




NAS INSTALAÇÕES DO CLIENTE: UM ESTUDO DE CASO SOBRE TUBOS METÁLICOS

 <https://doi.org/10.56238/levv15n43-124>

Data de submissão: 27/11/2024

Data de publicação: 27/12/2024

Antônio César Galhardi

Doutoramento em Engenharia Mecânica
Unidade de Pós-Graduação, Extensão e Pesquisa - CPS
Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia de Sistemas Produtivos
São Paulo, SP, Brasil.
E-mail: antonio.galhardi@fatec.sp.gov.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8838-6870>
LATTES: <http://lattes.cnpq.br/9850092974051379>

Eliacy Cavalcanti Lélis

Doutoramento em Engenharia de Produção
Unidade de Pós-Graduação, Extensão e Pesquisa - CPS
Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia de Sistemas Produtivos
São Paulo, SP, Brasil.
E-mail: eliacy.lelis@cpspos.sp.gov.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6432-2354>
LATTES: <http://lattes.cnpq.br/3154473963243592>

Marília Macorin de Azevedo

Doutoramento em Engenharia de Produção
Unidade de Pós-Graduação, Extensão e Pesquisa - CPS
Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia de Sistemas Produtivos
São Paulo, SP, Brasil.
E-mail: marilia.azevedo@cpspos.sp.gov.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0225-8155>
LATTES: <http://lattes.cnpq.br/2827141197766423>

Leandro Antunes Dias

Mestranda em Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia de Sistemas Produtivos - CPS
São Paulo, SP, Brasil
E-mail: leandroantunesdias@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2634-881X>
LATTES: <http://lattes.cnpq.br/5406514146205533>

RESUMO

Esta pesquisa apresenta a criação de artefatos para solucionar um problema referente ao diâmetro externo que excede a tolerância máxima de tubos de aço soldados, relatado por um cliente. Foram desenvolvidos dois artefatos, com características de ferramentas Poka-Yoke, fabricadas pela Manufatura Aditiva, e utilizadas na detecção dimensional do diâmetro externo das peças reclamadas e de muitas outras peças em estoque do cliente. O aumento das vendas, acompanhado pelo aumento da concorrência, fez com que a entrega atempada e a boa qualidade fossem dois requisitos essenciais para



a competitividade. Basicamente, no processo de controle de qualidade, todos os suprimentos e processos de produção são inspecionados, mas existem muitos produtos com defeitos que são repassados ao consumidor. Portanto, o objetivo desta pesquisa é aplicar os conceitos do Poka-Yoke ao estoque do cliente reclamante, além de propor um acordo comercial, para trazer para o chão de fábrica justificativas para a implementação da inspeção em 100% dos itens. O tema: aplicação de dispositivos à prova de erros, tem crescido significativamente nas empresas, principalmente aquelas que seguem a filosofia Zero Defeitos ou com programas específicos para melhorar os processos de fabricação. Aplicar os conceitos do método Poka-yoke a 100% dos produtos pode evitar que produtos defeituosos cheguem aos clientes, e esse tipo de insatisfação não ocorre posteriormente. A pesquisa atingiu com sucesso seu objetivo, uma vez que foram criados artefatos capazes de medir o diâmetro externo e classificar muitas peças em aprovadas e reprovadas, nas instalações dos clientes, sem a necessidade de manuseio excessivo.

Palavras-chave: Poka-Yoke. Zero defeitos. Qualidade. Inspeção. Desvios.

1 INTRODUÇÃO

A falta de estabilidade nos sistemas de manufatura é uma das principais causas de perdas e é uma barreira para a implementação da Produção Enxuta – LP, que visa o fluxo contínuo. Respostas rápidas às solicitações do mercado são essenciais para o sucesso do negócio, pois afetam diretamente o tempo de oferta de novos produtos. Dentre as estratégias possíveis, os Poka-Yokes têm despertado crescente interesse na indústria e na academia, devido à aparente simplicidade de implementação e natureza intuitiva de sua operação. A literatura apresenta uma série de aplicações em diferentes ambientes, como construção civil, indústria automotiva, metalurgia, saúde, logística, entre outros [1].

Nos últimos anos, inúmeras mudanças sociais, políticas, econômicas e tecnológicas ocorreram, forçando mudanças significativas nos setores produtivos, para melhorar o desempenho e, conseqüentemente, aumentar sua competitividade. O cenário do início do século 21 tem apresentado às organizações desafios constantes decorrentes da globalização, da concorrência, da legislação, das novas tecnologias, das demandas dos consumidores e da crise econômica. Expandir as vendas e aumentar a geração de divisas têm sido as premissas básicas para qualquer empresa que deseja prosperar economicamente, atendendo à demanda por meio de soluções adequadas [2,3].

