

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

RAYSSA LIMA COSTA

TÍTULO: ANÁLISE DO VAZAMENTO DE ÓLEO EM MOTORES PROVENIENTES DE
RETORNO DE CONCESSIONÁRIAS E AÇÕES NO PROCESSO PRODUTIVO PARA
MITIGAÇÃO DA FALHA: ESTUDO DE CASO EM EMPRESA DO PIM.

Manaus
2025

RAYSSA LIMA COSTA

**TÍTULO: ANÁLISE DO VAZAMENTO DE ÓLEO EM MOTORES PROVENIENTES DE
RETORNO DE CONCESSIONÁRIAS E AÇÕES NO PROCESSO PRODUTIVO PARA
MITIGAÇÃO DA FALHA: ESTUDO DE CASO EM EMPRESA DO PIM.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de bacharelado em Engenharia de Materiais, da Universidade do Estado do Amazonas como pré-requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador(a): Raimundo Nonato Alves da Silva

Manaus
2025

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade do Estado do Amazonas.

C838a

Costa, Rayssa Lima

Análise do vazamento de óleo em motores provenientes de retorno de concessionárias e ações no processo produtivo para mitigação da falha: estudo de caso em empresa do PIM. / Rayssa Lima Costa.

Manaus : [s.n], 2025.

22 f.: color.; 21.0 cm.

Artigo - Graduação em Engenharia de Materiais- Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2025.

Inclui Bibliografia.

Inclui Anexo.

Orientador: Prof . Dr. Raimundo Nonato Alves da Silva.

1. Ferramentas da qualidade. 2. Melhoria contínua. 3. Usinagem. 4. Redução de falhas. 5. Confiabilidade do produto. I. Prof . Dr. Raimundo Nonato Alves da Silva (Orient.) II. Universidade do Estado do Amazonas. III. Título

CDU(1997)66.03

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS
TERMO DE APROVAÇÃO

RAYSSA LIMA COSTA

TÍTULO: ANÁLISE DO VAZAMENTO DE ÓLEO EM MOTORES PROVENIENTES DE
RETORNO DE CONCESSIONÁRIAS E AÇÕES NO PROCESSO PRODUTIVO PARA
MITIGAÇÃO DA FALHA: ESTUDO DE CASO EM EMPRESA DO PIM.


Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Materiais, Escola Superior de Tecnologia, Universidade do Estado do Amazonas, pela seguinte banca examinadora:

BANCA EXAMINADORA


RAIMUNDO NONATO ALVES
DA SILVA:14350475249

Assinado de forma digital por
RAIMUNDO NONATO ALVES DA
SILVA:14350475249
Dados: 2025.12.09 21:08:55 -04'00'

Prof. Dr. Raimundo Nonato Alves da Silva – Orientador (a)

Documento assinado digitalmente
 **MARCIONILO NERI DA SILVA JUNIOR**
Data: 09/12/2025 17:01:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Marcionilo Neri da Silva Junior – Membro.

Documento assinado digitalmente
 **ANTONIO DE LIMA MESQUITA**
Data: 09/12/2025 15:25:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Antônio de Lima Mesquita – Membro.

Manaus, 24 de Novembro de 2025.

Rayssa Lima Costa¹

Raimundo Nonato Alves da Silva²

Análise do vazamento de óleo em motores provenientes de retorno de concessionárias e ações no processo produtivo para mitigação da falha: Estudo de caso em empresa do PIM.

Rayssa Lima Costa¹, Raimundo Nonato Alves da Silva¹

¹Escola Superior de Tecnologia, Universidade do Estado do Amazonas, Av. Darcy Vargas, 1200, 69050-020, Manaus, Amazonas Brasil. ²*Autor para correspondência. E-mail: rlc.emt20@uea.edu.br

RESUMO. Este trabalho apresenta um estudo de caso realizado em uma empresa do Polo Industrial de Duas Rodas, com o objetivo de reduzir falhas por vazamento entre o cilindro e o cabeçote. A análise identificou como causa principal a deformação da face do cabeçote, provocada pela presença de cavacos prensados durante a usinagem. Com base em ferramentas da qualidade, como o Diagrama de Ishikawa, PDCA e os 5 Porquês, foram implementadas ações corretivas que incluíram a padronização da limpeza dos dispositivos, a revisão dos procedimentos operacionais e a capacitação da equipe. A pesquisa fundamentou-se na análise dos resultados de 2024 da gestão da qualidade, o que possibilitou identificar pontos críticos e oportunidades de melhoria. Os dados coletados por meio do acompanhamento diário no setor de usinagem evidenciaram uma redução significativa das deformações causadas por cavacos, a falha na estava na usinagem da peça, mas no sistema de fixação da peça e diminuição dos custos de garantia em aproximadamente R\$ 50.000,00 por ano. Os resultados demonstraram uma redução de cerca de 30% nas ocorrências de falhas por vazamento, comprovando a eficácia das ações e o impacto positivo na confiabilidade do produto. O estudo reforça a relevância do uso sistemático de ferramentas da qualidade como suporte técnico e científico para a melhoria contínua dos processos industriais.

Palavras-chave: Ferramentas da qualidade. Melhoria contínua. Usinagem. Redução de falhas. Confiabilidade do produto.

ABSTRACT. This paper addresses a case study conducted at a company in the two-wheel industrial hub, specializing in compressor manufacturing, with the goal of reducing failure rates due to leakage between the cylinder and the cylinder head. The analysis identified the main cause as deformation of the cylinder head face, caused by the presence of chips pressed during the machining process. This article aims to present, based on quality tools such as the Ishikawa Diagram, and the 5 Whys, corrective actions were implemented in the process, including standardizing device cleaning, reviewing operational procedures, and team training. The research was based on an analysis of the sector's 2024 quality management results, with the goal of identifying critical points and opportunities for improvement. To this end, quality tools were employed to identify the root causes of the problems, allowing for the structuring and systematic monitoring of the implemented improvement actions. Data collection involved daily monitoring on the factory floor in the cylinder head machining area. The results demonstrated a significant reduction in chip deformations on the cylinder head face, improvements in the quality of machined cylinder heads, and a projected R\$50,000.00 annual cost reduction in cylinder-to-head leakage warranties. The conclusion demonstrated an approximately 30% reduction in leakage failures, demonstrating the effectiveness of the interventions and the positive impact on product reliability and reduced warranty costs.

Keywords: Quality tools. Continuous improvement. Machining. Failure reduction. Product reliability.

1. INTRODUÇÃO

A confiabilidade dos sistemas mecânicos está diretamente relacionada à integridade de seus componentes e à eficiência das conexões entre eles. Em motores e compressores, a interface entre o cilindro e o cabeçote é particularmente crítica, pois está sujeita a pressões elevadas, variações térmicas e esforços mecânicos. Quando essas condições não são adequadamente controladas, podem ocorrer vazamentos indesejáveis, comprometendo o desempenho e a segurança do equipamento. Estudos recentes indicam que falhas nessa interface continuam a representar desafios significativos na indústria automotiva e de motocicletas, sendo responsáveis por perdas econômicas significativas e aumento dos índices de garantia (LU; YAN; LI, 2024).

Problemas de vedação na interface entre o cilindro e o cabeçote geralmente decorrem de falhas em componentes como juntas e parafusos de fixação, ou ainda de deformações térmicas e acabamento superficial inadequado. Estudos demonstram que a topografia das interfaces parafuso-cabeçote-junta de vedação-bloco, incluindo as rugosidades das faces, interfere diretamente no torque de aperto, nas deformações elastoplásticas promovidas pelas forças de aperto e, conseqüentemente, na vedação, sendo um dos fatores principais das perdas de energia associadas a essas falhas (PORTO, 2017). Para minimizar esses problemas, a organização deve controlar produtos ou serviços não conformes, identificar a

não conformidade, implementar ações corretivas e prevenir a liberação de produtos que não atendam aos requisitos, conforme previsto nas cláusulas 8.7 – Controle de saídas não conformes e 10.2 – Não conformidade e ação corretiva da norma ABNT NBR ISO 9001:2015 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015).

