



REVISTA BRASILEIRA DE MECATRÔNICA
FACULDADE SENAI DE TECNOLOGIA MECATRÔNICA

**OTIMIZAÇÃO DA TAMPA DE ELEMENTO FILTRANTE EM SISTEMAS DE TRANSMISSÃO
HIDRÁULICA: UMA ABORDAGEM DFMA**

**OPTIMIZATION OF THE FILTER ELEMENT CAP IN HYDRAULIC TRANSMISSION SYSTEMS: A
DFMA APPROACH**

Nickson Ribeiro da Silva^{1, i}
Edgard Gonçalves Cardoso^{2, ii}
Leandro Cardoso da Silva^{3, iii}
Lucas Almeida Willenshofer^{4, iv}
Manuel Patricio da Silva Bisneto^{5, v}

Data de submissão: (27/05/2025) Data de aprovação: (06/05/2026)

RESUMO

Este artigo apresenta a aplicação da metodologia *Design for Manufacturing and Assembly* (DFMA) na otimização do design da tampa de um elemento filtrante utilizado em sistemas de transmissão hidráulica. O estudo propôs a substituição de um conjunto composto por múltiplas operações de estampagem, repuxo, soldagem e pintura por uma única peça fundida em alumínio. A nova configuração resultou em um design simplificado, com menor número de componentes e etapas de fabricação, além da eliminação de dispositivos auxiliares de montagem. Os resultados indicam uma redução de 57% no tempo de fabricação e de 72% no tempo de preparação de máquina, além de ganhos estruturais e funcionais confirmados por simulações computacionais. A análise de custo-benefício demonstrou a viabilidade econômica da solução, com destaque o aumento da taxa de retorno do investimento. A aplicação do DFMA mostrou-se eficaz para tornar o processo mais ágil, econômico e alinhado às exigências industriais por eficiência e competitividade.

Palavras-chave: DFMA; filtro hidráulico; fundição; otimização de processos; redução de custos; engenharia de produto.

¹ Pós-graduado no Centro Universitário SENAI-SP – Campus Brás. E-mail: nickson.silva2@senaisp.edu.br

² Professor de Educação Superior no Centro Universitário SENAI-SP – Campus Brás. E-mail: edgard.cardoso@sp.senai.br

³ Professor de Educação Superior no Centro Universitário SENAI-SP – Campus Brás. E-mail: leandro.cardoso@sp.senai.br

⁴ Professor de Educação Superior no Centro Universitário SENAI-SP – Campus Brás. E-mail: luca.willenshofer@sp.senai.br

⁵ Professor de Educação Superior no Centro Universitário SENAI-SP – Campus Brás. E-mail: manuel.bisneto@sp.senai.br

ABSTRACT

This paper presents the application of the Design for Manufacturing and Assembly (DFMA) methodology to optimize the design of a filter element cap used in hydraulic transmission systems. The study proposes replacing a set composed of multiple operations—stamping, drawing, welding, and painting—with a single aluminum-cast component. The new configuration resulted in a simplified design with fewer components and manufacturing steps, in addition to eliminating auxiliary assembly devices. The results indicate a 57% reduction in manufacturing time and a 72% decrease in machine setup time, along with structural and functional improvements confirmed by computational simulations. The cost-benefit analysis demonstrated the economic viability of the solution, highlighting an increased investment return rate. The application of DFMA proved effective in making the production process more streamlined, cost-efficient, and aligned with industrial demands for productivity and competitiveness.

Keywords: DFMA; hydraulic filter; casting; process optimization; cost reduction; product engineering.

1 INTRODUÇÃO

A busca por maior eficiência na fabricação e pela redução de tempo de produção é uma constante no ambiente industrial, especialmente em um cenário marcado por altas exigências de qualidade, agilidade e competitividade. Nesse contexto, a simplificação dos processos produtivos surge como uma estratégia fundamental para otimizar recursos, reduzir custos e aumentar a confiabilidade dos produtos.

A metodologia *Design for Manufacturing and Assembly* (DFMA) é uma abordagem amplamente adotada por permitir a integração entre as etapas de projeto e fabricação, promovendo a redução do número de peças e a eliminação de operações redundantes (Formentini *et al.*, 2022). Essa racionalização do design e da montagem resulta em produtos mais simples, com menores exigências de manufatura e menor suscetibilidade a falhas durante a produção ou a operação (Mota *et al.*, 2025).

Este estudo aborda a substituição de um subconjunto de peças estampadas, soldadas, repuxadas e pintadas por um único componente fundido em alumínio. Essa mudança possibilita a eliminação de etapas críticas do processo tradicional, como a soldagem e a pintura, contribuindo para um fluxo produtivo mais enxuto e eficiente. Além da simplificação da cadeia de produção, o novo design proporciona ganhos estruturais, melhora na funcionalidade e redução no tempo total de fabricação.