Nesse contexto, o setor siderúrgico, fabricante de tubos de aço, é relevante para o desenvolvimento econômico do país. A indústria siderúrgica brasileira possui 31 usinas, administradas por 12 grupos empresariais, com aproximadamente 126 mil funcionários e capacidade instalada de 51 milhões de toneladas/ano. Em 2022, produziu 34,1 milhões de toneladas de aço bruto. A produção de produtos siderúrgicos atingiu 31,5 milhões de toneladas no mesmo ano, com exportações de 11 milhões de toneladas para mais de 100 países e um saldo comercial positivo de US\$ 6 bilhões em transações [4].

O termo Poka-Yoke tem origem nas experiências da Toyota Motors Company, que visava obter zero defeitos na produção e eliminar as inspeções de qualidade. Os métodos para atingir esses objetivos foram inicialmente chamados de "infalíveis (Baka-Yokes)", mas mais tarde foi reconhecido que isso era ofensivo para os trabalhadores e o nome mudou para "à prova de erros" ou "livre de falhas" (Poka-Yoke). Inicialmente, o objetivo era evitar o erro humano no trabalho, visto como a principal causa de defeitos [5].

A expressão poka-yoke é pouco precisa, abrangendo desde estudos que entendem que se limitam a dispositivos físicos que controlam defeitos até estudos com visão abrangente, que os entendem como sistemas de garantia de qualidade e redução da variabilidade. Além disso, os métodos para o projeto, operação e manutenção de Poka-Yokes estão desconectados dos conceitos de estabilidade estatística do processo [7].

Tal ligação deve existir, pois o controle estatístico de qualidade permite a identificação da frequência de causas aleatórias de um determinado processo, o que constitui um conjunto de informações para potenciais desenvolvimentos e implementações desses sistemas [8].

Vale ressaltar que um dos motivos pelos quais os Poka-Yokes foram disseminados na Toyota foi justamente a tentativa de reduzir a dependência do controle estatístico de qualidade, uma vez que este, por definição, aceita margens de erro incompatíveis com a meta de zero defeitos.

Shingo [9], no entanto, afirma que esse argumento tem limitações como:

- (a) Os Poka-Yokes não podem substituir o Controle Estatístico de Processo em 100% dos casos, seja devido à impossibilidade técnica de projetar o dispositivo ou devido à natureza da característica de qualidade a ser inspecionada (por exemplo, resistência mecânica de componentes, cuja verificação pode exigir ensaios destrutivos).
- (b) Poka-Yokes também são propensos a falhas, pois geralmente são compostos de componentes com menos de 100% de confiabilidade (por exemplo, sensores).
- (c) o controle estatístico pode apoiar o projeto Poka-Yokes quando aponta em quais pontos do processo eles são prioritários

O presente estudo tem como objetivo geral a criação de artefatos Poka-Yoke, via Manufatura Aditiva, através da técnica de Impressão 3D capaz de realizar inspeção dimensional dos diâmetros externos, em tubos de aço, ainda em sua embalagem original (com cinta e agrupados em fardos de 10 unidades) no armazém do cliente reclamante.

Também foi analisado um conjunto de classificações e conceitos de Poka-Yoke identificados na literatura, para propor diretrizes para seu projeto, operação, manutenção e uso. Para tanto, a pesquisa contextualiza o papel dos Poka-Yokes no controle de qualidade, enfatizando sua contribuição para as operações de inspeção [9].

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A probabilidade de as empresas sobreviverem e prosperarem é afetada se não houver uma preocupação constante com a melhoria contínua de seus processos, visando reduzir custos e desperdícios. A redução das falhas de qualidade e a produção de produtos de alta qualidade não resultam de atividades de inspeção, mas fundamentalmente de atividades de melhoria de processos, tornando-as mais eficazes e simples, com menos não conformidades e mais seguros.

Juran [10] reforça essa ideia quando argumenta que a qualidade dos processos se baseia na inter-relação de três atividades fundamentais (comumente conhecidas como "Trilogia de Juran"):

1. Planejamento de qualidade – consiste no desenvolvimento de produtos e processos necessários para satisfazer as necessidades do cliente.

2. Controle de qualidade – consiste em avaliar a qualidade, compará-la com os objetivos e reduzir desvios.
3. Melhoria da qualidade – consiste na melhoria contínua da qualidade.

As três atividades descritas estão inter-relacionadas: o nível de qualidade (e, conseqüentemente, os custos da não qualidade) de um produto são determinados, por um lado, pelo projeto (Planejamento da Qualidade) e pelo controle realizado durante a fabricação (Controle da Qualidade) e, por outro, pelas atividades de melhoria (Melhoria da Qualidade).

Enquanto o Controle de Qualidade permite identificar a ocorrência de problemas esporádicos e, conseqüentemente, desencadear ações corretivas para eliminá-los, restabelecendo a variação normal do processo, as atividades de melhoria visam reduzir os problemas crônicos, alcançando um maior nível de qualidade e, conseqüentemente, menores custos.

