



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

JOÃO PAULO SPÍNOLA DE ASSIS

**MELHORIA DO PROCESSO DE SOLDAGEM DE PORCAS NA INDÚSTRIA
AUTOMOBILÍSTICA.**

Recife
2023

JOÃO PAULO SPÍNOLA DE ASSIS

**MELHORIA DO PROCESSO DE SOLDAGEM DE PORCAS NA INDÚSTRIA
AUTOMOBILÍSTICA.**

Monografia submetida ao Departamento
de Engenharia Mecânica, da
Universidade Federal de Pernambuco,
para conclusão do curso de Graduação
em Engenharia Mecânica.

Orientadora: Marcele Elisa Fontana

Recife

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Assis, João Paulo Spínola de.

Melhoria do processo de soldagem de porcas na indústria automobilística /
João Paulo Spínola de Assis. - Recife, 2023.

49p. : il., tab.

Orientador(a): Marcele Elisa Fontana

(Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia
e Geociências, 2023.

1. Melhoria contínua. 2. Solda por projeção. 3. Qualidade. 4. Diagrama de
Ishikawa. 5. Processo de soldagem. I. Fontana, Marcele Elisa. (Orientação).

II.Título.

620 CDD (22.ed.)

JOÃO PAULO SPÍNOLA DE ASSIS

**MELHORIA DO PROCESSO DE SOLDAGEM DE PORCAS NA INDÚSTRIA
AUTOMOBILÍSTICA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovado em: 22/09/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Marcele Elisa Fontana (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Antônio Marques da Costa Soares Júnior (Avaliador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Francisco Fernando Roberto Pereira (Avaliador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado à minha família, em especial aos meus pais Flávio e Cláudia, à minha avó Maria José, minha tia Glauce, meu irmão Pedro Henrique, à minha esposa Danielle.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus pais, Flávio e Cláudia, por me proporcionar acesso à educação como prioridade em todos os momentos, por diversas vezes abdicarem de si mesmo para me proporcionar condições de estudar, sempre foram meus maiores exemplos e apoiadores.

À toda a minha família, em especial à minha avó, Maria, e minha tia, Glauce, por estarem comigo em todos aqueles momentos que meus pais precisaram trabalhar para sustentar meus estudos, por sempre me conduzirem para o bem.

Ao meu irmão, Pedro Henrique, que esteve comigo em todos os momentos, desde muito novo, dividindo cada momento da vida.

À minha esposa Danielle, por todo seu amor, sua força para me encorajar à conseguir superar os momentos mais difíceis, por seu companheirismo, deixando todos os dias mais leves.

Aos professores pelos ensinamentos, em especial à minha orientadora, que se fez presente durante todo o período de desenvolvimento do projeto, buscando auxiliar em todos os momentos.

A Universidade Federal de Pernambuco, pela oportunidade de participar do programa de graduação.

Á Deus, sem ele nada seria possível.

RESUMO

No contexto da produção de automóveis, uma variedade de componentes e subconjuntos é unida por meio de diversos métodos de soldagem, entre eles a solda por projeção, que tem ganhado destaque devido à sua eficiência em termos de correntes e forças reduzidas, bem como tempos de soldagem mais curtos. No entanto, esse método também apresenta o desafio da emissão de respingos de solda, os quais podem prejudicar a montagem dos componentes. Nesse cenário, este estudo se propôs a aplicar ferramentas da qualidade para analisar as causas raízes dos respingos de solda e implementar melhorias no processo, visando eliminar porcas obstruídas devido a respingos de solda. As intervenções realizadas resultaram em uma significativa redução de casos de obstrução das porcas, confirmada por meio de um indicador interno. Os resultados alcançados demonstram claramente a eficácia das intervenções ao abordar as causas fundamentais do problema, resultando em menos retrabalho e um aumento substancial na lucratividade da empresa. Esse estudo reflete o compromisso contínuo com a melhoria dos processos de soldagem na fabricação de automóveis, proporcionando eficiência e qualidade aprimoradas.

Palavras-chave: melhoria contínua, solda por projeção, qualidade, diagrama de Ishikawa, processo de soldagem.