Este estudo busca preencher uma lacuna observada em pesquisas anteriores: embora haja ampla literatura sobre falhas em motores, poucos trabalhos investigam a aplicação integrada de ferramentas da qualidade como Diagrama de Ishikawa, Análise de Modo e Efeito de Falha (FMEA) e o método dos Cinco Porquês para reduzir vazamentos específicos entre cilindro e cabeçote em linhas de produção industriais (HASAN, 2017). A pesquisa propõe estratégias corretivas e preventivas que permitem melhorar a confiabilidade do produto e reduzir mensuravelmente os índices de garantia, oferecendo contribuição relevante tanto para a prática industrial quanto para o desenvolvimento acadêmico no contexto da engenharia. Para tanto, a coleta de dados envolveu inspeção detalhada dos cabeçotes e acompanhamento diário no setor de usinagem, permitindo identificar as causas raiz das falhas e estruturar ações de melhoria contínua, evidenciando a aplicabilidade das ferramentas de qualidade na redução de falhas críticas e custos associados.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 O Polo Industrial de Manaus e a Indústria de Motocicletas

O Polo Industrial de Manaus (PIM) foi criado em 1967 como parte da política de desenvolvimento regional da Zona Franca de Manaus (ZFM), com o objetivo de promover a industrialização da Amazônia e integrar a região à economia nacional (SUFRAMA, 2023). Desde então, consolidou-se como um dos maiores complexos industriais da América Latina, concentrando empresas de tecnologia, bens de consumo duráveis, duas rodas e eletroeletrônicos. Segundo dados da Superintendência da Zona Franca de Manaus, o PIM abriga mais de 500 indústrias ativas e é responsável por cerca de 80% do Produto Interno Bruto (PIB) do Estado do Amazonas (SUFRAMA, 2024).

O modelo de incentivos fiscais associado à ZFM tem sido determinante para a atração de investimentos e geração de emprego. Estudos recentes mostram que a política industrial da região tem impulsionado não apenas a atividade fabril, mas também a inovação tecnológica, o desenvolvimento de fornecedores e a formação de mão de obra especializada (Souza; Costa, 2022). Além disso, o PIM tem papel estratégico na manutenção do equilíbrio econômico regional, evitando a concentração industrial no eixo Sul-Sudeste do país e contribuindo para a interiorização do desenvolvimento (Santos et al., 2021).

2.1.1 Importância do polo duas rodas no cenário local e nacional.

Entre os diversos segmentos industriais instalados em Manaus, o setor de duas rodas que inclui motocicletas, motonetas e ciclomotores é um dos mais relevantes, tanto em termos de volume de produção quanto de geração de emprego e renda

(Abraciclo, 2024). De acordo com a Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores e Similares, mais de 98% das motocicletas produzidas no Brasil têm origem nas fábricas localizadas no PIM, o que evidencia a centralidade de Manaus nesse segmento (Abraciclo, 2023). A presença de grandes montadoras, como Honda, Yamaha, Shineray e Dafra, impulsionou a formação de uma cadeia produtiva completa, composta por fornecedores locais e empresas de logística, manutenção e componentes (Souza; Costa, 2022). Esse ecossistema industrial contribui significativamente para o saldo comercial do estado, uma vez que o setor de motocicletas é responsável por cerca de 30% do faturamento total do Polo (SUFRAMA, 2024).

No cenário nacional, o mercado de motocicletas vem apresentando crescimento constante, impulsionado por fatores como a busca por mobilidade individual, o aumento de serviços de entrega e o custo reduzido de manutenção em comparação com automóveis (Melo; Ferreira, 2023). Assim, o desempenho do setor de duas rodas de Manaus tem impacto direto sobre a economia brasileira, representando um elo estratégico na cadeia produtiva e logística do país.

2.1.2 Desafios industriais relacionados à qualidade e produtividade

Apesar da maturidade industrial do PIM, o setor de motocicletas enfrenta desafios significativos relacionados à gestão da qualidade, eficiência produtiva e redução de falhas em processos de fabricação (Pereira; Rocha, 2022). A crescente competitividade do mercado e a exigência por padrões de confiabilidade mais elevados têm impulsionado as empresas a adotar metodologias de melhoria contínua, como Lean Manufacturing, Seis Sigma e controle estatístico de processos (Silva; Almeida, 2021).

No contexto específico da montagem de motores, os principais desafios envolvem o controle dimensional de componentes, a precisão na aplicação de torques, a padronização de procedimentos e a prevenção de falhas de vedação e vazamentos (Melo; Ferreira, 2023). Esses problemas impactam diretamente a satisfação do cliente e os índices de garantia, exigindo atuação conjunta entre engenharia de produto, manufatura e qualidade (Santos et al., 2021). Adicionalmente, a modernização tecnológica e a digitalização dos processos industriais têm se mostrado fundamentais para elevar os índices de produtividade e reduzir variabilidades. Pesquisas recentes destacam que a adoção de ferramentas digitais de monitoramento, rastreabilidade e análise de dados em tempo real tem contribuído para detectar causas de falhas e otimizar a performance dos processos produtivos no PIM (Souza; Costa, 2022).

2.2 Motores de Motocicletas: Estrutura e Princípios de Funcionamento

Os motores de motocicleta são sistemas mecânicos complexos formados por componentes fixos e móveis, cuja função é transformar a energia química do combustível em energia mecânica (Wang; Lu; Li, 2021). Os principais elementos estruturais incluem o bloco, responsável por alojar o conjunto de cilindros e passagens de óleo, e o cabeçote, que contém a câmara de combustão e o sistema de válvulas, sendo fundamental para o controle de compressão e vedação (Lu; Yan; Li, 2024). Entre o bloco e o cabeçote, encontra-se a junta de cabeçote, cuja função é assegurar a vedação entre as galerias de óleo, líquido de arrefecimento e gases de combustão (Rodrigues, 2022). A qualidade dessa vedação depende do tipo de material utilizado, do acabamento superficial das faces de contato e da uniformidade da carga de aperto durante a montagem (AERA, 2023). Estudos recentes apontam que irregularidades de planicidade e diferenças térmicas entre materiais metálicos distintos como alumínio e ferro fundido são causas recorrentes de falhas de vedação (Jetir, 2024).

Além disso, o sistema de vedação do motor é complementado por retentores, selos e juntas periféricas, que impedem a fuga de fluidos para o ambiente externo e mantêm a integridade da lubrificação interna (Illinois Gaskets, 2023). A deterioração natural desses componentes por temperatura, pressão e vibração constitui uma das principais causas de vazamentos em motores de

motocicletas (Lu; Yan; Li, 2024).

2.2.1 Processos de montagem e pontos críticos de vedação

O processo de montagem do motor exerce papel decisivo no desempenho e na durabilidade do sistema de vedação (Rodrigues, 2022). A sequência de montagem, o controle de torque dos parafusos e a limpeza das superfícies de contato são fatores que garantem a correta distribuição de carga na junta de cabeçote (Wang; Lu; Li, 2021). Caso o torque aplicado seja excessivo ou irregular, podem ocorrer empenamentos e deformações que comprometem a estanqueidade entre o bloco e o cabeçote (AERA, 2023). Outro ponto crítico é a preparação das superfícies. Estudos apontam que acabamentos fora das tolerâncias recomendadas aumentam significativamente o risco de vazamento, pois reduzem a capacidade de adaptação da junta às microirregularidades (Lu; Yan; Li, 2024). Além disso, a limpeza inadequada antes da montagem pode deixar resíduos de juntas antigas ou óleo queimado, que dificultam o assentamento e comprometem a vedação (Illinois Gaskets, 2023).

