

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA MECÂNICA
MILLER MARTINS LOPES

**ANÁLISE E OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE MOLDAGEM PARA ELIMINAÇÃO
DE DEFEITO EM VEDAÇÃO AUTOMOTIVA**

Varginha
2025

MILLER MARTINS LOPES

**ANÁLISE E OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE MOLDAGEM PARA ELIMINAÇÃO
DE DEFEITO EM VEDAÇÃO AUTOMOTIVA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Prof. Antônio Vital Lara Junior.

**Varginha
2025**

MILLER MARTINS LOPES

**ANÁLISE E OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE MOLDAGEM PARA ELIMINAÇÃO
DE DEFEITO EM VEDAÇÃO AUTOMOTIVA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para a obtenção de bacharel pela banca examinadora composta pelos membros:

Aprovado em: / /

Prof.

Prof.

Prof.

OBS.:

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho a todos que acreditaram no meu potencial e me inspiraram a seguir em frente em especial meus pais, minha irmã, familiares e minha namorada que tornaram possível cada passo desta jornada, agradeço também a Deus pela sabedoria e nunca me deixar desistir na construção deste trabalho.

“Os rios não bebem sua própria água; as árvores não comem seus próprios frutos; O sol não brilha para si mesmo; e as flores não espalham sua fragrância para si. Viver para os outros é uma regra da natureza. A vida é boa quando você está feliz; mas a vida é muito melhor quando os outros estão felizes por sua causa”.

Papa Francisco

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de caso realizado em uma empresa fabricante de vedações automotivas, com foco na análise e correção de uma falha de infiltração de água em uma guarnição de porta automotiva. A ocorrência do defeito gerou impactos significativos, como retrabalhos, bloqueio de lote e custos adicionais de produção. Para identificar a causa raiz e propor uma solução definitiva, foram aplicadas ferramentas da qualidade, incluindo Brainstorming, Diagrama de Ishikawa e Método dos 5 Porquês. As análises apontaram que a falha estava relacionada à deformação da aba de vedação causada na extensão de um inserto que é inserido no molde, que gerava rebarbas e comprometia a estanqueidade da peça. Como proposta de melhoria, foi desenvolvida a modificação do inserto, com a remoção da extensão onde ocorre o desalinhamento da vedação. A solução foi validada por meio de testes de estanqueidade e inspeção visual, comprovando a eliminação do defeito e a manutenção da funcionalidade da peça. O estudo reforça a importância da aplicação estruturada das ferramentas da qualidade para a identificação precisa de causas e o desenvolvimento de soluções técnicas eficazes em processos de moldagem por injeção.

Palavras-chave: Moldagem por injeção; Vedações automotivas; Infiltração; Inserto; Ferramentas da qualidade.

ABSTRACT

This study presents a case study conducted at an automotive seal manufacturing company, focusing on the analysis and correction of a water infiltration defect in an automotive door trim. The occurrence of the defect generated significant impacts, such as rework, batch blocking, and additional production costs. To identify the root cause and propose a definitive solution, quality tools were applied, including Brainstorming, Ishikawa Diagram, and the 5 Whys method. The analyses indicated that the defect was related to the deformation of the sealing flange caused by the extension of an insert inserted into the mold, which generated burrs and compromised the tightness of the part. As a proposed improvement, the insert was modified by removing the extension where the seal misalignment occurred. The solution was validated through leak tests and visual inspection, proving the elimination of the defect and the maintenance of the part's functionality. The study reinforces the importance of the structured application of quality tools for the precise identification of causes and the development of effective technical solutions in injection molding processes.

Keywords: Injection molding; Automotive seals; Water leakage; Insert; Quality tools.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Infiltração de água na parte interna do veículo.....	5
Figura 2: Prensa de injeção vertical.....	7
Figura 3: Sistema de moldagem por injetora horizontal.....	9
Figura 4: Vista parcial de um molde de injeção.....	12
Figura 5: Variação da viscosidade e da percentagem de reticulação com a temperatura.....	14
Figura 6: Diagrama de Causa e Efeito.....	19
Figura 7: Representação do método 5 Porquês.....	20
Figura 8: Posicionamento manual do inserto no molde.....	22
Figura 9: Extração automática e remoção manual da peça moldada.....	22
Figura 10: Diagrama de Ishikawa.....	24
Figura 11: Projeção do perfil da peça em análise.....	26
Figura 12: Cavidade do molde.....	27
Figura 13: Parâmetros de processo.....	28
Figura 14: Peça com deformação na extensão do inserto após moldagem.....	29
Figura 15: Registro de treinamento dos operadores da célula.....	30
Figura 16: Avaliação da iluminação no posto de inspeção.....	31
Figura 17: Peça com extensão do inserto aparente e deformado com rebarbas.....	34
Figura 18: Proposta de modificação no inserto.....	35
Figura 19: Peça modificada sem extensão do inserto.....	37
Figura 20: Peça com inserto modificado no veículo em teste de estanqueidade.....	38
Figura 21: Comparativo de defeitos relacionados ao inserto antes e depois da modificação...	41

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Etapas do Processo de Moldagem por Injeção.....	10
Quadro 2: Principais tipos de moldes.....	12
Quadro 3: Ferramentas da Qualidade.....	16
Quadro 4: Aplicação do 5 por quês da causa raiz.....	33
Quadro 5: Comparativo de custos antes e depois da melhoria.....	40

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	4
2 REFERENCIAL TEÓRICO	7
2.1 Moldagem por Injeção	7
2.1.1 Funcionamento da Máquina de Moldagem por Injeção	8
2.1.2 Processo da Máquina de Moldagem por Injeção	10
2.1.3 Força de Fechamento da Máquina	10
2.2 Moldes	11
2.3 Material Elastômeros	13
2.3.1 Composto de Borracha	14
2.4 Ferramentas da Qualidade	15
2.4.1 Brainstorming	16
2.4.1.1 Como aplicar	17
2.4.2 Diagrama de Causa e Efeito	18
2.4.2.1 Elementos do Diagrama de Causa e Efeito	18
2.4.3 Método dos 5 Porquês	20
3 METODOLOGIA	21
3.1 Processo de Moldagem	21
3.2 Brainstorming	23
3.3 Diagrama de Ishikawa	23
3.3.1 Análise detalhada das causas	25
3.3.1.1 Causas potenciais	25
3.3.1.1.1 Análise da geometria do perfil	25
3.3.1.1.2 Cavidade do molde com desgaste	26
3.3.1.1.3 Parâmetros fora do especificado	27
3.3.1.2 Causa comprovada	28
3.3.1.2.1 Deformação da aba de vedação	28
3.3.1.3 Causas não comprovadas	29
3.3.1.3.1 Operador sem treinamento	30
3.3.1.3.2 Baixa iluminação no posto de inspeção	31
3.4 Método dos 5 Porquês	32
4 DESENVOLVIMENTO DA PROPOSTA DE MELHORIA (CORREÇÃO DAS CAUSAS-RAIZ)	34

4.1 Proposta principal — remoção da extensão do inserto	35
4.1.1 Descrição da modificação	35
4.1.2 Análise Econômica e Impacto Financeiro da Melhoria	36
4.1.3 Justificativa técnica e Validação experimental.....	36
4.1.4 Economia e benefícios com a implementação da proposta.....	39
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
6 CONCLUSÃO	43
REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

A indústria automotiva ocupa papel de destaque no cenário econômico mundial e é responsável pelo desenvolvimento de soluções tecnológicas que visam aumentar a segurança, o desempenho e o conforto dos veículos. Entre os diversos componentes empregados nesse setor, as vedações automotivas têm função essencial para garantir a estanqueidade e o isolamento entre os ambientes interno e externo dos automóveis. Essas peças impedem a entrada de água, poeira, ruídos e outros agentes externos que possam comprometer tanto o conforto dos ocupantes quanto a durabilidade dos sistemas do veículo.

A confiabilidade das vedações está diretamente ligada às suas propriedades físico-químicas, que devem assegurar resistência ao envelhecimento, às variações de temperatura e à deformação por compressão. Além disso, o desempenho funcional dessas peças depende da qualidade do processo de fabricação, especialmente da moldagem por injeção, considerada uma das etapas mais críticas da cadeia produtiva. Nesse processo, qualquer desvio pode resultar em falhas que comprometem a funcionalidade da vedação e, conseqüentemente, a satisfação do cliente final.

No contexto industrial, a moldagem por injeção de elastômeros se consolidou como uma tecnologia amplamente utilizada, devido à sua capacidade de produzir peças com geometrias complexas, elevada precisão dimensional e alta repetibilidade. Essa característica é particularmente importante na produção de vedações automotivas, que exigem tolerâncias rigorosas e propriedades elásticas permanentes para cumprir seu papel de forma eficiente. Por outro lado, a complexidade do processo também o torna suscetível a falhas, que podem estar relacionadas a parâmetros de moldagem inadequados, desgaste de moldes, características da matéria-prima ou falhas humanas na operação.

Neste trabalho, analisou-se uma falha em vedação de porta automotiva, ocorrida durante testes de estanqueidade realizados pela montadora cliente em sua unidade de Gravataí. O problema foi caracterizado pela infiltração de água na região da porta automotiva, comprometendo a funcionalidade da peça e a estanqueidade do conjunto.

Devido à falha detectada, houve parada de linha de produção por 6 minutos, e considerando que o cliente estabelece uma penalidade de R\$ 20.000,00 por minuto de linha parada, durante a inspeção, foram identificadas 16 peças com o mesmo defeito, o que levou ao bloqueio de todo o lote de produção para revisão, totalizando aproximadamente 3.500 peças em estoque. Como consequência, foi realizada a abertura de uma reclamação oficial, o que gerou multa à fornecedora e a necessidade de mobilizar recursos emergenciais para

correção, incluindo retrabalho em campo, substituição de peças no cliente e contratação de mão de obra terceirizada para inspeção e contenção.

Além dos impactos financeiros e produtivos, o ocorrido afetou a imagem da empresa fornecedora perante o cliente e levantou preocupações sobre a possibilidade de existirem peças defeituosas ainda em estoque, reforçando a necessidade de uma ação corretiva imediata e definitiva.

Na figura 1, mostra o ocorrido e o local onde se encontra a infiltração:

Figura 1: Infiltração de água na parte interna do veículo.



Fonte: O autor (2025).

Diante disso, o presente estudo justificou-se pela necessidade de investigar a fundo o processo de moldagem envolvido, identificar com precisão a causa raiz da falha e propor uma solução viável e de rápida implementação. A correção garante maior confiabilidade da vedação automotiva, evita reincidências do problema e minimiza os impactos financeiros e produtivos associados às não conformidades, contribuindo para a melhoria contínua dos processos e da satisfação do cliente final.

Para propor uma correção de uma falha no processo de moldagem de vedações automotivas, é essencial identificar a origem dos defeitos apresentados nos produtos. Antes de definir soluções corretivas e propor melhorias, foi conduzida uma análise criteriosa da falha ocorrida, utilizando ferramentas de qualidade que possibilitem um diagnóstico preciso e detalhado dos fatores que impactam as qualidades do produto.

Para esta análise, foram aplicadas três ferramentas fundamentais: Brainstorming, Diagrama de Ishikawa e 5 Porquês. O Brainstorming é uma técnica de geração de ideias em grupo, Diagrama de Ishikawa auxiliou na organização das possíveis causas dos defeitos, categorizando-os em fatores como matéria-prima, método, máquina, mão de obra, medição e

meio ambiente, 5 Porquês veio com objetivo de não se contentar com explicações superficiais e chegar à origem real da falha.

Com a identificação da causa raiz, foi possível propor a correção da falha no processo de moldagem, com a ajuda do time de Engenharia de Produtos e Engenharia de Processos, que tem um grande know-how das falhas que acontecem no dia a dia.