O objetivo deste artigo é aplicar a metodologia DFMA na otimização do design da tampa de um elemento filtrante em sistemas de transmissão hidráulica, avaliando os impactos da substituição de processos tradicionais por soluções fundidas em termos de tempo de fabricação, custo operacional, desempenho mecânico e viabilidade econômica.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Filtros de Óleo Lubrificante

Os filtros de óleo lubrificante são componentes indispensáveis em sistemas mecânicos, especialmente em aplicações industriais e máquinas pesadas. Sua função principal é a remoção de contaminantes, como partículas metálicas, poeira e resíduos de combustão, que podem comprometer a eficiência do sistema e acelerar o desgaste dos componentes internos. A manutenção da pureza do óleo lubrificante é essencial para garantir a durabilidade e o desempenho dos equipamentos, reduzindo o risco de falhas prematuras e os custos operacionais associados.

De acordo com Cheremisinoff (1998), a eficiência de um sistema de filtração está diretamente ligada à confiabilidade do equipamento e à sua capacidade de operar com o mínimo de interrupções. Máquinas que operam em condições severas, como ambientes industriais ou agrícolas, dependem de sistemas de filtragem robustos que minimizem a necessidade de manutenções corretivas. Um sistema de filtração eficiente reduz o desgaste das peças internas, prolonga sua vida útil e minimiza as paradas não programadas, impactando positivamente na produtividade e nos custos totais de operação.

Entre os elementos constituintes de um filtro de óleo, a tampa do elemento filtrante ocupa um papel crítico. Essa peça é responsável por assegurar o fechamento hermético do filtro, evitando vazamentos e garantindo que o óleo circule pelo sistema sem contaminações externas. Além disso, a tampa precisa suportar pressões internas elevadas e condições de operação adversas, como temperaturas extremas e contato com fluidos agressivos. Segundo Bralla (1998), o design da tampa não apenas influencia a eficiência do sistema de filtração, mas também pode ser um fator determinante na facilidade de manutenção e na redução do tempo de parada para substituição do filtro.

Nos últimos anos, avanços no design e na escolha de materiais têm impactado significativamente o desempenho de componentes como a tampa do elemento filtrante. Materiais tradicionais, como chapas de aço, vêm sendo gradualmente substituídos por ligas de alumínio fundido, que oferecem benefícios como menor peso, maior resistência à corrosão e maior flexibilidade nos processos de fabricação. Essa transição permite a eliminação de etapas como soldagem e pintura, resultando em uma redução de custos e tempos de produção. Barbosa (2007) destaca que essas melhorias no design, além de promoverem maior eficiência estrutural, tornam os produtos mais competitivos no mercado industrial.

2.2 DFMA- *Design for Manufacturing and Assembly*

Um avanço relevante no design de componentes industriais é o uso da metodologia *Design for Manufacturing and Assembly* (DFMA). Desenvolvida por Boothroyd e Peter Dewhurst na década de 1980, o DFMA surgiu como uma solução para os desafios impostos por processos produtivos complexos e dispendiosos. Segundo Boothroyd, Dewhurst e Knight (2010), o DFMA integra os princípios de fabricação e montagem no processo de projeto, buscando simplificar o design dos produtos e, assim, torná-los mais fáceis e econômicos de fabricar e montar (Formentini *et al.*, 2022).

A aplicação do DFMA baseia-se em alguns princípios fundamentais, como a redução do número de peças, a eliminação de etapas redundantes de montagem e a escolha de materiais e processos que otimizem a produção (Araújo *et al.*, 2025; Dewhurst e Boothroyd, 1994) apontam que, ao simplificar o design, é possível não apenas reduzir custos, mas também

aumentar a confiabilidade dos produtos, minimizando a ocorrência de falhas durante a montagem ou o uso.

No contexto de sistemas de filtração, o DFMA tem sido amplamente explorado para otimizar componentes como as tampas de elementos filtrantes. Bralla (1998) relatam que a aplicação do DFMA em projetos de filtros de óleo lubrificante resultou em uma redução significativa no número de peças, eliminando processos como soldagem e pintura. Essa abordagem simplificou o processo de produção e aumentou a eficiência estrutural dos componentes, melhorando sua resistência mecânica e confiabilidade operacional.

Além das melhorias na eficiência produtiva, o DFMA também está alinhado às demandas crescentes por sustentabilidade na indústria. Boothroyd, Dewhurst e Knight, (2010) destacam que a metodologia contribui para a redução de desperdícios ao otimizar o uso de materiais e minimizar etapas produtivas que geram resíduos. Bralla (1999) complementam que a escolha de materiais recicláveis, como o alumínio, e a simplificação dos processos de fabricação podem reduzir a pegada ambiental dos sistemas de filtração, tornando-os mais sustentáveis.

A tampa do elemento filtrante, sendo um componente central do sistema de filtração, exemplifica bem como o DFMA pode ser aplicado para melhorar o desempenho e a sustentabilidade do produto. Boothroyd e Dewhurst (2010) argumentam que um design simplificado, aliado à escolha de materiais mais adequados, não apenas facilita a produção, mas também melhora a experiência do usuário final, reduzindo o tempo de manutenção e o custo total de propriedade do equipamento.

