

Criação artefato *Poka Yoke* para a inspeção de tubos de seção circular via manufatura aditiva¹

Leandro Antunes Dias²; Antonio César Galhardi³

Resumo - Esta pesquisa apresenta a criação de um artefato para a resolução de um problema referente ao diâmetro externo acima da tolerância máxima de tubos de aço da norma NBR 6591. A partir da utilização do método *Design Science Research* foram desenvolvidos dois artefatos, com características das ferramentas *Poka Yoke*, usados na detecção dimensional do diâmetro externo dos lotes reclamados e de outras peças no estoque de clientes. Esses dispositivos foram modelados e confeccionados utilizando a Manufatura Aditiva via tecnologia de impressão 3D. O *Design Science Research* proporcionou uma visão sistêmica sobre os passos a serem seguidos e incorporou na resolução de um problema prático, todo o rigor e a relevância que uma pesquisa científica necessita para a criação dos artefatos. O estudo atingiu o objetivo da pesquisa uma vez que foram criados artefatos capazes de medir o diâmetro externo e classificar grande quantidade de peças, em aprovadas e reprovadas.

Palavras-chave: *Design Science Research (DSR)*, *Poka Yoke*, Manufatura Aditiva, Impressão 3D

Abstract - This research presents the creation of an artifact to solve a problem related to the external diameter above the maximum tolerance of steel tubes of the NBR 6591 standard. From the use of the Design Science Research method, two artifacts were developed, with characteristics of the Poka tools Yoke, used for dimensional detection of the outside diameter of claimed lots and other parts in customer stock. These devices were modeled and made using Additive Manufacturing via 3D printing technology. Design Science Research provided a systemic view of the steps to be followed and incorporated in the resolution of a practical problem, all the rigor and relevance that a scientific research needs for the creation of artifacts. The study achieved the objective of the research since artifacts capable of measuring the external diameter and classifying a large number of parts, in approved and disapproved, were created.

Keywords: Design Science Research (DSR), Poka Yoke, Additive Manufacturing, 3D printing.

¹ O presente artigo foi apresentado no ENEGEP 2022, no dia 06/10/2022, na Área: 01. Engenharia de Operações e processos da produção / 01.1. Gestão de Sistemas de Produção e Operações

² Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – CEETEPS - Unidade de Pós-Graduação, Extensão e Pesquisa - Programa de Mestrado Profissional em Sistemas – leandroantunesdias@gmail.com

³ Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – CEETEPS - Unidade de Pós-Graduação, Extensão e Pesquisa - Programa de Mestrado Profissional em Sistemas – galhardi.antoniocesar@gmail.com

1 Introdução

As respostas rápidas às solicitações do mercado são essenciais para o sucesso empresarial, pois afetam diretamente o tempo de oferta de novos produtos e negócios. A ampliação das vendas e o aumento da geração de divisas é a premissa básica de qualquer empresa que busca prosperar economicamente deve atender a essa demanda, por meio de soluções apropriadas. Com o desenvolvimento de novas tecnologias de comunicação, o planeta Terra se torna um mercado único. A quarta revolução industrial é agora a Indústria 4.0 e deve permitir mudanças incrementais nas transações e relações comerciais. “A manufatura aditiva tem o potencial de mudar as cadeias de processos de manufatura contemporâneas, modelos de negócios, bem como relações produto-usuário gerando produtos exclusivos e personalizados” (FERIOTTI *et al.*, 2021). A Indústria 4.0 combina tecnologias físicas e digitais como análise, robótica, manufatura aditiva, inteligência artificial, materiais avançados, processamento de linguagem natural, computação de alto desempenho, tecnologias cognitivas e realidade argumentativa (NIAKI; NONINO, 2017). A MA possibilita a prototipagem rápida de qualquer peça de formatos complexos (CAPUCHO *et al.*, 2021).

Dentre essas tecnologias relatadas, a Manufatura Aditiva - MA impacta diretamente na melhoria no atendimento ao cliente, englobando a redução por meio do *time-to-market*, possibilitando a cobrança de preços mais elevados, principalmente para peças fabricadas em metal. A MA está presente em muitas indústrias tais como automotiva, aeroespacial, eletrônica, medicina e siderurgia.

O presente estudo tem como problema de pesquisa a criação de um artefato via Manufatura Aditiva pela técnica de Impressão 3D, do tipo ferramenta *Poka Yoke*, capaz de realizar a inspeção dimensional do diâmetro externos nos tubos de aço, ainda cintados, em suas embalagens originais, sem que houvesse a necessidade de abrir os fardos.

O setor siderúrgico, fabricante dos tubos de aço, é um setor relevante no desenvolvimento econômico do país. A indústria siderúrgica brasileira possui 31 usinas, administradas por 12 grupos empresariais, com aproximadamente 120 mil colaboradores e capacidade instalada de 51 milhões de toneladas/ano. No ano de 2021, obteve uma produção de 36,2 milhões de toneladas de aço bruto. Já a produção de produtos siderúrgicos atingiu 34,8 milhões de toneladas nesse mesmo ano, com exportações de 11 milhões de toneladas para mais de 100 países, e um saldo positivo de US\$ 4,4 bilhões nas transações (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2022).

