

# CAPÍTULO 1

## VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DO PROCESSO DE MANUFATURA ADITIVA PARA A FABRICAÇÃO DE UMA PEÇA DE AÇO INOXIDÁVEL EM UM LABORATÓRIO DE PESQUISA EM RADIOLOGIA INDUSTRIAL

---

*Data de submissão: 21/05/2023*

*Data de aceite: 03/07/2023*

### **André da Silva Barbosa**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Faculdade de Ciências Exatas e Engenharias (FCEE)  
Rio de Janeiro – RJ  
<https://orcid.org/0009-0001-2491-8778>

### **Maria Iaponeide Fernandes Macêdo**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Faculdade de Ciências Exatas e Engenharias (FCEE)  
Rio de Janeiro – RJ  
<https://orcid.org/0000-0001-7928-8040>

### **Paula de Castro Brasil**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Faculdade de Ciências Exatas e Engenharias (FCEE)  
Rio de Janeiro – RJ  
<http://lattes.cnpq.br/1387556808330533>

### **Neyda de la Caridad Om Tapanes**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Faculdade de Ciências Exatas e Engenharias (FCEE)  
Rio de Janeiro – RJ  
<https://orcid.org/0000-0002-9818-3655>

### **Roberta Gaidzinski**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Faculdade de Ciências Exatas e Engenharias (FCEE)  
Rio de Janeiro – RJ  
<https://orcid.org/0000-0001-5144-4259>

### **Gisele Duarte Caboclo Antolin**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Faculdade de Ciências Exatas e Engenharias (FCEE)  
Rio de Janeiro – RJ  
<http://lattes.cnpq.br/0318467707969652>

### **Tatiana Santos da Cunha**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Faculdade de Ciências Exatas e Engenharias (FCEE)  
Rio de Janeiro – RJ  
<http://lattes.cnpq.br/1206792034001854>

### **Tetyana Gurova**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Faculdade de Ciências Exatas e Engenharias (FCEE)  
Rio de Janeiro – RJ  
<http://lattes.cnpq.br/8505053140543339>

**RESUMO:** A Manufatura Aditiva é uma tecnologia baseada no conceito da indústria 4.0 que tem se destacado no cenário industrial devida a inúmeras vantagens apresentadas no intuito de redução de tempo e de custos de produção. A proposta deste trabalho é avaliar o processo de fabricação por manufatura aditiva, para isto foi utilizado uma peça de teste com orifícios vazantes e extremidades rosqueáveis a fim de explorar as possibilidades de falhas na produção. Sabe-se também que no cenário industrial os ensaios não destrutivos são denominados como verdadeiras ferramentas que permitem garantir a manutenção da qualidade do processo produtivo, baseado neste contexto foi utilizado a tomografia industrial como técnica de ensaio não destrutivo para avaliar a integridade do interior de duas peças, uma confeccionada por manufatura aditiva de aço inoxidável 316 e a outra peça feita por fundição. Os resultados demonstraram que o processo de produção por manufatura aditiva (MA) possuía melhor qualidade estrutural quando comparado ao processo por fundição. Diferente da peça fabricada por MA, a peça confeccionada por fundição apresentou inúmeras porosidades de tamanho acentuado além de ter sido constatado pontos de falta de fusão no interior da estrutura. Estas falhas podem comprometer a qualidade estrutural da amostra ocasionando na perda de funcionalidade. Por meio da entrevista, foi possível destacar os principais benefícios da aplicação da tecnologia de manufatura aditiva no sistema da empresa em questão. Conclui-se que a manufatura aditiva possui inúmeras vantagens que agregam ao potencial competitivo empresarial, permitindo a redução de etapas do processo de produção, baixa intervenção humana e menor uso de matéria-prima. No entanto é importante considerar o custo elevado de aquisição do equipamento que pode ser um fator impeditivo para implantação desta tecnologia em empresas de pequeno porte. Os resultados demonstraram que o processo de produção por manufatura aditiva possuía melhor qualidade estrutural quando comparado ao processo por fundição.

**PALAVRAS-CHAVE:** Manufatura Aditiva; Ensaio Não-Destrutivo; Tomografia Computadorizada; Processo de Fabricação.

## FEASIBILITY OF IMPLEMENTING THE ADDITIVE MANUFACTURING PROCESS TO FABRICATION OF A STAINLESS STEEL PART IN AN INDUSTRIAL RADIOLOGY RESEARCH LABORATORY

**ABSTRACT:** Additive Manufacturing is a technology based on the concept of industry 4.0 that has stood out in the industrial scenario due to the numerous advantages presented in order to reduce time and production costs. The purpose of this work is to evaluate the manufacturing process by additive manufacturing, for this purpose a test piece with leaking holes and threaded ends was used in order to explore the possibilities of production failures. It is also known that in the industrial scenario, non-destructive tests are called true tools that guarantee the maintenance of the quality of the production process, based on this context, industrial tomography was used as a non-destructive test technique to evaluate the integrity of the interior of two parts, one made by additive manufacturing of 316 stainless steel and the other made by casting. The results showed that the additive manufacturing (AM) production process had better structural quality when compared to the casting process. Unlike the piece manufactured by MA, the piece made by casting showed numerous porosities of high size, in addition to having points of lack of fusion found inside the structure. These flaws can

compromise the structural quality of the sample, causing loss of functionality. Through the interview, it was possible to highlight the main benefits of applying additive manufacturing technology in the company's system in question. It is concluded that additive manufacturing has numerous advantages that add to the business competitive potential, allowing the reduction of steps in the production process, low human intervention and less use of raw materials. However, it is important to consider the high cost of acquiring the equipment, which can be an impediment to the implementation of this technology in small companies.