Portanto, o estudo de componentes como a tampa do elemento filtrante é crucial para atender às demandas do setor industrial, que busca cada vez mais eficiência, sustentabilidade e inovação. A combinação de metodologias avançadas de design, como o DFMA, com o uso de materiais e processos produtivos modernos, oferece uma oportunidade significativa de agregar valor aos produtos e atender às expectativas de um mercado em constante evolução.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

As principais aplicações do DFMA incluem a redução do número de peças e a simplificação das operações de montagem, com foco na eliminação de componentes desnecessários e na redução do tempo de montagem. Segundo Bralla (1999), o DFMA tem sido amplamente utilizado em setores industriais como automotivo, aeroespacial e de equipamentos pesados, visando melhorias na eficiência e na economia de custo. No setor automotivo, por exemplo, a aplicação do DFMA tem levado à redução de peso e ao aumento da facilidade de montagem dos veículos.

A tampa superior do meio filtrante utilizada nesse estudo, atualmente, é fabricada em aço 1020 conforme norma SAE (Sociedade de Engenheiros Automotivos), apresentando uma massa de 0,11 kg. Sua produção envolve diversos processos, como corte, discagem, estampagem, repuxo (torno de repuxo) e pintura. O tempo de fabricação total dessa geometria é de 265 segundos, enquanto o tempo de preparação atinge 4.440 segundos. Na nova configuração da tampa essa será fabricada em alumínio 306, apresentando uma massa de 0,14 kg. Esse modelo é fabricado através de um processo de fundição em areia verde, seguido por usinagem. O tempo de fabricação foi reduzido para 120 segundos e o tempo de preparação diminuiu para 1.500 segundos. A principal motivação para a alteração da geometria é a melhoria do fluxo de produção. Na configuração atual, observa-se que a peça permanece parada entre etapas, aguardando a liberação da máquina para continuidade do

processo. Essa espera prolonga o tempo total de produção, impactando negativamente o prazo de entrega do filtro. Com a nova geometria, espera-se um fluxo mais eficiente, reduzindo significativamente o tempo necessário para a fabricação e preparação. Além disso, a alteração contribui para melhorias estruturais, de design e de montagem da tampa, promovendo benefícios não apenas na linha de produção, mas também na funcionalidade e na estética do produto final.

O DFMA possui dois objetivos principais: reduzir o número de peças em um produto e simplificar as operações de montagem (Dewhurst; Boothroyd, 1994; Syed, Shareef, 2025). A metodologia se baseia em perguntas fundamentais, como: "Cada peça é necessária?" e "É possível combinar múltiplas funções em uma única peça?" Essas questões auxiliam no processo de design, levando à eliminação de peças e operações redundantes. No contexto de fabricação de tampas de filtros de óleo, o DFMA propõe consolidar múltiplas peças e processos, simplificando a produção e aumentando a confiabilidade do produto final (Boothroyd, Dewhurst e Knight, 2010).

A metodologia DFMA foi aplicada na tampa superior de filtro hidráulico, composta originalmente por duas chapas de aço carbono de 0,75 mm de espessura, incluindo operações de soldagem e a utilização de um dispositivo para colagem da vedação. A aplicação do DFMA permitiu consolidar essas peças em um único componente, eliminando processos de montagem complexos e tornando o produto final mais robusto e de fácil produção (Anderson, 2020). A simplificação do design resultou em redução de tempo de produção e custos operacionais, além de melhorar a vedação e a durabilidade do componente.

A aplicação do DFMA no design de tampas de filtros de óleo lubrificante ilustra como a metodologia pode otimizar processos produtivos, reduzindo o número de peças e operações e aumentando a eficiência e a confiabilidade do produto final. Como mostrado na literatura, o DFMA é uma ferramenta poderosa para melhorar a fabricação de componentes complexos e pode trazer benefícios tanto para os fabricantes quanto para os usuários finais, ao reduzir custos e melhorar a qualidade e a facilidade de manutenção dos produtos.

3.1 Vantagens Da Substituição De Material: Do Aço Carbono Ao Alumínio

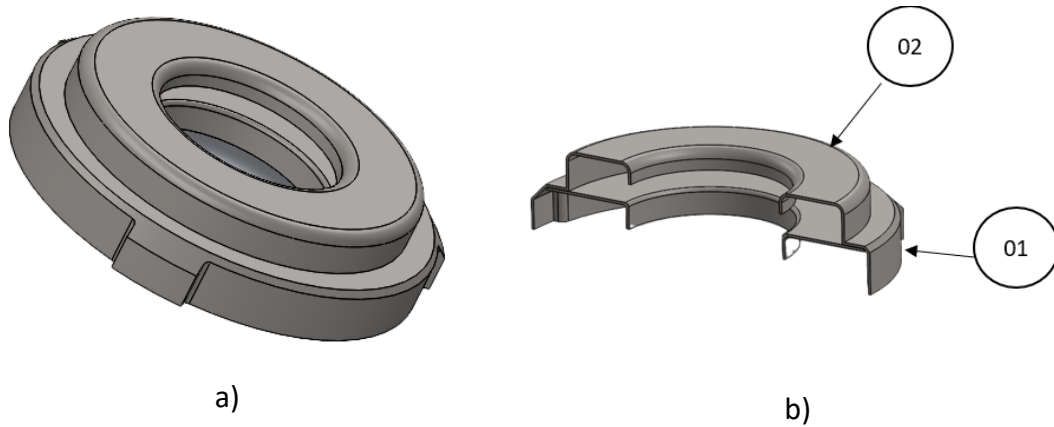
A aplicação dos conceitos de DFMA nos levou a propor uma mudança significativa no design do produto: substituir a chapa de aço carbono por uma peça fundida em alumínio 306. O uso de alumínio em substituição ao aço carbono oferece diversas vantagens, entre as quais a redução de peso, a maior facilidade de usinagem e uma resistência à corrosão superior (Kalpakjian e Schmid, 2014). Além disso, o alumínio permite uma simplificação nas operações, eliminando processos de montagem complexos e dispositivos adicionais para colagem, uma vez que o novo design já incorpora uma área rebaixada para o encaixe da vedação. Essa abordagem resulta em um design mais favorável, com aproximadamente 30% menos operações de fabricação, alinhando-se com o objetivo do DFMA de reduzir o número de componentes e operações (Boothroyd, Dewhurst e Knight (2010).