A literatura técnica destaca também que a falta de controle dimensional e térmico após a montagem especialmente em motores submetidos a ciclos térmicos intensos pode gerar distorções e desalinhamentos progressivos, resultando em microvazamentos (Jetir, 2024). Por isso, a uniformidade de aperto e a verificação de planicidade são etapas essenciais para evitar falhas durante o funcionamento do motor (Rodrigues,

2022).

2.2.2 Causas comuns de vazamento

Os vazamentos em motores de motocicletas podem ser classificados em vazamentos externos de óleo, mistura de fluidos e perda de compressão (Wang; Lu; Li, 2021). Os vazamentos externos ocorrem principalmente em juntas periféricas e retentores, sendo associados a degradação de material, montagem incorreta ou vibração excessiva (Illinois Gaskets, 2023). Estudos de simulação térmica demonstram que variações bruscas de temperatura entre os ciclos de aquecimento e resfriamento do motor contribuem para a fadiga térmica das juntas, acelerando o surgimento de microvazamentos (Lu; Yan; Li, 2024). Em síntese, as causas mais recorrentes de falhas por vazamento envolvem erros de montagem, deterioração de materiais, deformações térmicas e torques incorretos, sendo fundamental o controle rigoroso de cada etapa do processo produtivo e de manutenção para garantir a confiabilidade do motor (Rodrigues, 2022).

2.3 Componentes da Montagem do Motor

A montagem de um motor automotivo depende da integração funcional entre bloco, cabeçote, pistões, virabrequim, sistema de distribuição e juntas, todos responsáveis pela conversão da energia de combustão em trabalho mecânico e pela estanqueidade do conjunto (SATHYABAMA, 2025). As juntas, especialmente a do cabeçote, devem assegurar vedação em condições de elevada temperatura e pressão, mantendo

flexibilidade para compensar irregularidades.

Em motores modernos, predominam juntas multilaminares de aço (MLS), constituídas por camadas metálicas e revestimentos elastoméricos aplicados por processos de laminação e coating, capazes de suportar temperaturas próximas de 270–300 °C e pressões elevadas (VICTOR REINZ, 2025; ELRING, 2025; FLUID SEALING ASSOCIATION, 2025).

Os métodos de fabricação dessas juntas incluem corte preciso, conformação de chapas, laminação de múltiplas lâminas e aplicação controlada de elastômeros, conforme descrito em patentes e documentos industriais (SCHENK; BUCK 2002). Já o cabeçote, geralmente produzido em ferro fundido ou ligas de alumínio, deve resistir a esforços mecânicos e gradientes térmicos significativos, apresentando durezas e propriedades distintas conforme microestrutura e liga empregada. Estudos metalográficos demonstram que a fundição apresenta durezas superiores às ligas de alumínio, que, por sua vez, oferecem melhor dissipação térmica — características essenciais para evitar deformações e falhas por fadiga térmica (TILLOVÁ et al., 2013).

2.4 Ferramentas da Qualidade para Identificação de Causas Raízes na Indústria

A melhoria contínua dos processos industriais requer metodologias sistemáticas que permitam identificar e eliminar as causas fundamentais dos problemas, assegurando a eficácia das ações corretivas. As ferramentas da qualidade são

essenciais nesse processo, pois estruturam a análise e facilitam a tomada de decisão para resolver problemas de forma definitiva (MOURA, 2017).

O **Ciclo PDCA** (Figura 1) é uma metodologia amplamente utilizada na gestão da qualidade e melhoria contínua de processos industriais, sendo composto pelas etapas de **planejar (Plan)**, **executar (Do)**, **verificar (Check)** e **agir (Act)**. Essa abordagem promove o controle sistemático das atividades, permitindo identificar causas de desvios e implementar ações corretivas que resultam em maior eficiência e padronização operacional. o uso do PDCA possibilita o aprimoramento constante dos processos produtivos, contribuindo para o alcance da excelência organizacional (FRANCISCO,2025).

Figura 1: Ciclo PDCA

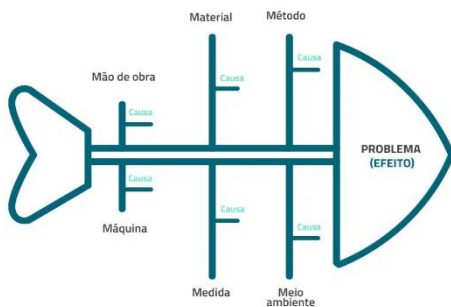


Fonte: (Solvis, 2021).

O **Diagrama de Ishikawa** é uma ferramenta gráfica de gestão da qualidade voltada para a identificação e estruturação das possíveis causas de um problema, organizadas em categorias como método, máquina, matéria-prima, mão-de-obra, meio ambiente e medidas. Essa técnica possibilita que equipes realizem uma análise sistemática das

causas potenciais (inclusive raízes) de uma falha ou não conformidade, promovendo ações corretivas mais efetivas (Figura 2). O uso do Diagrama de Ishikawa demonstrou eficácia não só na indústria, mas também em serviços e em pequenas empresas, por sua simplicidade e pela capacidade de organizar múltiplas variáveis que impactam a qualidade de produto ou serviço (Brigido; Rando Júnior, 2024).

Figura 2: Diagrama de Ishikawa



Fonte: (Qalyteam, 2023).

O princípio das três realidades (Figura 3), também conhecido como **3Gen's**, é uma metodologia amplamente utilizada no contexto do Lean Manufacturing para descrever e analisar fenômenos relacionados a perdas, como defeitos, avarias e anomalias de funcionamento. Essa abordagem é especialmente eficaz na solução de problemas, pois fundamenta-se na observação direta da realidade, evitando inferências e suposições (SILVA, 2022).

Cada "G" representa uma atitude essencial da equipe envolvida na resolução do problema: observar diretamente o ambiente onde o problema ocorre, interagir com os elementos reais

envolvidos, e basear-se em dados objetivos.

Assim, o 3Gen's torna-se um pilar do pensamento lean, promovendo decisões mais acertadas e ações práticas no processo de melhoria contínua.

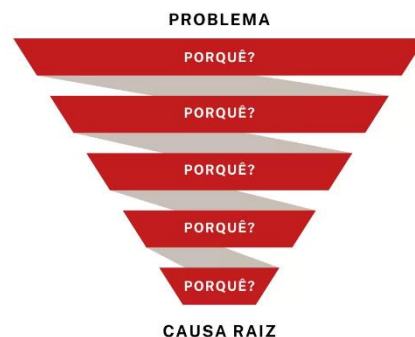
Figura 3: Princípio das 3 realidades (3 Gen's)



Fonte: (Honda Brasil, 2023).

Outra ferramenta bastante utilizada é a técnica dos **5 Porquês** (Figura 4), que consiste em questionar sucessivamente o motivo de uma ocorrência até atingir a causa raiz. Essa metodologia é valorizada por sua simplicidade e eficácia na investigação de falhas operacionais, sendo aplicada com sucesso em diversos setores industriais (ASSOCIAÇÃO

Figura 4: Análise 5 Porquês



Fonte: (Nortegubisian, 2025).

BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2021).

2.5 Sistema Toyota de Produção: Foco na Redução de Falhas

O Sistema Toyota de Produção (STP) é uma implementação prática do Lean, baseado em dois pilares: just-in-time (produção conforme demanda) e jidoka (automação com toque humano, que permite detectar falhas imediatamente) (LIKER, 2020; WOMACK; JONES, 2003). O jidoka permite interromper automaticamente o processo diante de erros, como torque incorreto ou desalinhamento de peças, garantindo que falhas sejam detectadas antes que impactem o produto final (PEREIRA; ROCHA, 2022). Já o just-in-time minimiza estoques excessivos de componentes defeituosos e contribui para a economia de recursos, além de aumentar a agilidade da produção (MELO; FERREIRA, 2024).