Em virtude da necessidade de construir um conhecimento fundamentado e operacionalizado, em busca de uma solução para um problema prático, foi utilizado o *Design Science Research – DSR*, como método de pesquisa pois “busca desenvolver algo novo, com o rigor científico, na criação da solução para um problema prático” Os dispositivos propostos foram criados e produzidos via MA, onde o projeto teve por base teórica os conceitos da ferramenta *Poka Yoke* que, pelo método de fixação do valor dimensional com o objetivo de obter uma rápida resposta ao problema de pesquisa, conforme demonstrado no decorrer deste estudo.

A técnica de MA escolhida foi Impressão 3D por apresentarem as características de: rapidez, qualidade dimensional, geométrica e de acabamento superficial, muito semelhantes às futuras peças. “A Manufatura Aditiva lidera os

novos mercados” (NIAKI; NONINO, 2017). Desde a invenção da impressora 3D, a manufatura aditiva vem sendo cada vez mais empregada em diversos setores da sociedade. Assim sendo, “a impressão 3D ganhou popularidade na mídia e capturou a imaginação do público, tanto quanto de pesquisadores de diversos campos” (GAO *et al.*, 2015) o que demonstra a relevância do tema. Por meio de uma impressora 3D, “torna-se viável e possível a impressão de qualquer peça, assim que esta tiver seu design finalizado” (LOPES, *et al.*, 2018). A impressão 3D como um processo de manufatura de baixo custo possibilita a execução de geometrias complexas, com acuracidade dimensional e sem a necessidade de ferramentas conformadoras tais como matrizes, na produção de protótipos táteis que ajudam na compreensão das possíveis soluções. Esta técnica emergente tem trazido grandes benefícios à sociedade. A MA é caracterizada pelos mecanismos de fabricação pela sobreposição de camadas, por meio de diversos mecanismos de união, a manufatura aditiva permite construir geometrias (SILVA *et al.* 2020).

Esta tecnologia revolucionária aceita a fabricação de produtos criativos e com alta complexidade quanto a construção das partes, em conjunto e colaboração dos clientes, com baixo custo de modificação, personalizadas e funcionais (NIAKI; NONINO, 2017). Alguns projetos teriam sua execução comprometida se seguissem os métodos de fabricação convencionais. Atualmente, com a limitada oferta de matéria-prima e a escassez de fornecedores, transferem às empresas do segmento 3D a um alto poder de negociação e lucratividade. Os processos MA disponíveis incluem Estereolitografia - SLA, Sinterização Seletiva a Laser - SLS, Fabricação por Deposição Fundida - FDM, Fabricação por Filamento Fundido - FFF, fabricação de objetos laminados, fabricação de partículas balísticas e impressão tridimensional de mesa.

As ferramentas *Poka Yoke*, técnica criada pelo engenheiro japonês Shigeo Shingo na década de 60, parte integrante do *Toyota Production System (TPS)*, apresenta grande contribuição para a eliminação de dois grandes grupos de erros e defeitos junto ao ambiente fabril, com um grupo voltado a prevenção de montagens incorretas e outro atuante na prevenção e detecção antecipadas de não conformidades. “Um *Poka Yoke* é qualquer mecanismo em um processo *Lean Manufacturing* que ajuda um operador de equipamento a evitar (*yokeru*) os erros (*poka*)” (POLADIA; SHINDE, 2017). O *Poka Yoke* pode ser desenhado de acordo com a necessidade do processo de manufatura, equipamentos ou ferramentas, o que previne riscos de retrabalhos e perda de tempo. Dessa maneira as não conformidades podem ser conhecidas e corrigidas de maneira antecipada e rápida. As ferramentas *Poka Yoke* também são conhecidas como dispositivos “à prova de erros”, ou/e dispositivos “passa ou não-passa”.

2 Referencial Teórico

O referencial teórico fundamenta-se em artigos relacionados ao tema. A seleção das referências foi obtida por Pesquisa Bibliométrica, sendo esta detalhada nos métodos e procedimentos, e que serviram como base de conhecimento em quatro grupos: *DSR*, ferramentas *Poka Yoke*, impressão 3D e tubos de aço carbono com costura.

2.1. Design Science Research – DSR

Foi utilizada a metodologia *Design Science Research*, por permitir a construção de um conhecimento científico em busca de uma solução para um problema prático. A *DSR* resolve problemas a partir de artefatos que causem mudanças em cenários existentes (MEZA; VIANNA; SOARES, 2017). “A investigação amplamente acadêmica tem o objetivo de explorar, descrever, explicar e prever, enquanto a *Design Science Research* tem objetivos de projetar e prescrever” (LACERDA *et al.*, 2013).