A substituição do aço carbono pelo alumínio implica um custo inicial mais elevado para a matéria-prima, mas, conforme apontado na análise de custo-benefício, essa mudança gera uma economia significativa ao longo do ciclo de vida do produto. A redução no tempo de produção contribui para um Valor Presente Líquido (VPL) positivo e uma Taxa Interna de Retorno (TIR) atrativa, corroborando a viabilidade econômica da aplicação da metodologia DFMA, uma vez que essa abordagem promove a maximização do valor econômico por meio

da simplificação do projeto, da redução dos custos de fabricação e montagem e do aumento da eficiência produtiva (Nyemba *et al.*, 2017).

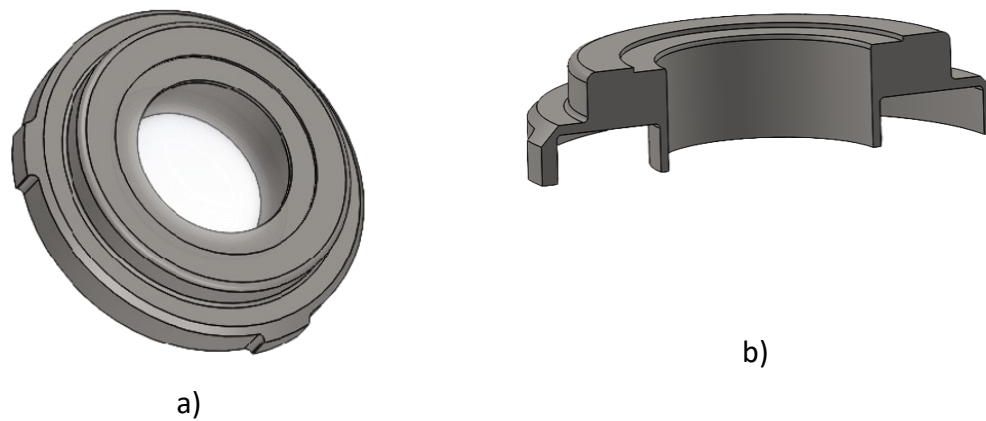
Na Figura 1a, apresenta-se o modelo tridimensional da peça atual, evidenciando o conjunto de peças montadas (01 e 02), já Figura 1b apresenta a peça em corte, permitindo uma visualização detalhada de sua estrutura interna. A Figura 2a mostra o desenho da nova peça, ilustrando o seu design atualizado. Por fim, na Figura 2b, é destacado o interior maciço do novo produto, proporcionando uma compreensão mais detalhada de sua configuração interna.

Figura 1(a) e 1(b) - Desenho 3D Peça Atual



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 2(a) e 2(b) - Desenho 3D Peça Nova



Fonte: Elaborado pelo autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A avaliação do desempenho do novo produto em relação ao modelo anterior foi realizada por meio de uma ferramenta de Engenharia Assistida por Computador (CAE), conforme apresentado na Figura 5. Para o carregamento da simulação, a força aplicada foi calculada a partir da relação entre pressão e área, de acordo com a seguinte expressão: $F = P \times A$

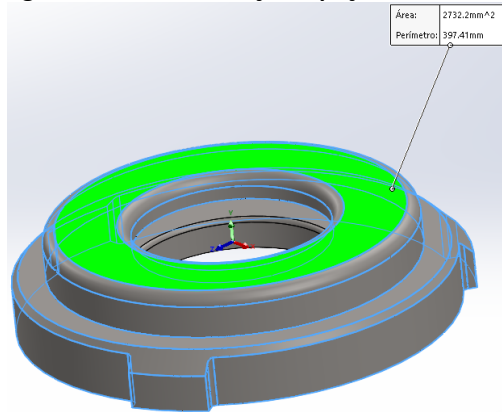
Onde:

- F é a força em Newtons (N);
- P é a pressão em Pascal (Pa); e
- A é a área em metros quadrados (m^2).

Dados:

- F = Valor a ser encontrado
- $P=30$ bar (pressão de trabalho do equipamento)
- A = área que receberá a pressão

Figura 5- Área de esforço da peça atual



Fonte: Elaborado pelo autor.