2.5.1 Princípios do Lean Manufacturing

O Lean Manufacturing é uma filosofia de gestão voltada à eliminação de desperdícios, redução de variabilidades e maximização do valor agregado ao cliente (WOMACK; JONES, 2003). Seus princípios incluem a identificação de valor, mapa do fluxo de valor, produção puxada e a busca contínua pela perfeição do processo. A aplicação desses conceitos permite reduzir retrabalho, defeitos e falhas em processos industriais complexos (LOPES; OLIVEIRA, 2021).

Na indústria de motocicletas, especialmente na

montagem de motores, o Lean contribui para o controle da complexidade operacional, prevenção de erros de montagem e aumento da confiabilidade de componentes críticos, como sistemas de vedação e juntas (MELO; FERREIRA, 2024). Quando integrado a ferramentas da qualidade, como Diagrama de Ishikawa, 5 Porquês e FMEA, o Lean promove melhorias estruturadas e contínuas (SILVA; ANDRADE, 2022; COSTA; MOREIRA, 2023).

2.5.2 Integração Lean e ferramentas da qualidade

A combinação do Lean Manufacturing, STP e ferramentas da qualidade é essencial para reduzir falhas em processos críticos e melhorar a confiabilidade do produto (SANTOS; ALMEIDA; SOUZA, 2023). Ferramentas como o Diagrama de Ishikawa, 5 Porquês e FMEA permitem identificar causas raiz de falhas, priorizar ações corretivas e padronizar procedimentos (SOUZA; TAVARES, 2022; COSTA; MOREIRA, 2023).

Estudos em empresas do Polo Industrial de Manaus indicam que a adoção dessas metodologias reduz significativamente retrabalho e falhas em linhas de montagem de motocicletas, aumentando a qualidade percebida pelo cliente e a eficiência produtiva (MELO; FERREIRA, 2024; PEREIRA; ROCHA, 2022). Dessa forma, a aplicação estruturada do Lean e do STP fortalece a cultura de melhoria contínua, essencial para manter a competitividade industrial no setor (LIKER, 2020).

3. MATERIAS E MÉTODOS

O presente estudo foi desenvolvido no setor de Qualidade de uma linha de usinagem de componentes de motores para motocicletas, com foco na redução de falhas por vazamento. Foram analisados motores com 100 à 420 cilindradas, abrangendo diferentes aplicações. Os componentes envolvidos no estudo foram o cabeçote e a junta de vedação, por serem críticos para a estanqueidade do sistema. Para a condução das etapas de análise e implementação, foram aplicadas metodologias estruturadas e ferramentas da qualidade amplamente reconhecidas na indústria. As falhas foram observadas por meio de microscópio óptico, após preparação metalográfica das amostras, permitindo análise detalhada das superfícies. Além disso, foram realizados ensaios de microdureza para avaliar a resistência do material, bem como teste de aderência para verificar a integridade da junta em relação ao cabeçote.

3.1 Metodologia

Inicialmente, realizaram-se o levantamento e a análise dos indicadores de falhas, permitindo a priorização dos principais problemas por meio do **Gráfico de Pareto**, que evidenciou os pontos críticos relacionados às ocorrências de campo de vazamento no cabeçote após o processo de usinagem. Em seguida, utilizou-se o **Diagrama de Ishikawa** para identificar e categorizar as possíveis causas, considerando os quatro aspectos clássicos: Método, Máquina, Material e Mão de

Obra.

Com base nas causas levantadas, aplicou-se a técnica dos **Cinco Porquês**, com o objetivo de aprofundar a investigação e identificar a causa raiz. Essa etapa possibilitou compreender a origem do problema e direcionar a definição das ações corretivas necessárias.

De forma complementar, foi aplicado o princípio dos **Três Gen's (Genba, Genbutsu e Genjitsu)**, assegurando que todas as decisões fossem fundamentadas em observações diretas do processo produtivo. Foram realizadas visitas in loco, observação detalhada das condições reais de operação e análise concreta dos componentes e equipamentos envolvidos no processo.

Como parte da solução implementada, realizou-se a instalação de um sensor de vazão ultrassônico na máquina responsável pela etapa crítica do processo. Essa melhoria resultou em maior estabilidade dimensional das peças e redução de falhas associadas à contaminação e ao superaquecimento, uma vez que a instalação do sensor de vazão ultrassônico possibilitou monitorar e controlar continuamente o fluxo do líquido de corte, mantendo-o estável e garantindo a eficiência da limpeza durante o processo. Além disso, foram estabelecidas rotinas de manutenção preventiva, assegurando a manutenção das condições ideais de operação e a prevenção de reincidências de falhas.

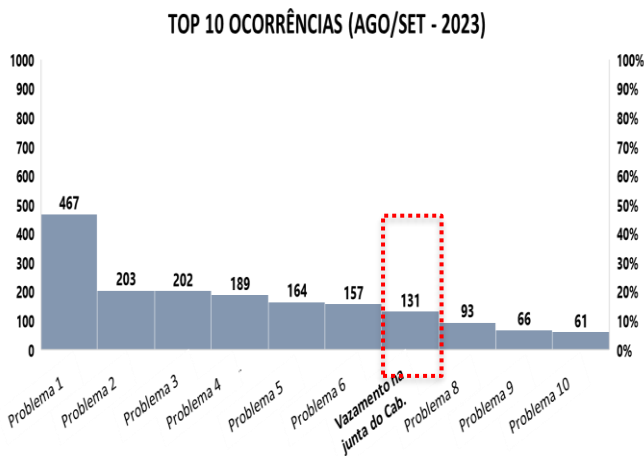
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Identificação do Problema e Análise

Inicial

O projeto de melhoria foi conduzido no setor de Qualidade de uma empresa do segmento de motocicletas, com foco na análise e solução de falhas de campo. O ponto de partida foi o monitoramento de reclamações de campo por meio do gráfico de ocorrências das concessionárias (Figura 5), referente aos meses de agosto e setembro de 2023. Entre os principais problemas, destacou-se o **vazamento na junta do cabeçote**, classificado na sétima posição e sem responsável designado para investigação do problema.

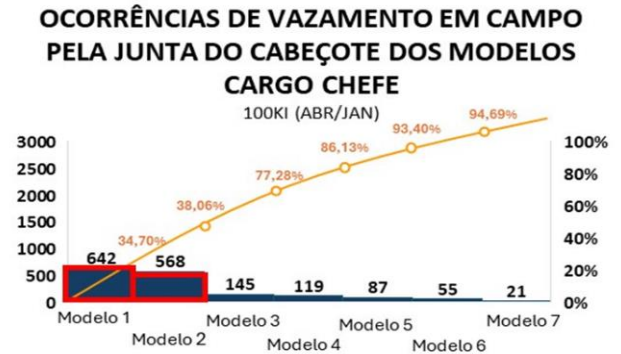
Figura 5: Gráfico de ocorrências em campo



Fonte: Autor, 2025.

A partir desse diagnóstico, o tema foi selecionado como prioridade de melhoria. A análise detalhada das ocorrências revelou concentração da falha em dois modelos de motocicleta de maior volume produtivo (Figura 6).

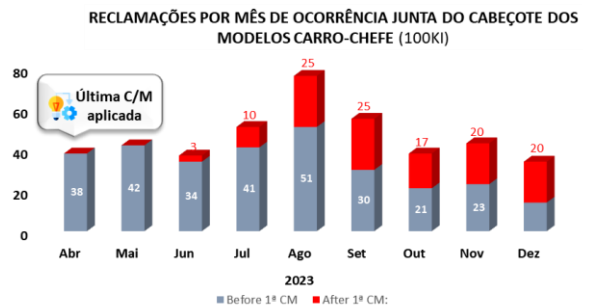
Figura 6: Gráfico de ocorrências dos modelos produzidos.