ABSTRACT

In the context of automobile production, a variety of components and subassemblies are joined through various welding methods, including projection welding, which has gained prominence due to its efficiency in terms of reduced currents and forces, as well as shorter welding times. However, this method also presents the challenge of weld spatter emission, which can impair component assembly. In this scenario, this study aimed to apply quality tools to analyze the root causes of weld spatter and implement process improvements to eliminate obstructed nuts due to weld spatter. The interventions performed resulted in a significant reduction in cases of nut obstruction, confirmed through an internal indicator. The results achieved clearly demonstrate the effectiveness of the interventions in addressing the fundamental causes of the problem, resulting in less rework and a substantial increase in the company's profitability. This study reflects the ongoing commitment to improving welding processes in automobile manufacturing, providing enhanced efficiency and quality.

Keywords: continuous improvement, projection welding, quality, Ishikawa diagram, welding process.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de soldagem por arco elétrico	16
Figura 2: Esquema de soldagem a gás	17
Figura 3: Representação de solda à laser	17
Figura 4: Representação de solda por resistência	18
Figura 5: Modelo de ferramenta 5W1H	21
Figura 6: Modelo PDCA	22
Figura 7: Modelo do diagrama de Ishikawa	23
Figura 8: Modelo 5 Why's	23
Figura 9: Etapas da pesquisa	24
Figura 10: Ranking de anomalias do produto Matriz QA	26
Figura 11: Pontos de fixação das porcas	27
Figura 12: Operação de montagem dos componentes	27
Figura 13: Respingo de solda na borda da porca	28
Figura 14: Operação provisória de passar macho nas porcas	28
Figura 15: Relatório geométrico da peça	30
Figura 16: Pontos de medição do revestimento de zinco	31
Figura 17: Condição do eletrodo superior	32
Figura 18: Condição do eletrodo inferior	32
Figura 19: Altura do ressalto no pino centralizador	33
Figura 20: Indicador de vazão da água	33
Figura 21: Diagrama de Ishikawa	34
Figura 22: Painel de alarme para troca de eletrodo do robô	35
Figura 23: Novo pino centralizador	36
Figura 24: Croqui para construção do gabarito de altura do pino	37
Figura 25: Gabarito “passa ou não passa” de altura do pino centralizador	37
Figura 26: Acabamento da rosca soldada após intervenções	38
Figura 27: Gráfico do número de porcas obstruídas por dia	39
Figura 28: Padronização da verificação de altura do pino	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: 5W1H	29
Tabela 2: Resultados de medição de composição química do eletrodo	30
Tabela 3: Aplicação dos 5 porquês no problema dos eletrodos desgastados	35
Tabela 4: Aplicação dos 5 porquês no problema do pino de centralização	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

mm – milímetro

PN – Part Number

μm – Micrómetro

Ni – Níquel

Si – Silício

Cr – Cromo

Cu – Cobre

UFPE – Universidade Federal de Pernambuco

Dr. – Doutor (a)

QA - Quality Assurance

MAC - Máquina de medição por coordenadas

ONU – Organização das Nações Unidas

ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

" A melhoria contínua é o combustível que impulsiona o progresso. É a disposição constante de avaliar, aprender e fazer melhor a cada dia. Aqueles que abraçam esse princípio entenderão que não há limites para o que podemos alcançar, desde que estejamos dispostos a evoluir e nos esforçar para alcançar um resultado melhor do que o anterior."

Henry Ford.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. OBJETIVOS	12
1.2. JUSTIFICATIVAS.....	13
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1. MÉTODOS DE UNIÃO DE METAIS.....	15
2.1.1. Soldagem	16
2.2. RESPINGOS DE SOLDA.....	19
2.3. MÉTODO DE RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS	20
2.3.1. 5W1H	20
2.3.2. PDCA	21
2.3.3. Diagrama de Ishikawa.....	22
2.3.4. 5 Why's.....	23
3. METODOLOGIA.....	24
3.1. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	24
3.2. ETAPAS DA PESQUISA	24
3.3. ESTUDO DE CASO	25
4. RESULTADOS E ANÁLISES	26
4.1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	26
4.1. ANÁLISE DA CAUSA	29
4.2. CONTRAMEDIDAS	34
4.3. IMPLEMENTANDO MELHORIAS	38
4.3. PADRONIZAÇÃO.....	39
4.4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	40
5. CONCLUSÃO.....	41
5.1. CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO	42
REFERÊNCIAS.....	45