Este trabalho teve o propósito a estruturação de uma proposta de correção para uma falha que ocorreu em um molde de vedação de porta automotiva. O que foi executável baseado em:

- a) Descrever o processo de moldagem por injeção utilizado na fabricação de vedações automotivas, destacando as etapas em que ocorrem falhas;
- b) Apresentar os componentes e características dos moldes empregados no processo de moldagem;
- c) Compreender a aplicação de ferramentas de qualidade usadas na identificação e correção de falhas no processo produtivo;
- d) Identificar a falha;
- e) Investigar a causa raiz do defeito encontrado nas vedações automotivas;
- f) Desenvolver uma proposta para solucionar a causa raiz detectada.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Moldagem por Injeção

Segundo Conrad (2023) A moldagem por injeção é reconhecida como um dos processos de fabricação mais utilizados na indústria moderna, especialmente para a produção em larga escala de componentes plásticos com geometrias complexas. Esse método consiste basicamente na introdução de um material termoplástico ou elastômeros, que por meio de uma máquina injetora irá fundir o material e injetá-lo em um molde sob pressão para produzir componentes adquirindo sua forma final com alta precisão dimensional.

A seguir na figura 2, temos o modelo de uma prensa de injeção vertical utilizada para moldagem de injeção com elastômeros:

Figura 2: Prensa de injeção vertical.



Fonte: O autor, (2025).

Essa tecnologia é amplamente empregada na fabricação de uma variedade de produtos do dia a dia, que vão desde itens de uso pessoal, como escovas de dentes e tampas de embalagens, dispositivos eletrônicos e carcaças de eletrodomésticos até componentes técnicos e industriais, como peças automotivas exemplo: (painéis, para-choques, porta copos). Sua versatilidade é uma das principais razões para sua popularidade, visto que permite a fabricação de peças com detalhes minuciosos, espessuras variadas e excelente acabamento superficial (Bennet, 2024).

Além disso, a moldagem por injeção destaca-se por sua elevada eficiência produtiva e pelo baixo custo unitário das peças, especialmente quando produzidas em grandes volumes. A possibilidade de automatização do processo também contribui para a repetibilidade e padronização da qualidade dos produtos, fatores essenciais em setores como o automotivo, médico e eletrônico (Conrad, 2023).

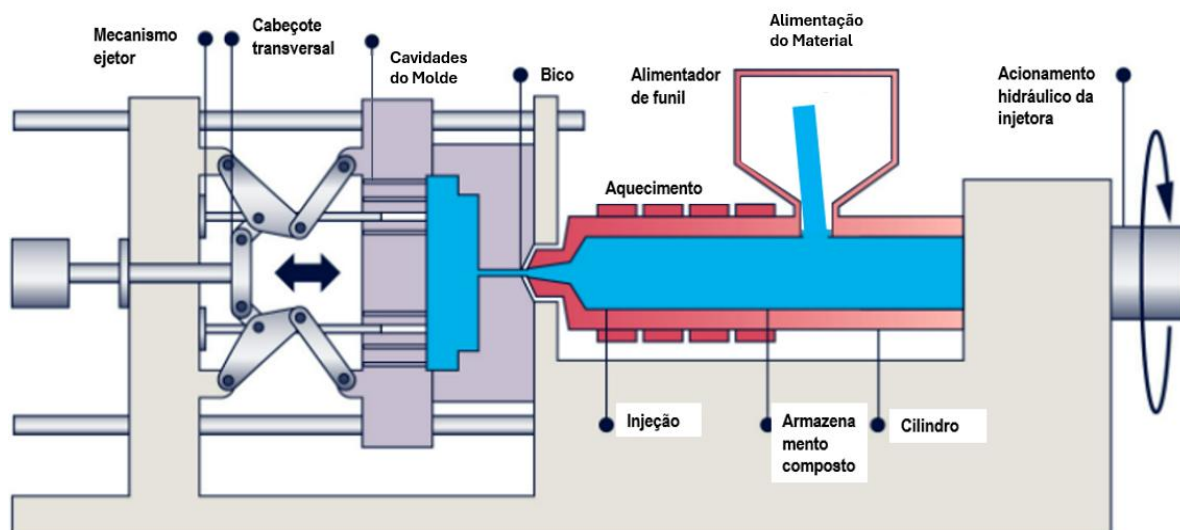
Os materiais mais comumente utilizados nesse processo são os polímeros termoplásticos, como o nylon, polietileno e poliestireno devido à sua capacidade de serem moldados repetidamente com a aplicação de calor. No entanto, também é possível empregar elastômeros. A escolha do material depende das exigências de resistência e da funcionalidade esperada para o produto final. É importante destacar que cada material apresenta características específicas que afetam diretamente os parâmetros do processo de moldagem. A possibilidade de utilizar ligas ou misturas de materiais já existentes oferece aos projetos um leque amplo de opções para selecionar o material com propriedades mais adequadas à aplicação desejada (3D Systems, 2023).

2.1.1 Funcionamento da Máquina de Moldagem por Injeção

A máquina de moldagem por injeção é composta por três sistemas principais, cuja integração é essencial para o correto funcionamento do processo: a unidade de injeção, o molde e a unidade de fechamento. Cada uma dessas partes exerce funções específicas e interdependentes, contribuindo para a eficiência e qualidade da moldagem (Conrad, 2023).

Na figura 3 abaixo, representa como é o funcionamento do sistema de moldagem por injeção, que é o mesmo modelo para prensas vertical e horizontal:

Figura 3: Sistema de moldagem por injetora horizontal.



Fonte: Adaptado de Conrad (2023).

Segundo Conrad (2023), a unidade de injeção é responsável por receber, aquecer e injetar o material no molde. O processo inicia-se com a alimentação do material, por meio de um funil posicionado no topo da unidade. Quando o volume necessário de material fundido é acumulado, o material é então impulsionado com alta pressão para o interior da cavidade do molde, preenchendo todos os espaços e adquirindo a forma desejada.

O segundo componente fundamental do sistema é o molde, que consiste em duas metades metálicas projetadas para formar a geometria exata da peça final. Essas metades permanecem firmemente unidas durante a injeção, resistindo à pressão interna gerada pela entrada do material fundido. A precisão no design e na fabricação dos moldes é crucial para garantir a qualidade dimensional e o acabamento superficial das peças moldadas. Já a unidade de fechamento, também chamada de unidade de trava ou unidade de força de fechamento, tem como função manter o molde fechado durante o ciclo de injeção e possibilitar sua abertura ao final do processo, permitindo a extração da peça (Conrad, 2023).

2.1.2 Processo da Máquina de Moldagem por Injeção

Segundo Sparrow (2024), as etapas fundamentais do processo de moldagem por injeção podem ser observadas no quadro 1 a seguir, onde são descritas de maneira clara as fases que garantem a conformação da peça.

Quadro 1: Etapas do Processo de Moldagem por Injeção.

Etapa 1	Preparação do material	A borracha bruta é misturada com aditivos, cargas e agentes de vulcanização até formar um composto homogêneo. Em seguida, o material é conformado em tiras contínuas e dimensionadas, prontas para alimentação na máquina de injeção. Essa etapa garante a fluidez e a consistência necessárias para um bom desempenho no processo de moldagem.
Etapa 2	Injeção e cura	O composto de borracha é aquecido até atingir um estado semilíquido e, sob alta pressão, é injetado na cavidade do molde. Nesse ambiente aquecido, ocorre a vulcanização, processo químico que promove ligações cruzadas entre as cadeias poliméricas, conferindo à peça final elasticidade, resistência e estabilidade térmica.
Etapa 3	Resfriamento e ejeção	Após a vulcanização, o molde é resfriado para solidificar a borracha e garantir a estabilidade dimensional da peça. Em seguida, a peça é ejetada do molde e pode passar por processos de acabamento, como a rebarbação, para atender aos requisitos de qualidade final.

Fonte: SPARROW, (2024).

2.1.3 Força de Fechamento da Máquina

Segundo Conrad (2023), a força de fechamento, é um dos parâmetros mais importantes no processo de moldagem por injeção, pois garante que o molde permaneça completamente selado durante a injeção do material fundido. Essa força atua contra a pressão exercida pelo material ao ser injetado na cavidade do molde, impedindo que o molde se abra e ocorra o chamado extravasamento de material pelas bordas de fechamento. Essa força pode variar significativamente, desde poucas toneladas em máquinas de pequeno porte utilizadas para a produção de peças técnicas de pequeno volume, até milhares de toneladas em equipamentos industriais de grande escala, empregados na moldagem de componentes volumosos ou com ampla área superficial.

Como orientação geral, utiliza-se uma estimativa de aproximadamente 5 toneladas de força de fechamento por polegada quadrada de área projetada da peça. Essa regra prática,

embora útil, pode variar conforme o tipo de material empregado, a geometria do componente e as condições de processamento. Materiais plásticos com maior rigidez ou que exigem altas pressões de injeção como certos termoplásticos técnicos podem demandar forças de fixação superiores para evitar a abertura do molde durante o ciclo de injeção. Da mesma forma, peças com dimensões maiores ou com múltiplas cavidades no molde também requerem um aumento proporcional da força de fechamento, a fim de garantir a integridade dimensional e a ausência de defeitos superficiais (Conrad, 2023).

2.2 Moldes

O molde, podemos dizer “ferramenta” na indústria de transformação, representa o componente central e mais complexo do processo de moldagem por injeção. Trata-se de um bloco metálico altamente projetado e usinado, contendo cavidades internas que determinam com precisão a geometria final da peça moldada. O molde é projetado para receber o material fundido sob alta pressão, garantindo que fique no formato desejado (Conrad, 2023).

De acordo com Bennet (2024), são projetados com precisão e compostos por diversos elementos, como cavidades, núcleos, canais de alimentação, sistemas de injeção, de refrigeração e de ejeção. A cavidade funciona como a parte fixa que recebe o material fundido, enquanto o núcleo, geralmente móvel, é responsável por moldar o formato interno da peça, permitindo que se obtenha o contorno desejado do produto.

O controle de temperatura é realizado por meio de canais internos por onde circulam fluidos térmicos, como água ou óleo, com o objetivo de acelerar o resfriamento e reduzir o tempo de ciclo. Já os canais de ventilação, embora discretos, são essenciais para permitir a saída do ar da cavidade durante a injeção, evitando defeitos como queimaduras ou preenchimento incompleto da peça (Bennet, 2024).

Segundo CTBorracha (2025), no processo de injeção podem ser aplicados diferentes tipos de moldes, cuja escolha depende da complexidade geométrica da peça, do tipo de material, da produtividade exigida e da presença de insertos.

No Quadro 2, apresentam-se os principais moldes utilizados:

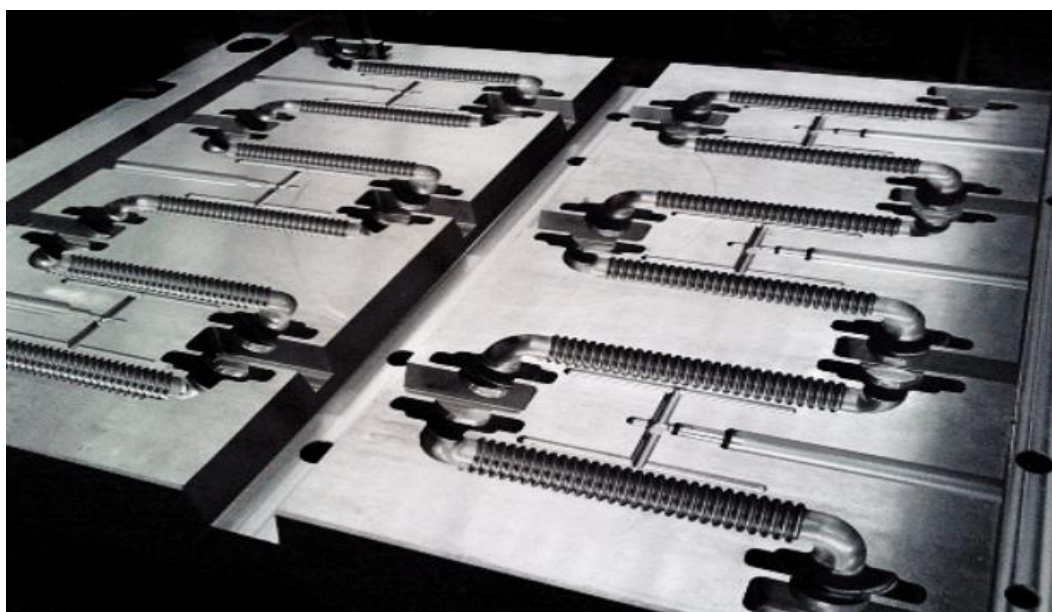
Quadro 2: Principais tipos de moldes.