**KEYWORDS:** Additive Manufacturing; Non-Destructive Tests; Industrial Tomography; Manufacturing Process.

## 1 | INTRODUÇÃO

Ao longo de toda evolução do sistema de produção, a tecnologia sempre foi o alicerce para a modernização dos processos e sistemas de fabricação, o que favoreceu a redução de custos e o tempo de produção, sem afetar a qualidade do produto. Isto porque a vantagem principal do uso da tecnologia se dá pela possibilidade de monitoramento em tempo real dos processos, tornando os ajustes mais rápidos e, por consequência, verificações de qualidade mais precisas. Segundo Raposo (2021), o modo com que a inovação tecnológica impacta na competitividade das organizações se dá por intermédio da otimização da produtividade, da melhoria na comunicação, na qualidade dos produtos, bem como nos métodos de controle e planejamento, possibilitando, conseqüentemente, a diferenciação ou a redução dos custos.

Assim, para se obter boa competitividade, os líderes de grandes organizações precisam considerar tudo o que pode afetar uma mudança do cenário na empresa. Então, há a necessidade de uma postura inovadora, com atenção às tendências e ser capaz de se ajustar a elas. Logo, as empresas que conseguirem ser capazes de inovar, de se anteciparem às mudanças e de se adequarem às mesmas tornam-se mais competitivas frente às outras.

O autor Netto (2016) define processo industrial como sendo uma sequência contínua de fatos ou fenômenos que se reproduzem com certa regularidade dentro das indústrias para produção de produtos ou matérias-primas para outras indústrias. Diferentemente, um processo de manufatura é definido pelo autor como sendo a forma como a indústria irá manipular uma determinada matéria-prima para se obter um produto acabado. Já o processo de produção é definido como um conjunto de atividades que objetiva o desenvolvimento de um produto ou serviço.

Diretamente relacionado com o conceito de manufatura tem-se os processos de fabricações que consistem, basicamente, num conjunto de técnicas que, geralmente, envolvem fenômenos físicos, tais como: fusão, solidificação, remoção de material, moldagem entre outras formas que são aplicadas para a transformação da matéria-prima em um produto acabado. Neste capítulo, portanto, o foco será na Manufatura Aditiva (MA).

A MA consiste, basicamente, de um tipo de processo de fabricação que utiliza um modelo digital, geralmente em CAD, e que a partir deste constrói um objeto tridimensional. É denominada “aditiva” devido ao fato de o processo ser realizado em finas camadas de materiais, uma sobre a outra.

As principais vantagens adquiridas com o emprego desta técnica quando comparado com outras, são: Redução dos custos com equipamentos e ferramentas; consolidação de várias peças; agilidade na produção; customização e sustentabilidade.

Logo, suas características contribuíram para uma ampla difusão desta técnica no setor industrial. Isto porque além da possibilidade de construção de uma peça complexa, de forma ágil e customizada, ou seja, com características que o cliente deseja, a técnica possui uma facilidade de automatização pois torna o processo de produção mais enxuto e dispensa a utilização de diversos equipamentos.

Sabendo disso, tornou-se necessário a implementação da técnica de ensaio não destrutivo para inspeção da confiabilidade estrutural do produto após a confecção por MA. Segundo a explicação de Júnior (2006), Ensaio Não Destrutivo (END) consistem em técnicas utilizadas para a inspeção de materiais e equipamentos sem danificá-los e são definidos como testes para o controle da qualidade, realizados sobre peças acabadas ou semiacabadas, para a detecção de defeitos ou falta de homogeneidade, através de princípios físicos definidos, sem prejudicar a posterior utilização dos produtos inspecionados.

Dessa forma, foi escolhida a técnica de Tomografia Computadorizada Industrial (TC) que possibilita o acesso não destrutivo ao interior de peças complexas constituídas por diversos tipos de materiais, poliméricos, metálicos, biológicos entre outros. Isso é possível pois a técnica utiliza softwares sofisticados que possibilitam realizar comparações da amostra digitalizada com o modelo matemático CAD (*Computer Aided Design*). Permitindo identificar desvios da amostra fabricada em relação ao projeto original da engenharia, além de comparar peças produzidas em momentos diferentes no decorrer da vida útil de um equipamento para uma melhor avaliação de seu desgaste.

Por isso, a análise por tomografia computadorizada tem obtido cada vez mais destaque no setor industrial por consistir numa técnica de inspeção que permite coletar grandes quantidades de dados da geometria tanto interna quanto externa da peça a ser analisada. Sendo que essas informações possibilitam a identificação de defeitos que podem ser relacionados com a causa raiz de algum tipo de falha funcional que o produto possui ou ainda pode adquirir com o decorrer do tempo.

Um típico exemplo de defeito é a porosidade, que compromete inevitavelmente a resistência dos componentes e, portanto, deve ser perfeitamente controlada para atender aos requisitos de qualidade do componente. Mediante a isso foi utilizada nesta pesquisa a TC devido a garantia de precisão do diagnóstico de falhas estruturais qualidade do processo de manufatura aditiva.

Neste contexto o presente artigo visa estabelecer um comparativo entre o processo de manufatura aditiva e o processo de fundição para a confecção de uma peça de aço inoxidável.

## 2 | REFERENCIAL TEÓRICO

Atualmente, a Quarta Revolução Industrial (Indústria 4.0), tem como fator marcante a integração que as tecnologias permitem entre os dispositivos e o ambiente virtual. Ocorre que ao introduzir sistemas inteligentes na indústria, a complexidade operacional é bastante reduzida, aumentando a robustez e segurança nos processos, e conseqüentemente, ocorre a redução dos custos e aumento da qualidade dos produtos e serviços.