A aplicação das atividades de melhoria da qualidade pode ser sistematizada com base no ciclo de melhoria apresentado por Deming (também chamado de ciclo PDCA – Plan-Do-Check-Act). Deming sustenta que, após o lançamento de um produto, é preciso continuar pesquisando, modificando e melhorando o projeto, produzindo-o e vendendo-o novamente, em um ciclo interminável. Segundo o autor, um processo de melhoria deve seguir quatro etapas essenciais [11]:

Planeje os objetivos para um determinado período e estabeleça a metodologia para alcançá-los.

1. Realizar as ações previstas na etapa anterior e coletar dados para análise.
2. Verifique os resultados obtidos e compare-os com os objetivos pretendidos.
3. Atuar com base nos resultados obtidos, implementando as mudanças necessárias para garantir a eficácia das ações e o alcance dos objetivos estabelecidos.

A melhoria da qualidade é, sem dúvida, uma preocupação atual das empresas determinadas a melhorar o seu desempenho, garantindo assim uma maior competitividade no mercado em que atuam. Existe um conjunto de ferramentas capazes de ajudar as empresas a atingir este objectivo, nomeadamente ao nível da detecção e prevenção de falhas, durante o processo de desenvolvimento de produtos ou no processo produtivo [11].

O interessante é que nem sempre as empresas conseguem atingir os níveis de melhoria desejados. Para Moore, essa situação resulta do fato de que as empresas não selecionam as ferramentas mais adequadas para o seu caso, sem considerar como garantir maior eficiência e eficácia na aplicação de ferramentas de melhoria, como [11]:

1. Estabelecer as condições sob as quais as ferramentas se tornam incompatíveis.
2. Analise as vantagens e desvantagens de cada ferramenta.
3. Estabeleça as ferramentas que exigem que outros maximizem os resultados.
4. Defina as condições de aplicação para cada ferramenta.

Poka-Yoke é uma ferramenta para melhorar os processos de fabricação com base na detecção de erros. Inicialmente, era considerado apenas como um dispositivo físico usado para evitar a ocorrência de erros. Hoje em dia, seu significado é muito mais amplo, sendo definido como uma ferramenta de prevenção de erros, uma técnica de controle de qualidade ou uma filosofia de qualidade. O princípio básico comum a estes aspectos é a prevenção de erros [12].

A melhoria contínua das ferramentas que são aplicadas nos processos de fabrico para reduzir as não conformidades são igualmente eficazes nas funções de não produção, no entanto, nestas funções, torna-se mais difícil definir e estabelecer os indicadores que permitam medir e monitorizar o desempenho [13].

2.1 CONCEITOS DE INSPEÇÃO

A inspeção consiste em comparar o produto com os requisitos aplicáveis a esse produto. Portanto, qualquer diferença entre os requisitos e o resultado da inspeção pode ser considerada uma anormalidade. Shingo [9] enfatiza que as inspeções podem ser classificadas de acordo com seu objetivo, que pode ser descobrir defeitos, reduzir defeitos ou eliminar defeitos. As classes propostas são:

a) Inspeção de Julgamento, que tem a característica de descobrir defeitos, sendo aplicada aos produtos para julgá-los como defeituosos ou não defeituosos, garantindo que o produto defeituoso não chegue a clientes internos ou externos. Este tipo de inspeção é normalmente aplicado em lotes inteiros de produção, após o processamento ou nas etapas finais do processo, o que não impede a produção de produtos defeituosos.

b) Inspeção Informativa, que visa reduzir os defeitos, pois há feedback sobre os defeitos identificados ao responsável pelo processo. Esse método, na visão de Shingo, é superior à inspeção por julgamento, porém, é ineficaz na obtenção de zero defeitos, uma vez que a ênfase está na detecção de defeitos no produto, ao invés de detectar erros no processo.

Shingo [9] classifica ainda este método em três categorias:

1) - Controle Estatístico de Processo - CEP, bem como cartas de controle, e outras técnicas foram desenvolvidas e aplicadas, como as sete ferramentas da qualidade, assim chamadas. Os gráficos de controle são vistos como ferramentas poderosas para detectar mudanças em processos ou parâmetros de processo. Em qualquer processo de produção, sempre haverá variabilidade, como efeito de muitas pequenas causas, essencialmente inevitáveis. Dentro do CEP, essa variabilidade é entendida como um "sistema estável de causas aleatórias", portanto, quando um processo opera apenas com causas aleatórias de variação, também definidas como causas comuns, ele está sob controle estatístico (causas aleatórias são inerentes ao processo). Além dessas causas aleatórias, também existem causas atribuíveis no controle do processo. Uma das condições para que um processo opere fora de controle

é quando as causas atribuíveis estão fora dos limites de controle. Uma causa atribuível é considerada fora dos limites quando assume um valor acima ou abaixo da média mais ou menos três desvios-padrão, respectivamente. Os processos operam sob controle por longos períodos. No entanto, as causas atribuíveis geralmente ocorrem aleatoriamente, resultando em um deslocamento fora do estado de controle (instabilidade do processo), onde uma proporção maior da saída do processo não atende aos requisitos, ou seja, uma proporção maior do que está sendo gerado estará fora dos limites de especificação (USL – limite superior de especificação, LSL – limite inferior de especificação). O principal objetivo do controle estatístico do processo é detectar rapidamente a ocorrência de instabilidade do processo (causas atribuíveis de mudança de processo), para que a investigação do processo e a ação corretiva possam ser realizadas antes que muitas unidades sejam fabricadas. Nessa mesma perspectiva, o objetivo do CEP é monitorar processos, identificar causas especiais de variação e sinalizar a tomada de decisão correta, quando apropriado. Para os mesmos autores, o que inibe o maior uso do SPC é o fato de que os modelos estatísticos desenvolvidos se concentram no princípio matemático e não na resolução do problema no chão de fábrica.