1. INTRODUÇÃO

Na fabricação de automotivos existem componentes e subconjuntos que são unidos através de uma grande variedade de técnicas de solda, um dos métodos mais utilizados atualmente é a solda por resistência, mais especificamente, a solda por projeção (Bosh, 2005). A soldagem por projeção é uma variante do processo de solda por resistência que emprega uma projeção para focalizar o fluxo de corrente no ponto preciso de junção desejada (Barbosa, 2023). Esse é um mecanismo em que o fluxo da corrente se concentra na região de contato e, com isso, pode ser utilizada com correntes e forças mais baixas, além de tempos mais curtos. A solda por projeção é muito utilizada em linhas de produção em larga escala devido à sua elevada velocidade no seguimento de produção (Marimax, 2004).

Com o decorrer da utilização desse mecanismo na fabricação automotiva foi constatado que tal procedimento pode liberar respingos nas peças, o qual interfere na montagem dos componentes, sendo necessário, assim, um retrabalho na região, com a abertura manual da rosca através de um macho manuseado pelo operador, aumentando o tempo de produção e diminuindo a produtividade do processo. Com isso, surgiu a necessidade de buscar um meio que pudesse elevar o nível de eficiência e agregar produtividade, identificando e eliminando a origem da formação de respingos no processo e obtendo um acabamento superior da rosca na soldagem (Oliveira, 2018).

Com o crescimento do mercado globalizado e a internacionalização da economia, as indústrias de autopeças almejam a melhoria das suas etapas de fabricação, reduzindo custos e, conseqüentemente, aumentando da sua lucratividade (Forbes, 2018). Portanto, a minimização ou resolução da liberação dos respingos, pode proporcionar maior produtividade das indústrias automotivas.

1.1. OBJETIVOS

O presente trabalho teve por objetivo geral melhorar o processo de soldagem das porcas dos túneis de veículos.

Para tanto foram estabelecidos como objetivos específicos:

- a) Identificar a origem dos respingos de solda presentes nas porcas soldadas no túnel do veículo;
- b) Avaliar melhorias no processo, que resultem na eliminação dos respingos de solda no processo;
- c) Implementar uma solução prática que evite a formação de respingos de solda no processo;
- d) Melhorar o acabamento das porcas localizadas no túnel do veículo na operação de soldagem.
- e) Padronizar as mudanças no processo interno.

1.2. JUSTIFICATIVAS

A elaboração do trabalho decorreu principalmente da necessidade em aumentar a eficácia da produção, em resposta à intensa rivalidade presente no cenário mercadológico. Em 25 de setembro de 2015 os Estados-Membros da ONU adotaram um plano de ação global com o objetivo de erradicar a pobreza, preservar o meio ambiente e fomentar a prosperidade para todas as nações até o ano de 2030. Esse plano é fundamentado em 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que estão intrinsecamente ligados e indivisíveis entre si. Na ODS 8 da Agenda 2030, a produtividade desempenha um papel fundamental na busca por um crescimento econômico sustentável e inclusivo. Isso envolve aprimorar a eficiência da produção, estimular a inovação tecnológica, diversificar as indústrias e promover práticas industriais responsáveis. Aumentar a produtividade contribui para a criação de empregos de melhor qualidade, aumento de renda e redução das desigualdades, proporcionando um desenvolvimento mais equitativo e sustentável.

Para a empresa, objeto de estudo, o trabalho agrega à eficiência no processo, apresentando impacto econômico e social, com aumento na lucratividade e melhores condições de ambiente de trabalho. Dentro do contexto acadêmico o projeto tem como base na aplicação dos princípios da Engenharia da Qualidade, que foram estudados ao longo do curso. A abordagem contempla diversas técnicas e recursos destinados a aprimorar tanto a qualidade quanto a produtividade dentro das organizações. Por meio do estudo de caso, foi possível assimilar e empregar as estratégias mais eficazes e os projetos de aprimoramento da qualidade nos procedimentos de produção da empresa.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é composto por 5 seções distintas, além desta introdução inicial. Os capítulos subsequentes englobam a base teórica do estudo, o estudo de caso em si, a apresentação dos resultados, a análise das descobertas obtidas e as conclusões.