Essas aplicações são mais independentes da ação humana quanto à operação visto que existe uma comunicação instantânea entre máquinas, processos, linhas de montagem e até mesmo unidades de produção. Dentre as várias aplicações, destacam-se a Manufatura Aditiva (M.A) como uma ferramenta que visa modernizar a rotina industrial, reduzindo as etapas de produção.

### 2.1 A Manufatura Aditiva

A Manufatura Aditiva foi definida por Gebhardt (2016), como uma técnica de Impressão 3D consistindo na criação de um objeto em formato desejado através da adição de materiais camada por camada. Seu princípio é baseado no fato de que todo objeto pode ser decomposto em diversas camadas e reconstruído com elas, independentemente de sua complexidade geométrica.

O autor Redwood (2017) explica que a manufatura aditiva se distingue dos métodos tradicionais de fabricação, a saber: usinagem e fundição. Enquanto a usinagem necessita da utilização de ferramentas diversas para fazer a subtração de partes do material, esculpindo-o em seu formato desejado, e a fundição depende da utilização de moldes que conformam o material derretido no formato do espaço vazio da forma, a impressão 3D trabalha a partir da adição de partes para a formação de um todo e não depende de moldes para a produção (Figura 1).

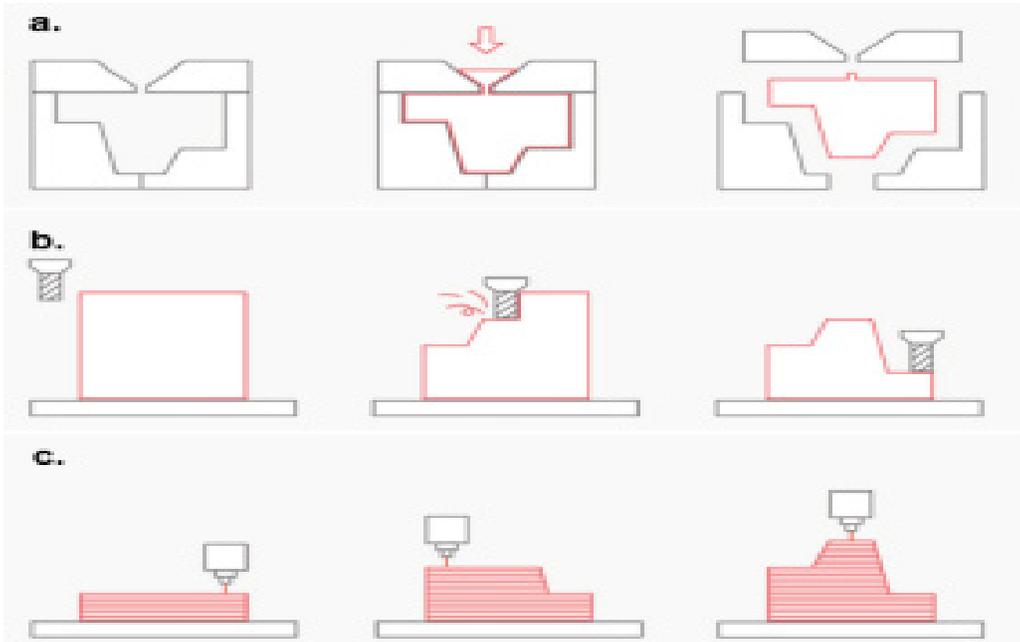


Figura 1- Comparativo entre (a) Fundição; (b) Usinagem; (c) Manufatura Aditiva

Fonte: Redwood, 2017.

## 2.2 Etapas do Processo de Produção por Manufatura Aditiva

Segundo Redwood (2017) relata que a produção por manufatura aditiva, independentemente do tipo de tecnologia empregada, deve ser constituída por cinco etapas básicas e constantes, na qual destaca-se a seguir:

- Elaboração de um modelo CAD da peça a ser projetada: A técnica que é utilizada para criação de um modelo virtual é o CAD (Computer Aided Design) que permite o desenvolvimento de esquemas realistas de peças e estruturas. Existe também a possibilidade de utilizar a engenharia reversa para adquirir um modelo digital da peça.
- Criação e manipulação do arquivo STL: A impressora 3D não consegue interpretar arquivos do tipo CAD, logo é necessário realizar a conversão dos mesmo para o arquivo *Standard Triangle Language* (STL). Este formato atua simplificando os modelos CAD que são complexos para a interpretação das impressoras, ele utiliza triângulos para descrever as superfícies dos objetos. Então, este arquivo STL é exportado para um programa que divide o design em camadas que serão usadas para construir as partes, esta divisão corresponde a uma segmentação da peça em camadas. O programa também permite que o operador da impressora 3D defina parâmetros de construção da impressora especificando, altura da camada, e orientação da peça.

- Impressão: Como já foi citado anteriormente, cada uma das sete tecnologias de M.A, classificadas segundo a norma ISO/ASTM 52900:2021, fabricam peças de formas particulares, porém o método sempre é o de adição de materiais de camadas por camadas. O processamento é realizado em camadas, processadas da base até o topo, gerando-se a peça física através do empilhamento e aderência delas.
- Remoção do objeto impresso: A remoção da peça impressa depende do tipo de tecnologia utilizada, pois alguns métodos da peça impressa podem ser simplesmente removidos da plataforma de construção. Para outros métodos de impressão 3D, de aplicação industrial, a remoção é um processo técnico e requer ambiente controlado e procedimentos precisos para a retirada da peça do material envolto e da plataforma de construção.
- Pós processamento: Os procedimentos de pós-processamento também variam com o tipo de tecnologia de impressão utilizada, pois determinadas tecnologias podem requerer elementos para a cura antes da peça ser manuseada, outras podem necessitar realizar acabamento por usinagem enquanto outros permitem que as peças sejam manuseadas imediatamente.