2.2. Ferramentas Poka Yoke

As ferramentas de controle contextualizadas anteriormente se dividem, em dois grupos de *Poka Yoke*: um baseado na prevenção, e outro na detecção das não conformidades. O grupo baseado na prevenção pode ser subdividido em métodos de controle ou métodos de alarme. Já os dispositivos baseados na detecção estão subdivididos em métodos de Contato, Fixação de Valor Dimensional, Fixação de Valor Produção e Diferenciação de Cores. O presente estudo utilizou os conceitos teóricos dos dispositivos *Poka Yoke* baseados no grupo Detecção pelo método de Fixação de Valor Dimensional. (THAREJA, 2016).

2.3. Impressão 3D

O desenvolvimento eletrônico do modelo digital e a impressão dos artefatos propostos foi realizado em conjunto com uma empresa especializada no mercado de impressão 3D, sediada na cidade de São Paulo. A impressora utilizada era de fabricação nacional e utilizou a tecnologia de MA por FFF, com uma única cabeça de extrusão, volume de impressão de até 27 litros, nivelamento automático e velocidade máxima de 400mm/s. Foram utilizados filamentos de PETG (Co poliéster derivado de PET) de 1,75mm. Este filamento foi escolhido pela alta resistência mecânica, química e térmica, além de apresentar uma boa qualidade superficial, ideal para protótipos funcionais. O software “fatiador” utilizado foi o *Simplify 3D*.

2.4. Tubos de aço carbono com costura

A NBR 6591 estabelece os requisitos exigíveis para a encomenda, fabricação e fornecimento de tubos de aço carbono, formado a frio, com solda e destinado a aplicação em estruturas soldadas, parafusadas ou rebitadas. Esses tubos utilizam aços da classe SAE 1008/1010 como matéria prima. Neste estudo, onde a detecção de alterações do diâmetro externo, elemento fundamental do estudo, foram selecionados os tubos de aço com diâmetro 203,20mm para serem analisados. A tolerância máxima do diâmetro externo segundo a norma técnica é de +/- 0,60mm, constitui-se como a referência básica para a criação, via *DSR*, dos artefatos *Poka Yoke*.

3. Métodos e procedimentos

Serão apresentados nesta seção os principais métodos que nortearam o desenvolvimento do estudo. A realização do levantamento bibliográfico, teve como objetivo a utilização de referências teóricas atualizadas, publicadas entre os anos de 2013 até 2022, e foi executada por meio de uma Análise Bibliométrica, seguindo os padrões do Protocolo *Prisma* para Revisão Sistemática de Literatura utilizando o software *Publish or Perish*, pela base *Google Scholar*.

A condução da pesquisa seguiu as etapas do processo de *DSR*, descritas no Quadro 1. O início da condução das etapas da *DSR* ocorreu primeiramente com a identificação do problema, após o recebimento de notificação de reclamação do cliente, seguido de visita técnica *in-loco* para entendimento detalhado do problema.

Quadro 1 – Relação das etapas das *DSR* com as etapas da pesquisa

| Numero | Etapas Da Design Science Research | Método de trabalho |
|--------|--|---|
| 1 | Identificação Do Problema | Identificar o problema a ser analisado e pesquisado |
| 2 | Conscientização Do Problema | Observação dos problemas dimensionais que já aconteceram |
| 3 | Revisão Sistemática Da Literatura | Realizada a Bibliometria via software Publish or Perish de acordo com o protocolo PRISMA |
| 4 | Identificação Dos Artefatos E Configuração Das Classes Dos Problemas | Cliente notificou a reclamação referente ao diâmetro externo acima da tolerância máxima de acordo com a norma NBR 6591 junto ao fornecedor |
| 5 | Proposição De Artefatos Para Resolver Problemas Especificos | Proposta de novos artefatos, os quais visam atender a classe de problema descrita neste artigo |
| 6 | Projeto De Artefato Selecionado | Após quatro reuniões e testes in loco ajudaram na compreensão da solução final |
| 7 | Desenvolvimentos Do Artefato | Os dois artefatos propostos foram confeccionados em uma Impressora 3D |
| 8 | Avaliação Do Artefato | De posse do artefato físico em mãos, foram inspecionados tubos de aço de acordo com o Formulário de Avaliação |
| 9 | Explicitação Das Aprendizagens | A explicitação serve para, no futuro, outros pesquisadores possam aplicá-la no desenvolvimento de novos artefatos, utilizando-se de meio prático ou teórico |
| 10 | Conclusões | Foram levantados todos os resultados da pesquisa e implementação do artefato, mostrando, assim, limitações, pontos de sucesso e melhorias. |
| 11 | Generalização Para Uma Classe De Problemas | Permite que outras organizações possam utilizar desta pesquisa para a resolução de seus problemas |
| 12 | Comunicação Dos Resultados | Entrega e defesa do artefato com possível futura publicação da pesquisa. |

Fonte: (LACERDA *et al.*, 2013).