Moldes de duas placas	Estrutura simples e amplamente utilizada em aplicações padrão, com separação entre cavidade e canal de alimentação.
Moldes de duas placas com bloco de canais frios (BCF)	Incorporam um sistema que mantém o composto em temperaturas mais baixas nas regiões de alimentação, minimizando perdas de material e tempo de ciclo.
Moldes de três placas	Oferecem maior flexibilidade na localização dos pontos de injeção, sendo úteis para peças mais complexas ou com múltiplas cavidades.
Moldes de três placas com bloco de canais frios	Combinam os benefícios de múltiplas placas com eficiência térmica do BCF.
Moldes multiplacas, com ou sem bloco de canais frios	Utilizados em processos de alta complexidade, como em peças com geometrias diferenciadas ou requisitos técnicos específicos.
Moldes para peças com insertos metálicos ou plásticos	Permitem a incorporação de componentes rígidos no interior da peça moldada durante o processo de injeção.
Moldes com sistema de degaseificação a vácuo	Utilizados para eliminar o ar e gases aprisionados no interior da cavidade, garantindo melhor preenchimento e acabamento superficial da peça.

Fonte: CTBORRACHA, (2025).

Abaixo na figura 4, temos um modelo de molde utilizado na moldagem por injeção:

Figura 4: Vista parcial de um molde de injeção.



Fonte: CTBORRACHA, (2025).

O custo de fabricação de moldes pode variar amplamente em função da complexidade do projeto, do tipo de material a ser moldado, da quantidade de cavidades e dos requisitos de produção. A fabricação do molde é feita, em geral, por meio de usinagem CNC, utilizando materiais metálicos como aço temperado ou alumínio, dependendo das exigências de durabilidade, condutividade térmica e volume de produção (Conrad, 2023).

2.3 Material Elastômeros

Os elastômeros termoplásticos vulcanizados, conhecidos como TPVs (termoplastic vulcanizates), destacam-se como materiais altamente promissores na indústria devido à sua versatilidade de aplicação e à capacidade de serem reprocessados. Esses materiais combinam, em uma única matriz, a facilidade de processamento típica dos termoplásticos com a elasticidade e a resistência dos elastômeros, proporcionando desempenho técnico superior aliado à eficiência produtiva. Entre os diferentes tipos de TPVs disponíveis, as misturas poliméricas apresentam um potencial significativo de aplicação, principalmente pela possibilidade de se combinar diversos tipos de polímeros, ajustando propriedades mecânicas e térmicas conforme a necessidade. A técnica mais comum para a obtenção de TPVs a partir de misturas é a vulcanização dinâmica da fase elastomérica processo no qual a fase de borracha é reticulada enquanto é dispersa na matriz termoplástica fundida. Esse método foi descrito pela primeira vez por Gessler e colaboradores, marcando um avanço relevante no desenvolvimento de materiais poliméricos com comportamento termorrígido e elastomérico simultaneamente (Soares; Oliveira; Paranhos, 2009).

O processo de vulcanização nas injeções é amplamente empregado na indústria da borracha como um dos métodos mais eficientes, especialmente em aplicações de alta produtividade. Essa técnica consiste na introdução de um composto de borracha mantido a uma temperatura controlada nas cavidades de um molde metálico que também se encontra aquecido. Durante esse processo, o material é forçado a preencher completamente a geometria do molde, e, sob ação do calor e da pressão, ocorre a vulcanização, ou seja, a reticulação das cadeias poliméricas da borracha, conferindo à peça final propriedades como elasticidade permanente, resistência mecânica e estabilidade térmica (CTBorracha, 2025).

2.3.1 Composto de Borracha

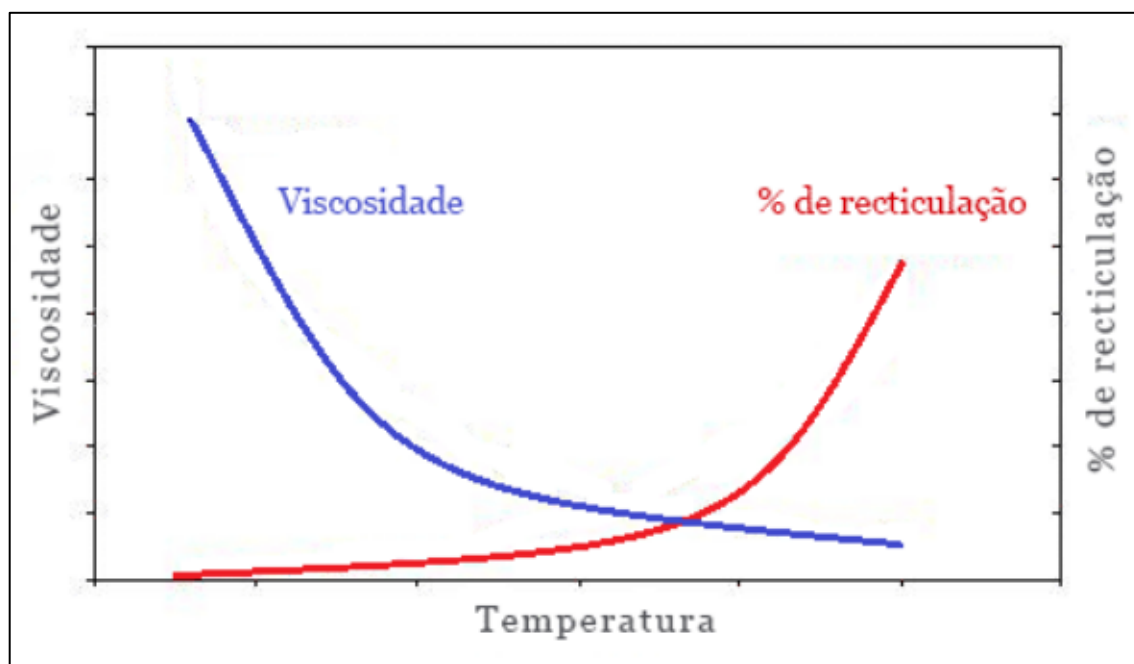
Segundo CTBorracha (2025), a formulação do composto de borracha a ser utilizado no processo de injeção deve atender não apenas às exigências técnicas e funcionais estabelecidas nas especificações do produto final, mas também apresentar características compatíveis com o processo de moldagem. Entre esses requisitos, destaca-se a capacidade do material de fluir adequadamente pelas cavidades do molde e completar sua vulcanização em um intervalo de tempo relativamente curto, assegurando produtividade e qualidade dimensional.

A principal propriedade que influencia a viabilidade do processo de injeção da borracha é a sua viscosidade uma medida da resistência ao escoamento do material.

Outro aspecto importante é a dependência da viscosidade em relação à temperatura. De forma geral, à medida que a temperatura aumenta, a viscosidade do composto de borracha tende a diminuir, facilitando o seu escoamento e preenchimento das cavidades. Esse comportamento é essencial para o controle do processo, especialmente no que se refere à pressão de injeção, tempo de preenchimento e qualidade da peça moldada (CTBorracha, 2025).

Na figura 5, encontra-se um exemplo de variação da viscosidade e da percentagem de reticulação com a temperatura.

Figura 5: Variação da viscosidade e da percentagem de reticulação com a temperatura.



Fonte: CTBORRACHA, (2025).

O exemplo na figura 4, mostra que na curva azul representa a resistência do material ao escoamento, à medida que a temperatura aumenta, a viscosidade diminui. Isso acontece porque o calor torna o material mais fluido, facilitando seu escoamento no molde durante a injeção. Já a curva vermelha é a reticulação, o processo em que as cadeias do polímero se ligam entre si, formando uma estrutura mais rígida e estável. Quando as curvas se cruzam representa a janela do processo ideal, indica que a viscosidade ainda está suficientemente baixa (o material já está fluido) (CTBorracha, 2025).

2.4 Ferramentas da Qualidade

De acordo com Miguel (2006), as Ferramentas da Qualidade constituem importantes instrumentos metodológicos que são amplamente utilizados nas organizações como suporte tanto ao desenvolvimento de programas de melhoria contínua quanto no auxílio à tomada de decisões gerenciais relacionadas à análise e solução de problemas operacionais. Tais ferramentas proporcionam uma abordagem estruturada e orientada por dados, permitindo uma melhor visualização, compreensão e controle dos processos.

Mata-Lima (1999), complementa essa perspectiva ao destacar que o verdadeiro potencial dessas ferramentas está na sua aplicação direcionada à identificação das causas fundamentais dos problemas, o que possibilita não apenas a correção dos efeitos, mas também a eliminação das origens dos desvios de qualidade. Essa característica torna as ferramentas da qualidade essenciais para ações corretivas e preventivas eficazes.

A seguir no Quadro 3, temos algumas ferramentas da qualidade:

Quadro 3: Ferramentas da Qualidade.

Ferramentas	Descrição
1. 5 Porquês	Ferramenta da qualidade utilizada para identificar a causa raiz de um problema, por meio de uma sequência de perguntas do tipo “por quê?”, feitas de forma iterativa. O objetivo é não se contentar com explicações superficiais e chegar à origem real da falha.
2. Diagramas de causa-efeito (espinha de peixe ou diagrama de Ishikawa)	Tem com o objetivo de organizar e visualizar, de forma sistemática, as possíveis causas de um problema específico, facilitando sua análise e solução
3. Histogramas	São gráficos de barras que mostram a frequência de dados distribuídos em intervalos, permitindo uma visão clara da variação de um processo.
4. Folhas de verificação	São formulários práticos utilizados na coleta e análise de dados, facilitando o registro de ocorrências e contribuindo para a identificação rápida de padrões.
5. Gráficos de dispersão	Ajudam a visualizar a relação entre duas variáveis, permitindo verificar possíveis correlações que influenciem um processo.
6. Fluxogramas	Representam graficamente as etapas de um processo, sendo úteis para identificar falhas, gargalos e oportunidades de melhoria.
7. Cartas de controle	Monitoram a estabilidade de um processo ao longo do tempo, detectando variações que possam indicar problemas de desempenho.
8. Brainstorming	O brainstorming é uma técnica de geração de ideias que envolve a participação coletiva de um grupo, no qual os participantes são incentivados a expressar livremente o maior número possível de sugestões sobre determinado problema ou tema, em um curto espaço de tempo.

Fonte: GAMA, (2016).

2.4.1 Brainstorming

De acordo com SEBRAE (2020), o brainstorming também chamado de “tempestade de ideias” na tradução do inglês, é uma técnica voltada à estimulação da criatividade e ao desenvolvimento coletivo de soluções. Essa metodologia foi criada na década de 1940 por Alex Faickney Osborn que buscava métodos mais eficazes para gerar ideias inovadoras no ambiente profissional. A proposta de Osborn era simples, porém poderosa: provocar uma

“enxurrada de ideias” a partir da colaboração espontânea dos participantes, sem críticas ou julgamentos durante o processo criativo.

Durante uma sessão de brainstorming, os indivíduos são incentivados a contribuir com sugestões, hipóteses, questionamentos ou soluções, em resposta a um problema previamente estabelecido. O foco está na quantidade e liberdade das ideias, o que, posteriormente, pode levar a soluções mais eficazes e inovadoras após a fase de refinamento e avaliação. Essa abordagem favorece a exploração de diferentes perspectivas, a quebra de bloqueios mentais e a construção coletiva do conhecimento. A técnica é altamente versátil e pode ser aplicada em diversos contextos, não apenas em ambientes corporativos, mas também em instituições educacionais, projetos colaborativos e até mesmo em atividades cotidianas, desde que exista um objetivo comum e um desafio a ser enfrentado (SEBRAE, 2020).