Substituindo os valores de pressão e área na Equação 1, obtém-se a força aplicada na simulação:

$$F = P \times A$$

$$F = 3.000.000 \text{ Pa} \times 0,0027322 \text{ m}^2$$

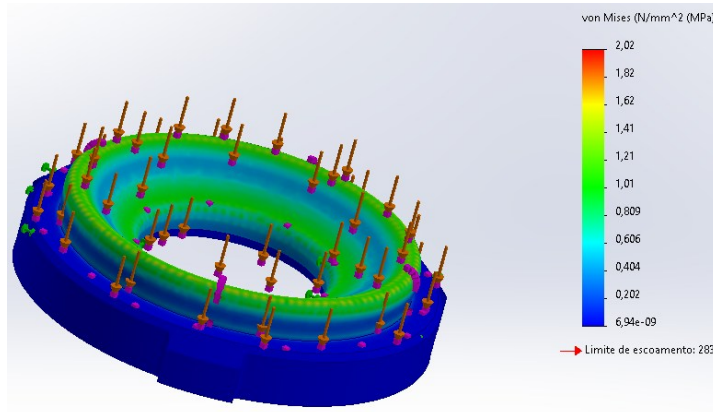
$$F = 8.196,6 \text{ N}$$

Assim, a força aplicada na análise por elementos finitos foi de 8.196,6 N, representando a carga equivalente à pressão de operação atuando sobre a área efetiva do componente.

Utilizando uma ferramenta CAE (Engenharia Auxiliada por Computador) conseguimos analisar o desempenho do novo produto em relação ao antigo, utilizando os dados calculados e anexados no software, a malha utilizada foi a média com 16 pontos jacobianos. A Figura 6 apresenta a análise estática da tampa do elemento filtrante na configuração original, fabricada em aço SAE 1020. A simulação mostra a distribuição das tensões geradas sob a aplicação da carga de trabalho, representando as regiões de maior solicitação mecânica. Observa-se que os valores máximos de tensão permanecem abaixo do limite de escoamento do material, o que garante a integridade estrutural da peça nas condições operacionais estabelecidas. Esse resultado confirma que, apesar da complexidade do processo de

fabricação anterior, o projeto original atende aos requisitos mecânicos de resistência, embora com maior número de etapas produtivas e maior tempo de fabricação.

Figura 6 - Análise Estática Peça em aço

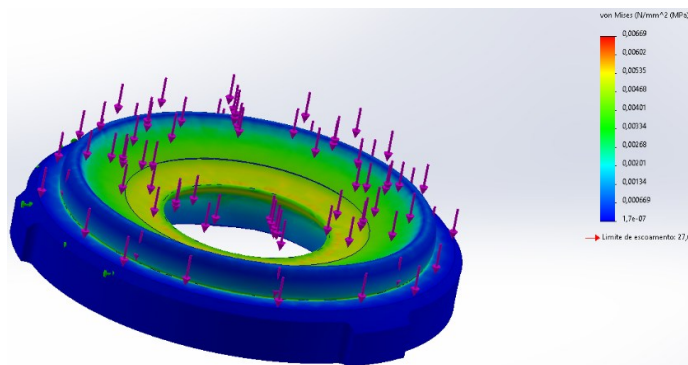


Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 7 ilustra a análise estática da nova tampa do elemento filtrante, agora fabricada em alumínio 306, utilizou-se a mesma malha da peça original. A distribuição de tensões observada é semelhante à da versão anterior em aço SAE 1020, com os valores máximos mantendo-se dentro do limite de escoamento do material. Apesar do alumínio possuir menor resistência mecânica em comparação ao aço, os resultados demonstram que a geometria otimizada do novo design é capaz de suportar as cargas operacionais previstas, sem risco de deformações permanentes ou falhas estruturais. Essa simulação confirma a viabilidade técnica da substituição do material, validando a aplicação do alumínio como uma solução eficaz do ponto de vista estrutural e produtivo.

Analisando as duas simulações, foi possível observar no produto antigo uma tensão máxima de 2,030 MPa, e limite de escoamento de 221.6MPa, comparando com produto novo que apresentou uma tensão máxima de 6,689 MPa e limite de escoamento de 27,570 MPa. Mesmo o produto novo apresentando uma tensão máxima maior e um ponto de escoamento menor, o produto atende as exigências do projeto pois ele não se deformara ou não suportara a pressão de trabalho do equipamento.

Figura 7- Análise Estática Peça Nova em Alumínio



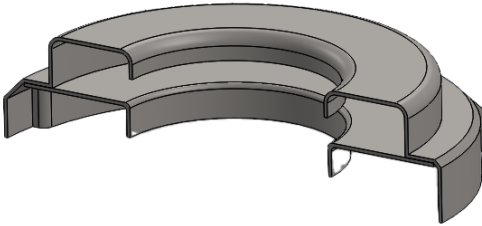
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1 Relação De Operações e Número de Componentes

A aplicação da metodologia DFMA permitiu uma reavaliação completa do projeto da tampa do elemento filtrante, com foco na simplificação do processo produtivo e na redução do número de componentes. Para evidenciar os ganhos obtidos com a nova abordagem, foram elaborados quadros comparativos que analisam as operações e os elementos envolvidos na fabricação das duas versões da peça. Esses quadros demonstram, de forma clara e objetiva, como a transição de um conjunto montado para um componente único fundido em alumínio impactou positivamente a eficiência da produção.