Na etapa dois, de conscientização, foi observado o histórico de ocorrência dos problemas dimensionais e as divergências geométricas relacionadas. A partir deste momento, com a definição do problema, houve a possibilidade de realizar uma revisão sistemática da literatura, etapa três, a partir dos artigos selecionados na Análise Bibliométrica. A seguir, na quarta etapa, foi estabelecido a criação de um artefato do tipo Constructo para ser utilizado como ferramenta *Poka Yoke* para a análise dimensional do tubo. As propostas de artefatos foram desenvolvidas levando-se em conta todas as restrições e requisitos mínimos de usabilidade. As etapas de 5 a 8 foram desenvolvidas nas quatro reuniões com clientes e três com o fornecedor da peça impressa em 3D. Assim foram criados dois tipos de artefatos diferentes: o primeiro responsável para medição do diâmetro externo dos tubos nas extremidades e outro dispositivo, capaz de medir o diâmetro ao longo do comprimento das peças.

A avaliação ocorreu por meio de uma análise experimental em um campo amostral de 624 peças. A interpretação desses dados demonstrou a possibilidade de uso dos dois artefatos para a realização da inspeção dimensional do diâmetro externo em tubos de secção circular, ao cumprir o objetivo original.

4. Identificação e conscientização da classe do problema

Tendo em vista o problema relatado, os modelos de artefatos demonstrados neste estudo, segundo a *DSR*, foram tipificados como Artefatos tipo Constructo pois são utilizados para descrever os problemas dentro de um domínio e para especificar as respectivas soluções. Além de contribuírem para o entendimento, descrição e rotinas de tarefas, são “valiosos para os profissionais quanto para os pesquisadores” (LACERDA *et al.*, 2013).

A partir de uma reclamação de irregularidade quanto ao diâmetro externo acima da tolerância especificada na NBR 6591 em um lote de 56 toneladas de tubos redondos de diâmetro 203,20mm de espessura 3,00m com 6 metros de comprimento, foi proposto o desenvolvimento de *Poka Yoke* para a inspeção dos lotes reclamados.

Os tubos avaliados foram fabricados por três fornecedores distintos que serão identificados como Fornecedor A, Fornecedor B e Fornecedor C.

4.1. Proposição, projeto e desenvolvimento do artefato

A produção dos tubos de aço em questão foi obedecida segundo a norma referência NBR 6591, desta maneira todos os requisitos dimensionais referentes importantes para a realização da medição foram baseados nesta norma referência, com o objetivo de detectar diâmetros externos com tolerâncias dimensionais superiores as pré-estabelecidas.

A lógica construtiva do artefato teve início com a observação do problema e da identificação e resolução das restrições, entendimento do ambiente em que estavam os materiais a serem inspecionados e as possíveis soluções que poderiam ajudar na solução do problema e foi proposto inicialmente, conforme modelo digital do artefato da Figura 1, um artefato *Poka Yoke* para verificação do diâmetro externo e interno de tubos de seção circular considerando tubos soltos, fora de sua embalagem original.

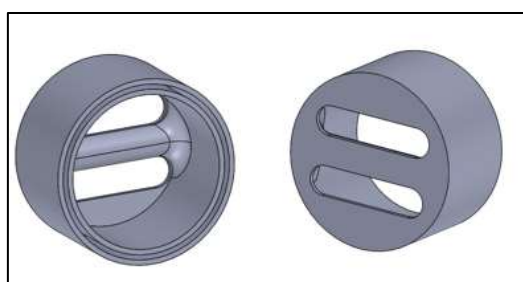


Figura 1 – Proposta do inicial de configuração do artefacto para inspeção de barras
Fonte: Os Autores

A partir deste ponto, foi realizada a primeira reunião com o cliente, para reconhecer o problema relatado e apresentar uma proposta de solução. Foi definido o prazo de 30 dias corridos para realizar todas as ações necessárias com o objetivo de captar uma base de dados de acordo com os passos da *DSR*. A partir deste momento, foram marcadas quatro reuniões, uma por semana, e na última a inspeção final dos lotes reclamados e das demais peças em estoque.

Após as premissas básicas do desenvolvimento do projeto inicial, neste primeiro encontro ficou evidente que havia a necessidade de pontos de melhoria, conforme a apresentados na Figura 2.



Figura 2 – a) Configuração da embalagem de tubos de aço. b) Na cor vermelha, uma representação gráfica da necessidade de forma do medidor e numeração de barras acessíveis a inspeção.

Fonte: Os Autores

A primeira necessidade de alteração do projeto foi avaliada na visita técnica *in-loco* em que todas as barras se apresentavam empilhadas e em sua embalagem original de geometria hexagonal. A proposta de configuração do artefato deveria ser projetada levando em consideração a área de acesso limitada pelos pontos de contato entre os tubos. Dessa maneira foram efetuadas as devidas medições e proposta a remodelação do artefato para a configuração da Figura 3.a, cuja proposta básica é um artefato capaz de realizar a medição dos tubos tanto na embalagem fechada, quanto em peças individuais. Esta configuração foi denominada como Artefato 1 (A1). Com esta nova configuração dimensional, seis pontos de medição seriam viabilizados.