No primeiro capítulo, são exploradas as motivações que guiaram o desenvolvimento deste projeto, os alvos a serem alcançados, a justificativa por trás da iniciativa e a estrutura adotada.

No capítulo subsequente, uma explanação teórica sobre o processo de união de metais é fornecida, dando ênfase ao processo de soldagem e suas variações, além de trazer uma abordagem sobre a formação e os impactos do respingo de solda. Também explana as ferramentas de qualidade como PDCA, 5 porquês, diagrama de Ishikawa e 5W1H são exploradas, incluindo suas definições e aplicabilidades para o auxílio na implementação.

O terceiro capítulo traz o estudo de caso, detalhando o cenário atual da empresa e suas questões, ao mesmo tempo que esclarece a metodologia empregada para conquistar os resultados desejados.

No quarto capítulo, os resultados obtidos e suas implicações são apresentados e discutidos, evidenciando a eficácia de cada etapa da metodologia.

Finalmente, no quinto e último capítulo, as conclusões e considerações finais são expostas, abordando o trabalho realizado, os resultados atingidos e a importância para o campo de atuação.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção, realizou-se uma pesquisa bibliográfica visando esclarecer a origem dos respingos de solda na produção automotiva, para que com base na origem possa se avaliar melhorias no processo e implementar uma solução prática que elimine a formação de respingos de solda, otimizando o acabamento superficial da rosca interna das porcas após o processo de soldagem.

2.1. MÉTODOS DE UNIÃO DE METAIS

A união de metais é uma técnica essencial na indústria e em várias aplicações práticas. Ela permite unir peças metálicas para formar estruturas mais complexas, proporcionando benefícios como aumento da resistência mecânica, maior eficiência estrutural e melhor desempenho geral (AWS, 2018). Existem vários métodos de união de metais, cada um com suas vantagens e aplicações específicas. Dentre eles, podem-se destacar os seguintes métodos:

- ✓ Soldagem: A soldagem é um processo de união amplamente utilizado que envolve a fusão dos metais de base para criar uma junta sólida. Existem diferentes técnicas de soldagem, como soldagem por arco elétrico, soldagem a gás, soldagem por resistência, soldagem por laser, entre outras (Kou, 2003).
- ✓ Brasagem: A brasagem é um processo de união que utiliza um metal de adição com ponto de fusão inferior ao dos metais de base (AWS, 2018). O metal de adição derrete e preenche a folga entre as peças a serem unidas, formando uma junta forte (AWS, 2007).
- ✓ Adesão: A adesão é o processo de união de metais usando adesivos ou colas especiais. Os adesivos são aplicados nas superfícies a serem unidas e, em seguida, curados para formar uma ligação forte (Harper, 1973).
- ✓ Rebitagem: A rebitagem envolve o uso de rebites, que são pinos metálicos com cabeças em uma extremidade. Os rebites são inseridos em furos pré-perfurados nas peças a serem unidas e depois são deformados para fixá-las juntas (Dawson, 2012).
- ✓ Laminação: A laminação é um processo de união de metais que envolve a aplicação de pressão para comprimir e unir camadas de metais. Isso é comumente usado na produção de chapas metálicas laminadas (Bralla, 2002).