De forma geral, independente da classe da tecnologia a ser empregada, num sistema de produção por M.A os procedimentos irão se manter constantes. A figura abaixo apresenta as etapas do procedimento de fabricação de um dado objeto por M.A (Figura 2).

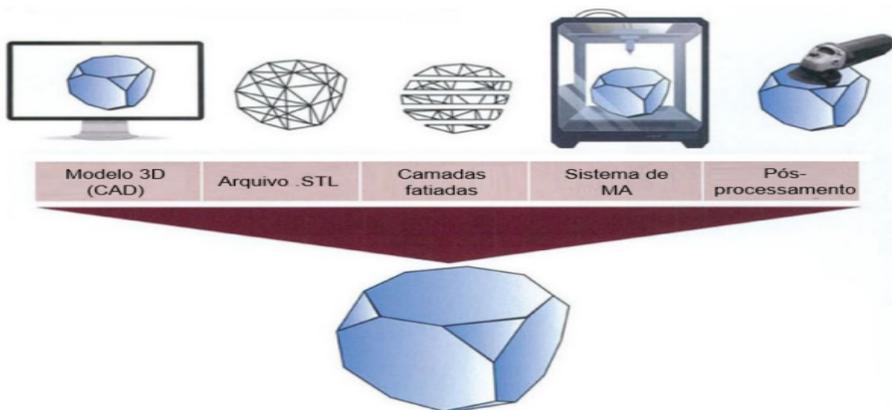


Figura 2: As etapas do processo de produção por M.A.

Fonte: Próprio autor (2022).

### 2.3 A Técnica de Tomografia Industrial Computadorizada

A Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos (ABENDI) estabelece que os ensaios não destrutivos (END) são técnicas para detecção e avaliação de falhas (defeitos e descontinuidades) nos materiais, mas sem alterar a integridade estrutural da peça durante o teste.

No setor industrial o END tornou-se uma ferramenta essencial para diagnosticar, previamente, as causas das falhas, um mau funcionamento, deterioração estrutural externa ou interna de alguma peça, entre outras causas. Ampliou-se a inclusão desta técnica no ciclo de processo de fabricação de produtos, principalmente, nos seus estágios finais de desenvolvimento, objetivando satisfazer aos requisitos de qualidade deles.

A Tomografia Industrial Computadorizada (TC) é considerada uma das técnicas do ensaio radiográfico digital conforme o Guia da ABENDI (2018). Este mesmo órgão descreve que nesta técnica a peça é exposta a um feixe estreito de raios X que a atravessa em vários planos para realizar combinações de diversas imagens de raios X processadas por computador, em diferentes ângulos, a fim de produzir imagens da seção transversal do objeto (Figura 3).

Estas imagens são obtidas girando-se a peça 360° em um eixo perpendicular ao feixe de raios X, projetando sua imagem em um detector do tipo flat panel. Após esse processo de aquisição, as imagens são usadas em um processo de reconstrução que gera um volume tridimensional (3D) da peça, permitindo que a mesma possa ser cortada virtualmente em planos para análise.

Assim sendo, a TC oferece uma possibilidade de visão única, tridimensional e não destrutiva de um corpo de prova. Segundo Frade (2016), a tomografia computadorizada industrial possui aplicações pelas quais permitem a reconstrução de objetos em diferentes formas e densidades, tendo sido utilizada em diversas aplicações industriais, tais como aplicações em processos que envolvem fluidos multifásicos, alimentos, polímeros, eletrônica e em engenharia reversa.

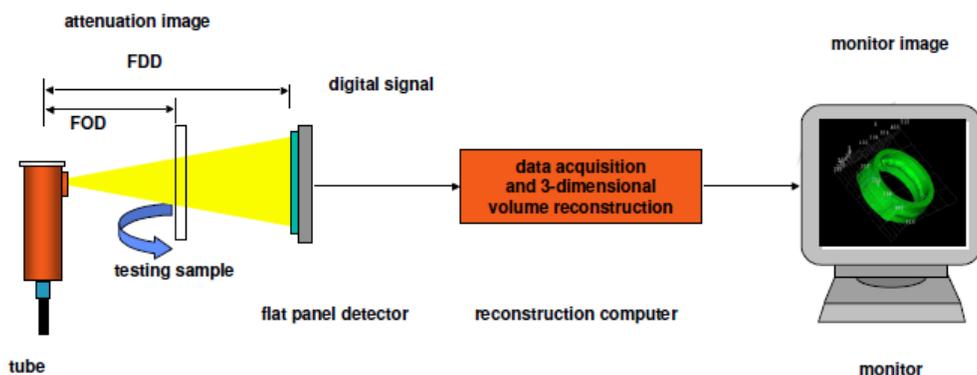


Figura 3: Exemplo de um Sistema de Inspeção por Tomografia Industrial Digital.

Fonte: Andreucci (2020).

Cabe ressaltar que a qualidade da imagem está associada a alguns parâmetros de aquisição, tais como: tensão de pico (kV); corrente do tubo ( $\mu A$ ).

De acordo com Moreira (2021), tensão e corrente impactaram de forma relevante na qualidade das imagens, já que se aumentarmos a microamperagem ( $\mu\text{A}$ ), aumentamos a intensidade do feixe de raios X e quando elevamos a quilovoltagem (kV), os feixes de raios X se tornam mais penetrantes na amostra.

Um exemplo do sistema utilizado para aplicação deste método para detecção de defeitos estruturais é apresentado na Figura 4.

