhia em 5 países

(Argentina, Bolívia, Chile, Paraguai e México), com 52 impressoras em operação. A parceria auxiliou na criação de um banco de dados de peças modeladas em que os funcionários têm acesso aos desenhos já desenvolvidos, estatísticas de necessidade de impressão das outras fábricas pelo mesmo componente, tempo estimado de impressão ou fabricação, bem como outras informações que auxiliam na gestão e previsibilidade operacional.

4.1.4 Metodologia da empresa-benchmark

A metodologia utilizada pelo grupo consiste em verificar a complexidade de fabricação, que é realizada com base na experiência da equipe, dureza e resistência mecânica da peça, que é definida com respaldo em uma matriz de tipo de material e sua respectiva aplicação.

O custo e *lead time* são determinados pelo tipo de material utilizado, pelo parâmetro horas-homem (HH), e também por um *software* utilizado para programar a impressora, o qual é capaz de aferir e mostrar a quantidade de material e tempo que será utilizada na confecção de cada peça.

4.2 Custos

Em valores de julho de 2022, o custo estimado mensal para se ter acesso à plataforma e locação de uma impressora é de R\$ 1.500,00 (custo fixo), acrescido do preço de um filamento que, em média, custa R\$ 100,00 por quilograma. Verifica-se, portanto, que se trata de operação consideravelmente barata e de fácil escalabilidade em sua aplicação.

4.3 Pesquisa – mercado das empresas de ônibus no Brasil

Em 1862, o Rio de Janeiro (RJ) foi a primeira cidade brasileira a introduzir pequenas locomotivas a vapor com três vagões de passageiros (*steam tramway*). Então mais de dez cidades adotaram essa modalidade de transporte na segunda metade do século XIX. Os bondes elétricos chegaram ao País em 1892, trazendo maior eficiência ao sistema. Novamente, o Rio de Janeiro foi o primeiro município a adotá-los. Linhas de bondes elétricos foram implantadas em mais de 40 cidades,

colocando o Brasil entre as maiores e mais complexas redes de transporte desse tipo no mundo (ESTADÃO, 2020)

Essa realidade durou até meados dos anos 1960, quando os ônibus e, posteriormente, os automóveis tomaram a dianteira na preferência da população.

Organizações e Instituições importantes foram criadas para organizar melhor o setor, representar as operadoras de transporte frente ao poder público e à sociedade civil. Dentre elas estão:

A CNT (Confederação Nacional do Transporte): criada em 1954, é a representação máxima do transporte brasileiro. A instituição reúne 27 federações e 5 sindicatos nacionais. São 164 mil empresas e 2,3 milhões de empregos gerados. Na composição do Sistema CNT, a instituição também administra o SEST SENAT (Serviço Social do Transporte e Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte) e o ITL (Instituto de Transporte e Logística).

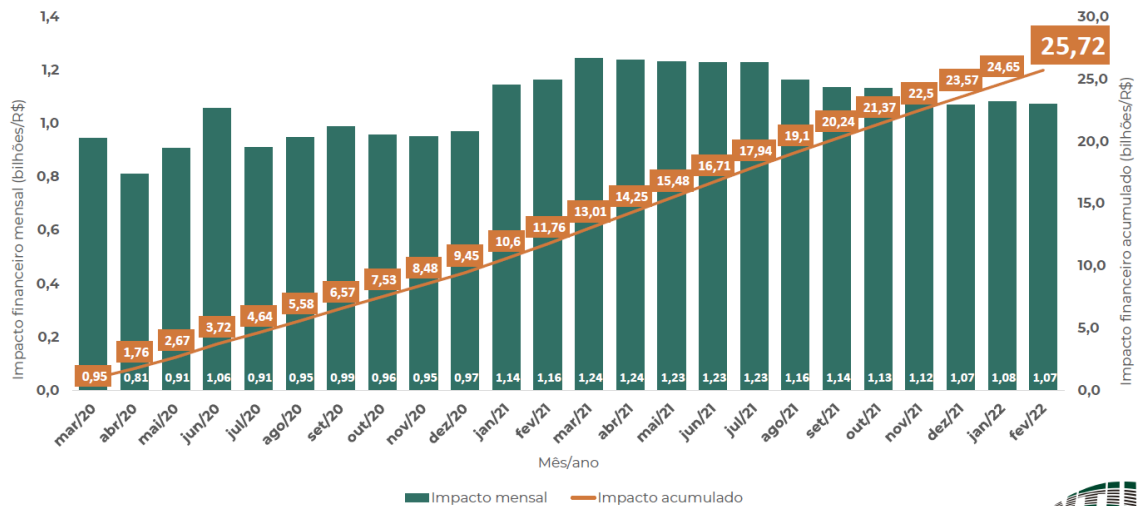
A NTU (Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos): fundada em 1987, é uma entidade de classe nacional, com o objetivo principal de representar as operadoras de ônibus urbanos e metropolitanos no Brasil.

4.3.1 Impacto provocado pela pandemia da Covid-19

A NTU (Associação Nacional das Empresas de Transporte Urbano) divulgou, em março de 2022, um novo relatório cujos dados apontam que o transporte público urbano por ônibus no Brasil perdeu R\$ 25,7 bilhões ao longo de dois anos de pandemia da Covid-19.

Esse valor foi aferido, pelo relatório, entre os 2.901 municípios brasileiros, no período analisado entre março de 2020 e fevereiro de 2022. O prejuízo corresponde a 33,8% do faturamento mensal do setor, registrado antes da pandemia. Por conta disso, o segmento pleiteia, atualmente, junto ao Governo Federal, um subsídio para que as empresas não precisem apenas depender da renda das tarifas (Gráfico 3).

Gráfico 3 – Prejuízo acumulado pelo setor



Fonte: NTU/Mídia.



Fonte: NTU (2022)

A NTU aponta, ainda, que duas atitudes do governo foram cruciais para agravar a crise. Primeiro, menciona-se a obrigatoriedade de se manter a oferta elevada de veículos para garantir o distanciamento social no transporte público. Com isso, o gasto das empresas se manteve alto, mesmo com a pouca demanda. A segunda atitude foi a ausência de uma medida emergencial, por parte do Governo Federal, a fim de garantir a continuidade da prestação do serviço.

O transporte público, como um todo, já enfrentava dificuldades antes mesmo da pandemia, em razão das constantes quedas no número de passageiros. Segundo o documento, de 1994 a 2012, a redução da demanda de passageiros foi de 24,4%. Já no período de 2013 até 2019, a diminuição alcançou 26,1%.

Diante de tal cenário, em que as empresas concessionárias de operações de linhas municipais são remuneradas apenas pelas tarifas dos modais, o modelo de negócios atual tornou-se, segundo o relatório, “totalmente insustentável para enfrentar o impacto da covid-19” (NTU, 2022).

Assim, em decorrência da crise causada pela pandemia, 49 empresas ou consórcios operacionais interromperam a prestação de serviços, e 16 entraram em processo de recuperação judicial. A Figura 11 revela justamente isso:

Figura 11 – Interrupção da prestação de serviços



Fonte: NTU (2022).

Outra consequência negativa foram as demissões. O saldo entre admissões e demissões indica uma redução de 92.581 mil postos de trabalho, de acordo com dados do CAGED, divulgados pelo Painel do Emprego da Confederação Nacional do Transporte (CNT), para o período de janeiro de 2020 até janeiro de 2022. Isso representa 22,7% de todos os empregos gerados pelo setor antes da pandemia.

Por fim, para completar esse problemático panorama, a crise aumentou a ocorrência de paralisações. Em todo o país, 107 sistemas de transporte público por ônibus foram atingidos por 379 movimentos grevistas, protestos ou manifestações, que ocasionaram a interrupção da oferta de serviços. O principal motivo foi a incapacidade das operadoras de pagarem salários e benefícios aos colaboradores, devido ao já mencionado desequilíbrio econômico-financeiro.

Segundo o documento, o período foi marcado por cinco momentos distintos:

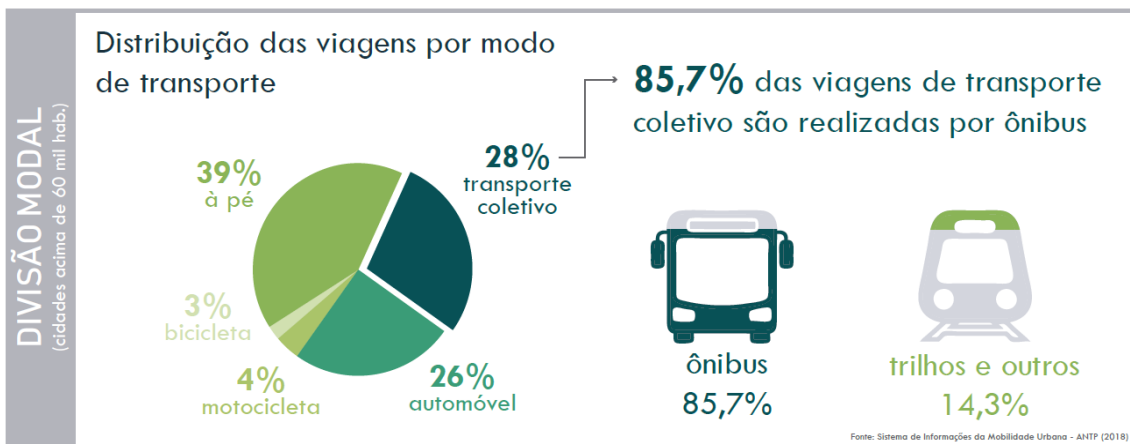
- 1) Redução vertiginosa da quantidade de passageiros transportados nos três primeiros meses de pandemia, chegando a 80% de queda.
- 2) Lenta recuperação (de maio até agosto de 2020), quando a demanda atingiu o nível de 55% e a oferta de 75%, em relação à situação observada antes da pandemia.

- 3) Estabilização, a partir de setembro de 2020 até fevereiro de 2021, com a demanda oscilando entre 55% e 61%, e a oferta entre 75% e 80%.
- 4) De março a julho de 2021, houve nova diminuição da demanda (54% - 57%), resultante das medidas implementadas para conter a segunda onda da pandemia. Verificou-se, no período, um nível médio de oferta, com pequena recuperação, oscilação entre 81% e 83%.
- 5) De agosto de 2021 a fevereiro de 2022, houve recuperação da demanda (60% - 70%), impulsionada pelo avanço da vacinação e pela flexibilização das medidas de restrição da circulação de pessoas, com a oferta alcançando até 84% da programação operacional anterior à pandemia.