A Tabela 1 compara a tampa antiga em aço com a tampa nova em alumínio, destacando a quantidade de peças e operações necessárias para a fabricação. A tampa em aço exige 2 peças e 10 operações, enquanto a tampa nova, otimizada, utiliza apenas 1 componente e 2 operações (fundição e usinagem), resultando em um processo de fabricação mais simples e eficiente.

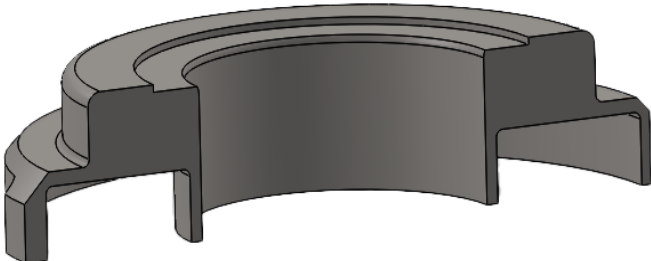
Tabela 1- Análise de Processo da Peça em aço

Tampa em Aço		
Tampa	Número de componentes	Número de operações
	02	10

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 2 complementa a análise, fornecendo dados adicionais sobre os impactos dessa mudança no processo de produção.

Tabela 2 - Análise de Processo Tampa Nova em Alumínio

Tampa em Alumínio		
Tampa	Número de componentes	Número de operações
	01	02

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 Relações De Tempo Para Fabricação

A avaliação dos tempos de fabricação e preparação é essencial para medir a eficiência de um processo produtivo e identificar oportunidades de otimização. Nesta seção, são comparados os tempos envolvidos na produção da tampa do elemento filtrante antes e após a aplicação da metodologia DFMA.

Os dados foram organizados em tabelas que detalham o tempo de execução das operações e o tempo necessário para preparar os equipamentos em cada uma das versões do produto. Essa análise permite quantificar os ganhos obtidos com o novo design e reforça os impactos positivos da simplificação do processo na redução de tempo e custo.

A Tabela 3 apresenta os dados referentes à fabricação da tampa em aço, especificando o tempo de operação, fabricação e preparação. O tempo total de fabricação é de 275 segundos, enquanto o tempo de preparação da máquina para a produção é de 5340 segundos. Esses valores ilustram o tempo total necessário para produzir a tampa, com destaque para o longo período dedicado à preparação da máquina.

A Tabela 4 apresenta as mesmas variáveis, mas agora para a tampa nova. Neste caso, o tempo de fabricação é reduzido para 120 segundos, e o tempo de preparação da máquina diminui consideravelmente para 1500 segundos. Essa redução no tempo de fabricação e preparação demonstra uma melhoria significativa no processo, resultando em maior eficiência na produção da nova tampa. A comparação entre as duas tabelas evidencia o ganho de tempo tanto na fabricação quanto na preparação da máquina, refletindo uma otimização no processo de produção.

Tabela 3 – Relação De Tempo Para Fabricação da Tampa em Aço

Componentes	Operações	Tempo(s)	Preparação (s)
Peça 1	1 - Corte E Discagem	40	600
	2 - Repuxo	60	900
	3 - Furador	10	900
	4 - Ressalto	10	900
	5 - Pintura	15	120
	6 - Solda	30	0
Peça 2	7-Corte E Discagem	40	300
	8-Repuxo	45	900
	9-Prensa	10	600
	10-Pintura	15	120
Total		275	5340

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 4 – Relação De Tempo Para Fabricação Tampa em Alumínio

Componente	Operações	Tempo(s)	Preparação (s)
Único	Fundição e Usinagem	120	1500
Total		120	1500

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 5 apresenta um comparativo entre os dados das Tabelas 1 e 2, destacando as melhorias no processo de produção. A análise revela uma redução de 57% no tempo de usinagem e de 72% no tempo de preparação da máquina ao comparar a tampa em aço com a tampa em alumínio. Além disso, a comparação entre os quadros de peças apresenta o novo produto em um único componente, evidenciando uma simplificação significativa no processo de fabricação. Esses resultados refletem as melhorias em eficiência e redução de complexidade no novo design da tampa.

Tabela 5 – Comparativo de Tempo

Componentes	Redução (%)		
	Operações	Tempo(s)	Preparação (s)
Único	02	57%	72%

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3 Matéria-Prima

A substituição da matéria-prima de chapa de aço carbono por alumínio resultou em um aumento de 84% no custo unitário da chapa de aço. No entanto, a análise baseada na metodologia de custo-benefício demonstrou a viabilidade dessa mudança, considerando os ganhos econômicos e produtivos obtidos com a modificação.

4.4 Metodologia De Custo-Benefício

A metodologia de custo-benefício é amplamente utilizada para avaliar a viabilidade de projetos ao comparar os custos e os benefícios ao longo do tempo (Blank; Tarquin, 2012). Neste estudo, foi aplicado o cálculo do Valor Presente Líquido (VPL), que avalia o retorno financeiro de um investimento descontando o fluxo de caixa futuro ao valor presente (Gitman e Zutter, 2018).