2) Sistema de Inspeção Sucessiva, esta modalidade surgiu da necessidade de 100% de inspeção além de atuação proativa e rápida em caso de constatação de defeito. Este tipo de inspeção é estendido a todas as estações de trabalho para que cada trabalhador inspecione o item recebido da etapa anterior antes de realizar sua operação. Os pontos positivos desse tipo de inspeção são o fato de que o índice de defeitos por falta de atenção é minimizado, as etapas anteriores estão atreladas à próxima etapa e a inspeção é conduzida por pessoas independentes dos processos.

3) O Sistema de Auto-Inspeção é considerado o sistema de inspeção informativa mais eficaz, pois a inspeção é realizada pelo operador responsável pelo processamento, possibilitando uma ação corretiva instantânea. Além disso, outro fato que contribui é que as pessoas preferem descobrir seus problemas, em vez de tê-los apontados por terceiros. No entanto, a maior limitação do SAI é o foco na detecção de defeitos em vez de detectar erros no processamento. A principal diferença entre o SPC e outras técnicas é a forma de inspeção. O CEP é realizado por amostragem de variáveis e atributos. No entanto, SAI e SIS são 100% inspeções realizadas em variáveis e atributos.

Shingo [9] ainda afirma que a inspeção na fonte é a mais eficiente, pois seu objetivo é atuar preventivamente e eliminar defeitos. Referido nos processos de fabricação como "controle adaptativo", ele funciona compensando ou corrigindo a condição de erro para evitar a fabricação de um item defeituoso. A principal vantagem da inspeção na fonte é o ciclo de controle mais curto em comparação com outros métodos de inspeção. Nesse método, o erro acontece e é detectado instantaneamente, a causa do erro é verificada e a ação corretiva é implementada. Dessa forma, a ação ocorre no processo e não no produto, o que possibilita zero defeitos. Apesar dessa segurança, Shingo [9] enfatiza que o impacto do processo em outros processamentos deve ser verificado, para evitar inspeções

desnecessárias na fonte. Por exemplo, não é necessário instituir processos de inspeção na origem para operações de montagem de produtos, mas nas operações de fabricação de peças desse mesmo produto.

2.2 O CONCEITO DE POKA-YOKE

Os Poka-Yokes são aplicados em diferentes contextos (logística, saúde, construção, informação, tecnologia), não necessariamente associados a iniciativas de implementação de produção enxuta. No entanto, esses contextos nem sempre são coincidências ou complementares.

Um Poka-Yoke é qualquer mecanismo em um processo de Lean Manufacturing que ajuda um operador de equipamento a evitar erros (Yokeru) (Poka)." Pode ser projetado de acordo com as necessidades do processo de fabricação, equipamentos ou ferramentas, que evitam riscos de retrabalho e perda de tempo, que evitam riscos de retrabalho e perda de tempo. Dessa forma, as não conformidades podem ser conhecidas e corrigidas com antecedência e rapidez. As ferramentas Poka-Yoke também são conhecidas como dispositivos "à prova de erros" ou / e dispositivos "go or no go" [12].

O Poka-Yoke tem sido aplicado com sucesso em diversas atividades produtivas, como a análise de custos de um sistema Poka-Yoke em uma empresa que fabrica componentes estampados para a indústria automotiva. Os resultados revelaram que o Poka-Yoke é uma ferramenta capaz de gerar um retorno satisfatório, mas que depende do valor do investimento realizado. Ou seja, existe um valor abaixo do qual a aplicação do Poka-Yoke se torna vantajosa, e esse valor corresponde ao custo da não qualidade. Dessa forma, as não conformidades podem ser conhecidas e corrigidas com antecedência e rapidez. As ferramentas Poka-Yoke também são conhecidas como dispositivos "à prova de erros" ou / e dispositivos "go or no go" [13].

Uma análise dos sistemas Poka-Yoke mostrou que eles funcionam bem nas seguintes situações [14]:

1. Rotina de uma sequência fixa de operações (que fazem parte da cadeia de valor) com intervenção do operador.
2. Manufatura em geral.
3. Operações de fabricação com especificações claramente definidas.
4. Reduzido o número de parâmetros de processo a serem controlados.
5. O controle estatístico do processo é difícil de implementar ou ineficaz.
6. Controle de atributos qualitativos e não quantitativos.
7. Alta rotatividade de pessoal e altos custos de treinamento.