4.3.2 Números da mobilidade urbana no Brasil

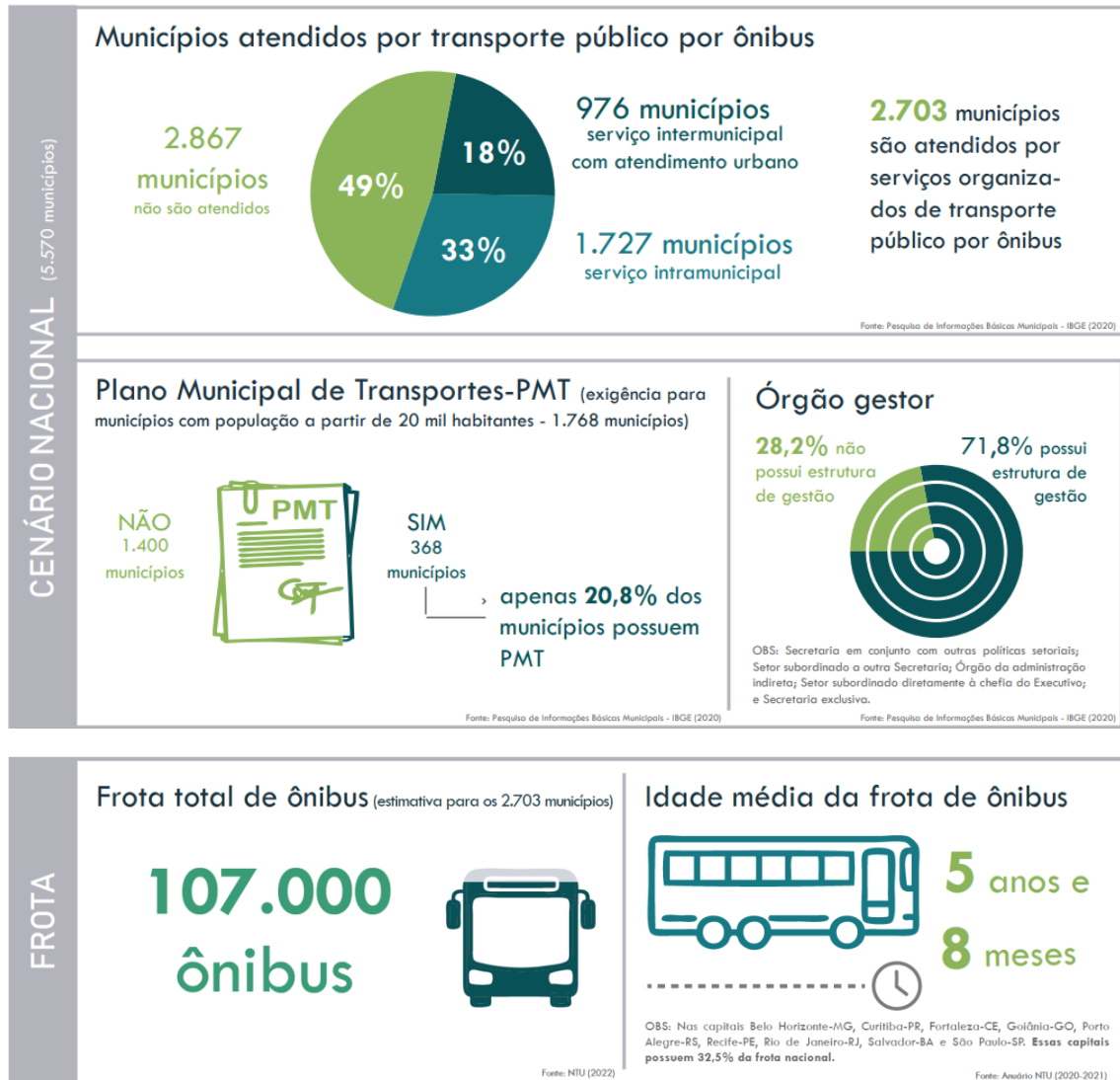
As Figuras de 12 a 14 e Tabela 3 demonstram os números da mobilidade urbana no Brasil.

Figura 12 – Divisão Modal



Fonte: NTU (2022).

Figura 13 – Cenário nacional e frota



Fonte: NTU (2022).

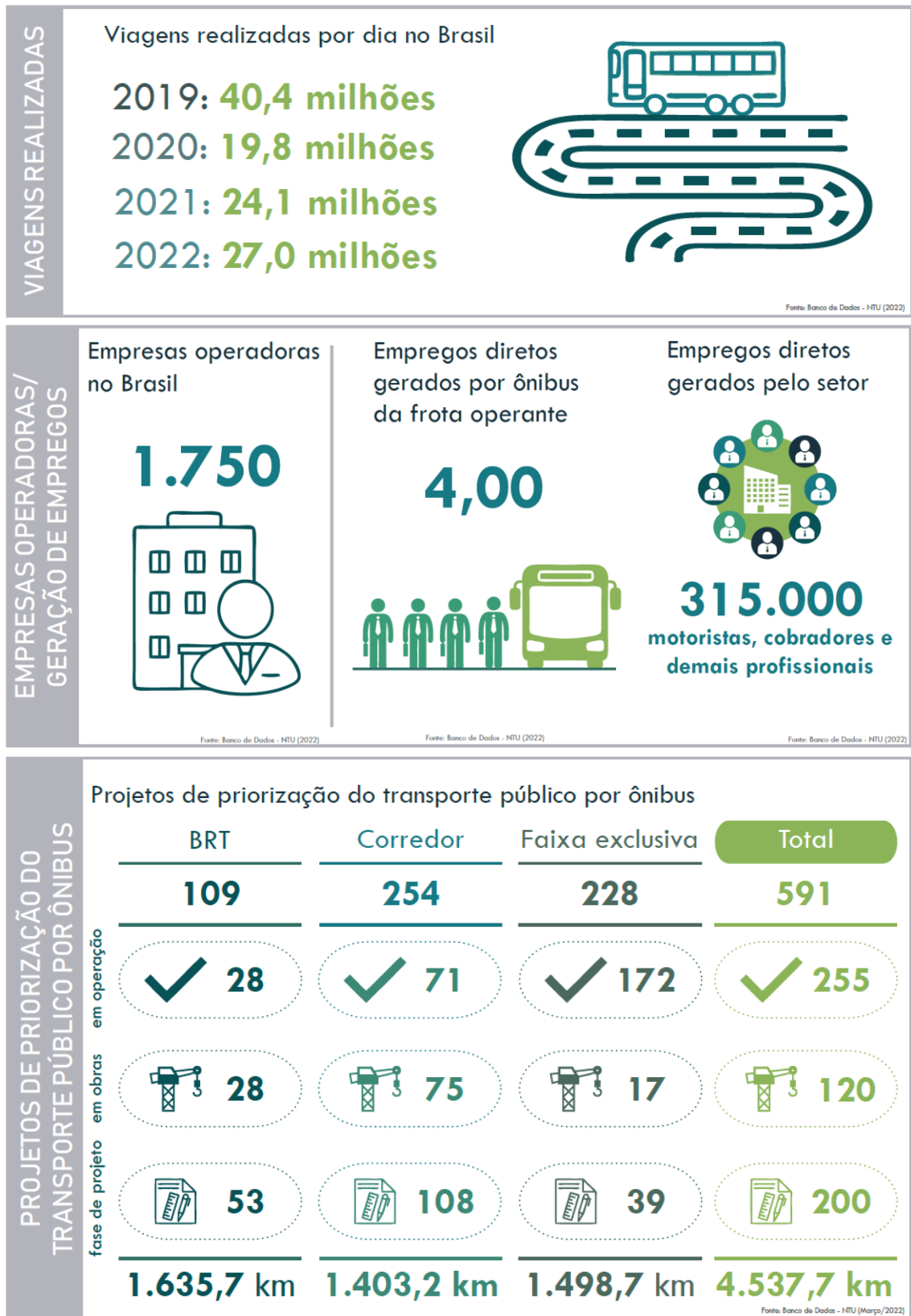
Tabela 3 – Licenciamento e emplacamento

Licenciamento ¹ / Emplacamento ²							
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Ônibus	11.161	11.755	15.081	20.932	13.931	14.062	5.905

Fontes: ¹ ANFAVEA (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores).² ANFIR (Associação Nacional dos Produtores de Implementos Rodoviários).

Fonte: CNT (2022).

Figura 14 – Viagens realizadas, empresas operadoras, projetos de priorização, mortes, gratuidades e subsídios



(Continua)

(Continuação)

GRATUIDADES

Ocorrência e impacto das gratuidades na tarifa do TP por ônibus

26,9%
das viagens são beneficiadas com descontos ou isenções tarifárias



21,2%
é o impacto das gratuidades na tarifa

Fonte: Banco de Dados - NTU (2022)

SUBSÍDIOS

Municípios que concedem algum tipo de subsídio para o TP por ônibus

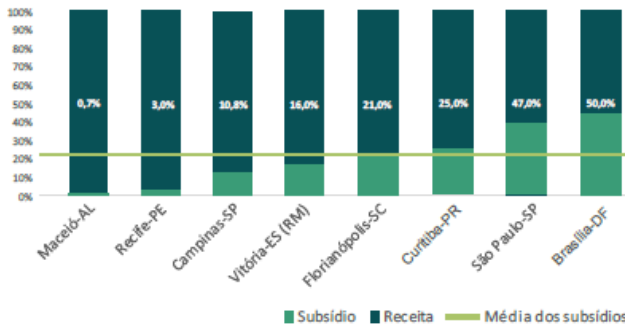
Em todo o país, apenas **28 sistemas** implementaram subsídios definitivos.

Fonte: NTU (2022)

SUBSÍDIOS

Situação Brasil x Situação Mundo

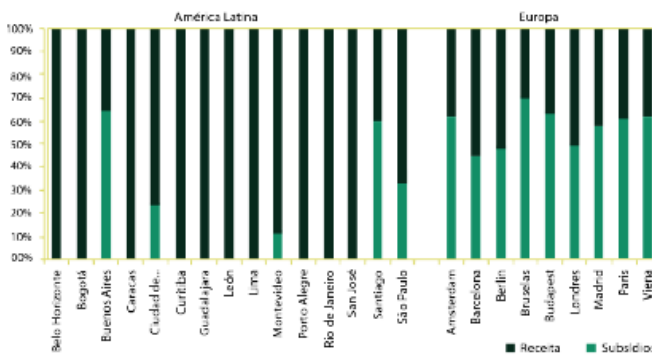
SITUAÇÃO BRASIL



21.7%

é a média da parcela do custo total que é coberta pelo subsídio nos 8 sistemas que disponibilizaram essa informação (NTU, 2022)