Com base nos dados de fabricação, foi possível comparar os custos entre os dois modelos de tampas: a anterior em aço, composta por peças estampadas, pintadas e soldadas, e o novo modelo fundido em alumínio. O VPL do novo processo apresentou um aumento de 50% em relação ao processo produtivo anterior, reforçando sua superioridade econômica.

Para avaliar a atratividade do investimento, foi adotada uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 10%, considerada padrão para análises do setor (Gitman, 2010). A Taxa Interna de Retorno (TIR) calculada foi de 35%, indicando uma elevada rentabilidade do projeto.

O fluxo de caixa foi projetado considerando uma produção anual de peças ao longo de 10 anos, incorporando a redução no tempo de fabricação como fator determinante. Dessa forma, a aplicação da metodologia de custo-benefício demonstrou não apenas a viabilidade técnica da mudança, mas também os ganhos financeiros e produtivos associados, conforme cálculos abaixo.

- Premissas do Projeto

Horizonte Temporal (n): 10 anos.

TMA (i): 10% (0,10 ao ano).

TIR: (Indica que o projeto suporta ou não um custo de capital superior à TMA).

Ganho de VPL: $VLP_{novo} = 1,5 \times VLP_{antigo}$

- Cálculo do Valor Presente Líquido (VPL)

O VPL é a soma dos fluxos de caixa descontados à taxa da TMA, subtraindo-se o investimento inicial. O cálculo é de acordo com a Equação 1 e é apresentada a seguir.

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad (1)$$

Fonte: Czipf, C. 2025 (Adaptado)

Onde:

FC_t : Fluxo de caixa anual (considerando a economia de fabricação).

i : 10% (Taxa Mínima de Atratividade).

I_0 : Investimento inicial (moldes de fundição, maquinário).

Interpretação: Como o novo VPL é 50% superior ao antigo, se o processo anterior rendia, por exemplo, R\$ 100.000 de valor presente, o novo modelo entrega R\$ 150.000, já descontada a inflação e o custo de oportunidade.

- Cálculo da Taxa Interna de Retorno (TIR)

A TIR é a taxa que torna o VPL igual a zero. O cálculo busca encontrar a taxa “r” na Equação 2:

$$\sum_{t=1}^{10} \frac{FC_t}{(1+r)^t} - I_0 = 0 \quad (2)$$

Fonte: Czipf, C. 2025 (Adaptado)

A Taxa Interna de Retorno (TIR) corresponde à taxa de desconto que torna o Valor Presente Líquido (VPL) igual a zero, sendo obtida pela resolução da Equação 2. Esse indicador representa a rentabilidade intrínseca do investimento e é amplamente utilizado para avaliar a atratividade econômica de projetos.

A análise foi realizada comparando-se a TIR obtida com a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) adotada de 10% ao ano. Os resultados indicaram uma TIR de 35%, valor significativamente superior à TMA, evidenciando a viabilidade econômica da proposta. Dessa forma, conclui-se que o projeto não apenas recupera o capital investido, mas também proporciona uma rentabilidade excedente de 25 pontos percentuais em relação ao retorno mínimo esperado, demonstrando elevado potencial de geração de valor para a organização (Gitman; Zutter, 2018).

5 CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo aplicar a metodologia *Design for Manufacturing and Assembly* (DFMA) na otimização do design da tampa de um elemento filtrante utilizado em sistemas de transmissão hidráulica, buscando reduzir o número de componentes e operações do processo produtivo. A partir da substituição de um conjunto de 2 peças estampadas, soldadas e pintadas por um único componente fundido em alumínio, foi possível reprojeter o produto com foco na simplificação da fabricação, montagem e manutenção.

A metodologia adotada envolveu a análise comparativa entre as configurações da peça nova em alumínio e a peça produzida em aço, considerando fatores como quantidade de operações, tempo de fabricação e preparação, desempenho estrutural por meio de simulações computacionais (CAE) e avaliação econômico-financeira baseada em indicadores como VPL e TIR. Os resultados demonstraram reduções de 57% no tempo de fabricação, 72% no tempo de preparação da máquina, além da eliminação de nove operações e um componente, sem comprometer a integridade estrutural da peça.

Esses dados confirmam a eficácia da abordagem DFMA na simplificação do processo industrial, promovendo maior eficiência produtiva, sustentabilidade e competitividade. A nova solução demonstrou não apenas viabilidade técnica, mas também superioridade econômica em relação ao modelo anterior, destacando o potencial da engenharia de manufatura como ferramenta estratégica para inovação e otimização de produtos.

Como continuidade deste trabalho, recomenda-se aplicar a mesma abordagem a outros componentes do sistema de filtração ou mesmo a diferentes sistemas industriais, ampliando os estudos para incluir simulações térmicas, análises de ciclo de vida e impacto ambiental. A adoção de metodologias integradas como DFMA aliada a ferramentas computacionais avançadas pode contribuir significativamente para o desenvolvimento de produtos cada vez mais eficientes, sustentáveis e adaptados às exigências da indústria moderna.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, David M. **Design for manufacturability**: how to use concurrent engineering to rapidly develop low-cost, high-quality products for lean production. Boca Raton: Taylor & Francis, 2020.