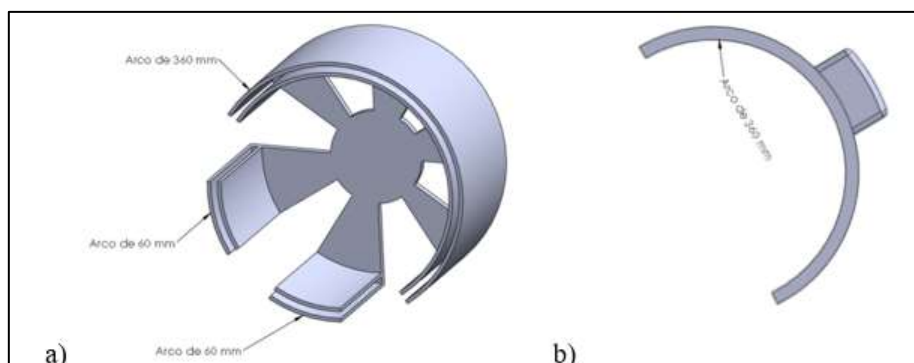


Figura 3 – a) Artefato 1 (A1). Proposta de configuração dimensional de um artefato capaz de medir as barras ainda na embalagem. b) Artefato 2 (A2). Proposta de artefato medidor do diâmetro ao longo do comprimento.

Fonte: Os Autores

Ainda na mesma reunião, ocorreu a contribuição direta do cliente no desenvolvimento de novo tipo de artefato, sendo este capaz de verificar o

diâmetro do tubo ao longo do seu comprimento. Dessa maneira, foi proposto desenvolver um segundo artefato constructo, identificado como Artefato 2 (A2) ao longo do tubo conforme demonstrado na Figura 3.b.

Uma vez definidas as alterações necessárias, foi realizada a segunda reunião com a empresa de impressão 3D, que culminou com um novo modelo virtual e a impressão parcial da peça, sem perder seu aspecto funcional. A Figura 4, apresenta os artefatos impressos e em teste de usabilidade inicial.

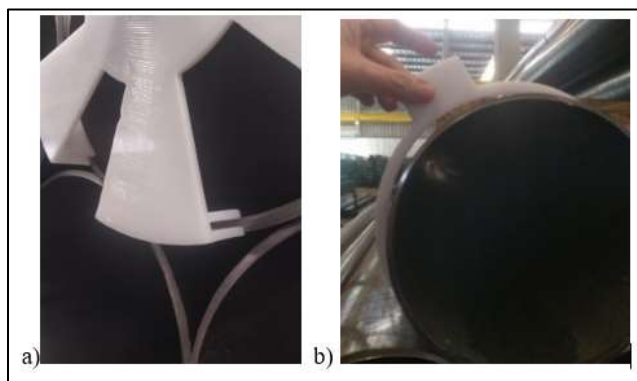


Figura 4 – a) Artefato 1, medição nas extremidades da peça tubular. b) Artefato 2, verificação do diâmetro ao longo dos tubos.

Fonte: Os Autores

Os resultados colhidos nesse teste demonstraram que para o A1 não havia necessidade de aba interna, uma vez que o objetivo é medir apenas o diâmetro externo dos tubos. Esta resolução ampliou o espaço amostral dos inicialmente previstos, uma vez que a eliminação da aba interna abre a possibilidade de testar o dispositivo em todos os tubos de diâmetro 203,20mm, independente da espessura. Já a utilização do A2 demonstrou em sua utilização um bom desempenho, porém com a necessidade de ser mais robusto e resistente.

Definidos os pontos de melhorias do projeto, novamente realizamos as alterações e a posterior impressão dos protótipos. No terceiro encontro, já de posse dos novos modelos de artefatos propostos, foram realizadas medições, via paquímetro, dos artefatos confeccionados. Nesta análise foi constatado que os dois artefatos estavam fora das dimensões necessária. Em nova reunião com o fornecedor das impressões 3D, foram solicitadas alterações de processo, em busca de um ajuste fino. De posse das informações anteriores, para a terceira reunião foram produzidas as peças demonstradas na Figura 5.

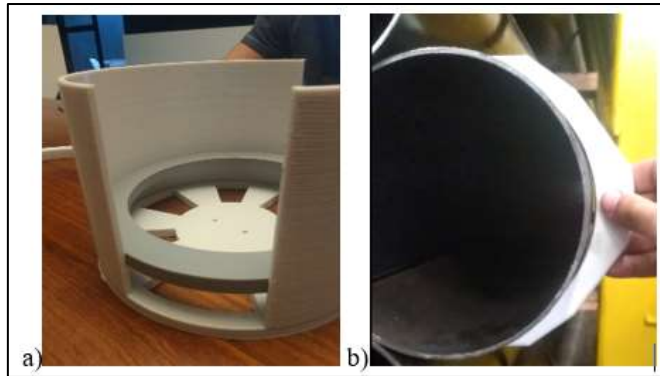


Figura 5 – a) Artefato 1 para verificação do diâmetro do tubo em sua seção. b) Artefato 2 para verificação do diâmetro ao longo do comprimento do tubo.