Apesar de ter evoluído ao longo do tempo e recebido diferentes adaptações conforme o tipo de grupo e objetivo, três princípios básicos estabelecidos por Osborn permanecem como fundamentos essenciais da técnica (SEBRAE, 2020).

2.4.1.1 Como aplicar

A técnica de brainstorming deve ser compreendida como parte de um processo mais amplo de solução de problemas, sendo essencial planejar não apenas sua realização, mas também as etapas anteriores e posteriores a ela. (SEBRAE, 2020).

- a) Na fase de preparação, é fundamental definir claramente o objetivo da sessão e o desafio a ser enfrentado. Também é necessário organizar os participantes, designar um líder e, se necessário, um auxiliar. A equipe deve ser previamente contextualizada e estimulada a pesquisar sobre o tema proposto.
- b) Durante a aplicação, o problema é apresentado e os participantes registram individualmente suas ideias, preferencialmente em post-its, para facilitar a visualização e posterior agrupamento. As ideias são então compartilhadas, agrupadas por similaridade e debatidas, sempre preservando um ambiente livre de julgamentos. O encerramento pode incluir agradecimentos e o anúncio dos próximos passos.
- c) Na etapa pós-brainstorming, todas as sugestões devem ser documentadas e organizadas. A equipe designada deve analisar criticamente as propostas, considerando sua viabilidade, impacto e aplicabilidade. Após a seleção da melhor ideia, desenvolve-se um plano de implementação. Os resultados e a justificativa da escolha devem ser comunicados aos participantes, valorizando a colaboração de todos no processo.

2.4.2 Diagrama de Causa e Efeito

O Diagrama de Causa e Efeito, também conhecido como Diagrama de Ishikawa, foi criado em 1943 por Kaoru Ishikawa, com o objetivo de identificar e organizar as causas de problemas de forma estruturada, facilitando a análise de processos. Essa ferramenta gráfica é amplamente usada para entender as variações nos processos e as interações entre suas causas, tornando-se essencial na gestão da qualidade e na solução de problemas organizacionais. A clareza na apresentação das causas é um dos principais benefícios dessa abordagem, sendo útil em diversos contextos, desde a produção até a análise de problemas administrativos e operacionais (De Lemos, 2019, apud Souza; Pereira, 2023).

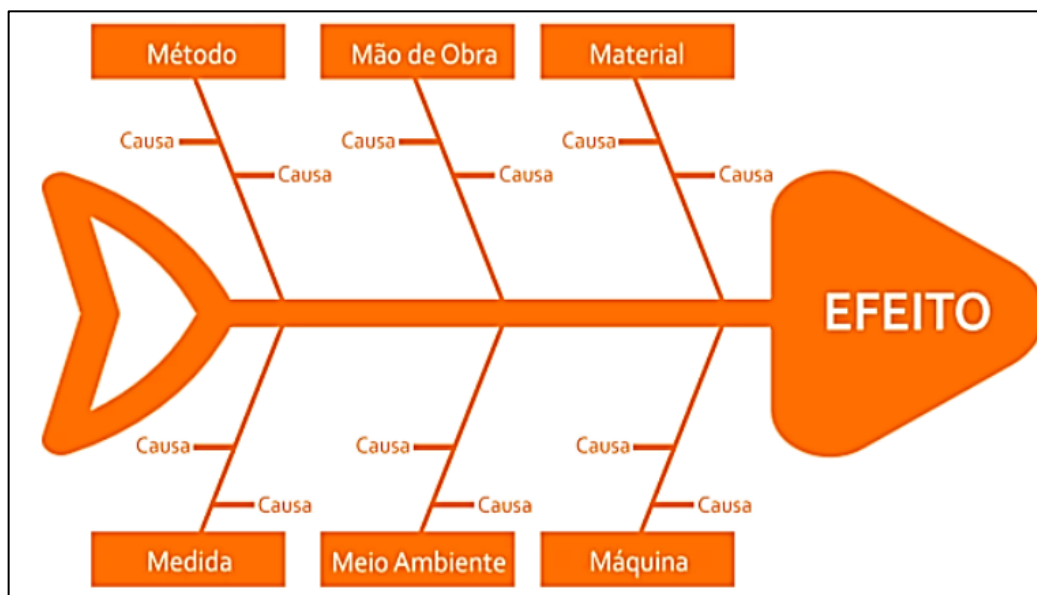
Para alcançar a eficácia no controle de qualidade, é fundamental a participação de todos os membros da organização, desde a alta gestão até os responsáveis pela execução do processo. Segundo Dias (2019), o Diagrama de Ishikawa (DI) tem como objetivo estabelecer uma relação clara entre o efeito (resultado) e todas as causas que influenciam esse resultado. Ao analisar as causas, o DI não se limita a uma única explicação para o problema, mas leva em consideração todas as possibilidades que podem gerar determinado efeito. Isso torna o DI uma ferramenta eficaz para simplificar processos complexos, dividindo-os em componentes mais simples e, assim, mais facilmente controláveis.

2.4.2.1 Elementos do Diagrama de Causa e Efeito

De acordo com Silva (2017, apud Souza, Pereira, 2023), o Diagrama de Ishikawa (DI) é composto por uma série de causas (processo) e efeitos (produto, resultado ou problema), divididos em seis categorias, as quais indicam as áreas onde possíveis problemas podem surgir no processo.

Na figura 6, apresenta-se uma representação gráfica de como o diagrama é estruturado

Figura 6: Diagrama de Causa e Efeito.



Fonte: Silva, (2017, apud Souza, Pereira, 2023).

O Diagrama de Ishikawa, é composto por seis segmentos principais, cada um representando uma possível área de falha dentro de um processo. Estes segmentos incluem:

- a) Método: Os métodos envolvem a forma como o trabalho é estruturado e realizado;
- b) Mão de obra: Relaciona-se às pessoas que participam do processo. Aspectos como competência, motivação, saúde e educação são analisados aqui, identificando problemas ligados ao desempenho humano;
- c) Material: Envolve as matérias-primas ou insumos utilizados durante a produção;
- d) Medida: Refere-se aos parâmetros usados para controlar o processo, como temperatura, tempo, peso, e outras variáveis;
- e) Meio ambiente: Considera as condições do local onde o processo ocorre, como limpeza, iluminação, espaço físico, umidade e clima;
- f) Máquina: Está relacionado ao uso e funcionamento dos equipamentos, abrangendo aspectos como medição, manutenção, depreciação e programação.

Esses seis componentes formam a base do Diagrama de Ishikawa, permitindo uma análise detalhada e eficaz das causas possíveis de um problema. Assim, essa ferramenta permite analisar e identificar as diversas causas de um efeito dentro de uma empresa, detalhando-as para alcançar a solução desejada (Galvão 2016, apud Souza; Pereira, 2023).

2.4.3 Método dos 5 Porquês

O método dos 5 Porquês é uma técnica originada no Sistema Toyota de Produção que visa identificar a verdadeira causa de um problema, indo além dos sintomas aparentes. A abordagem consiste em questionar “por quê?” repetidamente até encontrar a raiz da falha. Destaca que essa metodologia é essencial na Análise de Causa Raiz, pois ajuda a separar causa e efeito por meio de questionamentos sucessivos, permitindo construir hipóteses plausíveis (Ohno, 1997, apud Aguiar, 2014).

O procedimento começa formulando uma pergunta baseada diretamente no problema identificado. A resposta obtida serve como base para o segundo “por quê?”, e o processo continua até que se chegue a uma causa que não necessita de novos questionamentos (Terner, 2008, apud Aguiar, 2014).

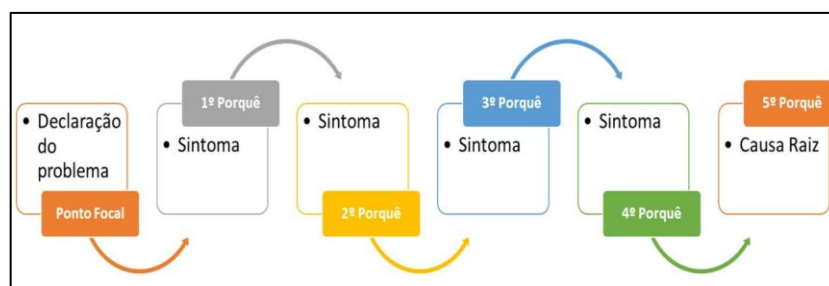
Weiss (2011, apud Aguiar, 2014), organiza o método em cinco etapas principais:

1. Definir o problema a ser analisado;
2. Questionar por que ele ocorre;
3. Repetir o questionamento com base na resposta anterior;
4. Continuar esse processo até que a causa raiz seja revelada;
5. Parar quando não for mais possível obter respostas significativas.

Segundo Weiss (2011, apud Aguiar, 2014), apesar do nome sugerir cinco perguntas, a quantidade pode variar conforme a complexidade do problema podendo ser menos ou mais de cinco, desde que se chegue a uma causa fundamentada.

A figura 7 a seguir apresenta uma representação visual do método dos 5 Porquês:

Figura 7: Representação do método 5 Porquês.



Fonte: ARRUDA CONSULTORIA, (2020).

Embora pareça simples, o método exige disciplina e lógica por parte da equipe para que a relação entre causas e efeitos seja respeitada. Caso contrário, a análise pode se desviar e perder o foco.

3 METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido por meio de um estudo de caso em uma empresa fabricante de vedações automotivas, com foco na análise de uma vedação de porta que apresentava falhas de infiltração. O objetivo foi identificar a causa raiz do defeito e propor uma solução definitiva para sua eliminação. Para atingir esse propósito, foram aplicadas ferramentas da qualidade de forma estruturada e sequencial, permitindo organizar as hipóteses levantadas, aprofundar a investigação e validar as conclusões. Antes da aplicação das ferramentas de análise, foi essencial compreender o funcionamento do processo de moldagem por injeção empregado na fabricação das vedações, especialmente nas etapas envolvendo o posicionamento e extração dos insertos metálicos.

3.1 Processo de Moldagem

Durante o processo de moldagem, realiza-se inicialmente o posicionamento e a fixação manual dos insertos no molde, etapa fundamental para garantir a estabilidade e o correto alinhamento desses componentes durante a injeção do composto de borracha. O posicionamento preciso é essencial, pois qualquer desalinhamento pode comprometer o fechamento da cavidade e gerar defeitos dimensionais ou rebarbas na peça final. Essa operação é executada pelo operador da máquina, com o auxílio de ferramentas manuais como martelos e pinos-guia, que asseguram o travamento firme e a perfeita acomodação do inserto em sua posição designada. Além disso, o operador realiza uma inspeção visual para confirmar o encaixe adequado antes do início do ciclo de injeção, garantindo a integridade do processo e a qualidade do produto moldado.

Na Figura 8, é apresentado o procedimento de posicionamento do inserto no molde, destacando o cuidado necessário para garantir o correto alinhamento e a fixação antes do fechamento da cavidade.

Figura 8: Posicionamento manual do inserto no molde.