Biswas [15] também aponta que os dispositivos Poka-Yoke não funcionam bem nas seguintes situações: processos com taxas de produção muito altas, processos com autocontrole e cartas de

controle aplicadas de forma eficaz. processos com mudanças mais rápidas do que os dispositivos Poka-Yoke.

Além das situações descritas acima, o Poka-Yoke também não funciona quando sua implementação se torna muito complexa. De acordo com Shingo [9], algumas empresas atropelam o conceito Poka-Yoke, desenvolvendo sofisticados sistemas de detecção de erros que acabam constituindo novas etapas no processo, ao invés de serem integrados às operações existentes. Não se deve esquecer que o verdadeiro Poka-Yoke é simples, óbvio, prático e, acima de tudo, barato.

Os conceitos de Poka-yoke mencionam a prevenção de defeitos ou detecção de erros, sem diferenciar entre os conceitos de erros e defeitos. A diferenciação é importante, pois permite classificar a função dos Poka-Yokes como sendo reativa (protetora) ou proativa (preventiva). Conforme definido por Shingo [9], um defeito é um dano ao projeto de produção, seja ele um produto ou serviço.

Por outro lado, afirma que um erro pode ser entendido como uma falha no planejamento ou execução de uma operação e normalmente é a causa imediata de defeitos. Portanto, neste estudo, considera-se que os Poka-Yokes com função reativa detectam defeitos, enquanto os Poka-Yokes com função proativa detectam erros e, como resultado, evitam defeitos [16].

Aplicações práticas dos sistemas Poka-Yoke estão frequentemente presentes na área da saúde. No entanto, é possível estabelecer categorias analíticas que abstraem seus princípios operacionais e diferenciam dispositivos que, embora utilizem os mesmos mecanismos físicos, possuem propriedades diferentes. Uma dessas categorias diz respeito à diferenciação entre proativo e reativo [1].

Outra classificação relativamente conhecida é a proposta por Shingo [9], que os classifica de acordo com o objetivo e as técnicas utilizadas. Quando vinculados ao objetivo, referem-se à função de regulação e, quando vinculados a técnicas, referem-se à função de detecção.

A classificação de Shingo divide a função de regulação em um método de controle e um método de alerta. O método de controle é assim chamado porque detecta variabilidade inesperada no processo e interrompe a operação, com o objetivo de evitar a produção de defeitos em série e criar um senso de urgência para que ações corretivas sejam implementadas. Outra característica do método de controle é que o operador não possui graus de liberdade para a tomada de decisões, sendo induzido a realizar a ação correta. Enquanto no método de aviso, o Poka-Yoke detecta a anormalidade, mas não interrompe o processo, apenas sinalizando a ocorrência por meio de sinais sonoros e/ou visuais [9].

A função de detecção é dividida em métodos de contato, método de conjunto e método de etapa. O método de contato é normalmente aplicado para detectar anormalidades nas dimensões, usando dispositivos que permanecem em contato com o produto. O método ensemble é usado em operações realizadas em uma sequência de movimentos ou passos idênticos, garantindo que nenhum desses passos seja negligenciado. O método step também é usado para garantir que nenhuma operação seja

negligenciada. No entanto, ao contrário do método set, no método step, as operações sequenciais não são idênticas.

Vale reforçar as oportunidades para o uso integrado do Poka-Yoke e do SPC. Ghinato [16] aponta que a aplicação do poka-yoke é frequentemente restrita a processos sem forte controle estatístico. No entanto, os processos que são controlados estatisticamente são aqueles que apresentam as maiores e melhores oportunidades para sua aplicação, uma vez que as cartas de controle estatístico geram informações que apoiam a escolha das categorias de Poka-Yoke mais adequadas.

Um exemplo, em um processo de pesagem de material, o controle de peso (kg) pode ser usado para atender a uma certa quantidade de peças por lote. Normalmente, o operador não realiza a pesagem adequada devido à necessidade de atender a vários processos de pesagem durante o turno de trabalho. Os valores de peso são controlados por amostragem a cada cinco pesos analisados e registrados em uma carta de controle. A análise desta carta de controle mostra que, com o tempo, o valor de pesagem tende do valor nominal para a parte inferior até ultrapassar o limite inferior de controle. Neste caso, a implementação de um Poka-Yoke que garanta o valor de pesagem (kg) deve atuar para evitar que o operador retire a matéria-prima da balança, até o valor nominal estabelecido, garantindo que toda a matéria-prima necessária para a confecção do lote seja atendida. Este caso ilustra a percepção de Ghinato [16] sobre a relação entre o desenvolvimento de sistemas Poka-Yokes e gráficos para controle de qualidade.

McGee [7] propôs cinco etapas: (a) identificar o defeito e o impacto que esse defeito terá sobre o cliente; (b) identificar em qual estágio do processo o defeito foi descoberto, para posteriormente descobrir em qual estágio ele foi criado; (c) Identificar a causa raiz do defeito; (d) fazer um brainstorming com a equipe de trabalho para detectar maneiras de eliminar desvios de processo; e) Criar, testar, validar e implantar o dispositivo.