ARAÚJO, Welton Conceição *et al.* ESTUDO DE CASO: DFMA APLICADO A COMPRESSORES INDUSTRIAIS. **Revista de Estudos Interdisciplinares**, [s. l.], v. 7, n. 5, p. 1-21, 2025. DOI: <https://doi.org/10.56579/rei.v7i5.2052>.

BARBOSA, G. F. **Aplicação da metodologia DFMA – Design for Manufacturing and Assembly no projeto e fabricação de aeronaves**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

BLANK, L. T.; TARQUIN, A. J. **Engineering economy**. 7. ed. New York: McGraw-Hill, 2012.

BOOTHROYD, Geoffrey. Product design for manufacture and assembly. **Computer-Aided Design**, v. 26, n. 7, p. 505–520, jul. 1994. [https://doi.org/10.1016/0010-4485\(94\)90082-5](https://doi.org/10.1016/0010-4485(94)90082-5)

BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.; KNIGHT, W. A. **Product design for manufacture and assembly**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2010.

BRALLA, James G. **Design for manufacturability handbook**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1998.

BRALLA, James G. **Handbook of product design for manufacturing: a practical guide to cost reduction**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1999.

CHEREMISINOFF, Nicholas P. **Handbook of water and wastewater treatment technologies**. Boston: Butterworth-Heinemann, 1998.

CZIPF, Csongor. The impact of changing energy prices, interest rates, and investment costs on the net present value and internal rate of return for alternative energy projects. **Discover Sustainability**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 161, 2025. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-00921-7>.

FORMENTINI, Giovanni; BOIX RODRÍGUEZ, Núria; FAVI, Claudio. Design for manufacturing and assembly methods in the product development process of mechanical products: a systematic literature review. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [s. l.], v. 120, n. 7, p. 4307-4334, 2022. <https://doi.org/10.1007/s00170-022-08837-6>

GITMAN, L. J. **Princípios de administração financeira**. 12. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

GITMAN, L. J.; ZUTTER, C. J. **Princípios de administração financeira**. 13. ed. São Paulo: Pearson, 2018.

KALPAKJIAN, S.; SCHMID, S. **Manufacturing engineering and technology**. [S. l.]: Pearson, 2014.

MOTA, Lucas Wallan Borges *et al.* Projeto e desenvolvimento de um misturador rotativo de amostras. **Revista de Estudos Interdisciplinares**, v. 7, n. 5, p. 1-19, 2025. DOI: <https://doi.org/10.56579/rei.v7i5.1984>.

NYEMBA, W. R.; MUZOROZA, R. K.; CHIKUKU, T.; MBOHWA, C. Unlocking the economic value and potential of design for manufacture and assembly in a developing country for sustainability. *In*: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND ENGINEERING MANAGEMENT (IEEM), 2017. **Proceedings** [...]. Singapore: IEEE, 2017. p. 1817–1821. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2017.8290205>.

SYED, Majid Ul Hasan; SHAREEF, Iqbal. Enhanced design and performance evaluation of a novel orthotic knee joint. **Manufacturing Letters**, v. 44, p. 1669-1680, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2025.06.186>

Sobre os Autores:

ⁱ Nickson Ribeiro da Silva



Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Paulista (2022) e cursando Pós-Graduação em Projetos Mecânicos pelo SENAI (2025). Possui experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em projetos de ferramentas, desenvolvimento de produtos e processos de manufatura. Atua no desenvolvimento de soluções voltadas à otimização de projetos, melhoria de processos e redução de custos industriais.

ⁱⁱ Edgard Gonçalves Cardoso



Engenheiro de Produção Mecânica e de Segurança do Trabalho, mestre e doutorando em Energia, com especializações em Manutenção Industrial, Gestão de Projetos, Gestão de Pessoas e Educação. Atua como Técnico de Laboratório na UFABC e professor de ensino superior no Centro Universitário SENAI-SP, com experiência em manutenção, energia, educação e gestão de riscos. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8953-9464>

ⁱⁱⁱ Leandro Cardoso da Silva



Graduado em Engenharia de Produção Mecânica, mestre em Engenharia dos Materiais e doutor em Engenharia Mecânica (USP). Possui 14 anos de experiência na indústria automotiva, atuando no desenvolvimento de produtos e processos de manufatura, além de experiência acadêmica em engenharia mecânica, materiais, manutenção e gestão da produção. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1636-3685>

^{iv} Lucas Almeida Willenshofer



Graduado em Engenharia de Controle e Automação e Engenharia Elétrica, mestre em Engenharia Mecânica (IFSP). Professor no SENAI-SP e ENIAC, com experiência em Automação Industrial, Engenharia Elétrica, IoT, redes industriais e integração de sistemas voltados à Indústria 4.0. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8884-7607>

^v Manuel Patrício da Silva Bisneto



Doutor em Nanociências e Materiais Avançados (UFABC), mestre em Engenharia Mecânica e Aeronáutica (ITA), especialista em Engenharia de Produção e graduado em Tecnologia em Processos de Produção. Professor e consultor com experiência em desenvolvimento de produtos, gestão de projetos, Lean Manufacturing, modelagem 3D e simulações. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2176-2288>