Fonte: Autor, 2025.

Nos quais contramedidas anteriores haviam sido aplicadas sem sucesso, conforme mostra o gráfico da **Figura 7**. Essa recorrência indicou a necessidade de uma abordagem mais estruturada e baseada em métodos analíticos.

Figura 7: Gráfico Before after de contramedidas aplicadas de vazamento pela Junta do cabeçote



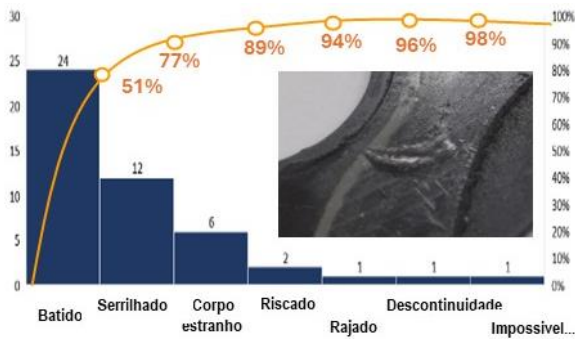
Fonte: Autor, 2025.

4.2 Análise dos Componentes e Identificação da Causa Raiz

Foram analisadas 47 juntas de cabeçote oriundas de campo, nas quais foram observadas anomalias como batidos, riscos, corpos estranhos

e superfícies irregulares. O **Gráfico de Pareto** (Figura 8) consolidou os resultados, apontando a **deformação por batido** como principal causa, representando 51% das ocorrências.

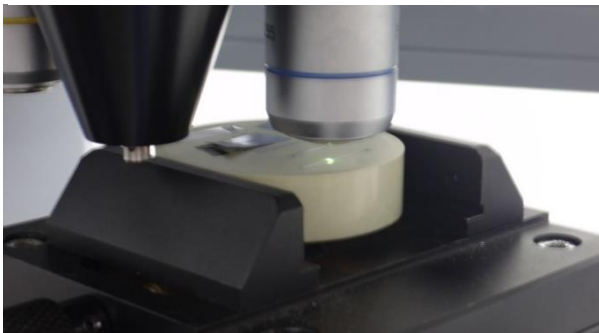
Figura 8: Gráfico de Defeitos junta do cabeçote



Fonte: Autor, 2025.

Em parceria com o setor de Controle de Qualidade, foram realizadas **análises metalográficas** das juntas (Figura 8), para avaliar a micro dureza (Tabela 9).

Figura 9: Análise metalográfica (Microdureza)



Fonte: Autor, 2025.

Foi realizado o **teste de aderência** para verificação do revestimento polimérico (Figura 10), que confirmou que o material e o revestimento das juntas estavam dentro das especificações

técnicas. Com isso, descartou-se a hipótese de falha no componente.

Figura 10: Teste de aderência



3.6 Adhesion Test

Use a test panel prepared according to Section 2.3 or a part as a test piece. Hold a retractable knife (*32) at an angle of approximately 35 to 45 degrees against the effective coating surface, as shown in Fig. 5, and draw 11 equally spaced (*33) parallel lines penetrating down to the base material. Draw another set of 11 equally spaced parallel lines at right angles to the previous lines to make one hundred squares. Perform a peel test (*34) on this area and count the number of squares with peeling greater than 50% by area respectively. Use the formula $100 - x / 100$, where the number of squares peeled is x.

Fonte: Autor, 2025.

Esses resultados indicaram que o material e o revestimento estavam dentro das especificações conforme a tabela de dureza (Figura 11), eliminando a hipótese de falha no componente como causa principal. Pois as propriedades mecânicas do componente não estavam comprometidas, ou seja, o material não apresentava perda de resistência, desgaste excessivo, descolamento do revestimento ou alterações microestruturais que pudessem justificar a falha.

Figura 11: Tabela de microdureza

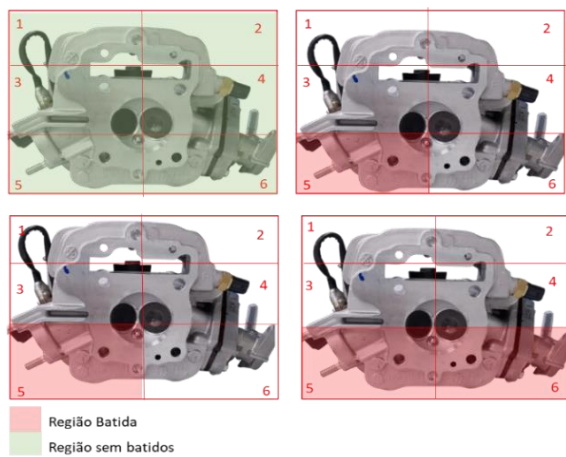
Análise micro dureza Junta do cabeçote										
Ponto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Encontrado HV	475,0	473,6	485,9	489,5	480,6	477,0	487,7	485,9	473,6	465,1
Especificação 480±30HV										

Fonte: Autor, 2025.

Diante dos resultados, investigou-se o componente associado, o cabeçote, por meio de testes de reconstituição. Quatro cabeçotes foram montados e testados sob condições controladas, simulando o funcionamento real do motor.

Os resultados mostraram que as deformações ocorriam predominantemente na região 5 da face do cabeçote (Figura 12), coincidindo com as marcas observadas nas juntas. Essa constatação confirmou que o problema estava localizado no cabeçote e não na junta.

Figura 12: Mapeamento dos cabeçotes.



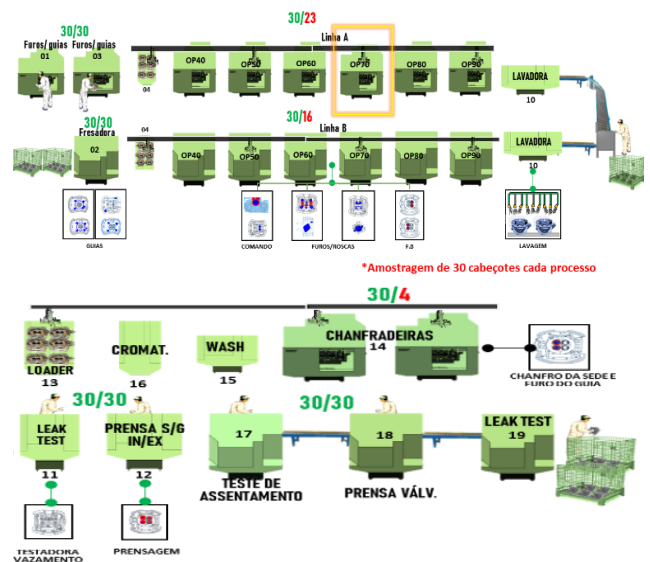
Fonte: Autor, 2025.

4.3 Análise do Processo e Identificação das Causas

Durante o acompanhamento do processo

produtivo, realizamos uma amostragem de 30 cabeçotes, onde foi identificado que as deformações ocorriam na operação 70A da linha automática, que de 30 cabeçotes analisados, 23 apresentaram deformação (figura 13), no momento do assentamento do dispositivo de fixação do cabeçote. A inspeção revelou acúmulo de cavacos metálicos na base do dispositivo, o que provocava impactos na superfície durante o posicionamento da peça.

Figura 13: Mapeamento processo de Usinagem



Fonte: Autor, 2025.

Esse acúmulo estava diretamente relacionado à **baixa vazão do líquido de corte** (Figura 14), responsável tanto pela **refrigeração** quanto pela **limpeza** do sistema.

Figura 14: Acúmulo de cavaco na máquina.



Fonte: Autor, 2025.