3 PROCEDIMENTOS E MÉTODOS

Em decorrência de uma denúncia referente a irregularidades no diâmetro externo, que excedeu a tolerância especificada pela norma NBR 6591 [17], em um lote composto por 56 toneladas de tubos redondos, com diâmetro de 203,20 mm, espessura de 3,00 mm e comprimento de 6 metros, foi proposto o desenvolvimento de uma abordagem Poka-Yoke para a inspeção dos lotes questionados. Os tubos em avaliação vieram de três fornecedores diferentes, designados como Fornecedor A e Fornecedor B.

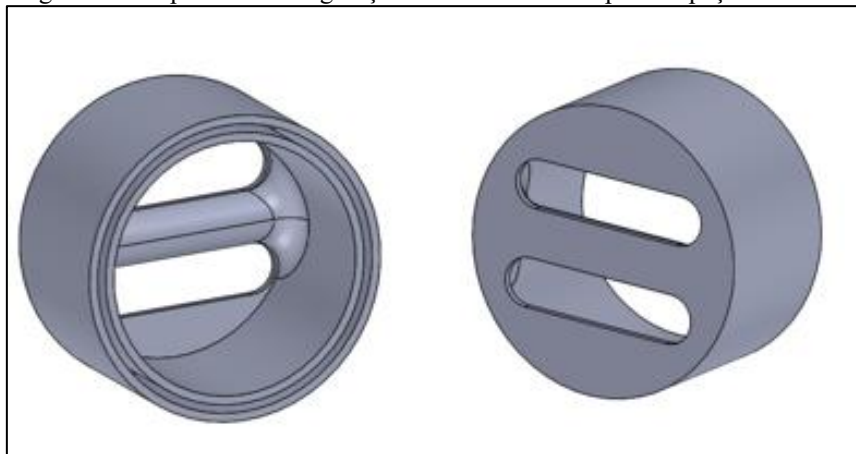
Dada a análise do histórico de ocorrências relacionadas a problemas dimensionais e divergências geométricas, optou-se por projetar um artefato do tipo Constructo, destinado a ser utilizado como ferramenta Poka-Yoke para a análise dimensional de tubos. As propostas de artefatos foram elaboradas considerando todas as restrições e requisitos mínimos de usabilidade. Dessa forma, dois tipos diferentes de dispositivos foram desenvolvidos: o primeiro foi projetado para medir o

diâmetro externo dos tubos nas extremidades, e o segundo dispositivo poderia medir o diâmetro ao longo do comprimento das peças.

A avaliação foi realizada por meio da análise experimental de uma amostra composta por 624 peças. Os tubos de aço em questão foram fabricados sob a norma NBR 6591 [17], com todos os requisitos dimensionais essenciais para a realização de medições baseadas nesta norma, para identificar diâmetros externos que excedam as tolerâncias dimensionais pré-estabelecidas.

A lógica construtiva do artefato começou com a identificação do problema, a análise e resolução das restrições, o entendimento do ambiente em que os materiais a serem inspecionados estavam inseridos e as possíveis soluções que poderiam contribuir para a solução do problema. Inicialmente, de acordo com o modelo digital apresentado na Figura 1, foi proposto um artefato Poka-Yoke para verificar o diâmetro externo e interno dos tubos de seção circular, considerando os tubos soltos fora de sua embalagem original.

Figura 1 – Proposta de configuração inicial do artefato para inspeção de barras



Fonte: os autores

Desde a primeira tentativa de medição, ficou evidente a necessidade de pontos de melhoria, como mostra a Figura 2.

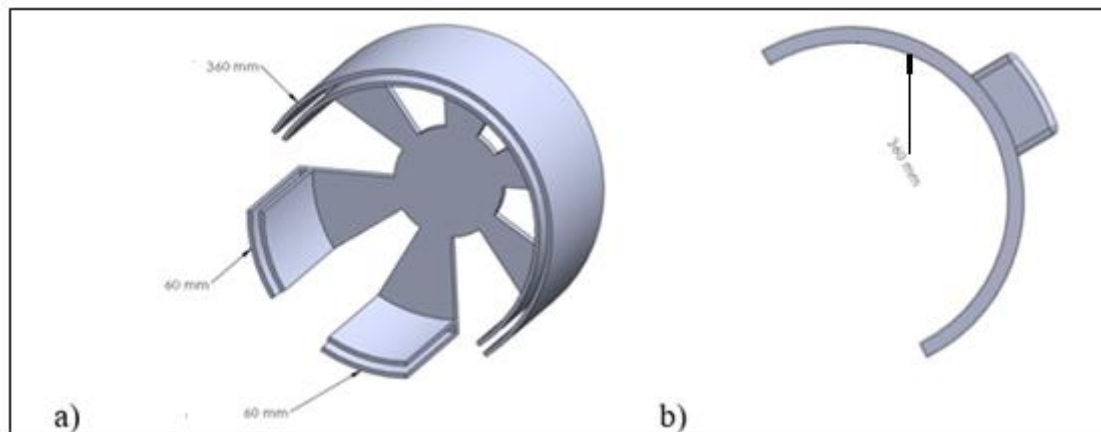
Figura 2 – Configuração da embalagem dos tubos de aço e, representação gráfica da necessidade de formato do metro e numeração das barras acessíveis para inspeção (vermelho).