Fonte: Os Autores

Para esta reunião o A1 foi produzido em sua altura final com o controle do diâmetro necessário efetuado por meio do uso de um gabarito. A sua utilização foi avaliada em algumas peças e demonstrou apta quanto ao aspecto funcional. Já a avaliação quanto a rigidez do dispositivo, houve necessidade de o dispositivo apresentar uma maior robustez ampliando sua resistência, sendo esta nova versão permitiu a obtenção da versão final e realização das inspeções dimensionais.

Já o A2, impresso em sua forma mais robusta, demonstrou ser totalmente apto a ser utilizado como um medidor de diâmetro ao longo dos tubos, sem a necessidade de alterações no projeto e a impressão de novas peças.

3.2 Artefatos propostos

O A1, na Figura 6, foi projetado para ser um dispositivo *Poka Yoke* para a medição do diâmetro externos do tubo em suas extremidades, capaz de realizar a medição dos tubos em sua embalagem original.

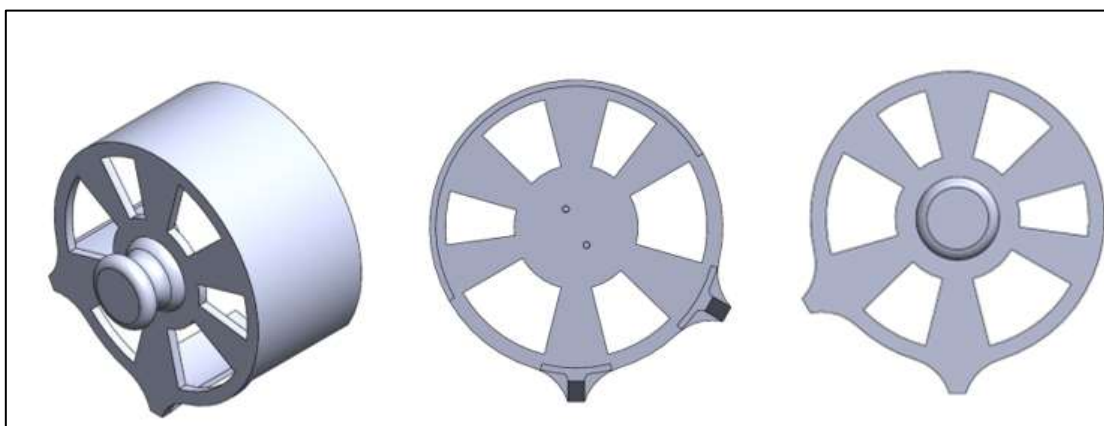


Figura 6 – a) Artefato 1 para medição dos diâmetros nas extremidades dos tubos.

Fonte: Os Autores

O projeto foi desenvolvido com o objetivo de efetuar as medições do diâmetro externo dos tubos de diâmetro nominal de 203,20mm, e, portanto, o dispositivo possui 203,80mm.

Esta configuração estrutural do artefato permitiu a verificação dimensional ainda em sua embalagem original, sem a necessidade de abertura dos fardos, conforme Figura 7.



Figura 7 – Sequência de imagens demonstrando o Artefato 1 impresso em 3D e sua utilização.

Fonte: Os Autores

A sequência de imagens demonstra o A1 impresso na cor preta e sendo utilizado na verificação dimensional dos tubos ainda na embalagem. Por se tratar de um *Poka Yoke* que tem por base a sua concepção o método de Fixação de Valor Dimensional, ao inserir o dispositivo na extremidade do tubo não foi oferecida resistência, o tubo encontra-se dentro dos padrões de qualidade exigidos. Caso apresente resistência, a peça sob análise é considerada como reprovada.

O A2 da Figura 8 foi projetado para ser um dispositivo *Poka Yoke* para a medição do diâmetro externos do tubo em diferentes pontos ao longo dos comprimentos das peças tubulares.

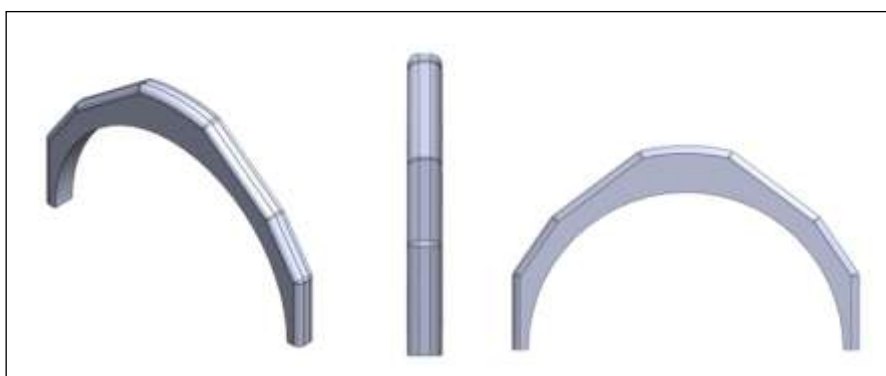


Figura 8 – Proposta final de artefato para a medição do diâmetro externo ao longo do comprimento dos tubos.