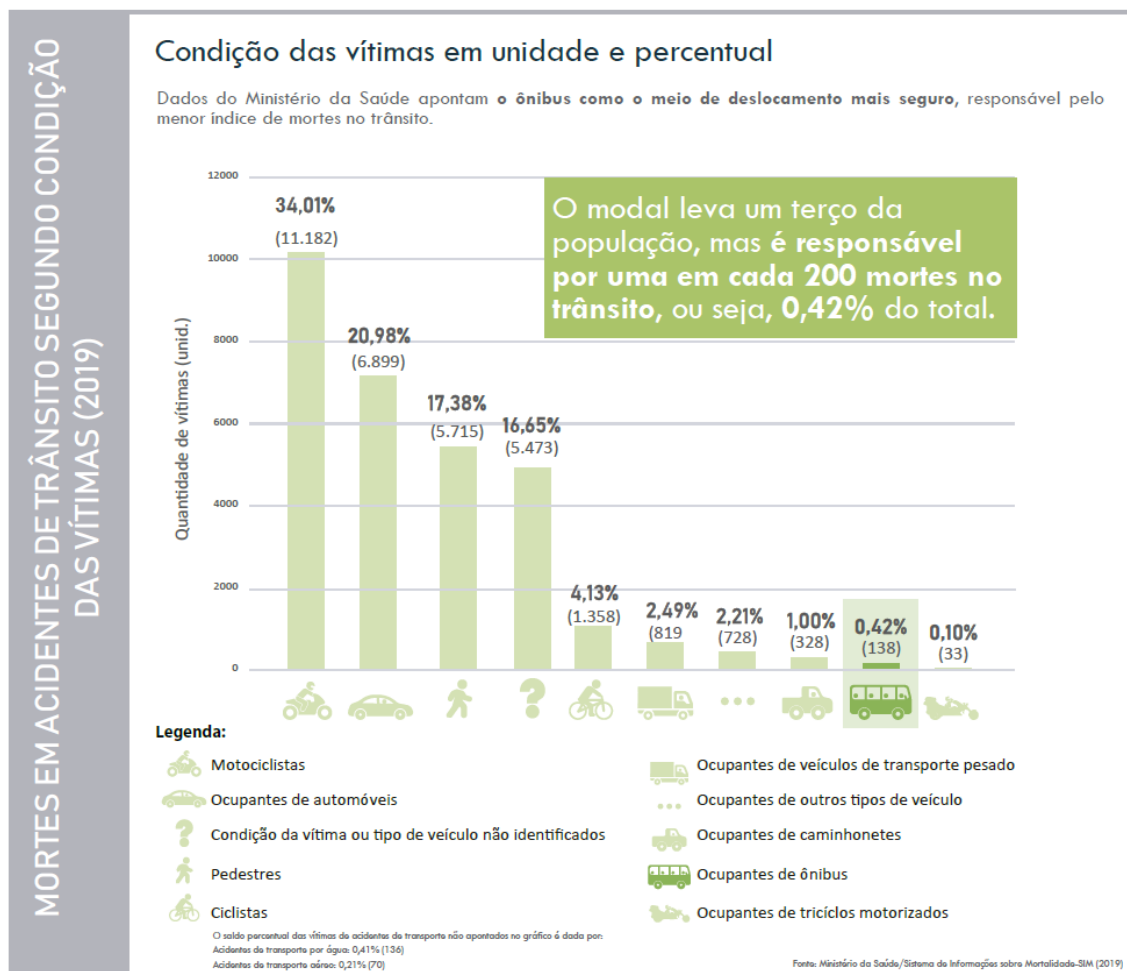
SITUAÇÃO MUNDO



Os subsídios chegam a atingir **níveis superiores a 50%** do custo total em algumas cidades europeias e latino americanas (CAF e NTU, 2020)

(Continua)

(Conclusão)



Fonte: NTU (2022).

Em maio de 2022, o Governo Federal anunciou o fim do estado de Emergência em Saúde Pública de Importância Nacional, decretado em fevereiro de 2020, devido à Covid-19. Embora não signifique ainda o fim da pandemia, o ato tem grande simbolismo e sinaliza o caminho de volta à normalidade.

Apesar do término da pandemia, o aporte de subsídios ainda é uma das alternativas para reduzir o impacto financeiro, manter a oferta do serviço e evitar a completa paralisação do transporte coletivo no médio prazo. Entretanto, as iniciativas foram promovidas somente por alguns estados e municípios, tendo sido, portanto, insuficientes. Não houve, até o momento, por parte do governo federal a adoção de uma medida nacional.

5 PESQUISAS E LEVANTAMENTOS

5.1 Aplicação dos principais conceitos

É importante observar que a adoção da manufatura aditiva está diretamente associada à inovação, pois permite tornar "reais" as criações e demandas de diferentes áreas, como *design*, engenharia, manufatura, marketing, etc.

A manufatura aditiva representa, justamente, a alternativa aos métodos tradicionais, como fresamento, torneamento e corte plano convencional. Tal conclusão decorre da constatação de que, além dos benefícios técnicos, de qualidade, flexibilidade e agilidade, a referida tecnologia traz vantagens extras, como redução de documentação, de espaço para armazenagem, ganhos de tempo e financeiros na fabricação.

Trata-se, pois, de tecnologia que está assumindo uma exponencial e crescente importância como método de manufatura alternativo para componentes em pequenas quantidades. Com efeito, o uso dessa tecnologia permite melhorar a funcionalidade, pois o processo aditivo pode facilmente produzir formas orgânicas, permitindo aos *designers* maximizarem o desempenho e aperfeiçoarem características de manuseio. Considerando-se ser um processo que imprime em camadas, torna-se, portanto, plenamente adequado à produção de peças complexas – algo que seria difícil e dispendioso fazer com processos de corte metálico convencionais.

De acordo com estudo da consultoria *Markets and Markets* (s.d.), até 2025, o mercado global das impressoras 3D deve atingir um valor de US\$ 42,9 bilhões, com crescimento médio de 23,3% (2018-2025).

Vários diferenciais tornam a impressão 3D particularmente adequada para aplicações diversas. Nesse sentido, verifica-se ser possível produzir conjuntos de itens, cada qual com seu *design* exclusivo. Também a título de exemplo, têm-se, na área da medicina, implantes médicos e dentários, que são criados com as dimensões e formatos exatos do paciente destinatário. Confeccionar itens com desenhos complexos (que simplesmente não podem ser feitos usando técnicas de fabricação tradicionais) permite que os projetos sejam otimizados para, por exemplo, reduzir o peso ou aumentar a resistência. Na indústria aeronáutica, peças podem ter suas topologias otimizadas para reduzir peso, sem tirar-lhes outras características essenciais.

Itens que anteriormente precisavam ser montados – aumentando-se, assim, o tempo do ciclo de produção – podem ser fabricados em menos peças ou até mesmo como um único item. Quando considerada de ponta a ponta, a impressão 3D é muito mais rápida do que a fabricação tradicional, já que é notadamente mais ágil para se trabalhar, sendo, também, o respectivo *setup* de equipamentos mais simples.

Torna-se possível, enfim, manufaturar itens em uma gama cada vez maior de materiais, desde plásticos a metais, de cerâmicas a tecidos orgânicos.

Uma das áreas mais complexas para se gerenciar em muitas operações é a área de manutenção. Com a produção de itens por meio da impressão 3D, torna-se possível a minimização de inventário, podendo até serem zerados os níveis de estoque.

No entanto, existem fatores que podem impedir o uso mais amplo. A maioria das peças precisa de algum nível de pós-produção. Assim, como o foco da tecnologia tem sido a criação de protótipos, não houve a necessidade de acabamentos de alta qualidade. Além disso, as impressoras 3D, atualmente, ainda são caras e as respectivas matérias-primas utilizadas são mais caras do que seus equivalentes, utilizados na fabricação tradicional. Por outro lado, no entanto, as pressões competitivas estão reduzindo os preços dos fornecedores de materiais.

Conclui-se, ainda, que, considerando-se o seu atual estágio tecnológico, a impressão 3D jamais será capaz de produzir itens em massa, da mesma forma que, por exemplo, a moldagem por injeção de plástico pode. Por outro lado, porém, a manufatura aditiva está sendo cada vez mais usada para fazer os respectivos moldes utilizados na manufatura convencional, pois oferece aos fabricantes opções com ciclos mais rápidos e custos reduzidos. Além disso, os itens que podem ser impressos em 3D também não dispõem, tradicionalmente, de uma diversidade tão grande de materiais – a capacidade de criar itens em cores diferentes só foi possível nos últimos 3 anos.

Constata-se, inclusive, que tais desvantagens já são amplamente reconhecidas pela indústria de impressão 3D, e, justamente por tal razão, novas abordagens que resolvem (ou quase resolvem) os mencionados problemas já estão sendo usadas. Já há, por exemplo, máquinas de impressão 3D que incorporam a pós-produção. Na mesma esteira, fornecedores de impressoras 3D também oferecem aos clientes contratos de *leasing* para reduzir o custo de propriedade, manutenção e reparo das

impressoras, enquanto outros dão aos clientes acesso a centros de impressão 3D, terceirizando-se, assim, a pretendida manufatura aditiva.

Verifica-se, ainda, a título de exemplo, que os tempos de ciclo mais rápidos e a capacidade de fazer pequenos lotes de itens projetados separadamente têm o condão de acelerarem a velocidade de pesquisa de mercado. Da mesma forma, as informações e o *feedback* que tradicionalmente levariam meses para serem coletados podem ser obtidos em dias ou semanas, por meio da utilização de projetos de impressão 3D.

Mesmo antes dos itens serem feitos, a impressão 3D está ajudando a mudar a forma como eles são concebidos. A complexidade e as necessidades de alta qualidade de ferramentas, gabaritos e acessórios na fabricação tradicional, de moldes a brocas, os tornam excelentes candidatos para a impressão 3D, reduzindo-se, assim, o tempo necessário para produzi-los, bem como o seu custo por item.

De fato, a impressão 3D não segue o método tradicional de *supply chain*: planejar, fornecer, entregar e retornar. Isso significa que se pode evitar o risco da previsão de demanda. Em vez disso, a impressão 3D se destaca nas áreas de produtos de baixa demanda. De acordo com dados de empresas de logística, o estoque de peças de reposição pode representar, em média, mais de 20% do estoque excedente ou não utilizado de uma empresa. Fabricantes de automóveis, por exemplo, devem estocar peças de reposição por sete a dez anos para cada veículo fabricado.

Produtos finais também já estão sendo fabricados por meio da impressão 3D. Como exemplo, têm-se os bicos de combustível que alimentam os mais recentes motores a jato, os quais são fabricados por impressoras 3D, o que permitiu às empresas reduzir o custo e tempo de produção de cada bico.

Portanto, esse nível de flexibilidade que a impressão 3D apresenta tem um efeito perturbador na fabricação, permitindo que empresas já maduras e estabelecidas transformem a maneira como operam e como atendem às necessidades de seus clientes, bem como permitindo que os novos entrantes ganhem espaço rapidamente. A disponibilidade de instalações e máquinas de impressão 3D significa que a introdução dessa forma de produção em economias emergentes, como Brasil, Rússia e Índia, é muito mais rápida, fácil e barata do que empregar a manufatura tradicional, contando, ainda, com outras vantagens adicionais.

De fato, a revolução da impressão 3D já está acontecendo e será um enorme diferencial para as operações das empresas. Logo, avaliar essa tecnologia e como ela impactará cada indústria, considerando-se os concorrentes, fornecedores e clientes, é um passo fundamental para que as empresas não fiquem para trás.

5.2 Aplicações de manufatura aditiva em diversos segmentos

5.2.1 Empresa Vale

Como se sabe, trata-se da segunda maior mineradora de minério de ferro do mundo. A empresa possui atualmente mais de 70.000 funcionários diretos e 120.000 funcionários indiretos. O modelo de negócio consiste em minerar minério nos estados do Pará e em Minas Gerais; transportar por ferrovia até os portos no Espírito Santo e Maranhão, por meio de operações ferroviárias que, em média, têm 900 km de extensão; e vender 60% desses produtos para a China.

Por se tratar de uma operação extensa e pulverizada, ela atua em locais remotos com difícil acessos a aeroportos e rodovias. Isso dificulta sobremaneira a respectiva logística de suprimentos. Assim, visando a mitigar tais fatores logísticos, *lead time* e estoque, algumas aplicações foram viabilizadas via impressora 3D, conforme os casos a seguir apresentados.

5.2.1.1 Estudo de caso – Empresa Vale – Equipamento 1

Objeto avaliado: dispositivo customizado para a Vale (Figura 15), com o escopo de alertar a aproximação de trem aos mantenedores na linha férrea.

Condições de contorno:

- 37 dispositivos estão parados aguardando a respectiva peça de reposição na oficina de componentes eletrônicos.
- Fornecedor paralelo gasta 90 dias de *lead time* e tem o custo de R\$1000.00 a unidade para fornecimento.

Figura 15 – Dispositivo da Vale



Carcaças quebradas

Fonte: Foto tirada por Henrique Vilela (2021).

A partir da modelagem da peça em um programa 3D são avaliados os custos e tempo de fabricação, bem como a resistência do material. A terceira etapa é a de montagem do protótipo, conforme as Figuras 16, 17 e 18:

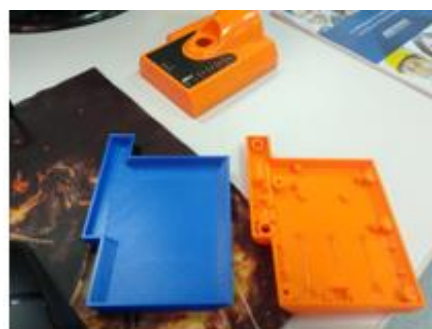
Figura 16 – Modelagem das peças



Modelagem das peças em 3D

Fonte: Foto tirada por Henrique Vilela (2021).