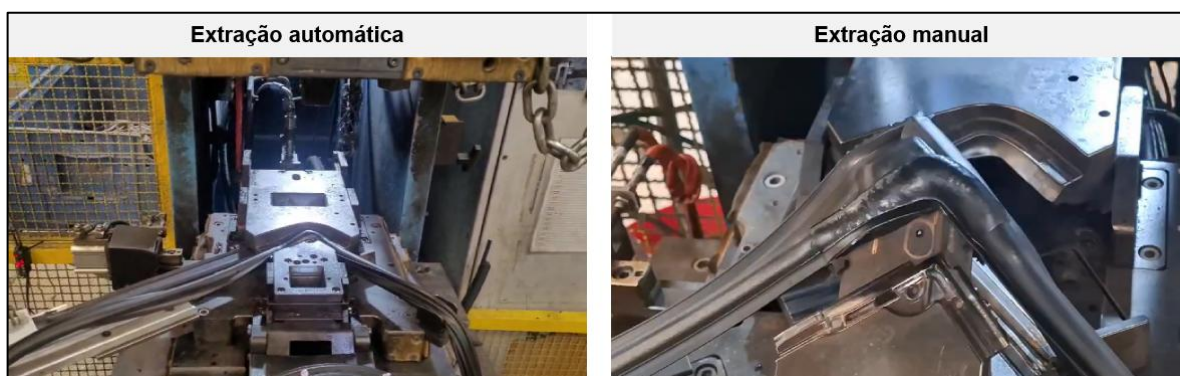


Fonte: O autor (2025).

Após o ciclo de injeção e vulcanização, ocorre a extração da seção moldada da cavidade, etapa iniciada de forma automática pela máquina, com a atuação dos pinos extratores que liberam o inserto da cavidade. Em seguida, a remoção final da peça é feita manualmente pelo operador, garantindo a integridade da vedação moldada.

Na Figura 9, observa-se o processo de extração da peça moldada, evidenciando a liberação inicial pelos pinos extratores e a posterior retirada manual da peça pelo operador.

Figura 9: Extração automática e remoção manual da peça moldada.



Fonte: O autor (2025).

Entretanto, devido ao conceito construtivo do produto e do ferramental, observou-se que durante a extração podem ocorrer rupturas nos pontos de fixação do inserto, localizados internamente na região moldada. Essa ruptura, quando ocorre de forma não controlada, pode gerar micro desalinhamentos ou deformações locais no inserto, contribuindo para a formação de rebarbas ou falhas de vedação. A compreensão detalhada desse processo foi fundamental para direcionar corretamente as análises subsequentes e para o uso das ferramentas da qualidade na investigação da causa raiz do problema.

3.2 Brainstorming

O primeiro passo consistiu na realização de sessões de Brainstorming com os colaboradores diretamente envolvidos no processo produtivo, incluindo operadores de máquina, técnicos de manutenção, supervisores e engenheiros da qualidade.

Essa atividade teve como princípio incentivar a livre exposição de ideias, sem críticas ou julgamentos, a fim de levantar o maior número possível de hipóteses para explicar a origem da falha. As principais possibilidades inicialmente elencadas foram:

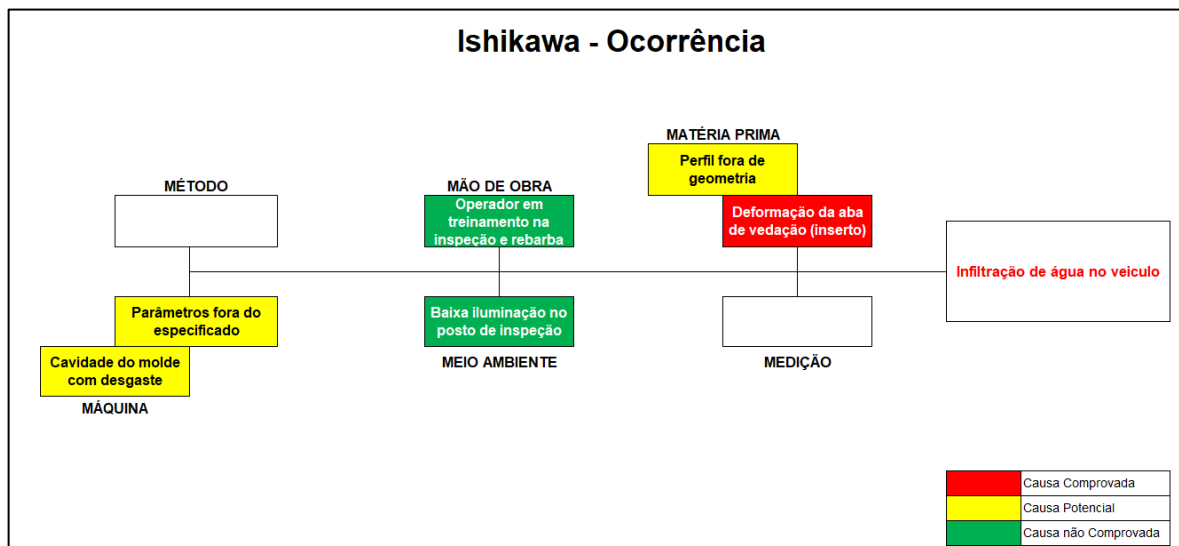
1. Geometria irregular do perfil (Header – parte superior);
2. Cavidade do molde com desgaste;
3. Parâmetros fora do especificado;
4. Deformação da aba de vedação (inserto).

3.3 Diagrama de Ishikawa

Após a realização do brainstorming inicial, observou-se que novas ideias surgiram durante a construção do Diagrama de Ishikawa, também conhecido como diagrama de causa e efeito. Esse método possibilitou levantar causas adicionais que não haviam sido discutidas anteriormente, ampliando a análise. As potenciais causas foram organizadas em categorias principais (método, máquina, matéria prima, mão de obra, meio ambiente e medição), proporcionando uma visão mais abrangente e estruturada dos fatores que poderiam estar relacionados à infiltração.

A figura 10 abaixo mostra o diagrama de Ishikawa elaborado com base nas hipóteses levantadas. Nele, é possível observar tanto as causas identificadas no brainstorming quanto as novas possibilidades surgidas durante a construção do diagrama.

Figura 10: Diagrama de Ishikawa.



Fonte: O autor (2025).

Após a elaboração do Diagrama de Ishikawa (figura 10), foi possível organizar as causas potenciais, comprovadas e não comprovadas da infiltração.

Na construção do diagrama, foram destacadas:

1. Causas potenciais (em amarelo), que ainda precisavam de investigação e validação prática;
2. Causas comprovadas (em vermelho), identificadas como fatores diretamente relacionados ao defeito;
3. Causas não comprovadas (em verde), descartadas após análise e evidências coletadas.

As análises realizadas no estudo foram direcionadas às causas identificadas no Diagrama de Ishikawa, de modo a aprofundar a investigação e validar sua relação com o defeito observado:

1. Geometria irregular do perfil (Header – parte superior);
2. Cavidade do molde com desgaste;
3. Parâmetros fora do especificado;
4. Deformação da aba de vedação (inserto);
5. Operador sem treinamento;
6. Baixa iluminação no posto de inspeção.

3.3.1 Análise detalhada das causas

3.3.1.1 Causas potenciais

As causas potenciais foram avaliadas por meio de inspeções em processo, medições dimensionais e análise dos registros de parâmetros de moldagem. O objetivo foi verificar se havia correlação real entre essas causas e a falha de infiltração.

3.3.1.1.1 Análise da geometria do perfil

Durante a investigação, também foi considerada como causa potencial da falha a possibilidade de o perfil da peça estar fora das tolerâncias de projeto. Isso porque a cavidade do molde possui uma área de compressão responsável por garantir a vedação entre o interior e a parte externa. Caso o perfil apresente medidas superiores ao limite estabelecido, ocorre o chamado esmagamento, que pode resultar em deformações na peça. Por outro lado, se as dimensões estiverem abaixo do especificado, o fechamento da cavidade fica comprometido, abrindo pontos de passagem que permitem o extravasamento do material.

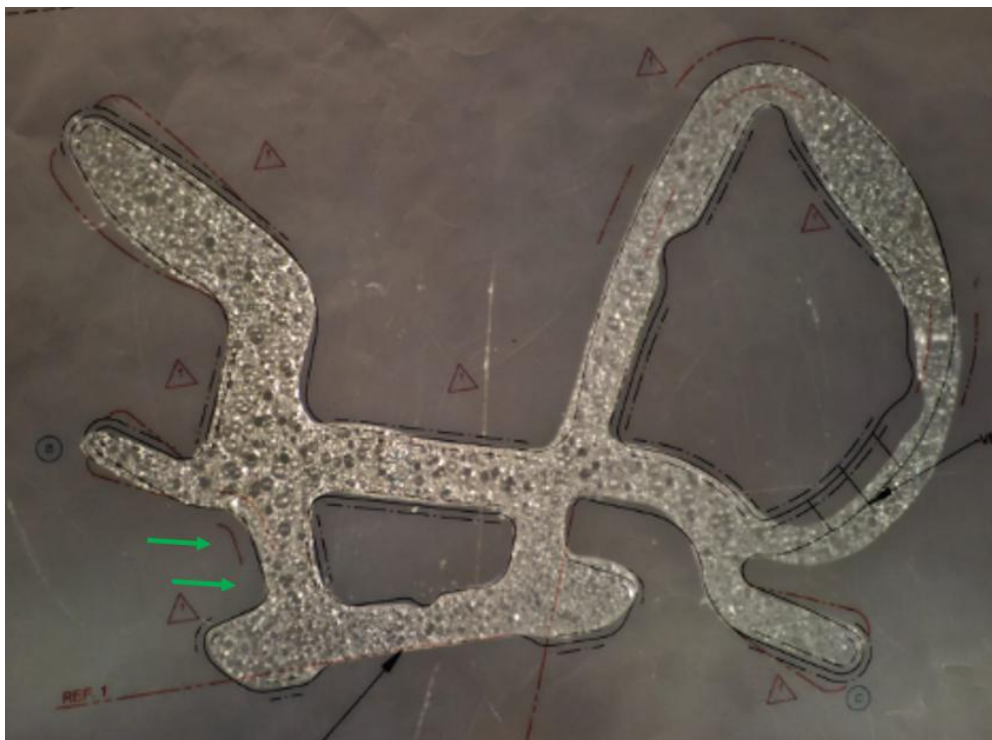
Para verificar essa hipótese, o perfil da peça com falha foi analisado em um projetor de perfil, equipamento que amplia a geometria em 10 vezes e projeta sua forma em uma tela de vidro fosco. A comparação foi feita utilizando-se o mylar (desenho técnico impresso em papel vegetal) que contém todas as tolerâncias definidas pela engenharia de produto.

Modo de análise:

- a) Preparo da amostra, com corte e aplicação de spray metálico para melhorar o contraste da imagem;
- b) Posicionamento adequado da amostra no projetor;
- c) sobreposição do mylar na área de projeção;
- d) alinhamento do desenho às referências do perfil projetado;
- e) comparação da geometria obtida com os limites de tolerância especificados.

Na Figura 11 abaixo, observa-se a projeção do perfil da peça no projetor óptico, utilizada para comparação com o mylar e verificação das tolerâncias geométricas.

Figura 11: Projeção do perfil da peça em análise.



Fonte: O autor (2025).

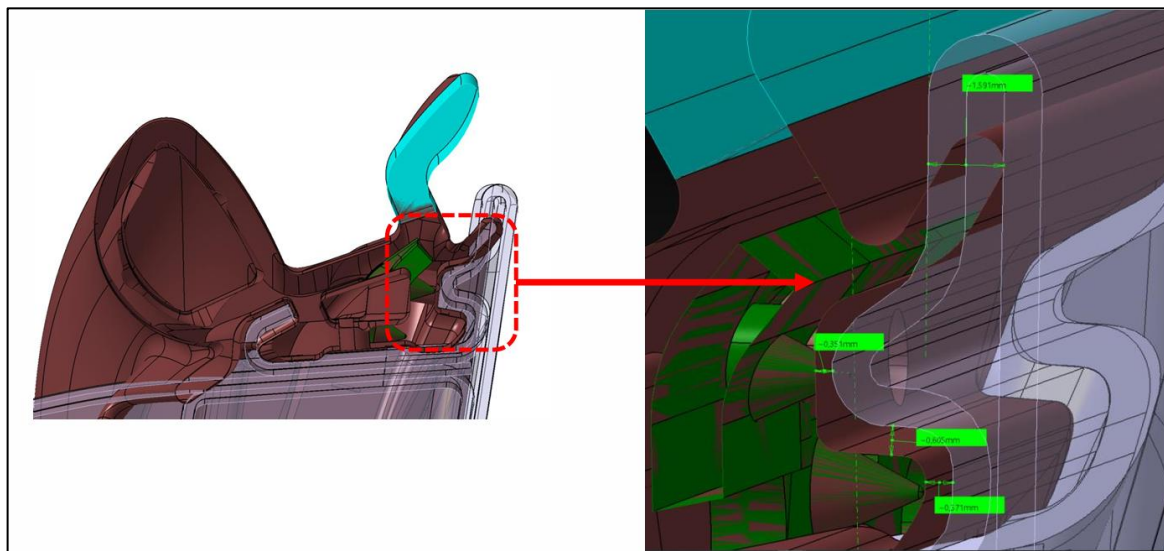
Após a análise detalhada, verificou-se que o perfil atendia integralmente às tolerâncias de projeto. Dessa forma, foi possível descartar a hipótese de que a geometria da peça tivesse contribuído para a falha observada.