A aplicação do **Diagrama de Ishikawa** (Figura 15) permitiu classificar as causas segundo as categorias máquina, método, material e mão de obra, apontando como fatores críticos a **falta de limpeza do sistema de decantação**, o **entupimento do filtro da bomba** e a **ausência de manutenção periódica**.

Figura 15: Estudo das Causas.



Fonte: Autor, 2025.

No quesito MATERIAL, foram analisados o material da junta do cabeçote, o revestimento polimérico da junta do cabeçote, a micro dureza, e para o cabeçote, sua dureza onde seu especificado é de 50~72HRB e seu encontrado foi 58HRB. Todos os resultados apresentaram conformidade, portanto, o item Material está OK.

No quesito MÃO DE OBRA, foram avaliados os seguintes critérios: realização de treinamento adequado, nível de proficiência dos colaboradores na execução das atividades e índice de absenteísmo. Não foram identificadas anormalidades, logo, o item Mão de obra está OK.

No quesito MÁQUINA, foram analisados parâmetros como rotação das ferramentas, fluido de corte, pressão do fluido de corte e temperatura

todos considerados adequados. Entretanto, foi constatado que o processo não possui controle de vazão, sendo esta aferida apenas por feeling. Tal prática caracteriza uma não conformidade no processo.

No quesito MÉTODO, foram avaliados fatores como padrão de serviço, folha de checagem de equipamentos, plano de produção e plano de manutenção. Verificou-se que a manutenção preventiva, especialmente as limpezas das máquinas e da bomba de decantação, não estão sendo realizadas periodicamente, o que provoca acúmulo de cavacos no filtro da bomba. Essa condição resulta na perda de vazão do fluido de corte, que é responsável tanto por refrigerar as peças usinadas quanto por realizar a limpeza da base do dispositivo de assentamento.

Dessa forma, conclui-se que os quesitos **MÁQUINA e MÉTODO** são os principais fatores que contribuem para a perda de qualidade no processo de usinagem. O dispositivo de assentamento não é limpo adequadamente devido à redução da vazão do fluido de corte, ocasionada pelo acúmulo de cavacos no interior da máquina e no filtro da bomba de decantação.

A técnica dos 5 Porquês (Figura 16) confirmou que a causa raiz do problema estava relacionada à ausência de um controle efetivo e de uma rotina sistemática de limpeza da vazão. Essa falha operacional favorecia o acúmulo de cavacos no interior do sistema, comprometendo o fluxo adequado do fluido e ocasionando obstruções parciais. Como consequência, surgiam

deformações dimensionais e falhas superficiais nas peças produzidas, afetando diretamente a qualidade final do produto e a eficiência do processo produtivo.

Figura 16: Análise das causas – Análise dos 5 Porquês



Fonte: Autor, 2025.

4.4 Ações de Melhoria Implementadas

Com base nas análises, foram implementadas ações corretivas e preventivas voltadas à eliminação das causas raízes identificadas:

Instalação de um sensor de vazão ultrassônico para monitoramento contínuo do fluxo do líquido de corte, permitindo identificar, em tempo real, possíveis obstruções no sistema de refrigeração e remoção de cavacos. Assim, ações corretivas puderam ser tomadas antes que houvesse impacto na qualidade final do produto (Figura 17).

Figura 17: Sensor de vazão.



Fonte: Autor, 2025.

Implantação de um sistema padronizado de limpeza no interno das máquinas e filtro da bomba de decantação de óleo máquinas CNC antes do assentamento das peças, aplicando o padrão de serviço.

Atualização da Folha de Checagem Diária da Máquina (FCDE), incluindo verificações de limpeza e vazão, que devem ser cumpridas de acordo com o **manual setorial** (Figura 18).

Figura 18: Manual setorial

A FCDE é elaborada em vínculo com o P.S, o Sensor de vazão do equipamento é um item que é checado através da FCDE, de modo a garantir que o equipamento funcione com a vazão dentro dos parâmetros especificados. O responsável pela elaboração dos documentos garante que este item seja contemplado nas checagens diárias do documento FCDE.

Fonte: Autor, 2025.

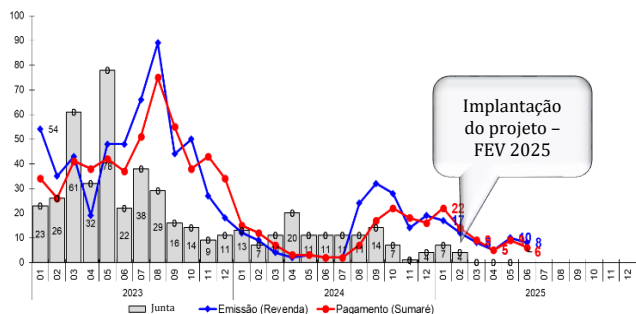
Treinamento e conscientização dos operadores sobre a importância da manutenção preventiva e da limpeza dos dispositivos.

Essas medidas visaram restabelecer a estabilidade operacional do processo para que não reflita em ocorrências de vazamento em campo, causando insatisfação nos clientes.

4.5 Resultados Obtidos e Impactos

Após a implantação das ações, ocorreu apenas 29 garantias pagas até o momento da pesquisa, verificou-se uma redução significativa das deformações por batido nas faces dos cabeçotes. O monitoramento dos indicadores internos de qualidade demonstrou diminuição das ocorrências de vazamento de óleo em campo relacionadas a esse tipo de defeito, conforme mostra o gráfico de monitoramento de problemas em campo (Figura 19).

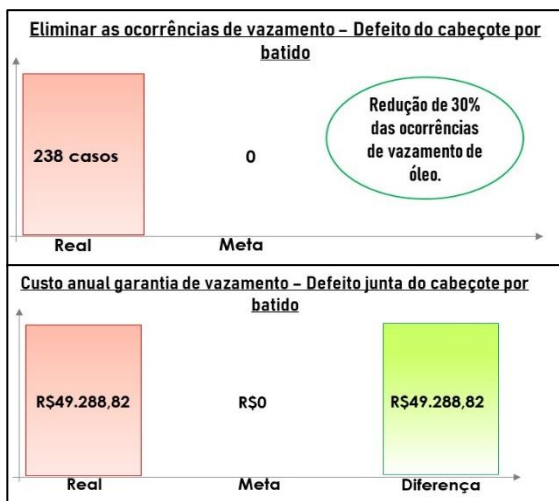
Figura 19: Gráfico de monitoramento



Fonte: Autor, 2025.

O controle automatizado da vazão do líquido de corte através do sensor de vazão assegurou a estabilidade do processo de usinagem, enquanto as inspeções e limpezas diárias garantiram a manutenção da eficiência do sistema. Além dos ganhos técnicos, o projeto resultou em **redução estimada de custos de aproximadamente R\$ 50.000,00 por ano** (Figura 20), referentes a retrabalhos e garantias.

Figura 20: Gráfico de estimativa de redução de custos



Fonte: Autor, 2025.

Portanto, a abordagem adotada demonstrou eficácia tanto na perspectiva técnica quanto econômica, reforçando a importância de monitoramento contínuo e manutenção preventiva

em processos críticos de usinagem de componentes de motores.

A implementação das medidas propostas, incluindo a limpeza periódica da área interna da máquina e da bomba de decantação, aliada à instalação de um sensor de vazão para monitoramento contínuo do líquido de corte, resultou em melhorias significativas na qualidade superficial da face do cabeçote dos motores analisados, reduzindo a incidência de deformações nas peças.

5. CONCLUSÃO

O projeto de melhoria desenvolvido no setor de Qualidade demonstrou a relevância do uso sistemático das ferramentas da qualidade na identificação e eliminação das causas raízes de falhas. A abordagem estruturada, que integrou o Gráfico de Pareto, o Diagrama de Ishikawa, a técnica dos 5 Porquês e os 3 Gen's, mostrou-se fundamental para o direcionamento assertivo das análises e para a obtenção de resultados sustentáveis e mensuráveis.