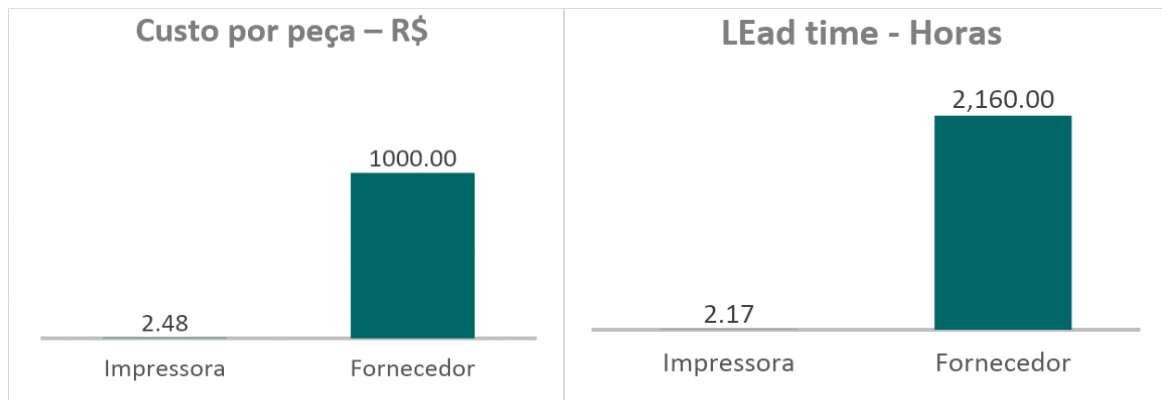
Figura 17 – Peças impressas



Peças impressas

Fonte: Foto tirada por Henrique Vilela (2021).

Figura 18 – Custo por peça e *lead time*



Fonte: Elaborada pelos autores.

Ganhos esperados:

- Com a fabricação de 9 peças, a impressora já terá viabilidade (*breakeven*).
- Redução do *lead time* das peças.
- Autonomia para produção de peças da carcaça e aplicação em outros equipamentos.
- Introdução à “industrial 4.0” e manufatura aditiva do departamento.

Proposta de investimento:

- Compra de uma impressora 3D, no valor estimado de R\$8.000,00 a R\$10.000,00 (pequeno porte), ou R\$40.000,00 (industrial).
- Valor de 01 kg de insumo: R\$70,00 a 80,00 (32 peças/carcaça).

5.2.1.2 Estudo de caso – Empresa Vale – Equipamento 2

Valor do equipamento: R\$ 15.000

Motivo de aguardar a peça: o fornecedor descontinuou a produção da peça.

As Figuras 19, 20 e 21 referem-se ao equipamento 2.

Figura 19 – Peça original



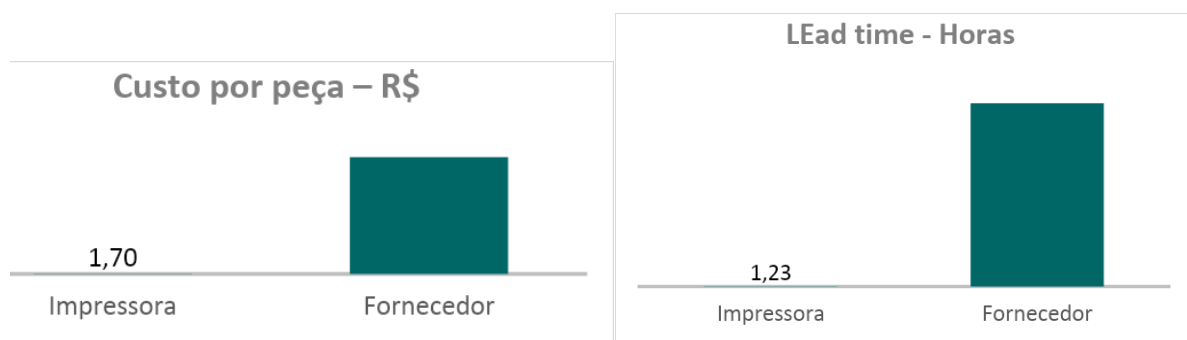
Fonte: Foto tirada por Henrique Vilela (2021).

Figura 20 – Peça impressa e testada



Fonte: Foto tirada por Henrique Vilela (2021).

Figura 21 – Custo por peça e lead time



Fonte: Elaborado pelos autores.

5.2.2 Empresa Ambev

É a maior fabricante de cerveja do mundo, correspondendo a 30% da produção mundial de cerveja e 69% da produção brasileira. No Brasil, a empresa possui 33 operações ao longo de todo o país, sendo 6 apenas no Nordeste. Assim, considerando-se sua produção nacional de 4,56 bilhões de litros anualmente, conclui-se que apenas uma hora de indisponibilidade de qualquer equipamento em uma de suas plantas pode provocar-lhe prejuízos astronômicos.

Foi pensando nisso, que a companhia criou uma parceria com a empresa Forge (s.d.), uma *startup* brasileira especialista em manufatura aditiva em escala. A Forge possui impressoras 3D em algumas plantas industriais da Ambev, para confecção de peças de reposição dos equipamentos industriais da fábrica. A empresa realiza o treinamento de um operador que aprende a fazer o mapeamento com engenharia reversa, de modo a transformar uma peça física em um desenho, o qual, então, é impresso na impressora 3D. A empresa também treina o operador para configurar e operar a máquina.

A configuração de uma impressora 3D requer o ajuste de até 50 parâmetros na máquina. Dependendo do desenho, a Ambev pode optar também pelo envio da peça à equipe de engenharia da Forge, para que esta possa transformá-la em desenho, enviando-o ao operador, de modo que este possa imprimir a peça na fábrica.

Segue, na Figura 22, um registro fotográfico (de autoria do membro deste grupo de pesquisa, o Sr. Rafael do Carmo), da impressora, exposta no prédio da fundação “Cubo”, sob gestão do Itaú, na Vila Olímpia, em São Paulo. Trata-se do mesmíssimo modelo utilizado nas plantas da Ambev.

Figura 22 – Modelo de impressora utilizada na Ambev



Fonte: Foto tirada por Rafael do Carmo.

Um dos exemplos de produtos fabricados por essa impressora são protetores de sensores dos equipamentos. Geralmente, as fabricantes desenham esses equipamentos de forma que, se as tampas dos sensores estiverem danificadas ou ausentes, todo o equipamento não funciona, de modo a obrigar o proprietário da máquina a comprar outro equipamento inteiro do fabricante, em caso de quebra por má utilização ou avaria durante uma intervenção no equipamento.

Esses sensores são projetados com ângulos específicos e de difícil confecção em processos convencionais, como de injeção de plástico, justamente pois exigem que seja fabricado, primeiramente, o molde da peça. Com a impressão aditiva, basta apenas gerar o desenho da peça e imprimi-la com as configurações corretas.

A atividade relativamente simples resulta em grandes ganhos financeiros e de produção, aumentando a disponibilidade dos ativos, reduzindo o custo de estoque e aumentando o poder de adaptação de criação de *kaizens*, o que vem sendo muito vantajoso para a referida companhia.

5.2.3 Empresa GOL

Uma das três maiores companhias aéreas do Brasil, a Gol foi um exemplo de inovação, a partir da utilização da manufatura aditiva. Em sua operação, já eram de grande aplicação os kaizens e ferramentas oriundos da manufatura aditiva. Porém, durante a pandemia, ela se viu obrigada a criar ainda mais soluções com base na referida tecnologia, sobretudo na área de combate à COVID-19, em alta escala, para suprir todas suas aeronaves, em um momento em que o mundo vivia uma crise de fornecimento de peças em geral. Nesse cenário, para atender às exigências dos órgãos regulatórios, foi necessário produzir *dispensers* de álcool para equipar toda a sua frota, o que somente foi possível via manufatura aditiva. Mostrou-se, assim, mais uma vez, a flexibilidade e agilidade de resposta dessa aplicação

5.2.4 Segmento de plataformas de petróleo

As operadoras de petróleo operam ao longo da costa marítima e, muitas vezes, o seu acesso é restrito e sua logística (*inbound* e *outbound*) ocorre por helicóptero e barcos, a cada 15 dias. Tendo em vista tais premissas, bem como o prejuízo que a falta de uma peça na linha de produção pode gerar (algo na casa de milhões de dólares), as plataformas estão equipando suas oficinas com impressora 3D, de modo a reproduzir peças em alta velocidade e com baixo custo. De tal forma, consegue-se, então, garantir o suprimento dessas peças, bem como a redução de estoque.

5.2.5 Empresa Eletrolux

A empresa líder no mercado brasileiro em produtos de linha branca está inovando a forma de tratar o assunto de assistência técnica ao longo do país. Nesse sentido, a empresa possui um projeto que consiste em eliminar os estoques nas grandes cidades e capitais. Dessa forma, todas as peças de plástico de seus vários produtos seriam disponibilizadas em forma de arquivo, de modo que as suas filiais possam imprimi-las, à medida que surgisse a demanda. A partir de tais premissas, a empresa almeja, portanto, praticamente zerar seus estoques de peças, diminuindo, assim, o custo de seu ativo imobilizado.

5.2.6 Empresa Volkswagen

A montadora alemã está utilizando a impressão 3D para a fabricação de peças conceituais e protótipos em seus veículos de testes. A aplicação permite, com muita autonomia e agilidade, a livre alteração de peças, até que a prova de conceito seja finalizada.

5.2.7 Área da saúde

Na indústria das próteses, o baixo custo da impressão é o que mais se discute nesse segmento.

5.2.8 Automobilismo

No segmento do automobilismo, já há o histórico de reprodução de um carro inteiro, utilizando-se uma impressora 3D. Tal feito foi arquitetado com peças de alta qualidade, aproveitando-se da flexibilidade proporcionada pela manufatura aditiva, no que se refere a construir protótipos para a realização de testes. Em 2014, a Local Motors confeccionou, em 44 horas, um protótipo de um veículo inteiro, para exibição no Salão da Indústria de Chicago.

5.2.9 Culinária

Com a alteração dos filamentos e incremento de tecnologia, já é possível cogitar-se acerca da possibilidade de impressão de comida – por mais incrível que isso possa parecer. De fato, utilizando-se uma matéria-prima comestível, já é possível produzir diversos pratos, de forma a permitir que os clientes apreciem a culinária do seu *chef* de cozinha preferido, em sua residência.

5.2.10 Transporte de passageiro por ônibus

Um dos participantes do grupo trabalha em uma empresa de transporte público de passageiros urbano municipal por ônibus, com gestão sobre duas unidades, uma em Itaquaquecetuba/SP e outra em Pouso Alegre/MG. A unidade de São Paulo possui

uma frota com 110 ônibus, e a unidade de Minas Gerais possui uma frota de 56 veículos. Essas empresas pertencem a um grupo maior, também focado no transporte de passageiros com ônibus. Esse grupo chama-se Grupo CSC, com 35 unidades em 7 estados brasileiros, com frota de 1.100 veículos. Esse grupo faz parceria societária com outro grupo, o Grupo Duarte, em algumas unidades. Esse, por sua vez, possui cerca de 900 veículos, em quase 10 cidades em todo Brasil.