3.3.1.1.2 Caverna do molde com desgaste

Outra hipótese considerada durante a análise foi o desgaste da caverna do molde, condição que pode comprometer diretamente a vedação e a geometria final da peça moldada. O desgaste ocorre principalmente devido ao atrito entre as superfícies metálicas durante o ciclo de fechamento e abertura do molde, intensificado pela pressão e temperatura do processo. Para avaliar essa possibilidade, realizou-se uma inspeção dimensional e visual das áreas críticas da caverna, especialmente nas regiões de vedação e de fechamento entre macho e matriz. O objetivo foi identificar sinais de polimento excessivo, riscos, rebarbas ou folgas que pudessem indicar perda de material.

Na Figura 12 abaixo, é possível visualizar a cavidade do molde durante a inspeção visual, destacando as regiões avaliadas quanto a desgaste e folgas de fechamento.

Figura 12: Cavidade do molde.



Fonte: O autor (2025).

Após a análise, não foram identificados desgastes significativos ou perdas de material acima do limite permitido em projeto. Dessa forma, a cavidade do molde foi considerada apta, não sendo caracterizada como causa direta da falha observada na peça.

3.3.1.1.3 Parâmetros fora do especificado

Os parâmetros de processo (como temperatura, pressão de injeção, tempo de moldagem e velocidade de fechamento) exercem influência direta na qualidade final da peça moldada. Valores fora do especificado podem provocar rebarbas, falta de enchimento, tensões internas e falhas de vedação. Para essa verificação, foram analisados os registros históricos do processo de injeção e comparados com os valores definidos na ficha técnica do produto. As coletas foram obtidas diretamente do painel da máquina e dos relatórios de controle de processo.

Na Figura 13 abaixo, são apresentados os registros dos parâmetros de processo obtidos na máquina de injeção, comparados aos limites definidos pela engenharia de processo.

Figura 13: Parâmetros de processo.

Molde (MOL 1109) COLUNA B DIR. Perfis 310012746 (Header) + 310012748 (Clipado)	3.42	Tempo de aquecimento (Vulcanização)	Visual no painel da máquina (IHM)	-	1 check Registro: A cada 2 h	60 a 75 seg	68
	3.43	Dosagem	Visual no painel da máquina (IHM)	-	1 check Registro: A cada 2 h	13,5 a 18 ccm	15,3
	3.44	Temperatura Plato Superior Externo	Visual no painel da máquina (IHM)	-	1 check Registro: A cada 2 h	230 a 250 °C	235
	3.45	Temperatura Plato Superior Interno	Visual no painel da máquina (IHM)	-	1 check Registro: A cada 2 h	230 a 250 °C	235
	3.46	Temperatura Plato Inferior Externo	Visual no painel da máquina (IHM)	-	1 check Registro: A cada 2 h	230 a 250 °C	240
	3.47	Temperatura Plato Inferior Interno	Visual no painel da máquina (IHM)	-	1 check Registro: A cada 2 h	230 a 250 °C	240
	3.48	Temperatura da rosca (IHM)	Visual no painel da máquina (IHM)	-	1 check Registro: A cada 2 h	50 a 70 °C	60

Fonte: O autor (2025).

A análise demonstrou que determinados ciclos não apresentaram pressões de injeção acima do limite especificado que pode ter contribuído para o extravasamento de material na região de vedação. Dessa forma, essa hipótese foi desconsiderada.

3.3.1.2 Causa comprovada

3.3.1.2.1 Deformação da aba de vedação

Durante a análise visual e dimensional das peças moldadas, verificou-se que a deformação observada na aba de vedação tinha origem no próprio conceito desenvolvido para a peça e o ferramental. No momento da extração da peça do molde, pode ocorrer a ruptura parcial dos pontos de fixação do inserto, os quais estão localizados internamente na região moldada e não possuem controle direto durante o ciclo de injeção.

Essa ruptura gera uma deformação localizada na área da extensão do inserto, ocasionando a formação de uma rebarba interna que provoca um desalinhamento no fechamento da vedação com a estrutura da porta, impedindo o contato completo entre as superfícies. Como consequência, a peça não veda adequadamente, permitindo a infiltração de água durante os testes de estanqueidade.

Essa condição se mostrou recorrente nas inspeções visuais e funcionais, confirmando que a falha estava diretamente associada ao comportamento do inserto no momento da extração, e não aos parâmetros de moldagem ou ao ajuste do equipamento.

Na Figura 14, é possível observar a peça moldada com a deformação causada pela projeção do inserto, destacando o local de ocorrência da rebarba.

Figura 14: Peça com deformação na extensão do inserto após moldagem.



Fonte: O autor (2025)

Com base nessas constatações, concluiu-se que a deformação da aba de vedação, constituía a causa raiz da infiltração. A partir desse diagnóstico, foram iniciados os estudos buscando eliminar a origem do defeito de forma definitiva.

3.3.1.3 Causas não comprovadas

As causas classificadas como não comprovadas foram analisadas, porém não apresentaram relação direta com o defeito estudado.

3.3.1.3.1 Operador sem treinamento

Entrevistas com os operadores e análise de registro de treinamento dos operadores da célula demonstraram que todos possuíam treinamento específico e experiência no processo de moldagem. Além disso, o defeito ocorria em diferentes turnos e operadores, descartando a possibilidade de origem humana. Portanto, essa causa foi não comprovada.

Na Figura 15, é apresentado o registro dos treinamentos realizados pelos operadores da célula de moldagem.

Figura 15: Registro de treinamento dos operadores da célula.

Matriz de Polivalência do Operador													
Aprovação (Supervisor)													
Responsável (líder de equipe)													
Local (Equipamento, Linha, Cél.)	244												
Estações de trabalho	Referência do documento detalhado do trabalho	Operadores treinados necessários para esta estação de trabalho (mínimo)	Operadores treinados para esta estação de trabalho (atual)	Operadores com experiência ou treinamento específico ou (confirmado)	Graciele	Silmara	Guilherme	Mylena	Rayane	Brenda	Suelen	Douglas	Adriano
Clipadeira CLJ	WI-40-260 / WI-MI-0147	2	2										
Cortadeira	WI-40-261 / WI-MI-151	2	5										
Cortadeira / Molde Extensão	WI-40-263 / WI-50-184	2	4										
Moldagem Dianteira	WI-50-186 / WI-50-188	2	3										
Moldagem Traseira	WI-50-185 / WI-50-187	2	4										
Rebarba Dianteira	WI-60-272 / WI-60-274	2	6										
Rebarba Traseira	WI-60-271 / WI-60-273	2	6										
Pintura	WI-60-270	2	0										
Gabarito Dianteira	WI-MI-0149 / WI-MI-153/WI-MI-0147 / WI-MI-151	2	9										

Nível de qualificação dos operadores

- 0 Operador sem treinamento
- 1 Operador em treinamento
- 2 Operador conhece e sabe os processos, passou pela 4QA
- 3 Operador habilidoso, atende aos requisitos pacíficos
- 4 Operador experiente, pode ensinar outros operadores (treinador BTO)

Fonte: O autor (2025).

A análise dos registros apresentados comprova que todos os operadores envolvidos no processo de moldagem receberam treinamento técnico específico, abrangendo operação de máquina, ajustes de processo, inspeção visual e procedimentos de qualidade. Além disso, os colaboradores participam periodicamente de reciclagens internas, assegurando o cumprimento das instruções de trabalho e das normas de segurança.

Dessa forma, confirmou-se que a causa do defeito não está relacionada à falta de capacitação da equipe, eliminando essa hipótese como possível origem da infiltração.

3.3.1.3.2 Baixa iluminação no posto de inspeção

Foi realizada a medição do nível de iluminação do posto de inspeção utilizando um luxímetro, instrumento destinado à verificação da intensidade luminosa em lúmens por metro quadrado (lux). Os resultados obtidos demonstraram conformidade com os padrões internos da empresa. Além disso, observou-se que a rebarba era facilmente perceptível ao toque e visualmente evidente, o que reforça que a iluminação do posto não influenciava na identificação da falha.

Na Figura 16, é apresentada a norma técnica que define a intensidade luminosa mínima exigida (em lúmens), juntamente com a avaliação realizada no posto de inspeção, demonstrando o procedimento de medição com o equipamento e o posicionamento do sensor durante a coleta dos dados.

Figura 16: Avaliação da iluminação no posto de inspeção.



Fonte: Adaptado de ABNT (2013) e foto do autor (2025).

A partir dos resultados obtidos com a medição de iluminância, conclui-se que o posto de inspeção apresenta níveis de luminosidade adequados para a identificação visual de defeitos nas peças moldadas. O valor registrado pelo luxímetro manteve-se dentro da faixa recomendada pela norma interna, garantindo condições visuais satisfatórias para o trabalho de inspeção.

Dessa forma, ficou comprovado que a iluminação não teve influência direta na ocorrência ou detecção da falha, sendo, portanto, descartada como causa potencial da infiltração.

3.4 Método dos 5 Porquês

Após a confirmação da causa raiz nas análises anteriores, foi aplicado o Método dos 5 Porquês com o objetivo de aprofundar a investigação e compreender de forma detalhada porque a infiltração ocorria na guarnição de porta. Esse método consiste em questionar sucessivamente a causa do problema até chegar à origem fundamental da falha, evitando tratar apenas os efeitos superficiais.

A aplicação foi conduzida em conjunto pelas áreas de Engenharia de Produto, Engenharia de Processos, Qualidade e Ferramentaria, com base nas evidências obtidas nas inspeções visuais, medições dimensionais e análises de molde.

No quadro 4, é apresentado o raciocínio utilizado durante a aplicação do método.

Quadro 4: Aplicação do 5 por quês da causa raiz.

Etapas	Pergunta	Resposta
1º Por quê?	Por que ocorreu infiltração na guarnição de porta?	Porque a aba de vedação apresentava deformação com rebarba na extensão, impedindo o contato completo com a estrutura da porta.
2º Por quê?	Por que ocorreu a deformação e a rebarba na aba de vedação?	Porque houve ruptura parcial dos pontos de fixação do inserto durante a extração da peça.
3º Por quê?	Por que houve ruptura dos pontos de fixação do inserto durante a extração?	Porque o conceito do ferramental não previa controle adequado dessa ruptura na região moldada.
4º Por quê?	Por que o conceito do ferramental foi desenvolvido sem controle da ruptura?	Porque na fase de projeto não foi avaliado o comportamento dinâmico do inserto durante o ciclo de extração.
5º Por quê?	-	-

Fonte: O autor (2025).

Com o diagnóstico definido, foi possível elaborar uma proposta de correção definitiva, apresentada no próximo capítulo, visando modificar o inserto e eliminar de forma permanente o defeito identificado.