A implantação do sensor de vazão ultrassônico e a adoção de rotinas de manutenção preventiva resultaram em ganhos expressivos em qualidade, produtividade e redução de custos, além de contribuírem diretamente para a elevação da satisfação dos clientes, ao eliminar uma das principais causas de reclamações de campo.

Como limitação, destaca-se a necessidade de monitoramento contínuo do processo de usinagem, a fim de garantir a manutenção das

condições ideais de operação e evitar a reincidência de falhas. Como proposta de continuidade, recomenda-se a aplicação da mesma metodologia em outros processos críticos da linha de produção, ampliando o alcance e a efetividade das melhorias alcançadas.

Em síntese, o estudo reforça que a gestão da qualidade orientada por dados, análise de causa e melhoria contínua constitui um pilar essencial para o desenvolvimento sustentável, o fortalecimento da competitividade e a consolidação da excelência operacional nas organizações industriais.

6. AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força e sabedoria concedidas ao longo desta jornada. À minha avó, que, mesmo não estando mais presente, permanece como inspiração e combustível para o meu futuro. À minha família e aos amigos, pelo apoio incondicional, incentivo e compreensão durante todas as etapas da graduação. Por fim, à Universidade do Estado do Amazonas (UEA/EST), pelo suporte institucional e pela infraestrutura disponibilizada, que foram fundamentais para a realização deste trabalho.

7. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR ISO 9001:2015 – Sistemas de gestão da qualidade: requisitos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/>. Acesso em: 07 out. 2025.

HASAN, Md. Raquibul. Failure Investigation Report on Different Components of an Automotive Engine. *International Journal of Mechanical Engineering and Applications*, v. 5, n. 1, p. 47–51, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.11648/j.ijmea.20170501.16>. Acesso em: 07 out. 2025.

LU, M.; YAN, P.; LI, Q. *Analysis of Sealing of Engine Cylinder Head Gasket Based on Computer Simulation*. In: PHAM, D. T.; NGUYEN, H. M.; NGUYEN, T. T. (eds.). *Mechanical Design and Simulation: Exploring Innovations for the Future*. Singapore: Springer, 2024. p. 1265–1271. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-97-7887-4_111. Acesso em: 07 out. 2025.

PORTO, I. G. *Interferências tribológicas na união do cabeçote com o bloco de motores de combustão interna: análise da interface parafuso-cabeçote-junta de vedação-bloco*. 2017. 135 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3149/tde16082017084652/publico/IgorGonzagaPortoCorr17.pdf>. Acesso em: 07 out. 2025.

HASAN, Md. Raquibul. *Failure Investigation Report on Different Components of an Automotive Engine*. *International Journal of Mechanical Engineering and Applications*, p. 47–51, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.11648/j.ijmea.20170501.16>. Acesso em: 07 out. 2025.

ABRACICLO – Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares. *Relatório de Desempenho do Setor de Duas Rodas 2024*. São Paulo, 2024. Disponível em: <https://www.abraciclo.com.br>. Acesso em: 16 out. 2025.

ABRACICLO. *Indicadores de Produção do Setor de Motocicletas 2023*. São Paulo, 2023. Disponível em: <https://www.abraciclo.com.br>. Acesso em: 16 out. 2025.

MELO, R. S.; FERREIRA, J. P. *Desafios e perspectivas do setor de duas rodas no Brasil: eficiência produtiva e sustentabilidade*. *Revista Produção Online*, v. 23, n. 1, p. 55–72, 2023. Disponível em:

- <https://www.producaoonline.org.br>. Acesso em: 16 out. 2025.
- PEREIRA, L. H.; ROCHA, T. M. *Melhoria contínua e controle de qualidade na indústria de motocicletas do Polo Industrial de Manaus*. *Revista Brasileira de Engenharia de Produção*, v. 28, n. 2, p. 120–138, 2022. Disponível em: <https://www.rbep.ufsc.br>. Acesso em: 16 out. 2025.
- SANTOS, R. A. et al. *A importância econômica do Polo Industrial de Manaus na indústria nacional*. *Revista Brasileira de Desenvolvimento Regional*, v. 9, n. 3, p. 180–197, 2021. Disponível em: <https://periodicos.furb.br/index.php/rbdr>. Acesso em: 16 out. 2025.
- SILVA, D. C.; ALMEIDA, P. R. *Aplicação de metodologias Lean e Seis Sigma na linha de montagem de motocicletas: estudo de caso em empresa do PIM*. *Revista Gestão Industrial*, v. 17, n. 4, p. 40–59, 2021. Disponível em: <https://www.revistas.utfpr.edu.br/rgi>. Acesso em: 16 out. 2025.
- SOUZA, E. M.; COSTA, L. F. *Política industrial e inovação tecnológica na Zona Franca de Manaus: um panorama atual*. *Revista de Economia e Desenvolvimento Regional*, v. 18, n. 2, p. 95–110, 2022. Disponível em: <https://www.revistaredr.com>. Acesso em: 16 out. 2025.
- SUFRAMA – Superintendência da Zona Franca de Manaus. *Indicadores de Desempenho do Polo Industrial de Manaus – Relatório 2024*. Manaus, 2024. Disponível em: <https://www.suframa.gov.br>. Acesso em: 16 out. 2025.
- SUFRAMA – Superintendência da Zona Franca de Manaus. *Histórico e relevância econômica do Polo Industrial de Manaus*. Manaus, 2023. Disponível em: <https://www.suframa.gov.br>. Acesso em: 16 out. 2025.
- AERA – ENGINE BUILDERS ASSOCIATION. *Common Causes of Cylinder Head Gasket Failures*. Technical Bulletin. 2023. Disponível em: <https://aera.org/TB25/TB081425-1.pdf>. Acesso em: 16 out. 2025.
- ILLINOIS GASKETS. *Instruções Técnicas para Montagem de Juntas de Cabeçote*. Manual técnico. 2023. Disponível em: https://www.juntasillinois.com/InfoTecnica/PT/Montagem_junta_de_cab%C3%A7ote.pdf. Acesso em: 16 out. 2025.
- JETIR. *A Review on Thermal Analysis of Cylinder Head Gasket*. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, v. 11, n. 8, 2024. Disponível em: <https://www.jetir.org/papers/JETIR2408664.pdf>. Acesso em: 16 out. 2025.
- LU, M.; YAN, P.; LI, Q. *Analysis of Sealing of Engine Cylinder Head Gasket Based on Computer Simulation*. ResearchGate, 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/388283355_Analysis_of_Sealing_of_Engine_Cylinder_Head_Gasket_Based_on_Computer_Simulation. Acesso em: 16 out. 2025.
- RODRIGUES, M. *Estudo sobre o desempenho de juntas metálicas de vedação em motores automotivos*. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/237549/TCC_Feature_selection.pdf?isAllowed=y&sequence=1. Acesso em: 16 out. 2025.
- DANA. *Multi-Layer Steel Cylinder-Head Gaskets: Specification Sheet*. Dana Incorporated, 2025. Disponível em: <https://www.dana.com/globalassets/resource-library/power-technologies/spec-sheets/spec-sheet-mls-gaskets-1-en.pdf>. Acesso em: 09 dez. 2025.
- ELRING. *Metal Layer (MLS) Cylinder-Head Gaskets – Technical Poster*. ElringKlinger AG, 2025. Disponível em: https://www.elringparts.co.uk/ElringParts/media/PDFs/3325_Poster_Berufsschuloffensive_EN.pdf. Acesso em: 09 dez. 2025.
- FLUID SEALING ASSOCIATION. *Gasket Handbook*. 2017 (rev. 2025). Disponível em: <https://www.fluidsealing.com/wp-content/uploads/FSA-Gasket-Handbook-June2017Rev2025v2.pdf>. Acesso em: 09 dez. 2025.
- KUBOVÝ, L. *Cylinder Head Gasket for an Experimental Single Cylinder Engine*. 2017. Diploma Thesis – Brno University of Technology. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/128479917.pdf>. Acesso em: 09 dez. 2025.
- Sathyabma. *Automotive Engine Component Design – Course Material*. Sathyabama Institute of Science and Technology, 2025. Disponível em: https://sist.sathyabama.ac.in/sist_coursematerial/uploads/SUA1501.pdf. Acesso em: 09 dez. 2025.
- TILLOVÁ, E. et al. *Quality Control of Cylinder Head Casting*. 2013. Disponível em: <https://publisherspanel.com/api/files/view/728906.pdf>. Acesso em: 09 dez. 2025.
- SCHENK; BUCK. *US Patent 6361830B1 – Process for Manufacturing Metal Sheet Gasket Coated with Elastomer*. Inventores: Masaharu Masuda et al. Publicado em: 26 fev. 2002. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/US6361830B1/en>. Acesso em: 09 dez. 2025.