Este trabalho possui como premissa avaliar a aplicação do processo de fabricação por impressora aditiva no referido ramo e segmento de transporte. É importante, portanto, explicar o modelo de negócio desse setor, para que possam ser compreendidas as suas especificidades, bem como o motivo da avaliação acerca da possibilidade de aplicar-lhe a referida tecnologia.

De acordo com o documento enviado pela NTU (Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos), denominado *Os Grandes Números da Mobilidade Urbana, Cenário Nacional*, publicado em maio de 2021, tem-se que:

- 2.901 municípios (52% de todo país) são atendidos por serviços organizados de transporte público por ônibus;
- 85,7% de todas as viagens de transporte coletivo são realizadas por ônibus;
- 40,4 milhões de viagens/dia são realizadas por passageiros;
- 590 milhões de quilômetros são percorridos por mês;
- 107.000 ônibus é o tamanho da frota no Brasil;
- 5 anos e 8 meses é a idade média dessa frota;
- 1.800 é a quantidade de operadores (empresas do ramo);
- 4,1 empregos/ônibus são gerados;
- 21,7% é o impacto da gratuidade no setor;
- 27,1% das viagens são beneficiadas com descontos (estudantes, por exemplo) ou isenções tarifárias;
- 11 dos 35 sistemas de transporte (que pode incorporar mais de um operador) pesquisados possuem subsídio;
- 38,0% do custo do transporte em São Paulo capital é subsidiado, 21,0% em Florianópolis/SC, e 10,8% em Campinas/SP;
- mais de 50% é o valor do subsídio em capitais europeias;
- 8 x maior é a poluição de veículos de passeio (carro) em comparação ao ônibus;

- 0,42% é a representatividade das vítimas fatais no trânsito, sendo 34% motociclistas e 21% dos automóveis;
- a lei nº 12.587/12 (Política Nacional de Mobilidade Urbana) define que municípios com mais de 20 mil habitantes sejam obrigados a ter um Plano de Mobilidade Urbana.

O mencionado é justamente o mercado potencial que será explorado por meio dos diversos vieses de observação apresentados no subcapítulo 4.2 (Aplicações de manufatura aditiva em diversos segmentos). A escolha desse mercado está associada a vários fatores, tais como:

- Ser um setor com bastante capilaridade. Esse mercado é amplamente percebido em várias cidades no Brasil e apresenta dificuldades de logística na cadeia de suprimentos das empresas, principalmente cidades afastadas do Sul, Sudeste ou de grandes capitais.
- Ser um setor ramificado, composto por empresas relativamente menores, as quais possuem uma média de 36 veículos por cidade operada. Dessa forma, os custos atrelados à aquisição e operação de uma impressora 3D própria não se justificam financeiramente. De tal forma, não lhes resta alternativa, senão continuar dependendo dos fabricantes e seus revendedores para a manutenção de seus veículos.
- Ser um setor disseminado, pouco concentrado em grandes *players*. Dessa forma, suas empresas não possuem estrutura para investir em departamentos de engenharia de produto, o que poderia reduzir a dependência dos fornecedores. Comparando-se com o mercado de aviação, por exemplo, os fabricantes estão muito mais próximos dos operadores. É comum, aliás, no caso da aviação, que os engenheiros de produto dos fabricantes estejam, constantemente, dentro das empresas aéreas.

Para a manutenção da frota, os operadores não possuem máquinas de injeção, extrusão, corte a *laser* ou outra tecnologia de fabricação de peças, muitas vezes pela complexidade ou necessidade de investimento inicial nesses segmentos-padrão, conforme pode ser visto no subcapítulo 1.3.

As grandes fabricantes de chassi (Mercedes, Volkswagen, Scania) e as de carroceria (Marcopolo, CAIO, Comil) justificam ter outras tecnologias de fabricação, as operadoras normalmente não. Dadas as facilidades da manufatura aditiva, esse trabalho vem validar a aplicabilidade dessa tecnologia no setor de transporte de passageiros por ônibus.

Na unidade de Itaquaquecetuba/SP, onde um dos participantes trabalha, já foram realizados levantamentos de algumas peças com potencial para impressão 3D, bem como seus respectivos custos e volume de compra. São peças como espelhos retrovisores, internos e externos, e seus suportes, balaústres e suas conexões, interruptores, mancais, regulagens de encosto, cilindros-mestres e garras / uniões / tampas / suportes / teclas de plástico.

Tendo em vista as diversas possíveis aplicações da manufatura aditiva no Grupo CSC, esta equipe de pesquisa estabeleceu contato com a empresa Forge (já mencionada neste trabalho), com vistas a tentar prospectar uma possível parceria. A ideia seria utilizar os seus conhecimentos e experiência no segmento, aliados ao conhecimento desta equipe e acesso ao ramo de transporte, para, quiçá, viabilizar-se, a exemplo da Ambev (já citada), a colocação de uma impressora 3D nas grandes unidades do Grupo CSC e, de tal maneira, validar-se a proposta deste trabalho.

Nesse sentido, este grupo de pesquisa pretende levar essas peças à sede da empresa Forge, em São Paulo, para que esta possa analisar a viabilidade da aplicação da manufatura aditiva, na fabricação das peças citadas. De tal modo, caso esta equipe seja assim aconselhada, a referida empresa imprimirá algumas peças, as quais serão levadas à empresa operadora de transporte em Itaquaquecetuba (pertencente ao Grupo CSC), de sorte que se possa aplicá-las nos seus respectivos ônibus, testando-as, assim, efetivamente, nas operações da transportadora. Validar-se-á, portanto, sua utilização na prática.

5.3 Fator Crítico de sucesso

Em relação à aplicabilidade na indústria, a manufatura aditiva é mais recomendada para alguns cenários. Portanto, um dos fatores críticos de sucesso é justamente saber se a aplicação prevista respeita as premissas que tornam essa tecnologia atrativa, como:

- Peças complexas, com *design* de ângulos e formatos variados.
- Peças com cadeias de fornecimento de difíceis acesso, como peças importadas ou com fornecedores com bases distantes do local de aplicação.
- Peças customizadas, com desenhos e funções específicas.
- Peças de baixo volume.
- Peças que não justificam a necessidade de grandes estoques.
- Peças importantes, que impactam o funcionamento do setor.

Em relação à sua estrutura, a tecnologia por adição exige um posto de trabalho alinhado à fábrica, para desenhar e programar a criação de novos objetos em cadeia. Portanto, uma empresa que opte por essa inovadora tecnologia deve ter os seguintes requisitos:

- Um *software* de modelagem 3D, ou seja, uma aplicação de desenho assistido por computador (CAD).
- Um equipamento de manufatura aditiva, tal como uma impressora 3D.
- Insumos da fabricação, como filamentos de plásticos.

6 PROPOSTA DE SOLUÇÃO

6.1 Aplicação prática em empresa do setor de transporte de passageiros

Nossa proposta de solução baseia-se na implementação de um processo de impressão de peças de reposição dos ônibus da empresa Expresso Planalto S/A (Grupo CSC Transporte e Logística), sediada na cidade de Itaquaquecetuba no estado de São Paulo, utilizando ferramentas para escaneamento e impressoras 3D (Manufatura Aditiva) para produção de peças.

Nos próximos capítulos detalhamos quais recursos serão necessários para viabilizar e implementar esse processo na empresa de ônibus utilizada nesse estudo.

6.1.1 Escolha da empresa e leitura de sua realidade atual

Um dos integrantes deste grupo de pesquisa trabalha em uma empresa do Grupo CSC, que é um dos maiores e mais tradicionais conglomerados do ramo de transportes de passageiros no Brasil, onde expandiu suas atividades atuando em segmentos como: transporte de passageiros em sistema de fretamento para empresas, linhas urbanas e intermunicipais, aluguel de veículos leves e pesados, dentre outras áreas de atuação.

A empresa revela destacado foco em investir, constantemente, na qualidade dos serviços prestados, através da capacitação de seus profissionais e da aquisição e utilização de equipamentos com tecnologia avançada e adequada a cada aplicação. Outro ponto que faz parte de sua cultura é a política de relacionamento com o cliente, seja ele o respectivo gestor de um dos contratos ou concessões, ou o seu usuário final (aquele que utiliza o transporte em seu dia a dia).

Como prestadora do serviço de transporte urbano em vários municípios, a empresa procurou sedimentar a forma de operar no transporte público, colocando, à disposição dos usuários, ônibus novos, dotados de *design* atual e moderno, projetados para o atendimento urbano, de baixa emissão de gases poluentes (ou seja, mais ecológicos), com sistema de bilhetagem eletrônica (que permite o gerenciamento automatizado da movimentação de passageiros e controle de venda e uso de vales-transportes).

O Grupo CSC possui uma estrutura que abriga mais de 36 empresas de transporte e logística distintas, legalmente constituídas, com estruturas próprias e sob orientação de uma administração central, atuantes em sua maioria no Estado de Minas Gerais, mas também presente nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Bahia, e conta com mais de 1.500 veículos em operação, e cerca de 4.500 funcionários, distribuídos em 36 unidades operacionais.

Somando as operações de todas as unidades do grupo, são realizados cerca de 7.500.000 embarques por mês. Em cada um desses embarques, a empresa busca desenvolver relacionamentos duradouros nas comunidades onde atua, seja com os fornecedores, usuários, colaboradores ou com os gestores dos seus contratos ativos.

6.1.2 Visão geral de custos, referentemente à empresa escolhida

O Grupo CSC tem como modelo de negócio a procura constante pelo desenvolvimento de seu modelo de gestão, através da melhoria contínua dos processos, valorização das pessoas e incorporação plena do aspecto SSMA (segurança no trabalho, segurança viária, saúde ocupacional e preservação do meio ambiente), visando, assim, a criar valores concretos e duradouros para os sócios, seus clientes, seus colaboradores e as comunidades onde atua.

Dentre essas premissas, a gestão de custos possui um papel fundamental para o sucesso do modelo de negócio do grupo, com um foco no fornecimento do melhor serviço de transporte ao menor custo possível, com uma composição de gastos e investimentos necessários, para que sejam ofertados serviços de qualidade em ativos modernos e seguros.

Quando os gestores do grupo aprofundaram os estudos relacionados aos custos variáveis, identificaram que 22% eram provenientes da aquisição de peças de reposição, de modo que, assim, puderam vislumbrar a oportunidade de desenvolvimento de práticas de fornecimento provenientes de manufatura aditiva. No restante, o percentual de quase 70% refere-se ao consumo de diesel, e os 8% restantes representam o consumo de pneus.

6.1.3 Estrutura, qualificação, treinamento, pessoas, tecnologias e processos

Para o desenvolvimento do modelo de negócio que se pretende aplicar, de forma prática, na empresa eleita como estudo de caso, dever-se-á observar as premissas descritas nos parágrafos seguintes, em termos de estrutura, qualificação, treinamento, tecnologias e processos.

6.1.3.1 Estrutura de tecnologia

Será necessária, como cerne do modelo a ser aplicado, uma impressora 3D (própria ou alugada), um computador com requisitos técnicos (processador, placa de vídeo, e memória RAM) adequados à integração com a impressora e capazes de rodar os programas necessários e, naturalmente, por fim, os respectivos *softwares* requeridos pelo processo de manufatura aditiva (desenho e impressão).

6.1.3.2 Pessoas (qualificação e treinamento)

Contratação (ou promoção interna) de um colaborador que possua conhecimento específico sobre o processo de manufatura aditiva, capacitação para o desenvolvimento do respectivo processo de modelagem em CAD (engenharia reversa), e conhecimento sobre os parâmetros de configuração da impressora, bem como as variações dos insumos específicos para cada peça.