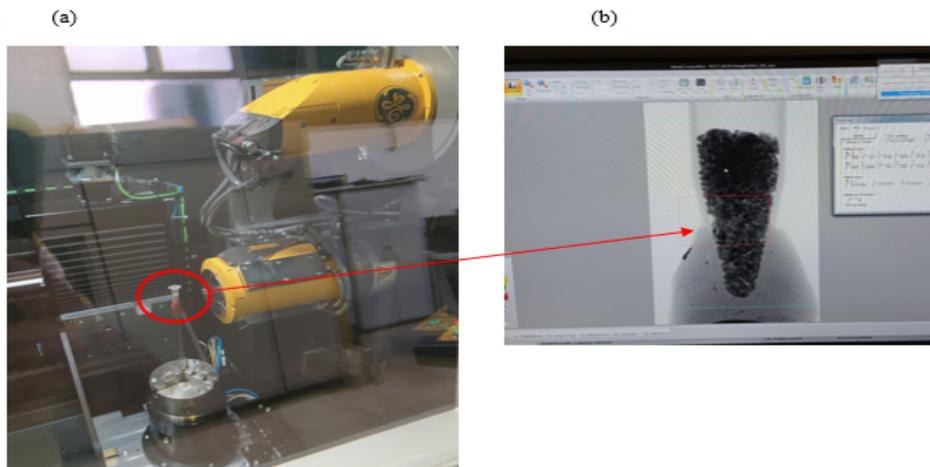


Figura 4 - Equipamento utilizado para o ensaio por TC, (a) Amostra hipotética; (b) Análise da Amostra hipotética.

Fonte: Próprio autor (2022).

O sistema é composto por um tubo de raio x, mesa rotatória e um painel do tipo flat panel. A amostra é fixada numa mesa rotatória na parte interior do equipamento onde é rotacionada  $360^\circ$  sob a incidência de um feixe de raio x. As imagens geradas são então reconstruídas para análise que é feita através do software de aquisição fornecido pelo fabricante do equipamento.

### 3 | MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa é caracterizada como qualitativa-descritiva, através de um estudo de caso com registro e interpretação dos dados coletados como procedimento metodológico.

Este método permite uma flexibilidade de aplicação do caso, pois no contexto da área industrial, as falhas costumam ser recorrentes e a estrutura de um caso pode ser aplicado para resolução de outras ocorrências em contextos diferentes.

Logo, como instrumento de coleta de dados utilizou-se um questionário com perguntas realizadas para o responsável da equipe técnica operante no desenvolvimento do produto com o intuito de estabelecer um comparativo, qualitativamente, sobre as vantagens da implementação do novo processo de fabricação.

Dentre as tecnologias desenvolvidas pelo laboratório de pesquisa em radiologia industrial, destacam-se:

- Sistemas de radiografia convencional e digital submarina;
- Sistema de radiografia digital on-line para avaliação de corrosão e soldas;
- Procedimentos de inspeção por radiografia e tomografia entre outras técnicas da Engenharia Nuclear.

Para este trabalho foi utilizado uma técnica de ensaio não destrutivo, a tomografia industrial que permite a modelação tridimensional do objeto ensaiado.

No intuito de estabelecer um comparativo das falhas estruturais entre os processos de manufatura aditiva e por fundição, foram dispostas duas peças de teste, ambas de material composto por aço inoxidável.

Para fins de análises e inspeção da peça-protótipo foi utilizado o tomógrafo industrial Phoenix V tomex m 300, do fabricante General Electric (GE), que é utilizado no laboratório da Instituição de ensino superior do Rio de Janeiro para realização de pesquisas acadêmicas e científicas (Figura 5).

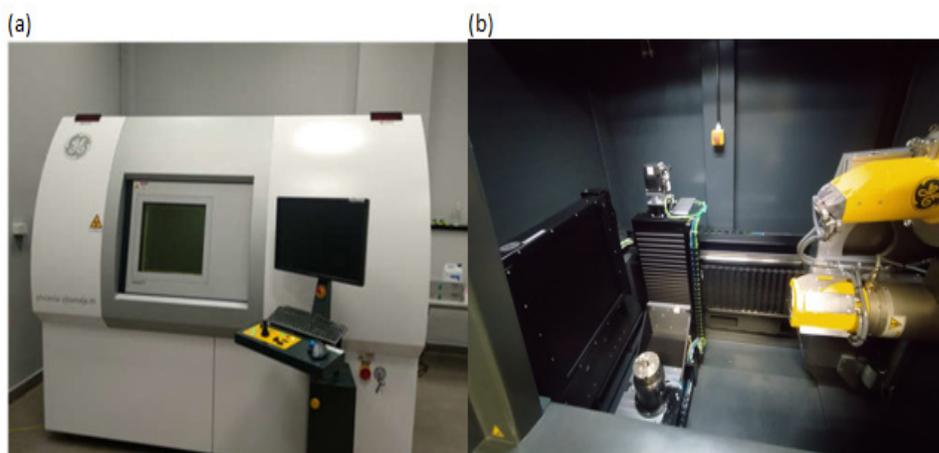


Figura 5 - Equipamento utilizado para o ensaio por TC, (a) visão exterior; (b) visão interior.

Fonte: Próprio autor (2022).

Foi utilizado o software VGStudio para a manipulação das imagens tomográficas, que foi desenvolvido pela Volume Graphics para visualização de uma imagem de alta qualidade. Ele possibilita gerar cortes 2D nas três dimensões, permite varredura ao longo dos cortes, com suas respectivas posições visualizadas na imagem 3D.

Foram utilizadas duas amostras composta por materia-prima de aço inoxidável sendo: uma peça teste produzida por manufatura aditiva e outra com mesmo design e dimensões, mas produzida em processo misto de fundição e usinagem, ambas com a finalidade de analisar a integridade estrutural do produto.

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Tomografia computadorizada

A figura 5 apresenta a imagem obtida por tomografia computadorizada da peça confeccionada por manufatura aditiva.