Fonte: os autores

A primeira necessidade de modificação do projeto foi avaliada no local, onde todas as barras foram empilhadas em sua embalagem original, feixes de 10 tubos, dispostos em formato hexagonal. O projeto do artefato proposto exigiu a consideração da área de acesso limitada entre os pontos de contato dos tubos. Nesse contexto, foram realizadas medidas adequadas, que resultaram na necessidade de remodelação do artefato, conforme configuração ilustrada na Figura 3. O objetivo essencial deste dispositivo é possibilitar a medição de tubos tanto em sua embalagem original quanto como peças individuais. Essa configuração foi designada como Artefato 1 (A1). Com esta nova configuração dimensional, seria possível o acesso a seis pontos de medição, de um total de 10 presentes na embalagem.

Figura 3 – a) Artefato 1 (A1): Configuração dimensional proposta para um artefato capaz de medir barras ainda em sua embalagem. b) Artefato 2 (A2): Projeto proposto para um artefato para medir o diâmetro ao longo do comprimento.

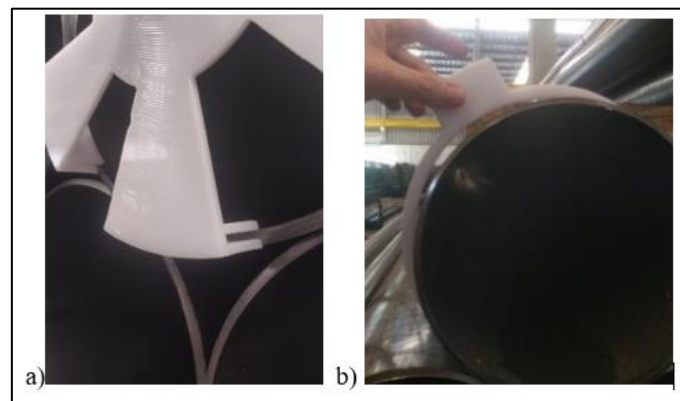


Fonte: os autores

Notou-se a necessidade de monitorar o diâmetro dos tubos ao longo de seu comprimento. Portanto, foi proposta a construção de um segundo artefato, identificado como Artefato 2 (A2), posicionado ao longo do tubo, conforme ilustrado na Figura 3.b.

A Figura 4 mostra os artefatos na fase inicial de teste.

Figura 4 – a) Artefato 1, medida nas extremidades da peça tubular. b) Artefato 2, verificando o diâmetro ao longo dos tubos.



Fonte: os autores

Nas primeiras avaliações, verificou-se que para o Artefato 1 (A1) não foi necessário incorporar retalho interno, pois sua finalidade consistia exclusivamente em medir o diâmetro externo dos tubos. Essa decisão resultou na ampliação do escopo amostral inicialmente delineado, uma vez que a ausência do retalho interno possibilitou o teste do dispositivo em todos os tubos com diâmetro de 203,20 mm, independentemente da espessura. Por outro lado, o uso do Artefato 2 (A2) apresentou desempenho satisfatório, mas com necessidade de melhorias em termos de robustez e resistência. Após a identificação de pontos que poderiam ser melhorados no projeto, foram feitas alterações e, posteriormente, os protótipos foram impressos.

A Figura 5 ilustra o Artefato 1 (preto) usado para verificar as dimensões dos tubos ainda na embalagem. Por sua vez, o Artefato 2 foi projetado como um dispositivo Poka-Yoke destinado a medir o diâmetro externo do tubo em diferentes pontos ao longo do comprimento das partes tubulares (branco).

Figura 5 – a) Artefato 1 e Artefato 2 sendo utilizados nas medidas de diâmetro.



Fonte: Os autores

Para este estudo, a avaliação do desempenho de Poka-Yokes foi realizada experimentalmente. A análise dos resultados revelou a viabilidade de utilizar os dois artefatos para realizar a inspeção dimensional do diâmetro externo dos tubos de seção circular, cumprindo assim o objetivo original do projeto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizadas 624 medições. Os artefatos indicaram que 38% dos tubos estavam fora do diâmetro máximo permitido. A Tabela 1 apresenta detalhadamente todas as espessuras analisadas, os resultados de aprovação e reprovação e os respectivos números de peças envolvidas.

Tabela 1 Resultados da medição dependendo da espessura.