Fonte: Os Autores

O dispositivo foi projetado com o diâmetro máximo permitido de 203,80mm, onde no momento de inserir o dispositivo na peça tubular, a fim de verificar sua dimensão, se houver alguma resistência na entrada do dispositivo, a peça provavelmente estará acima da dimensão máxima permitida, sendo esta resistência na medição critério de reprovação dimensional da peça avaliada. O artefato produzido via MA pode ser visualizado na Figura 9.



Figura 9 – Artefato 2 impresso em 3D.
Fonte: Os Autores

4 Resultados e Discussão

A medição pode ocorrer de maneiras diferentes, “existem cinco formas de avaliar um artefato: observacional, analítica, experimental, teste e descritiva” (Lacerda et al., 2013). Para o presente estudo foi utilizado o método de avaliação experimental visando avaliar o artefato em um ambiente controlado para verificar sua usabilidade por meio do uso do dispositivo na verificação dimensional, conforme Figura 10 de todas as espessuras do diâmetro 203,20mm, disponíveis no estoque.



Figura 10 – a) Artefato 1 e Artefato 2 sendo usados nas medições do diâmetro.
Fonte: Os autores

Foram identificados alguns problemas no momento da coleta de dados, em que foram verificados obstáculos físicos que dificultaram a acessibilidade aos pontos de análise.

No ambiente de estocagem os tubos de aço estavam em sua embalagem original e empilhados em até 5 fardos, dispostos lado a lado, o que indicava a inacessibilidade física da extremidade oposta à qual as peças tubulares estavam expostas.

Desta forma foi definido que a inspeção seria realizada em apenas uma das pontas para o A1. Para o A2, também foram detectadas as mesmas restrições físicas de acesso para a coleta de dados, principalmente para os materiais empilhados lado a lado.

Assim, por meio de uma avaliação experimental, registradas em um formulário pré-estabelecido para a execução organizada da avaliação dimensional dos tubos, foram realizadas 624 medições no total.

Os artefatos indicavam que 38% das peças estavam fora do diâmetro máximo permitido. A Tabela 1 demonstra em detalhe todas as espessuras analisadas, os resultados de aprovação e reprovação e os respectivos números de peças envolvidas.

Tabela 1 – a) Resultados dos experimentos

| Espessuras (mm) | Aprovado | Reprovado | Total Geral |
|--------------------------|-----------------|------------------|--------------------|
| 2,65 | 12 | | 12 |
| 3,00 | 204 | 210 | 414 |
| 3,75 | 36 | | 36 |
| 4,75 | 36 | 30 | 66 |
| 5,60 | 30 | | 30 |
| 6,30 | 6 | | 6 |
| 8,00 | 24 | | 24 |
| 9,52 | 12 | | 12 |
| 10,60 | 24 | | 24 |
| Total Geral Peças | 384 | 240 | 624 |
| Total Geral % | 62% | 38% | |

Fonte: Próprio Autor

Pode-se observar que a maioria das peças reprovadas são os tubos de espessura 3,00mm e 4,75mm atingindo um montante de 240 peças reprovadas, relativas ao lote reclamado pelo cliente. Foram 10 espessuras diferentes inspecionadas e todas as reprovações apresentavam-se em 210 peças nos lotes das espessuras 3,00mm e 26 peças dos tubos da espessura 4,75mm. A detecção de 374 peças aprovadas, em espessuras variadas, também pode nos conduzir a um entendimento positivo quanto a usabilidade dos artefatos.

A análise da tabela anterior demonstrou que a maioria dos tubos analisados se concentraram em peças de espessura 3,00 e 4,75mm. Dessa maneira, foi analisado pela origem do produto, ou fornecedor, qual a incidência de aprovação e reprovação, sendo os resultados demonstrados na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 – a) Resultados dos experimentos por fornecedor nas espessuras 3,00mm e 4,75mm.

| | Espessuras (mm) | Aprovado | Reprovado | Total Geral |
|-----------------------------------|------------------------|-----------------|------------------|--------------------|
| Fornecedor A | 3,00 | | 210 | 210 |
| Fornecedor B | 3,00 | 204 | | 204 |
| Sub Total espessura 3,00mm | | 204 | 210 | 414 |
| Fornecedor A | 4,75 | | 30 | 30 |
| Fornecedor B | 4,75 | 36 | | 36 |
| Sub Total espessura 4,75mm | | 36 | 30 | 66 |
| Total Geral | | 240 | 240 | 480 |

Fonte: Próprio Autor

Na Tabela 2 verificamos que todas as reprovações se concentram em um único fornecedor, o Fornecedor A, tanto para as espessuras 3,00mm, quanto para a espessura 4,75mm. O Fornecedor B não apresentou peças reprovadas e para as espessuras citadas anteriormente, o Fornecedor C não possuía peças a serem analisadas.

5 Considerações finais

Finalmente, pode-se considerar que os artefatos criados e desenvolvidos conforme os métodos aqui referenciados, demonstraram sua usabilidade uma vez que foram capazes de detectar peças tubulares dentro e fora das especificações dimensionais exigidas, atendendo os parâmetros projetados.