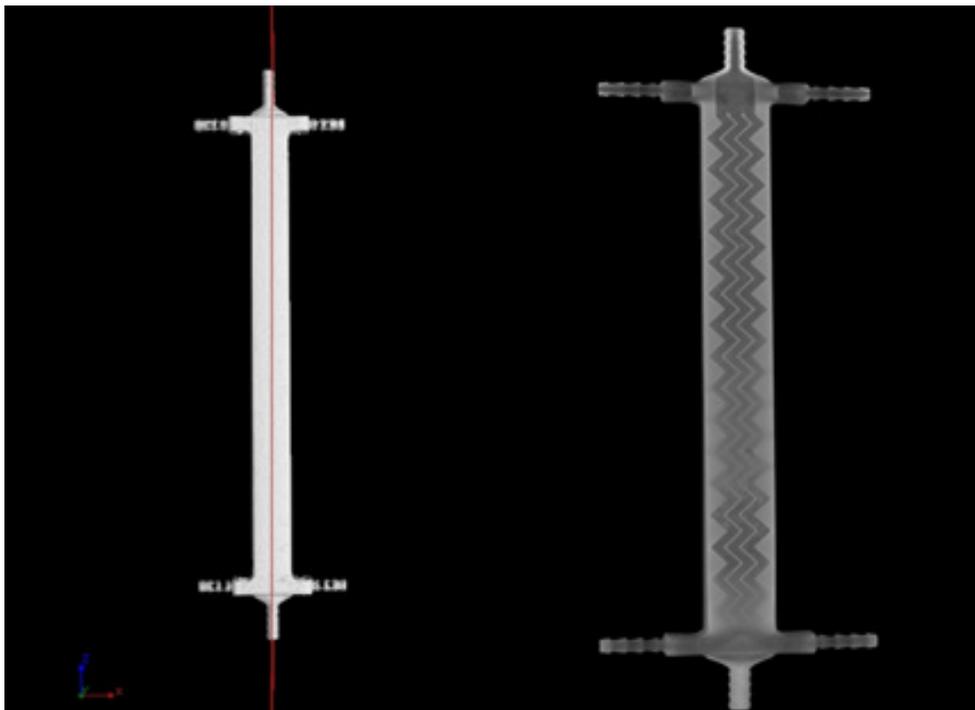


Figura 5 - Partes Interna e Externa da peça de teste produzida por MA.

Fonte: Próprio autor (2022).

Os dados obtidos pela tomografia computadorizada são apresentados em formato de três dimensões como mostra a Figura 6.

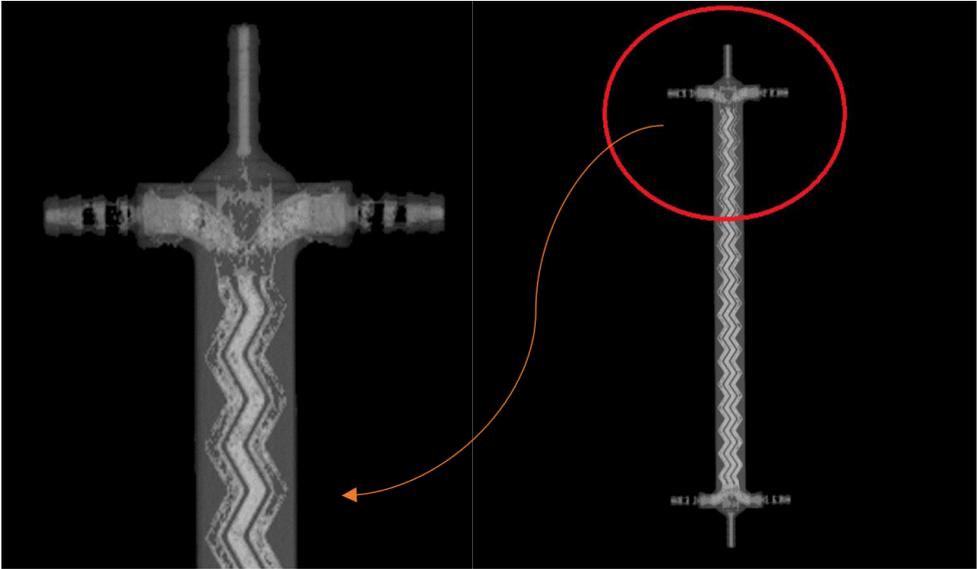


Figura 6: Peça de teste produzida por processo misto (Fundição e Usinagem). (a) Vista da peça inteira; (b) Vista da extremidade superior.

Fonte: Próprio autor (2022)

Uma faixa defeituosa pode ser observada na figura 6 (b). Sabe-se que a estrutura deve ser rígida e que os dois furos vazantes, em seu interior, não possuem porosidades. A presença de poros prejudicam a resistência do objeto analisado. Tal fenômeno ocorre devido a contração do metal durante o processo de solidificação.

Outras irregularidades são pontuadas nas regiões da imagem mais escuras, onde há perda de continuidade do tom de cinza. Tais falhas ocorrem devido a falta de fusão em determinados pontos. Por esta análise, é possível verificar que há defeitos na extremidade superior propagando-se ao longo da peça até a extremidade inferior.

Partindo da análise do ponto de extremidade, foi observado que houve falta de definição no orifício quadrangular vazante e porosidades na parte interior ao longo da peça. Vale acrescentar que foi observado que nas partes de maiores espessuras foi encontrado uma menor incidência de defeitos.

Na Figura 7 são apresentados os dados obtidos através da análise por tomografia computadorizada da peça confeccionada por M.A.