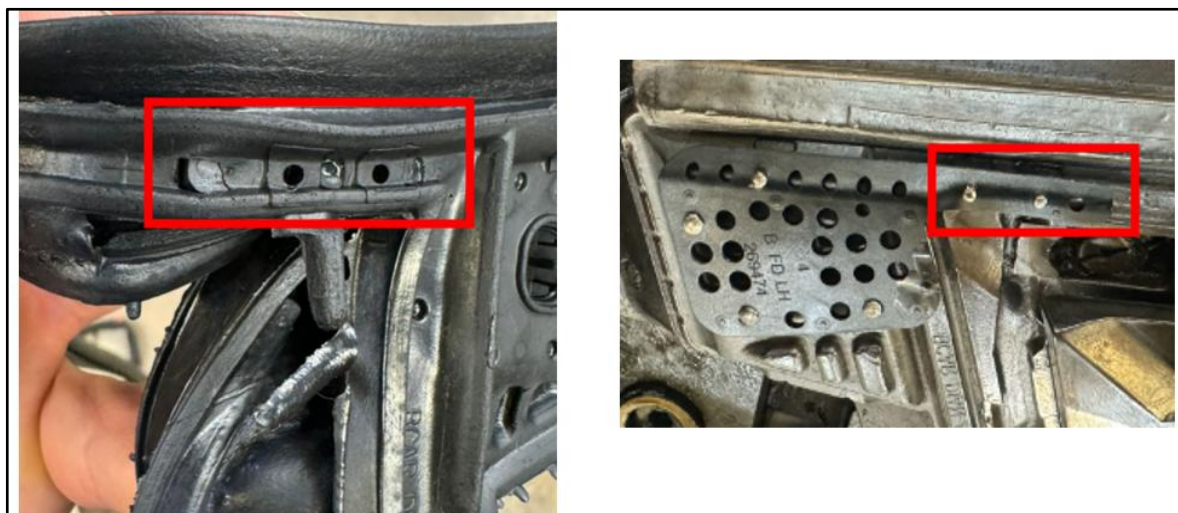
4 DESENVOLVIMENTO DA PROPOSTA DE MELHORIA (CORREÇÃO DA CAUSA-RAIZ)

Levando em consideração as evidências levantadas (Brainstorming, Diagrama de Ishikawa, 5 por quês e as investigações subsequentes), foi iniciado o desenvolvimento de propostas técnicas para conter de forma definitiva a falha de infiltração identificada na guarnição. O trabalho foi realizado de forma conjunta entre Engenharia de Produto, Engenharia de Processos, Ferramentaria e Engenharia da Qualidade.

A partir do diagrama de Ishikawa (figura 10) e da coleta de evidências em produção, as causas classificadas como comprovadas e potenciais foram analisadas com prioridade. Dentre as causas comprovadas, destacou-se a deformação aparente do inserto próximo à aba de vedação, que gerou rebarba e comprometeu a estanqueidade da peça. Em relatórios e testes de suporte foram discutidas alternativas, entre elas a remoção da extensão do inserto, que se mostrou promissora pelos testes iniciais.

Na Figura 17, observa-se o inserto localizado na área onde ocorre a formação da rebarba que causa a infiltração na vedação.

Figura 17: Peça com extensão do inserto.



Fonte: O autor (2025).

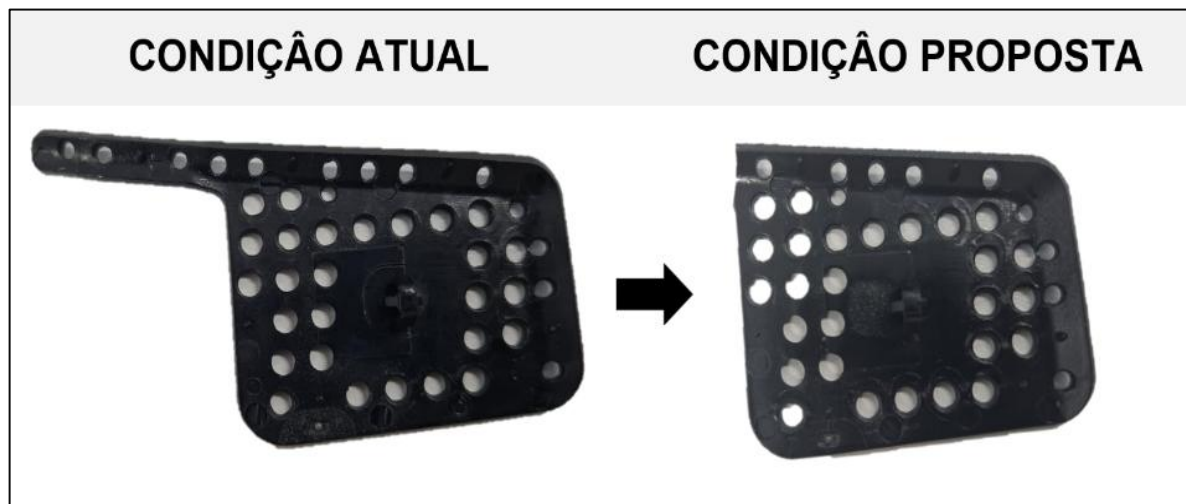
4.1 Proposta principal — remoção da extensão do inserto

4.1.1 Descrição da modificação

1. Remover a extensão do inserto, mantendo as demais funcionalidades dele sendo fixação, suporte ao perfil, resistência mecânica.
2. Ajustar o desenho do inserto e a especificação do ferramental (desenho como-contrapartida, tolerâncias, acabamento superficial) para assegurar o correto fechamento do molde e evitando ondulações durante a acomodação da peça.
3. Atualizar desenho do molde e instruções de montagem do inserto, incluindo nota técnica explicando a alteração (ex.: “inserto sem extensão para eliminar falha de deformação com rebarba na aba de vedação”).
4. Inserir o novo item de controle de medição da área alterada, controle visual de rebarba).

Na figura 18, mostra-se a proposta do novo modelo que elimina a extensão que causava deformação, mantendo as funções originais de fixação e resistência.

Figura 18: Proposta de modificação no inserto.



Fonte: O autor (2025).

4.1.2 Análise Econômica e Impacto Financeiro da Melhoria

Além dos ganhos técnicos e de qualidade obtidos com a modificação do inserto, a proposta gerou impactos econômicos expressivos, tanto pela eliminação de custos decorrentes de falhas quanto pela redução de desperdícios no processo produtivo.

O evento gerou parada de linha de produção por 6 minutos, e considerando o valor estipulado pelo cliente de R\$ 20.000,00 por minuto de linha parada, o prejuízo imediato atingiu R\$ 120.000,00.

Durante a inspeção, foram encontradas 16 peças com o mesmo defeito, o que levou ao bloqueio completo do lote de 3.500 peças em estoque para revisão. Essa ação exigiu mobilização de equipes internas e terceirizadas, retrabalho em campo e substituição das peças já instaladas. Além disso, foi aberta uma reclamação oficial, gerando multa direta de R\$ 2.850,00 à empresa fornecedora.

Somam-se ainda os custos de inspeção e retrabalho estimados em R\$ 4,50 por peça revisada, o que representou aproximadamente R\$ 15.750,00 apenas para triagem e controle do lote bloqueado.

Com a inclusão da multa, da paralisação de linha e da mobilização de recursos, o impacto total ultrapassou R\$ 140.000,00, sem considerar as perdas de produtividade, o retrabalho interno, o desperdício de material (scrap), os custos de reciclagem e o desgaste da imagem perante o cliente.

Esse cenário evidenciou a necessidade urgente de uma ação corretiva definitiva, visto que, além dos prejuízos diretos, havia o risco de reincidência do problema e de novas penalidades contratuais.

4.1.3 Justificativa técnica e Validação experimental

Nos testes iniciais realizados para validação da proposta de melhoria, foi efetuada a remoção manual da extensão do inserto, região onde ocorre a deformação e consequente formação de rebarba na aba de vedação. Essa modificação experimental foi executada diretamente sobre um inserto original, eliminando apenas a extensão.

Com o inserto modificado, foram moldadas amostras piloto que, posteriormente, foram instaladas em um veículo da frota da própria empresa, com o objetivo de verificar o comportamento da vedação em condições reais de montagem e operação. Durante a avaliação, observou-se melhoria significativa na fixação e no acabamento da guarnição, com eliminação

completa da rebarba na região da aba de vedação e superfície visivelmente mais uniforme e limpa. Além disso, o encaixe da vedação na estrutura da porta apresentou melhor conformidade e estabilidade dimensional, indicando que a modificação do inserto proporcionou um ajuste mais preciso entre as partes moldadas e o veículo.

Por fim, foi realizado um teste prático de estanqueidade, aplicando água sob pressão diretamente sobre a área de vedação para simular a condição real de uso. Não foram observados pontos de infiltração, comprovando a eficácia da alteração proposta e confirmando que a remoção da extensão do inserto eliminou a causa direta do defeito.

A Figura 19 apresenta o resultado visual das amostras moldadas e montadas no veículo com o inserto modificado, evidenciando a eliminação da rebarba, a melhoria estética e o ganho funcional obtido com a aplicação da proposta.

Figura 19: Peça modificada sem extensão do inserto.



Fonte: O autor (2025).

Na sequência dos testes realizados, foi efetuada a validação funcional do novo inserto diretamente no veículo, por meio de ensaio de estanqueidade em condição real de montagem. O objetivo foi confirmar a eficiência da solução proposta quanto à vedação e ao desempenho funcional da guarnição no conjunto final.

A Figura 20 ilustra a peça já instalada no veículo durante o teste de estanqueidade, destacando o comportamento da vedação sob exposição direta à água.

Figura 20: Peça com inserto modificado no veículo em teste de estanqueidade.



Fonte: O autor (2025).

Os resultados obtidos demonstraram que a remoção da extensão do inserto eliminou de forma definitiva a formação de rebarba na aba de vedação, restabelecendo a estanqueidade do conjunto e a aparência visual do componente. A inspeção visual e os testes práticos comprovaram a eficácia da modificação, evidenciando que a solução não comprometeu o encaixe nem a funcionalidade da guarnição, apresentando-se como uma alternativa simples, de baixo custo e altamente eficiente. Além disso, a solução mostrou-se reproduzível e aplicável a outros moldes e projetos que utilizam o mesmo tipo de inserto, representando uma oportunidade de padronização e redução de retrabalho em diferentes linhas de produção.

4.1.4 Economia e benefícios com a implementação da proposta

Com a eliminação definitiva da falha, o processo de moldagem passou a operar de forma mais estável e previsível, reduzindo significativamente custos diretos e indiretos.

Os principais ganhos econômicos observados e esperados estão relacionados a:

1. Redução do volume de material injetado na região crítica, diminuindo o consumo de composto e a energia térmica de vulcanização;
2. Diminuição da variação de injeção do composto, garantindo maior estabilidade dimensional e produtividade;
3. Eliminação total das peças NOK por defeito de inserto, reduzindo custos com scrap, retrabalho e reciclagem;
4. Simplificação da usinagem do inserto, com menor tempo de fabricação e desgaste de ferramentas;
5. Prevenção de novas reclamações oficiais, evitando multas, bloqueios de lote, custos logísticos e risco de parada de linha;
6. Melhoria da imagem da empresa junto à montadora, reforçando a confiança no fornecimento.

Com base nas médias históricas e nos custos diretos levantados, estima-se que a proposta gera uma economia anual superior a R\$ 25.000,00, apenas considerando a redução de retrabalhos, scrap e inspeções extraordinárias. Quando considerados os impactos evitados (multas e paralisações), o potencial total de economia pode ultrapassar R\$ 150.000,00 por evento prevenido.

No quadro 5, é apresentado o comparativo de custos antes e depois da melhoria.

Quadro 5: Comparativo de custos antes e depois da melhoria.