Espessura (mm)	Aprovado	Indeferido	Total
2.65	12	-	12
3.00	204	210	414
3.75	36	-	36
4.75	36	30	66
5.50	-	30	30
6.30	-	6	6
8.00	24	-	24
9.52	12	-	12
10.60	24	-	24
Total de peças	384	240	624
% total	62%	38%	100%

Fonte: os autores

A partir do material analisado, verificou-se que todas as rejeições foram associadas a 210 peças em lotes com espessura de 3,00 mm e 26 peças em tubos com espessura de 4,75 mm. A detecção de 374 peças aprovadas, abrangendo diferentes espessuras, contribui para uma avaliação favorável quanto à eficácia dos artefatos.

A análise da tabela anterior revelou que a maioria dos tubos examinados estava concentrada em pedaços com espessuras de 3,00 mm e 4,75 mm. Consequentemente, foi realizada uma análise da incidência de aprovação e reprovação com base na origem do produto, ou seja, o fornecedor, cujos resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados das medições por fornecedor, nas espessuras de 3,00mm e 4,75mm.

Espessura (mm)	Aprovado	Indeferido	Total
Fornecedor A	3.00	210	210
Fornecedor B	3.00	204	204
Subtotal para espessura 3,00 mm	204	210	414
Fornecedor A	4.75	30	30
Fornecedor B	4.75	36	36

Subtotal para espessura 4,75 mm	36	30	66
Total	240	240	480

Fonte: os autores

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa resgatou e aplicou a técnica Poka-Yokes em produtos já disponíveis para o consumidor final. Notavelmente, os Poka-Yokes foram capazes de identificar peças tubulares que não estavam em conformidade com as especificações dimensionais exigidas, garantindo a conformidade com os parâmetros de projeto estabelecidos.

A análise dimensional realizada nas 624 peças revelou que todas as peças reprovadas tinham espessuras de 3,00 mm e 4,75 mm. Vale ressaltar que essas peças vieram do Fornecedor A, totalizando 240 unidades com falha, correspondendo a 38% do total de peças inspecionadas. Independentemente dos acordos comerciais vigentes, esse cenário evidencia a falta de controle no processo de fabricação por parte desse fornecedor.

Os procedimentos adotados e os resultados obtidos enfatizam a importância da implementação de práticas à prova de erros para garantir não apenas a sobrevivência, mas também a competitividade da indústria em análise.



REFERÊNCIAS

- Grout, J. (2007). Embracing Poka-Yoke: The art of mistake-proofing. Lean Blog. Retrieved from <https://www.leanblog.org>
- IE Insights. (2024). A strategic vision for the economic challenges of the 21st century. Retrieved from <https://www.ie.edu>
- RAND Corporation. (2024). The future at work: Trends and implications. Retrieved from <https://www.rand.org>
- Instituto Aço Brasil. (2021). Dados do setor siderúrgico 2021. Disponível em: <https://acobrasil.org.br/site/dados-do-setor/>. Acesso em: 24 de abril de 2022.
- Shimbun, A., Alfaify, A., Saleh, M., Abdullah, F. M., & Al-Ahmari, A. M. (2020). Design for additive manufacturing: A systematic review. *Sustainability (Switzerland)*, 12(19). <https://doi.org/10.3390/SU12197936>
- Bendell, J., & Little, L. (1995). Beyond unsustainable leadership: Critical social theory for sustainable leadership. *Sustainable Development*, 8(4), 420–434. <https://doi.org/10.1002/sd.318>
- McGee, J. (2005). *Strategy: Analysis and practice*. Maidenhead, Berkshire: McGraw-Hill.
- Montgomery, D. C. (2004). *Design and analysis of experiments*. Wiley.
- Shingo, S. (1988). *A study of the Toyota production system from an industrial engineering viewpoint*. Productivity Press.
- Juran, J. M. (1988). *Juran's Quality Control Handbook (4th ed.)*. McGraw-Hill.
- Vargas, A. S., Rodrigues, M. L., Souza, A. L., & Silva, D. M. (2020). Practical application of Plan–Do–Check–Act cycle for quality improvement of sustainable packaging: A case study. *Electronics*, 10(18), 6332. <https://doi.org/10.3390/electronics10186332>
- Poladia, V. P., & Shinde, D. K. (2017). 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*, 4(1), 164–167.
- Capvidia. (n.d.). 5 core quality tools: Enhancing product quality through advanced planning and risk management. Recuperado em 7 de dezembro de 2024, de <https://www.capvidia.com>
- Dudek-Burlikowska, M., & Szewieczek, D. (n.d.). The Poka-Yoke method as an improving quality tool of operations in the process. *IJSRD - International Journal for Scientific Research & Development*.
- Biswas, P. (n.d.). Poka-Yoke - Error proofing. Pretesh Biswas. Recuperado de <https://preteshbiswas.com>
- Ghinato, P. (1996). *O Sistema Toyota de Produção: mais do que simplesmente o just-in-time*. Editora da UCS.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (1983). NBR 6591: Embalagens - Terminologia e classificação. Associação Brasileira de Normas Técnicas.