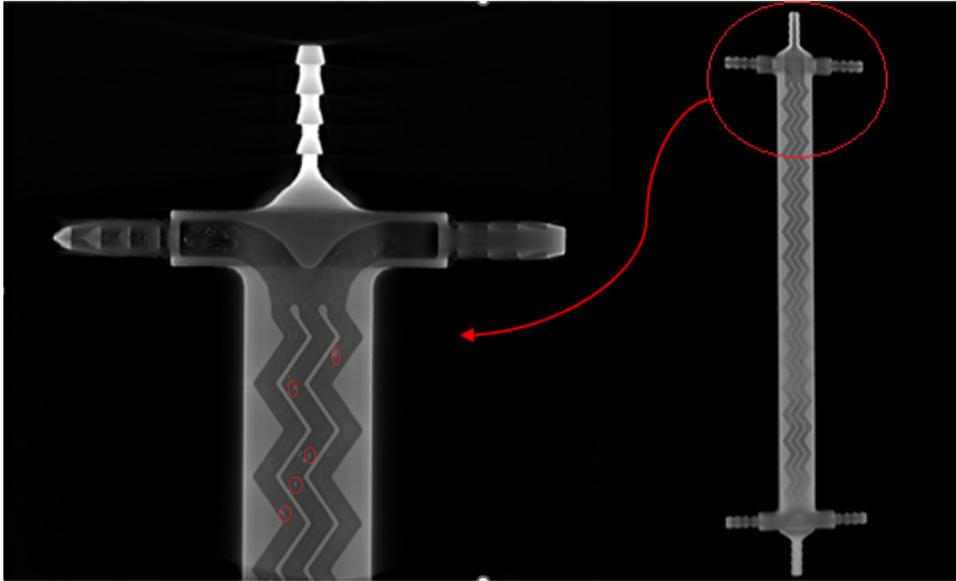


Figura 7: Imagens tomográficas da peça produzida por M.A.

Fonte: Próprio autor (2022).

Nesta situação não foi encontrado grandes quantidades de falhas e não houve presença de porosidades no interior conforme observado na peça feita por processo de fundição.

A Figura 7 apresenta uma tomografia computadorizada da peça confeccionada por MA, pode-se verificar junto a imagem tomográfica que os furos vazantes possuem boa definição e não há falhas que comprometam a funcionalidade da peça.

Desta imagem observa-se que a estrutura interna possui boa definição e não há presença de grandes vazios ou defeitos conforme mostrado na peça de figura 6 que apresentou diversos pontos de baixa fusão ao longo da peça.

Ainda sobre a Figura 7 foi marcado com círculos vermelho algumas discontinuidades observadas. Essas falhas são caracterizadas como micro poros e possuem dimensões bem reduzidas quando comparada com as falhas da peça confeccionada por fundição. Logo, comparando as figuras 6 e 7 é possível dizer que o processo por manufatura aditiva possui melhor qualidade quando comparado com o processo por fundição.

## 4.2 Pesquisa empírica

Nesta etapa do estudo apresentam os resultados oriundos da aplicação de uma pesquisa empírica com o responsável técnico pela implementação do novo processo de fabricação por manufatura aditiva, cujo objetivo é destacar as vantagens e limitações observadas com a técnica em estudo, bem como traçar um comparativo com o método anterior (processo de fabricação por fundição).

Por se tratar de procedimento em desenvolvimento, tanto o engenheiro responsável, como a empresa entrevistada preferem manter sigilo acerca de determinados pontos, e, por isso, não foi possível aprofundar o tema com o restante de equipe técnica.

No entanto, dentro do limite do que poderia ser compartilhado, quando foi perguntado sobre o interesse da empresa na implementação do novo processo de fabricação, ele relatou “que o interesse da empresa pela pesquisa da técnica de manufatura aditiva aconteceu pela busca na redução do tempo de produção, e na eficiência do acabamento do produto, já que no processo por fundição não há um bom acabamento”.

Segundo o entrevistado, a implementação do método em estudo poderá proporcionar, ainda, a efetiva redução da quantidade de etapas do processo. “Foi possível a construção de uma peça complexa de forma mais ágil e com um acabamento satisfatório, dispensando a necessidade de muitas etapas de pós-processamento, que era efetuado no processo por fundição”.

Quando perguntado sobre os benefícios da aplicação da Manufatura Aditiva, o entrevistado destacou quatro pontos cruciais como vantagens em relação à modalidade anterior:

1. “Não houve necessidade de uma grande equipe de pessoas envolvidas na produção e, tão pouco, de muitas ferramentas.”
2. “O fato de não utilizar moldes reduziu bastante as etapas de produção o que influenciou no menor tempo de confecção.”
3. “A geometria, um pouco complexa da peça, não interferiu no processo de produção, pois ainda assim apresentou boa qualidade no acabamento.”
4. “ Não teve muita sobra de material, praticamente toda a materia prima foi utilizada”

Entretanto, quando foi argumentado sobre algum ponto negativo, ele mencionou que “o custo para aquisição do equipamento de impressão ainda é muito elevado, então a peça foi confeccionada em um laboratório de processos metálicos em parceria com a empresa.”

Sobre a pergunta referente ao uso de alguma técnica de ensaio não destrutivo adotado pela empresa, o entrevistado informou que “a empresa utiliza o ensaio radiográfico para inspeção de soldas e trincas em estruturas de peças metálicas e compósitos, já que permite a análise de uma maior quantidade de peças em um dado intervalo de tempo”.

No momento que foi perguntado sobre a decisão da empresa em utilizar a tomografia computadorizada, o entrevistado informou que “foi devido a este método oferecer um conjunto de imagens precisas para a peça inteira, com bom detalhamento de defeitos e maior nitidez facilitando para análise do estudo do processo de manufatura aditiva”.

Em uma análise conclusiva as respostas obtidas com a entrevista realizada, levando em consideração que o processo de fabricação anterior era baseado na técnica de fundição

(método que utiliza a disposição da matéria-prima fundida em moldes), e que tal método requeria uma etapa de acabamento de polimento do material (técnica de usinagem), o que demandava tempo e complicação para peças de geometrias mais complexas, sem falar, ainda, que a peça não apresentava boa qualidade de acabamento, já que inúmeros defeitos, ainda que micros, eram encontrados neste processo de fabricação, como, por exemplo, a porosidade e vazios – vide a imagem da tomografia supra colacionada.