Descrição	Situação Anterior (Com Defeito)	Situação Após Melhoria	Impacto Financeiro Estimado
Multa por reclamação oficial	R\$ 2.850,00	R\$ 0,00	Economia total
Parada de linha (6 min × R\$ 20.000,00)	R\$ 120.000,00	R\$ 0,00	Economia total
Retrabalho e inspeção do lote (3.500 × R\$ 4,50)	R\$ 15.750,00	R\$ 0,00	Economia total
Mão de obra terceirizada e logística	~R\$ 1.800,00	R\$ 0,00	Economia total
Perdas por scrap e refugos gerados	~R\$ 2.000,00/mês	R\$ 0,00	Economia mensal contínua
Risco de nova reclamação e bloqueio de lote	Alto	Eliminado	Redução de risco operacional
Custos de energia e material por ciclo	Normal	-3%	Economia marginal de processo
Total estimado de perdas evitadas	≈ R\$ 142.400,00	≈ R\$ 0,00	Economia anual > R\$ 150.000,00

Fonte: O autor (2025).

A proposta de modificação do inserto mostrou-se tecnicamente viável e financeiramente vantajosa, dessa forma, a solução aplicada não apenas eliminou a causa raiz técnica do defeito, mas também gerou economia real, mensurável e sustentável, consolidando-se como uma melhoria definitiva com retorno financeiro comprovado e impacto positivo para toda a cadeia produtiva.

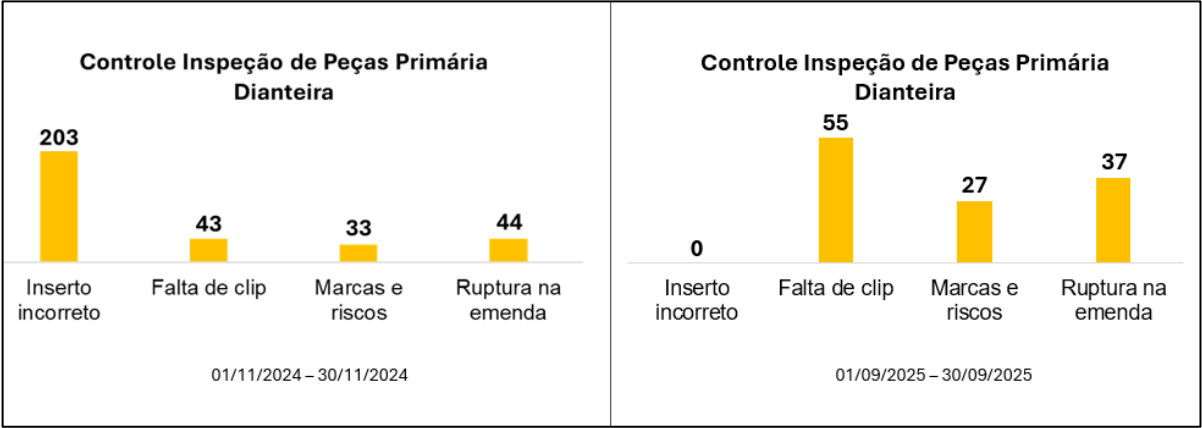
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos comprovam a efetividade da proposta de melhoria após a modificação do inserto. Antes da alteração, no período de 01/11/2024 a 30/11/2024, o controle de inspeção registrou 203 peças rejeitadas com o defeito “Inserto incorreto”, diretamente associado à deformação da aba de vedação provocada pela extensão do inserto original.

Após a implementação da modificação, no período de 01/09/2025 a 30/09/2025, não foram mais registradas ocorrências desse tipo de defeito, evidenciando a eliminação completa das falhas relacionadas ao inserto. Os demais tipos de não conformidades (como falta de clip, marcas e riscos e ruptura na emenda) mantiveram comportamento estável, confirmando que a intervenção solucionou de forma definitiva a causa raiz do problema sem gerar impactos negativos em outros aspectos do processo.

A Figura 21 apresenta o comparativo entre os registros de inspeção antes e depois da melhoria, demonstrando de forma clara a redução total dos casos de “inserto incorreto” e a estabilização do processo de moldagem e inspeção.

Figura 21: Comparativo de defeitos relacionados ao inserto antes e depois da modificação.



Fonte: O autor (2025).

Além da melhoria técnica, a alteração trouxe benefícios diretos para a produção e para o controle de custos. Antes da correção, as peças que apresentavam defeito de inserto, na maioria das vezes, eram destinadas ao scrap (refugo), gerando custos adicionais com descarte e reciclagem, além de desperdício de material e energia.

Nos casos em que o retrabalho era possível, havia gasto de mão de obra, tempo produtivo e insumos para recuperação das peças, impactando negativamente a eficiência da linha e o cumprimento dos prazos de entrega. Com a eliminação definitiva da falha, esses

desperdícios foram eliminados. A empresa passou a reduzir significativamente o volume de scrap e retrabalho, aumentando o rendimento produtivo, reduzindo custos de processamento e de reciclagem e liberando recursos humanos para outras atividades de maior valor agregado.

Outro ponto relevante é a redução do risco de envio de peças defeituosas ao cliente (montadora). Com a solução implementada, minimizam-se as chances de abertura de reclamações oficiais, paradas de linha e penalidades contratuais, fortalecendo a imagem da empresa como fornecedora confiável e tecnicamente competente. De forma qualitativa, observou-se também melhoria perceptível no aspecto visual das peças, com superfícies mais uniformes, sem rebarbas e com melhor encaixe na estrutura da porta.

Esses resultados demonstram que a remoção da extensão do inserto representa uma solução técnica simples, de baixo custo e altamente eficaz, trazendo ganhos em qualidade, produtividade, economia de recursos e confiabilidade do produto final.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo analisar e solucionar a falha de infiltração de água identificada em uma vedação de porta automotiva. A investigação foi conduzida com base em metodologias estruturadas de análise da qualidade, utilizando as ferramentas Brainstorming, Diagrama de Ishikawa e Método dos 5 Porquês, que permitiram identificar a verdadeira causa raiz do problema.

As análises realizadas demonstraram que a falha estava diretamente relacionada à deformação gerada na extensão do inserto na região da aba de vedação, responsável pela formação de rebarba e consequente perda de estanqueidade. As demais hipóteses levantadas como desgaste de cavidade, variação de parâmetros de injeção, iluminação inadequada e falha operacional foram descartadas por meio de medições, inspeções e avaliações em campo.

Com a aplicação da proposta de correção, baseada na remoção da extensão do inserto, verificou-se a eliminação completa da rebarba, resultando na restauração da estanqueidade da guarnição. Os testes realizados, tanto em bancada quanto em veículo, comprovaram a eficácia da solução, que se mostrou tecnicamente simples, economicamente viável e facilmente aplicável em outros projetos com o mesmo ferramental. Além da eliminação do defeito, a implementação da melhoria trouxe benefícios adicionais, como a redução do índice de refugo e retrabalho, o aumento da confiabilidade do processo e o fortalecimento da relação com o cliente, que pôde retomar a produção normal sem reincidências do problema.

Conclui-se, portanto, que o estudo atingiu plenamente seus objetivos, apresentando uma solução prática e validada para o problema de infiltração. O método aplicado reforça a importância da utilização de ferramentas da qualidade na indústria automotiva, evidenciando sua eficiência na detecção e eliminação de causas raiz.

REFERÊNCIAS

3D SYSTEMS. Fundamentos da moldagem por injeção. 3D Systems, 2023. Disponível em: <https://br.3dsystems.com/quickparts/learning-center/injection-molding-basics>. Acesso em: 26 maio 2025.

AGUIAR, Milena Cabral. **Análise de causa raiz: levantamento dos métodos e exemplificação**. 2014. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/23437/23437.PDF>. Acesso em: 14 maio 2025.

ARRUDA CONSULTORIA. Técnica 5 porquês – baixe o material. Disponível em: http://www.arrudaconsult.com.br/2020/04/tecnica-5-porques-baixe_5.html. Acesso em: 15 maio 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho – Parte 1: Interior. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. Disponível em: https://cearatransparente.ce.gov.br/attachments/6655554e059b404fbb282b4ebbe9e5403fdf012b/store/6642a0e65d7966201d69538b2b89c015bbdc3d1da07609cba71a400ff924/nbriso_cie8995-1.pdf. Acesso em: 13 outubro 2025.

BENNET, Lucas. Quais são os componentes de um molde de injeção? Todos os detalhes. RapidDirect, 9 out. 2024. Disponível em: <https://www.rapiddirect.com/pt/blog/components-of-an-injection-mold/>. Acesso em: 18 agosto. 2025.

CONRAD, Robin. O que é moldagem por injeção? Kuraray, 2023. Disponível em: <https://www.elastomer.kuraray.com/pt/blog/injection-molding/>. Acesso em: 10 abril. 2024.

CT BORRACHA. Moldagem por injeção de borracha. Ciência e Tecnologia da Borracha, 2023. Disponível em: <https://www.ctborracha.com/processos/vulcanizacao/prensa-de-injeccao/>. Acesso em: 08 abril. 2025.

DIAS, Bruno Lemos. A aplicação das ferramentas de gestão da qualidade como fator de incremento da eficiência na execução de obras de engenharia. 2019. 114 f. Dissertação (Curso de Aperfeiçoamento) – Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais, Departamento de Educação e Cultura do Exército, Brasília, DF, 2019. Disponível em: <https://bdex.eb.mil.br/jspui/handle/123456789/4330>. Acesso em: 13 maio 2025.

FREITAS, Mayara Lopes de et al. Ferramenta da qualidade: análise dos 5 porquês como método de investigação de problemas. Revista Gestão Industrial, v. 17, n. 4, p. 129–146, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/download/37228/24862>. Acesso em: 14 maio 2025.

LWB STEINL GMBH & CO. KG. Site institucional. Disponível em: <https://www.lwb-steinl.com/>. Acesso em: 09 abr. 2025.

MATA-LIMA, H. **Aplicação de Ferramentas da Gestão da Qualidade e Ambiente na Resolução de Problemas. Apontamentos da Disciplina de Sustentabilidade e Impactes Ambientais. Portugal**: Universidade da Madeira, 2007. Acesso em: 15 maio 2025.

MIGUEL, P. A. C. **Qualidade: enfoques e ferramentas**. São Paulo: Artliber, 2006. Acesso em: 14 maio 2025.

RAPID DIRECT. O que é moldagem por injeção? Rapid Direct, 2023. Disponível em: <https://www.rapiddirect.com/pt/blog/what-is-injection-molding/>. Acesso em: 26 maio 2025.

SANTA BIBLIOTECONOMIA. Ferramentas da qualidade. Santa Biblioteconomia, 2023. Disponível em: <https://www.santabiblioteconomia.com.br/dicas/dicas-de-estudo/ferramentas-da-qualidade/>. Acesso em: 12 maio 2025.

SEBRAE. Geração de ideias com brainstorming. Brasília: Sebrae, 2020. Disponível em: https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Arquivos/ebook_serai_geracao-de-ideias-com-brainstorming.pdf. Acesso em: 12 maio 2025.

SOARES, B. G.; OLIVEIRA, M. G.; PARANHOS, C. M. Materiais poliméricos para engenharia: tendências e desafios. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, São Carlos, v. 19, n. 1, p. 1–6, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/Q3wb6xyyJtVckhq3M3LMfbx/?lang=pt>. Acesso em: 17 abr. 2025.

SOUZA, João Carlos de; PEREIRA, Maria Aparecida. Aplicação do Diagrama de Ishikawa no controle de impactos negativos nos processos administrativos. *Revista Científica Online*, v. 15, n. 1, p. 45–59, 2023. Disponível em: https://www.atenas.edu.br/uniatenas/assets/files/magazines/1/DIAGRAMA_DE_ISHIKAWA_a_importancia_da_ferramenta_na_identificacao_e_controle_dos_impactos_negativos_dos_processos_gerenciais_de_uma_organizacao.pdf. Acesso em: 12 maio 2025.

SPARROW. **Moldagem por injeção de borracha**. HiTop Industrial, 2024. Disponível em: <https://hitopindustrial.com/pt/moldagem-por-injecao-de-borracha/>. Acesso em: 23 abr. 2025.