6.1.3.3 Processos

O processo de manufatura aditiva, na empresa escolhida como estudo de caso, deverá seguir as seguintes etapas, respectivamente:

- 1) Varredura das peças que serão objeto do processo de manufatura aditiva (técnica LICOR, que será explorada no capítulo 7).
- 2) Engenharia reversa (escaneamento, mensurações, modelagem em CAD).
- 3) Eleição do insumo (filamento) mais adequado e, se necessário (não houver em estoque interno), providenciar sua aquisição.
- 4) Ajuste de parâmetros da impressora e produção da peça-piloto.

- 5) Validação, pelo gerente de manutenção, por meio de testes com a peça-piloto.
- 6) Produção das peças, conforme demanda do departamento de manutenção da empresa.

7 ANÁLISE DE VIABILIDADE

7.1 Unidade de negócios eleita para o mapeamento de oportunidades

Após conversas com os gestores da empresa, este grupo de pesquisa entendeu que a unidade de Itaquaquecetuba/SP do Grupo CSC seria a melhor opção para se realizar uma aplicação prática da tecnologia de impressão 3D no ramo de transporte de passageiros por ônibus, sendo pioneira nesse segmento no Brasil. Essa unidade possui, em julho de 2022, 110 veículos em operação, sendo exclusiva no transporte público de passageiros na cidade de Itaquaquecetuba/SP, transportando cerca de 1.300.000 passageiros por mês.

De tal forma, em 10 de junho de 2022, foi realizada uma visita técnica, in loco, na unidade de negócio em que será aplicado o projeto, de modo que se pudesse entender o seu modelo de negócio, estrutura e, enfim, identificar potenciais oportunidades de aplicação da tecnologia de impressão 3D na empresa. A visita foi realizada por membros deste grupo, acompanhados do representante técnico da empresa-benchmark Forge, o Sr. Lucas Narita.

Durante o *benchmarking* junto aos gestores do grupo CSC, foi apresentado, pelo representante da empresa parceira, a técnica **LICOR**, criada pela empresa para analisar os fatores mais importantes no mapeamento da aplicabilidade da manufatura aditiva no setor que está sendo analisado. Os fatores analisados são:

- **Logístico:** visa analisar a complexidade da cadeia logística envolvida em uma eventual demanda de reposição de uma peça, como, por exemplo, o tempo médio de reposição ou restrições envolvidas.
- **Impacto:** impacto caso a peça quebre.
- **Complexidade:** nível de detalhamento que o desenho técnico da peça apresenta.
- **Originalidade:** preço da peça de reposição comprada pelo modelo atual.
- **Recorrência:** incidência de quebra histórica da peça.

Diante da apresentação da técnica, foram analisados todos os fatores aplicados dentro do modelo de negócio no setor de manutenção dos ônibus na

empresa. Dessa forma, foi possível concluir que, inicialmente, não seria viável destinar desenvolvimentos da manufatura aditiva a peças do chassi dos veículos, uma vez que são peças metálicas, que requerem propriedades mecânicas específicas menos indicadas à manufatura aditiva, já que esta que utiliza insumos plásticos e seus derivados. Assim, foi realizado um levantamento de peças da carroceria do veículo, internas e externas, na busca de peças que a técnica LICOR indicava como mais indicadas.

A busca pela definição de peças pelo técnico da empresa parceira de impressão, em conjunto com o gerente de manutenção da empresa de ônibus e os componentes do grupo presente na visita, foi um aprendizado muito rico sobre manufatura aditiva.

Foi verificado que, na prática, itens que têm muita vazão, são simples e fáceis de serem produzidos pela injeção plástica. Assim, por exemplo, certamente não apresentariam viabilidade econômica para uma substituição por manufatura aditiva.

Da mesma forma, itens com dimensões físicas muito grandes também não poderiam ser impressos unicamente, uma vez que as impressoras possuem tamanhos limitados, de aproximadamente 30 centímetros de largura, altura e comprimento. Realizou-se, portanto, o levantamento de 8 peças que poderiam apresentar viabilidade para serem substituídas pela manufatura aditiva. As peças referenciadas estão contempladas na Figura 23.

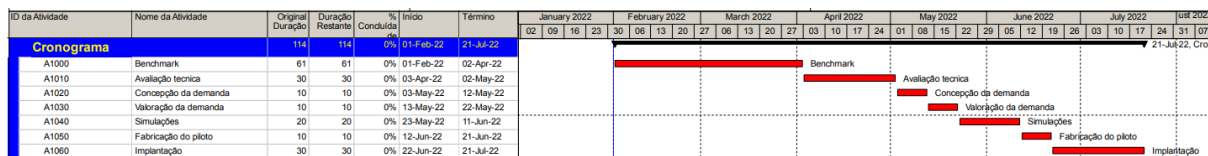
Figura 23 – Peças para análise de aplicabilidade de suas fabricações com manufatura aditiva



Fonte: Foto tirada pelos autores.

Para a definição do planejamento das próximas etapas do projeto, foi criado, na sequência, o cronograma indicado na Figura 24.

Figura 24 – Cronograma do projeto aplicativo de implementação da manufatura aditiva na manutenção nos ônibus do transporte coletivo



Fonte: Elaborada pelos autores.

Uma vez feito o levantamento, buscaram-se dados reais da empresa, tendo sido criada a Tabela 4, que enumera os itens inicialmente definidos como mais indicados, a quantidade de compra (mensal) no ano de 2022 de cada item, bem como os custos envolvidos nas respectivas sua aquisições.

Tabela 4 – Aquisição de partes de reposição – período de janeiro a junho de 2022

Código	Material	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Total	Valor Uni	Valor Total
249874	COPO FILTRO SEPARADOR R90	5	3	8	7	5	10	38	R\$ 43,74	R\$ 1.662,12
66729	BATENTE PORTA-CABINE MASCARELLO ROMA 330	10	5	6	20	25	15	81	R\$ 4,11	R\$ 332,91
260690	LACRE EMERGENCIAL JANELA LE CAIO/APACHEVIP	32	0	0	20	0	0	52	R\$ 8,00	R\$ 416,00
315218	GARRA BIPARTIDA PLASTIO LD APACHEVIP	1	2	0	1	5	0	9	R\$ 18,05	R\$ 162,45
306781	ALGEMA BALAUSTRE T CINZA PLÁSTICO 32MM	3	2	3	1	5	10	24	R\$ 7,70	R\$ 184,80
177679	TAMPA CARÇAÇA VÁLVULA TERMOSTÁTICA MB1417/1722	7	6	2	3	5	7	30	R\$ 31,53	R\$ 945,90
86746	INTERRUPTOR 1 SEÇÃO MB1721/1722	2	1	2	5	6	4	20	R\$ 32,00	R\$ 640,00
61395	TAMPA FILTRO LUBRIFICANTE 904LA MB915/1417/1418/1722	1	3	7	2	4	1	18	R\$ 20,00	R\$ 360,00

Fonte: Elaborada pelos autores.

Tendo relacionado as peças mencionadas na Tabela 4, o representante da empresa Forge, Lucas, levou amostras dessas peças para a fábrica de sua empresa,

em Guarulhos/SP, a fim de mapear os seus respectivos custos de produção, tempo de impressão e peso das peças.

O tempo de fabricação, peso das peças e os respectivos custos (compostos pela quantidade de insumos, energia elétrica por fabricação de peça e aquisição da máquina de impressão) são os três principais indicadores críticos de sucesso do projeto, para validação da implementação da manufatura aditiva, na manutenção dos ônibus do transporte coletivo.

Na posse de tais informações, este grupo de trabalho passou a avaliar as viabilidades técnicas, financeiras, operacionais e estratégicas, relacionadas à substituição da aquisição formal dessas peças de reposição (ou seja, comprando-se de fornecedores com prazos de entrega quase sempre incompatíveis com a demanda da empresa) pela utilização da impressão aditiva.

7.2 Análise de viabilidade Técnica

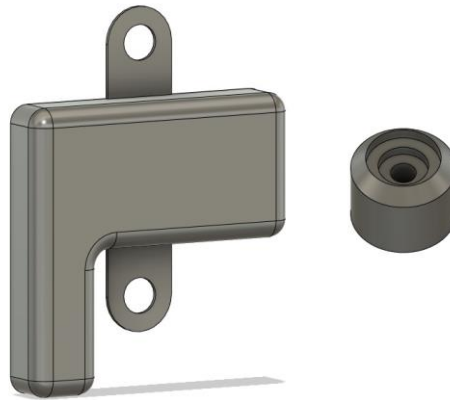
Na etapa de simulações, a empresa parceira Forge verificou que, à luz das características peculiares das peças (como geometria, recorrência de compra, custo, dimensões e propriedades mecânicas), respaldando-se, ainda, em todos os aprendizados da técnica LICOR que já havia sido aplicada, seria mais interessante iniciar os testes com duas peças: batente de porta de cabine e lacre de emergência das janelas.

Como foi possível perceber no cronograma, ilustrado na Figura 23, a fabricação do piloto dessas duas peças, pela empresa parceira, era prevista para ser realizada em meados de junho de 2022.

Inicialmente, a proposta seria imprimir as peças de reposição dos ônibus na fábrica da Forge, utilizando-se de sua estrutura, para, então, testá-las, fisicamente, em um ônibus de transporte urbano, em condições reais de funcionamento.

O primeiro passo foi a engenharia reversa das peças, com o objetivo de se conseguir criar seus respectivos desenhos 3D (CAD), conforme Figura 25.

Figura 25 – Desenho em CAD das peças prioritárias para validação do projeto



Fonte: Elaborada pelos autores.

No momento da fabricação, para fins de lições aprendidas com o projeto, é importante ressaltar que a empresa contactou os membros deste grupo, posteriormente, informando que, devido a outros projetos internos, a fabricação só seria possível para o início de setembro de 2022. Verifica-se, portanto, o quanto esse fator demonstra a dependência de quem possuiu o conhecimento e o equipamento para a fabricação das peças no modelo que inicialmente restou definido. Como esse conhecimento é restrito a algumas empresas, o leque de opções de fornecedores é limitado (sendo este um fator que será explorado mais à frente).

Finalmente, então, ao se iniciarem os testes, a Forge relatou a este grupo que foram necessários três testes no lacre de emergência. Inicialmente, utilizaram insumo comum, de cor preta. A resistência e o formato do material foram satisfatórios. Entretanto, eles decidiram utilizar o insumo de coloração vermelha no segundo teste, uma vez que a peça é vermelha. Dispensar-se-ia, assim, a necessidade de uma futura pintura, por exemplo.

Ao utilizar o segundo teste com insumo vermelho, a primeira peça não apresentou propriedades estruturais semelhantes, mas o terceiro teste demonstrou resultados satisfatórios. É possível verificar o primeiro e o terceiro testes na Figura 26.

Figura 26 – Peças do lacre de emergência impressas por impressão aditiva



Fonte: Foto tirada pelos autores.

Já o batente de porta, pela sua simplicidade, já adquiriu resultado satisfatório em seu primeiro teste, como evidencia a Figura 27.

Figura 27 – Peça do batente de porta impressa por impressão aditiva



Fonte: Foto tirada pelos autores.

Estando, enfim, em posse das peças, a empresa conseguiu verificar que elas apresentaram estruturas e condições muito semelhantes às originais, fabricadas por injeção de plástico. De tal forma, pode-se concluir, seguramente, que a viabilidade técnica é satisfatória.

7.3 Análise de viabilidade Financeira

Uma vez construídas as referidas peças, iniciou-se o estudo de aplicabilidade econômica do projeto.