VICTOR REINZ. *Multi-Layer Steel (MLS) Cylinder-Head Gaskets — Practical Information.* Victor Reinz GmbH, 2025. Disponível em: <https://www.victorreinz.com/en/service-downloads/practical-information/multi-layer-steel-mls-cylinder-head-gaskets.aspx>. Acesso em: 09 dez. 2025.

WANG, Y.-J.; LU, M.; LI, Q. *Cylinder Head Gasket Leakage — Trouble-Shooting Analysis.* SAE Technical Paper, 2021. Disponível em: <https://www.sae.org/papers/cylinder-head-gasket-leakage-trouble-shooting-analysis-2021-01-1234>. Acesso em: 16 out. 2025.

MOURA, E. R. *Ferramentas da qualidade: identificação e análise de causas raízes.* São Paulo: Atlas, 2017. Disponível em: <https://www.atlas.com.br/>. Acesso em: 16 out. 2025.

FRANCISCO, Marielly Camargo; CASAGRANDE, Diego José. UTILIZAÇÃO DO CICLO PDCA COMO FERRAMENTA DE MELHORIA CONTÍNUA DE PROCESSOS: uma análise nas indústrias alimentícias. *Revista Interface Tecnológica, Taquaritinga, SP, v. 21, n. 2, p. 791–802, 2025.* DOI: 10.31510/infa.v21i2.2077. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/articled/view/2077>. Acesso em: 17 out. 2025.

BRIGIDO, Rafael; RANDO JUNIOR, Edvaldo Luiz. Diagrama de Ishikawa: aplicações e impactos na gestão da qualidade em diversos setores. *Caderno Progressus, [S. l.], v. 4, n. 8, p. 38–48, 2024.* Disponível em: <https://www.cadernosuninter.com/index.php/progressus/articled/view/3437>. Acesso em: 18 out. 2025.

Solvis. *Ciclo PDCA: O que fazer com os resultados da pesquisa de satisfação?* 2021. Disponível em: <https://solvis.com.br/ciclo-pdca-o-que-fazer-com-os-resultados-da-pesquisa-de-satisfacao/>. Acesso em: 17 out. de 2025.

QualyTeam. Diagrama de Ishikawa ou de espinha de peixe: guia da identificação da causa raiz, 2023. Disponível em: <https://qualyteam.com/pb/blog/diagrama-de-ishikawa/>. Acesso em: 17 out. de 2025.

Honda Brasil. LinkedIn, 2023. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/posts/honda-brasil>. Acesso em: 17 out. de 2025.

SILVA, Aline Alana Oliveira. Metodologia Kaizen na resolução de problemas: um estudo de caso em uma fábrica metalúrgica. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/47756/4/T>

[CC%20Aline%20Alana%20Oliveira%20Silva.pdf?utm_source=chatgpt.com](https://www.repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/47756/4/T). Acesso em: 17 out. 2025.

NORTE GUBISIAN. Como realizar uma análise de causa raiz com a técnica dos 5 porquês. *Blog da Norte Gubisian, 24 jul. 2025.* Disponível em: <https://www.nortegubisian.com.br/blog/causa-raiz-com-a-tecnica-5-porques/>. Acesso em: 17 out. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. A aplicação de ferramentas da qualidade em uma empresa do setor de comércio. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2021. Anais [...]. Disponível em: https://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_357_1842_41596.pdf. Acesso em: 17 out. 2025.

COSTA, L. M.; MOREIRA, D. A. Integração das ferramentas da qualidade com a Indústria 4.0: um panorama atual. *Revista Brasileira de Engenharia de Produção, v. 30, n. 1, p. 34–51, 2023.* Disponível em: <https://idonline.emnuvens.com.br/id/article/download/3337/5216/13225>. Acesso em: 19 out. 2025.

LOPES, R. H.; OLIVEIRA, A. S. A utilização das ferramentas da qualidade como suporte à melhoria contínua na manufatura enxuta. *Revista Produção Online, v. 21, n. 4, p. 115–130, 2021.* Disponível em: <https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/lean/article/view/2467/pdf>. Acesso em: 19 out. 2025.

MELO, R. S.; FERREIRA, J. P. Análise de falhas e aplicação do FMEA na indústria de motocicletas do Polo Industrial de Manaus. *Revista Produção e Desenvolvimento, v. 30, n. 2, p. 60–78, 2024.* Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/download/14392/12955/189032>. Acesso em: 19 out. 2025.

PEREIRA, L. H.; ROCHA, T. M. Melhoria contínua e controle de qualidade na indústria de motocicletas do Polo Industrial de Manaus. *Revista Brasileira de Engenharia de Produção, v. 28, n. 2, p. 120–138, 2022.* Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/4014/2829>. Acesso em: 19 out. 2025.

SANTOS, R. A.; ALMEIDA, L. F.; SOUZA, E. M. Aplicação do diagrama de Pareto e 5 Porquês na análise de falhas em processos produtivos. *Revista Engenharia e Tecnologia Aplicada, v. 11, n. 1, p. 75–89, 2023.* Disponível em: <https://etech.sc.senai.br/revista-cientifica/article/download/1260/189/3751>. Acesso em: 19 out. 2025.

SILVA, C. P.; ANDRADE, M. G. Gestão da qualidade e competitividade industrial: revisão das ferramentas aplicadas na manufatura moderna. *Revista Brasileira de Engenharia Industrial, v. 20, n. 2, p. 45–62, 2022.*

Disponível em:
<https://interferencejournal.emnuvens.com.br/revista/article/download/79/80/128>. Acesso em: 19 out. 2025.

SOUZA, E. M.; TAVARES, R. L. Ferramentas da qualidade como suporte à melhoria contínua em ambientes Lean Six Sigma. *Revista Gestão e Produção Contemporânea*, v. 19, n. 1, p. 10–27, 2022. Disponível em:
<https://zenodo.org/records/10049024/files/artigo%2011.pdf?download=1>. Acesso em: 19 out. 2025.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. 2. ed. New York: Free Press, 2003. Disponível em:
<https://www.amazon.com/Lean-Thinking-Banish-Create-Corporation/dp/0743231643>. Acesso em: 19 out. 2025.

LIKER, J. K. *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 2020. Disponível em:
<https://www.mheducation.com/highered/mhp/product/toyota-way-second-edition-14-management-principles-world-s-greatest-manufacturer.html>. Acesso em: 19 out. 2025.

SUFRAMA – Superintendência da Zona Franca de Manaus. *Indicadores de Desempenho do Polo Industrial de Manaus – Relatório 2024*. Manaus, 2024. Disponível em:
<https://www.suframa.gov.br>. Acesso em: 19 out. 2025.