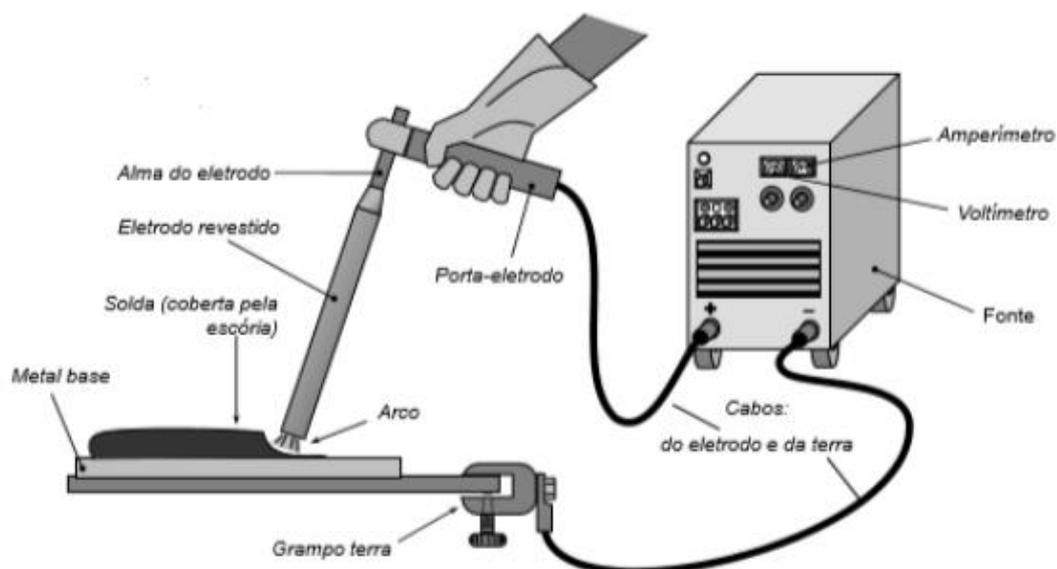
Além destas, existem outras abordagens, como clinchagem, soldagem por fricção, soldagem por ultrassom, entre outras. A escolha do método de união depende dos materiais envolvidos, da aplicação desejada e das condições de serviço. O presente estudo irá abordar discussões acerca do processo de soldagem.

2.1.1. Soldagem

O processo de soldagem é amplamente utilizado na indústria para unir metais através da fusão e solidificação dos materiais de base (AWS, 2018). Na Indústria automotiva a união de metais é amplamente utilizada na fabricação de veículos. Os diferentes componentes, como carrocerias, chassis, suspensões e sistemas de exaustão, são unidos por meio de soldagem, brasagem e outros métodos, garantindo a integridade e a durabilidade dos automóveis. Existem várias técnicas de soldagem, cada uma com suas características e aplicações específicas. Aqui estão algumas informações gerais sobre o processo de soldagem:

- ✓ Soldagem por arco elétrico: É um dos métodos de soldagem mais comuns e versáteis. Envolve o uso de um arco elétrico entre um eletrodo revestido e o metal de base. O calor gerado pelo arco elétrico funde o eletrodo e a peça, formando a junta soldada (Bohnart, 2017).

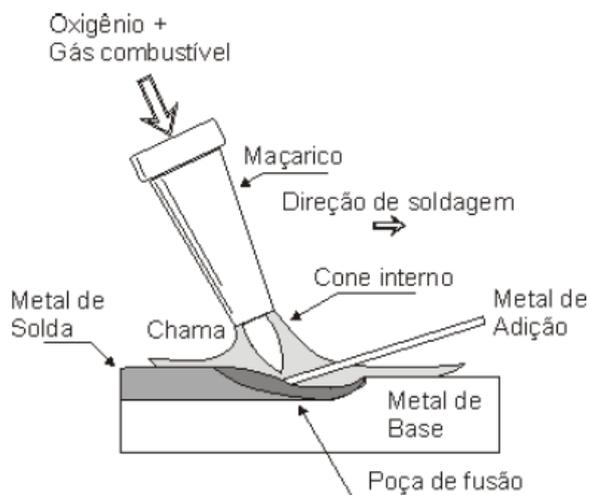
Figura 1: Esquema de soldagem por arco elétrico



Fonte: Carbografite (2022).

- ✓ Soldagem a gás: Nesse método, o calor é gerado pela combustão de gases combustíveis, como acetileno e oxigênio, para fundir as peças a serem unidas. A soldagem a gás é amplamente usada em aplicações como tubulações e reparos de campo (Minnick, 2006).

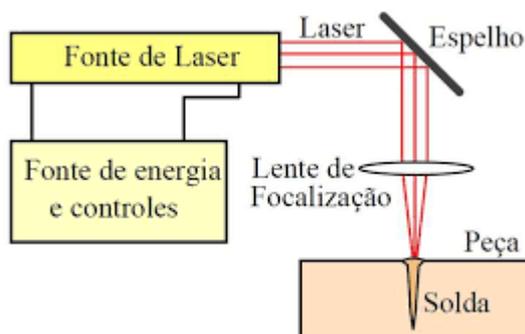
Figura 2. Esquema de soldagem a gás



Fonte: Carbografite (2022).