As peças impressas tiveram peso de 33 gramas (o lacre de emergência) e 7 gramas (os batentes de porta juntos). Considerando-se um insumo no valor de R\$ 80,00/kg (trata-se de valor considerado alto para a produção em maior quantidade, porém, trata-se da média oferecida no mercado de varejo), percebeu-se que somente o custo do insumo para a fabricação dessas peças seria de R\$2,64 e R\$0,56, respectivamente.

Em relação a custos de energia elétrica, os motores de impressão aditiva são extremamente eficientes, de modo que tais valores acabam por revelar uma baixa representatividade. A título de exemplo, verifica-se que a Forge (que trabalha quase 24 horas por dia, 7 dias por semana, com as suas 25 impressoras produzindo continuamente) gera um custo de energia elétrica de aproximadamente R\$ 400,00 por mês para todo o galpão. Portanto, desconsiderando-se custos fixos de energia atrelados à operação da empresa (climatização e iluminação dos escritórios, por exemplo), conclui-se que, em termos de produção das peças, o custo de energia é quase desprezível por unidade.

Em relação ao custo da impressora 3D, tem-se no mercado centenas de modelos de impressoras, com características, aplicabilidade e preços divergentes. Um dos componentes do grupo já possuiu uma impressora, a *Ender 3 Pro* (muito bem recomendada por ele, aliás), a qual, atualmente, é vendida por aproximadamente R\$ 1.500,00.

Outra opção seria a locação de uma impressora. A Forge trabalha justamente com esse modelo de negócio, ou seja, eles locam esses equipamentos a outras empresas. Contudo, suas impressoras são fechadas hermeticamente e com dimensões maiores, possuindo também maior estabilidade, confiabilidade e robustez. A locação das impressoras (no padrão da empresa Forge) representa um custo mensal de R\$ 1.500,00, ou seja, uma única mensalidade seria equivalente ao custo total de aquisição do modelo mais simples, mencionado anteriormente.

Por outro lado, esse custo de mensalidade (referente ao modelo de locação), já engloba outros serviços prestados pela Forge, que se mostram fundamentais a uma boa introdução à manufatura aditiva, tais como treinamento para a utilização da impressora 3D, configurações de temperaturas (que é um indicador operacional extremamente importante), bem como um sistema *on-line*, em nuvem, voltado ao cadastro das peças.

Para a precificação do restante das peças levantadas no projeto, utilizou-se a simulação com o *software* CURA, que é um programa utilizado por operadores de impressoras 3D, para simular as características de impressões aditivas. Esses valores por peça podem ser conferidos na Tabela 5.

Com os preços dos itens completos, foi possível também completar, na Tabela 5, qual seria a economia mensal para a empresa de transporte, utilizando-se somente esses equipamentos, caso as peças fossem produzidas por impressão aditiva. Portanto, diante de tais dados, conclui-se que o valor da economia seria de R\$ 588,82 por mês.

Tabela 5 – Economia das peças elencadas com impressão aditiva em comparação com a aquisição no mercado usual

Peça	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Total	Média Mensal	Valor Unitário Mercado	Custo Mensal Mercado	Custo Impressão	Custo Mensal Impressão	Economia Mensal
COPO FILTRO SEPARADOR R90	5	3	8	7	5	10	38	6,3	R\$ 43,74	R\$ 277,02	R\$ 10,93	R\$ 69,22	R\$ 207,80
BATENTE PORTA CABINE MASCARELLO ROMA 330	10	5	6	20	25	15	81	13,5	R\$ 4,11	R\$ 55,49	R\$ 0,56	R\$ 7,56	R\$ 47,93
LACRE EMERGENCIAL JANELA LE CAIO/APACHIVIP	32	0	0	20	0	0	52	8,7	R\$ 8,00	R\$ 69,33	R\$ 2,64	R\$ 22,88	R\$ 46,45
GARRA BIPARTIDA PLASTIO LD APACHEVIP	1	2	0	1	5	0	9	1,5	R\$ 18,05	R\$ 27,08	R\$ 4,51	R\$ 6,77	R\$ 20,31
ALGEMA BALAUSTRÉ T CINZA PLÁSTICO 32MM	3	2	3	1	5	10	24	4,0	R\$ 7,70	R\$ 30,80	R\$ 1,93	R\$ 7,72	R\$ 23,08
TAMPA CARÇAÇA VALVULA TERMOSTÁTICA MB1417/1722	7	6	2	3	5	7	30	5,0	R\$ 31,53	R\$ 157,65	R\$ 7,88	R\$ 39,40	R\$ 118,25
INTERRUPTOR 1 SEÇÃO MB1721/1722	2	1	2	5	6	4	20	3,3	R\$ 32,00	R\$ 106,67	R\$ 8,00	R\$ 26,67	R\$ 80,00
TAMPA FILTRO LUBRIFICANTE 904LA MB915/1417/1418/1722	1	3	7	2	4	1	18	3,0	R\$ 20,00	R\$ 60,00	R\$ 5,00	R\$ 15,00	R\$ 45,00
TOTAL										R\$ 784,03		R\$ 195,22	R\$ 588,82 24,9%

Fonte: Elaborada pelos autores deste trabalho.

De tal forma, portanto, torna-se possível avaliar a viabilidade financeira do projeto. Em relação ao custo de aquisição da impressora, como mencionado anteriormente, caso seja considerada a aquisição do modelo citado (por R\$ 1.500,00), o *payback* deste projeto, aplicando-se somente as peças citadas, seria de aproximadamente 3 meses. Porém, trata-se de opção que apresenta alguns problemas operacionais, os quais serão tratados mais à frente.

De outra parte, em comparação com o modelo de locação de impressora (o qual agrega suporte técnico e software de gestão de peças em nuvem), no valor de R\$ 1.500,00 mensais, entende-se que não seria algo rentável, pois a economia almejada não atingiria esse valor mensal.

Poder-se-ia elevar esse projeto para um passo futuro, que seria a incorporação de mais peças para serem fabricadas pela impressão 3D, e, conseqüente, aumentar-se-ia esse ganho potencial. Entretanto, o time que realizou a visita *in loco*, juntamente com o técnico da empresa de impressão aditiva, entendeu que aquelas peças teriam maior potencial dado suas características. Essa dificuldade em encontrar peças com as quais seja possível a obtenção de um ganho potencial muito significativo, dá-se em razão de alguns fatores:

- Peças de carroceria apresentam baixa ou média incidência de quebra.
- Peças de carroceria são fabricadas em produção seriada, em grandes quantidades pelos fornecedores dos encarroçadores, logo, são feitas por injeção de plástico, com custos muito baixos de fabricação, até inferiores à impressão aditiva.
- A logística das distribuidoras tem sido cada vez mais eficiente e incrementando um valor por unidade baixo na entrega destas peças.
- Algumas peças da carroceria apresentam grandes tamanhos, como, por exemplo, o balaústre, o que dificulta a impressão aditiva, que é normalmente mais aplicada a peças menores.
- Outras peças da carroceria são fabricadas em etapas, como, por exemplo, o retrovisor, que possuiu sua parte de plástico ou fibra de vidro, mas, na seqüência, carece da aplicação do espelho. Dessa forma, caso fosse impresso, requereria mais uma etapa na fabricação, que não é o negócio principal da empresa de transporte.

Assim, este grupo entende que uma expansão na gama de peças a serem impressas traria, sim, uma economia, mas não tão significativa ao projeto.

É importante ressaltar, ainda, que, na análise de viabilidade financeira, não foi considerado o custo da engenharia reversa da peça para gerar o seu desenho 3D. Para as duas peças citadas, a empresa parceira não repassou esse custo. Porém, para a produção de mais peças, eles certamente o repassariam.

Além desse custo, também não foi considerada a mão de obra especializada para operar a impressora, principalmente na definição de parâmetros iniciais para as primeiras peças impressas. Trata-se de questão que será melhor elaborada mais adiante.

Portanto, à vista dos argumentos acima expostos, este grupo entende que a aplicação do projeto não apresentou ganhos significativos à empresa de transporte que foi objeto do estudo, de modo a prejudicar a sua viabilidade financeira.

7.4 – Análise de viabilidade Operacional

Conforme mencionado anteriormente, tem-se três modelos operacionais que poderiam ser aplicados ao projeto:

1. Ter uma impressora em cada empresa de ônibus.
2. Ter uma impressora em uma empresa de ônibus, a qual fornecerá peças a outras unidade de um mesmo grupo, ou estabelecerá parcerias com as outras operadoras da mesma cidade.
3. Usar a impressora de um fornecedor externo, na mesma cidade.

Cada uma destas opções apresenta suas peculiaridades, mas, caso a impressão seja externa à garagem, gerar-se-ia uma dificuldade logística na distribuição das peças.

Em relação à questão envolvendo a complexidade da operação, neste momento, o modelo que a empresa parceira Forge oferece (locação mensal por R\$ 1.500,00, com assistência técnica e *software* de gestão de peças inclusos) mostra-se uma opção interessante.

Para se construir as primeiras peças na impressora, requer-se um vasto conhecimento em configurações dos parâmetros e das características dos insumos. Nesse sentido, torna-se realmente interessante o pacote de prestação de serviços oferecido pela Forge, já que, nesse contexto, a referida empresa forneceria assistência técnica para se imprimir as primeiras peças.

Assim, após os parâmetros de uma peça consolidados, um almoxarife poderia facilmente operar a impressora. Por outro lado, iniciar o preparo de uma peça seria mais trabalhoso, podendo, inclusive, a exemplo do lacre de emergência com insumo na coloração vermelha, gerar retrabalhos, por mais que a empresa parceira seja experiente.

Uma vez definidos e testados os parâmetros da impressora e do respectivo insumo, as próximas peças já são de produções mais simples, precisando apenas replicar as configurações iniciais.

Entretanto, essa prestação de serviço, cujo objetivo é viabilizar as impressões, apresenta um custo elevado, conforme pode ser verificado no item 6.3, o que inviabiliza essa opção.

Analisando-se a outra opção operacional, que consiste em realizar a aquisição de uma impressora no mercado, trata-se de alternativa que certamente requereria a dedicação de um profissional qualificado em manufatura aditiva, para se realizar as configurações da impressora e os testes com insumos, o que seria custoso e trabalhoso para uma operadora de transporte, desviando-se bastante de seu negócio principal. Assim, não se recomenda, também, a aquisição de impressora para se realizar esse serviço.

Em relação ao tempo de produção, verifica-se que são peças pequenas, leves e simples, podendo inclusive serem impressas várias peças ao mesmo tempo, acelerando-se ainda mais o processo. Além disso, uma das vantagens operacionais é a independência da impressora, podendo, por exemplo, um operador deixá-la imprimindo à noite, sem ter alguém supervisionando o equipamento.

Portanto, à luz das ponderações acima expostas, este grupo entende que, operacionalmente, somente seria viável utilizar os serviços de assistência da empresa parceira, caso contrário, a operação não seria viável.

7.5 – Análise de viabilidade estratégica

É muito importante ressaltar que não foram considerados vários outros fatores que influenciaram na conclusão do projeto, tais como:

- Tamanho da empresa (quantidade de veículos).
- Economia com a redução do estoque, uma vez que o projeto diminuiria a demanda de peças paradas em estoque.
- Impactos financeiros, operacionais e até contratuais, na possibilidade de não haver a peça de reposição em estoque e, assim, os ônibus ficarem parados aguardando a chegada de peças de reposição.

- Habilitação de ganhos marginais (ao se ter uma impressora aditiva disponível, por exemplo), confecção de brindes ou transformação de ferramentas pesadas em ferramentas de maior facilidade.