O fato é que determinadas irregularidades/ defeitos comprometem a funcionalidade da peça, o que distoa totalmente do objetivo de melhoria pesquisado pela empresa. A aplicação da técnica da manufatura aditiva, uma vez que a mesma utiliza a impressão 3D como mecanismo de confecção, a partir da imagem desenvolvida, corrigindo, dessa forma, os defeitos observados pelo método anterior (fundição).

## 5 | CONCLUSÕES

O projeto abordou a contribuição do avanço tecnológico com o desenvolvimento dos processos de produção, dado que novos conceitos, ferramentas e técnicas surgem a partir de novas tecnologias e estas são capazes de transformar o setor industrial. Este contexto foi visto no cenário do projeto proposto onde uma inovação tecnológica possibilitou a melhoria de um processo de fabricação.

Além disso, com o auxílio da tomografia computadorizada foi possível constatar que o processo de fabricação por Manufatura Aditiva apresentou melhor qualidade estrutural quando comparado com o processo por fundição. Por mais que tenha sido observado por tomografia alguns micro-póros na amostra feita por MA, tal descontinuidade, não poderia contribuir com a perda do desempenho estrutural, isto devido ao tamanho reduzido destas falhas.

Ao contrário, a amostra confeccionada por fundição apresentou inúmeras porosidades de tamanho acentuado além de ter sido constatado pontos de falta de fusão no interior da estrutura. Estas falhas podem comprometer a qualidade estrutural da amostra ocasionando na perda de funcionalidade.

Por meio da entrevista, foi possível destacar os principais benefícios da aplicação da tecnologia de manufatura aditiva no sistema da empresa em questão. Foram apontados, principalmente, a possibilidade de tornar a produção enxuta e econômica visto que não houve necessidade de muitos funcionários para realizar a produção e o fato da amostra confeccionada por manufatura aditiva ter apresentado uma definição de acabamento superior à amostra feita por processo de fundição conforme comprovado por tomografiacomputadorizada.

Conclui-se que a manufatura aditiva possui inúmeras vantagens que agregam ao potencial competitivo de uma empresa, seja permitindo a redução de etapas do processo de produção, baixa intervenção humana e menor uso de matéria-prima, mas o custo

elevado de aquisição do equipamento pode ser um fator impeditivo para implantação desta tecnologia em empresas de pequeno porte.

## REFERÊNCIAS

ABENDI, Associação Brasileira de Ensaio Não Destrutivo e Inspeção. **Guia ABENI 2018**. Disponível em: [http://abendici.org.br/download/GUIA\\_ABENDI\\_2018.pdf](http://abendici.org.br/download/GUIA_ABENDI_2018.pdf)

Acesso: 07 dez 2022

ANDREUCCI, Ricardo: **Radiologia Industrial**, Abendi, 2017.

Disponível em: [https://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/radiologia\\_maior\\_2017.pdf](https://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/radiologia_maior_2017.pdf)

Acesso em: 23 out.2022.

FRADE, Luiz Felipe; CAMARGO, Stephany de Barros: **Conceitos e Aplicações de Tomografia Industrial**. Taubaté, SP:UNITAU, 2016.

Disponível em: <http://repositorio.unitau.br/jspui/bitstream/20.500.11874/184/1/TTEM005-16.pdf>

GEBHARDT A.; HÖTTER J.S.: **Additive Manufacturing: 3D printing for Prototyping and Manufacturing**, Hanser Publish Munich 2016

MOREIRA, Adriana J. Penha, 2021; **A MICROTOMOGRAFIA DE RAIOS X PARA O ESTUDO DA MICROESTRUTURA DE ÓRGÃOS E SUAS PATOLOGIAS**, Dissertação de MSc., UFRJ/COPPE/ Programa de Engenharia Nuclear - Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

NETTO, Alfredo Pieritz: **Organização do trabalho industrial**. 1 ed. UNIASSELVI, 2016. Disponível em: <https://www.uniasselvi.com.br/extranet/layout/request/trilha/materiais/livro/livro.php?codigo=30665>

RAPOSO, Daniel; **Cultura, Design, Competitividade e Inovação Empresarial**. IPCB CAMPUS. Revista do Instituto Politécnico de Castelo Branco; N. 19, 2021, ISSN: 1647-9335. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/DanielRaposo3/publication/360065406\\_Cultura\\_Design\\_Competitividade\\_e\\_Inovacao\\_Empresarial/links/625fd5ac4173a21a0d210f72/Cultura-Design-Competitividade-e-Inovacao-Empresarial.pdf](https://www.researchgate.net/profile/DanielRaposo3/publication/360065406_Cultura_Design_Competitividade_e_Inovacao_Empresarial/links/625fd5ac4173a21a0d210f72/Cultura-Design-Competitividade-e-Inovacao-Empresarial.pdf)

REDWOOD, B.; SCHÖFFER, F.; GARRET, B. **The 3D Printing Handbook: Technologies, design and applications**. [S. l.]: 3D Hubs, 2017. 304 p. ISBN 9789082748505.

VITALE, M.; COTTELEER, M.; HOLDOWSKY, J. **An overview of additive manufacturing**. Defense AT&L, November-December, 2016. Disponível em: [https://www.dau.edu/library/defense-atl/DATLFiles/Nov-Dec2016/DATL%20Nov\\_Dec2016.pdf](https://www.dau.edu/library/defense-atl/DATLFiles/Nov-Dec2016/DATL%20Nov_Dec2016.pdf) Acesso em: 07 dez 2022