A análise experimental realizada nas 624 peças demonstrou que todas as peças reprovadas se encontravam nas espessuras 3,00mm e 4,75mm foram fabricadas pelo Fornecedor A acumulando o montante de 240 peças reprovadas ou 38% das peças inspecionadas.

Como técnica de Manufatura Aditiva, a impressão 3D demonstrou toda sua versatilidade e eficiência na produção de protótipos, contribuindo para o desenvolvimento dos artefatos propostos em cada fase do projeto até a definição de sua geometria final.

A condução da pesquisa com base na *DSR* trouxe os conhecimentos e passos necessários na criados artefatos constructos para a medição do diâmetro de tubos de aço de seção circular, em sua embalagem original, com o rigor e relevância de uma pesquisa científica para uma solução de um problema de ocorrência no chão de fábrica.

O desenvolvimento deste tipo de ferramenta de inspeção possibilitou as equipes da operação, que atuam diretamente com o produto físico, realizem a inspeção rapidamente, de maneira natural e sensorial.

Referências

CAPUCHO, W.; TIAGO; SILVEIRA, M.; RAFAEL; PEREIRA, A.; ROSINEI; RIBEIRO, B. **A aplicação da manufatura aditiva na medicina 4.0 para a produção de próteses biomecânicas – SIMPROF 2021**. São Paulo, SP. [s. n.], 24 nov. 2021. Disponível em: <http://www.pos.cps.sp.gov.br/files/artigo/file/1113/2764377db346ab91411a931c5e1e80b.pdf>. Acesso em: 28 mai. 2022.

FERIOTTI, M. A.; POHLMANN, M. N.; FORMIGONI, A.; DE, R.; OLIVEIRA, F. **Manufatura aditiva e sustentabilidade: Um estudo exploratório para avaliar potenciais impactos ambientais – SIMPROF 2021**. São Paulo, SP. [s. n.], 24 nov. 2021. Disponível em: <http://www.pos.cps.sp.gov.br/files/artigo/file/1119/6bc7ade356482ccfecc7659658117833.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2022.

GAO, W.; ZHANG, Y.; RAMANUJAN, D.; RAMANI, K.; CHEN, Y.; WILLIAMS, C. B.; WANG, C. C. L.; SHIN, Y. C.; ZHANG, S.; ZAVATTIERI, P. D. The status, challenges, and future of additive manufacturing in engineering. **CAD Computer Aided Design**, vol. 69, p. 65–89, 2015. DOI 10.1016/j.cad.2015.04.001. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cad.2015.04.001>.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Dados do Setor Siderúrgico 2021**. 25 Apr. 2022. 2018. Disponível em: <https://acobrasil.org.br/site/dados-do-setor/>. Acesso em: 24 abr. 2022.

LACERDA, D. P.; DRESCH, A.; PROENÇA, A.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. Design Science Research: A research method to production engineering. **Gestão & Produção**, vol. 20, no. 4, p. 741–761, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2013005000014>.

LOPES, T. G.; PUZIPE, I. B. G.; ANTONIO, Z. R. F.; GIMENES, L. E. P.; JUNIOR, G. P. M.; CANDIDO, A. S. de O. **A Utilização de Manufatura Aditiva em Projetos de Pesquisa. Anais do II Congresso de Inovação e Tecnologia – FATEC Lins**. Janeiro 2020, p. 104–112, 2018. Disponível em: <http://revista.fateclins.edu.br/congresso/edicoes.xhtml>. Acesso em: 20 abr. 2022.

MEZA, E. B. M.; VIANNA, D. S.; SOARES, C. V. **Gestão e inovação na fabricação de fantasias de carnaval**. Joinville, SC, Brasil: [s. n.], 13 Oct. 2017. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_238_376_31984.pdf. Acesso em: 1 set. 2021.

NIAKI, M. K.; NONINO, F. Impact of additive manufacturing on business competitiveness: A multiple case study. **Journal of Manufacturing Technology Management**, vol. 28, no. 1, p. 56–74, 2017. <https://doi.org/10.1108/JMTM-01-2016-0001>.

PIRES PLENTZ, D.; DRESCH, A. **Proposta de modelo de embalagens para produtos químicos com foco na redução dos custos**. Santos: [s. n.], 15 Oct. 2019. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_296_1673_36989.pdf. Acesso em: 11 jan 2022.

POLADIA, V. P.; SHINDE, Dr. D. K. A Review on use of Mistake Proof (Poka Yoke) Locating Fixture on Ultra SD Cartridge Assembly Line. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, vol. 4, no. 1, p. 164–167, 2017. <https://doi.org/10.22161/ijaers.4.1.26>.

SILVA, P. C.; SANTANDREA, R. S.; BRANDÃO, L. C.; XAVIER, M. V. A.; VOLPINI, V. L. Manufatura Aditiva: Revisão Sistemática Da Literatura / Additive Manufacturing: a Systematic Review. **Brazilian Journal of Development**, vol. 6, no. 11, p. 84502–84515, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n11-023>.

THAREJA, P. Poka Yoke: Poking into Mistakes for Total Quality!
OmniScience: A Multi-disciplinary Journal, vol. 6, no. 2, p. 1–8, 2016.