De tal sorte, este grupo entende que, estrategicamente, para que uma empresa possa se beneficiar exponencialmente dessa possibilidade de utilização de impressão aditiva, suas operações deveriam estar localizadas em área de difícil acesso aos fornecedores de peças de reposição.

Esta seria a hipótese, por exemplo, de um cenário envolvendo um veículo quebrado, que precisa urgentemente voltar a operar, ao passo em que o almoxarifado da empresa não possui a necessária peça de reposição, e que esta peça demoraria dias para chegar. Neste caso, a impressão aditiva resolveria o problema com agilidade, já que apresentaria a capacidade de imprimir a desejada peça em poucas horas.

Outra opção seria a impressão de uma peça provisória (mas que tornasse o veículo operacional, até que a original fosse entregue pelo fornecedor), a qual seria utilizada, enquanto não fosse possível instalar a peça definitiva.

Em outras palavras, pode-se dizer que, estrategicamente, existem diferentes cenários em que a impressão aditiva apresentaria maiores vantagens, as quais, inclusive, poderiam suplantar e contornar as dificuldades apresentadas por este grupo, quando das análises de viabilidade financeiras e operacionais.

7.6 – Cronograma de implementação

A despeito da conclusão de inviabilidade financeira e estratégica do projeto, especificamente na unidade de Itaquaquetuba do Grupo CSC, caso se pretenda implementá-lo em outra empresa ou unidade de negócio que se mostre viável (sob todos os pontos de vista abordados), dever-se-á seguir o seguinte cronograma:

Tabela 6 – Cronograma de implementação

	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10
Contratação Fornecedor										
Levantamento Requisitos										
LICOR										
Modelagem de Peças										
Impressão										
Validação										
Implementação										

Fonte: Elaborada pelos autores deste trabalho.

8 CONCLUSÕES

Diante do exposto, conclui-se que a manufatura aditiva não é viável, ao menos neste momento, no que se refere à almejada implantação voltada à confecção de peças automotivas para os ônibus da unidade de Itaquaquecetuba/ SP.

Tal conclusão é baseada, principalmente, na análise de viabilidade descrita no item 7 deste trabalho, que se baseia em quatro fatores:

Viabilidade técnica: satisfatória. As peças impressas apresentaram estruturas e condições muito semelhantes às originais, fabricadas por injeção de plástico.

Viabilidade financeira: insatisfatória. O custo de produção da peça, somado aos serviços de locação mensal da impressora, assistência técnica e *software* de gestão de peça, mostraram-se inviáveis, no contexto do caso estudado pelo grupo.

Viabilidade operacional: satisfatória. Verifica-se a sua viabilidade, em relação ao cenário de contratação dos serviços de uma empresa especializada na fabricação de peças 3D, incluindo-se a locação mensal da impressora, assistência técnica e *software* de gestão de peça.

Viabilidade estratégica: insatisfatória. Seria mais viável à empresa comprar peças de reposição no mercado automotivo, tanto do ponto de vista logístico (tempo de entrega), quanto financeiro (custo acessível).

No entanto, ao longo dessa jornada, foi possível vislumbrar outros possíveis cenários, nos quais a manufatura aditiva poderia ser viável.

No caso das empresas de ônibus, uma das possibilidades seria a expandir a gama de peças ou testar esse conceito em frotas maiores, o que, conseqüentemente, demandaria mais peças de reposição. Isso ajudaria a diluir os custos com o investimento na compra de uma impressora ou no seu aluguel, mão de obra para operá-la, além da assistência técnica e *software* de gestão de peça.

Estrategicamente, a impressão aditiva poderá ser, no futuro, uma ótima opção para as empresas de transporte, caso haja um ambiente colaborativo entre elas, em que as peças estejam com seus desenhos previamente disponíveis, as impressoras e os insumos com configurações pré-definidas e valores mais acessíveis.

Quando considerados casos nos quais os desafios logísticos tornam o fornecimento de peças demasiadamente demorado ou caro (como, por exemplo, a importação de peças do exterior), a impressão de peças seguramente pode ser uma excelente alternativa, assim como produzi-las sob medida, com projetos

personalizados para necessidades específicas. O cenário torna-se ainda mais atrativo, na hipótese em que as peças almejadas apresentem um elevado valor agregado (como é o caso citado no item 5.2.1.1 Estudo de caso – Empresa Vale – Equipamento 1).

A impressão 3D não segue o método tradicional de *supply chain*: planejar, fornecer, entregar e retornar. Isso significa que esse método pode evitar o risco da previsão de demanda. Por essa razão, a impressão 3D destaca-se justamente nas áreas de produtos de baixa demanda. Assim, a oportunidade de redução dos investimentos em estoques é factível, uma vez que é possível suprir, através da manufatura aditiva, parte considerável da necessidade de armazenagem de peças.

O aprendizado adquirido com este estudo foi muito abrangente, ao passo em que engajou os integrantes do grupo a refletir sobre o seguinte: de que maneira seria possível contribuir para que as empresas e seus processos logísticos sejam mais eficientes e, conseqüentemente, como isso poderia refletir na sociedade atual?

Vive-se em um momento no qual os líderes mundiais discutem como seus países podem ser mais sustentáveis, consumindo menos recursos naturais e poluindo menos. Nesse cenário, a manufatura aditiva tem o potencial de se tornar uma destacada protagonista e uma importante aliada, haja vista toda a gama de possibilidades que ela proporciona, como o encurtamento da cadeia logística, a redução dos custos de transporte e prazos de entrega, bem como a atenuação dos impactos ambientais (como, por exemplo, a redução da pegada de carbono oriunda da logística de peças de reposição).

REFERÊNCIAS

3DLAB. **Manufatura aditiva**: saiba o que é e o que ela representa. Disponível em: <https://3dlab.com.br/o-que-e-manufatura-aditiva/#Quais_as_vantagens_da_manufatura_aditiva> Acesso em: 13 abr. 2022.

BEAL, Valter E. **Fabricação de Gradientes Funcionais entre Aço Ferramenta e Cobre por Fusão Seletiva a Laser usando um Feixe de Laser Pulsado Nd: Yag de Alta Potência para Aplicações em Moldes de Injeção**. Tese de Doutorado, UFSC, Florianópolis/SC, 2005.

CNT. 2021. **Visão Integrada da Cadeia de Valor: Supply Chain Management**. Pós-graduação em Gestão de Negócios. Prof. Carlos Alves de Lima Nascimento. 2021.

CNT. Confederação Nacional do Transporte. **Ônibus urbanos enfrentam endividamento e queda de demanda**. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/onibus-urbanos-endividamento-queda-demanda>. Acesso em: 20 set. 2022.

CNT. Confederação Nacional do Transporte. **Pesquisa CNT de Rodovias**. 2021. Disponível em: www.pesquisarodovias.cnt.org.br/downloads/ultimaversao/Pesquisa_CNT_Rodovias_2021_Web.pdf

ENESEP. **Manufatura aditiva x Produção em massa**. 2019.

ENGIPRINTERS. **Os tipos de tecnologia de impressão 3D**. Disponível em: <<https://engiprinters.com.br/os-tipos-de-tecnologia-de-impressao-3d/>>. Acesso em: 15 abr. 2022.

ESTADÃO. SUMMIT 2022. **Como foi pensado o transporte público no Brasil?** 2020. Disponível em: <https://summitmobilidade.estadao.com.br/compartilhando-o-caminho/como-foi-pensado-o-transporte-publico-no-brasil/>

FASTPARTS. **O que é e quais os benefícios da manufatura aditiva?**. Disponível em: <<https://www.fastparts.biz/post/manufatura-aditiva-fastparts>> . Acesso em: 13 abr. 2022.

FORGE. s.d. Disponível em: <https://www.forge3d.online>

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 1999.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

GIORDANO, C. M.; ZANCUL, E. S.; RODRIGUES, V. P. **Análise dos Custos da Produção**

ILOS. **Evolução do desempenho logístico no varejo virtual do Brasil**. 2001. Disponível em:

https://www.ilos.com.br/web/page/80/?option=com_docman&task=cat_view&gid=10&limit=5&limitstart=5&order=date&dir=ASC&lang=br Acesso em: 26 abr. 2022.

ILOS. **Evolução do desempenho logístico no varejo virtual do Brasil**. 2001.

Disponível em:

https://www.ilos.com.br/web/page/80/?option=com_docman&task=cat_view&gid=10&limit=5&limitstart=5&order=date&dir=ASC&lang=br Acesso em: 26 abr. 2022.

MAHA3D, **O papel da manufatura aditiva na indústria 4.0**. Disponível em:

<<https://maha3d.com/o-papel-da-manufatura-aditiva-na-industria-4-0>>. Acesso em: 13 abr. 2022.

MARKETS AND MARKETS (s.d.). Disponível em:

<https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/3d-printing.asp>

MECALUX. **Manufatura aditiva**: a impressão 3D digitaliza a manufatura. Disponível em: <<https://www.mecalux.com.br/blog/manufatura-aditiva/>>. Acesso em: 23 março 2022.

NTU. Associação Nacional das Empresas de Transporte Urbano. 2022. Disponível em: <https://www.ntu.org.br/novo/Default.aspx?v=1232>

NTU. Associação Nacional das Empresas de Transporte Urbano. 2020. Disponível

em: [www.ntu.org.br/novo/ckfinder/userfiles/files/Opinião\(1\).pdf](http://www.ntu.org.br/novo/ckfinder/userfiles/files/Opinião(1).pdf). Acesso em: 20 set. 2022.

PERIÓDICOS UFMS. **Manufatura Aditiva**: conceitos, aplicações e impactos na gestão. Disponível

em: https://periodicos.ufms.br/index.php/EIGEDIN/article/download/8702/pdf_249. Acesso em: 23 mar. 2022.

PRINTIT3D. **Digitalização 3D e Engenharia Reversa na indústria brasileira**

(Escaneamento 3D). Disponível em:

<<https://www.printit3d.com.br/post/digitaliza%C3%A7%C3%A3o-3d-e-engenharia-reversa-na-industria-brasileira-escaneamento-3d>>. Acesso em: 26 março 2022.

RIOTRON. **Impressão 3D vantagens e desvantagens**. Disponível em:

<https://riotron.com.br/impresao-3d-vantagens-e-desvantagens/>>. Acesso em: 15 abr. 2022.

RODRIGUES, L. F.; JESUS, R. A.; SCHÜTZER, K. *Indústria 4.0 - Uma Revisão da Literatura*. **Revista de Ciência & Tecnologia**, 2016.

ROMEIRO FILHO, Eduardo. **Projeto do produto**. FERREIRA, Cristiano

Vasconcellos (coord.). Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

SEST_SENAT. 2016. **Logística Integrada – Suprimentos, Distribuição e Supply Chain**. 2016.

TEIXEIRA, Marcos Vinicius Borges. **Análise comparativa na produção de peças plásticas por injeção em moldes e impressão 3D**. UFPA. Ponta Grossa. Paraná. 2021. Disponível em:

<http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/27798/1/analiseinjecaoeimpresao3d.pdf>
Acesso em: 26 abr. 2022.

TEIXEIRA, Marcos Vinicius Borges. **Análise comparativa na produção de peças plásticas por injeção em moldes e impressão 3D**. 2021. Disponível em: <http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/27798/1/analiseinjecaoeimpresao3d.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2022

VOLPATO, N.; CARVALHO, J. Introdução à manufatura aditiva ou impressão 3D. In: MUNHOZ, A. L. J. et al. **Manufatura Aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão 3D**. São Paulo: Blucher, 2018.