- ✓ Soldagem por laser: Nesse processo, um feixe de laser de alta intensidade é direcionado para a região de junção, aquecendo e fundindo as peças. A soldagem por laser é precisa e pode ser usada em materiais de alta resistência (Franke, 2010).

Figura 3: Representação de solda à laser

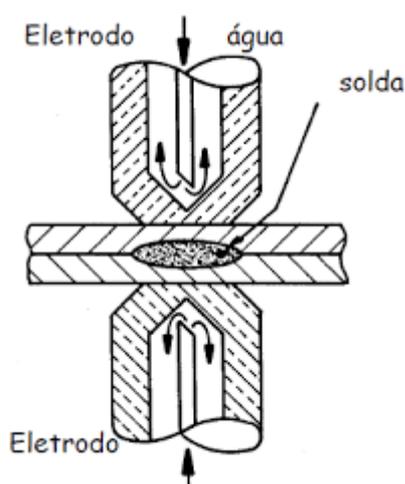


Fonte: InfoSoldagem (2022).

- ✓ Soldagem por resistência: Esse método envolve a passagem de corrente elétrica através das peças a serem unidas, gerando calor por resistência

(Bohnart, 2017). O calor resultante funde as superfícies das peças, que são então pressionadas juntas para formar a junta soldada. A soldagem por resistência é uma modalidade de soldagem por pressão que não utiliza material de adição suplementar. Nela, as peças soldadas são pressionadas uma contra a outra, por meio de eletrodos não consumíveis, submetendo a correntes elevadas, que geram uma quantidade de calor, seguindo o princípio da Lei de Joule, proporcional ao tempo, resistência elétrica e intensidade de corrente, suficiente para atingir o ponto de fusão na região de contato entre as peças a serem soldadas (Bracaense, 2000).

Figura 4: Representação de solda por resistência



Fonte: CORRÊA (2022).

O presente estudo irá abordar o método de soldagem por projeção, que é uma variante do processo de solda por resistência que emprega uma projeção para focalizar o fluxo de corrente no ponto preciso de junção desejada. A solda por projeção é um método de união de metais que envolve a aplicação de corrente elétrica e pressão em pontos específicos das peças a serem unidas. Esses pontos de contato são chamados de projeções, que são geralmente pequenos pinos ou saliências pré-formadas em uma das peças (AWS, 2013). A corrente elétrica é aplicada através das projeções, gerando calor por resistência, enquanto a pressão é aplicada para fundir as projeções e unir as peças.

A solda por projeção é amplamente utilizada na indústria automotiva, eletrodomésticos, fabricação de produtos metálicos e várias outras aplicações onde é necessária uma união resistente e de alta qualidade. Ela oferece benefícios como alta

produtividade, uniformidade da junta e redução de distorções térmicas. Além disso, a solda por projeção é adequada para a união de metais dissimilares e pode ser automatizada em processos de fabricação em larga escala (Bohnart, 2017).

A solda por projeção é um processo em que os eletrodos com área superficial grande são utilizados para a condução da corrente de solda e força do eletrodo para a peça. As projeções, que são geralmente incorporadas nas peças com espessura maior, fazem com que a corrente se concentre nas superfícies de contato. A força do eletrodo comprime as projeções parcial ou totalmente durante o processo de solda. Com isso, é criada uma união permanente e inseparável nos pontos de contato, ao longo da costura da solda. Podem ser soldadas uma ou mais projeções simultaneamente, dependendo do tipo de projeção e da potência disponível na unidade de solda (Bosh, 2005). A solda projeção é um tipo de solda por resistência, em que o fluxo da corrente se concentra na região de contato e com isso pode ser utilizada com correntes e forças mais baixas, além de tempos mais curtos. Devido à sua elevada velocidade de processo, essa variação de solda resistência é muito utilizada em linhas de produção em larga escala (Marimax, 2004).

2.2. RESPINGOS DE SOLDADA

Respingos ou expulsões em soldagem por resistência, é a difusão do metal fundido durante o processo de soldagem (Vicente, 2018). A perda de material, devido as expulsões, podem gerar discontinuidades e vazios internos na região de solda, reduzindo a sua resistência, esses respingos também podem se depositar na superfície da peça, são prejudiciais no desempenho e estética da solda, e devem ser eliminados do processo. (AWS, 2017).

O respingo ocorre quando pequenas partículas de solda, aderem à superfície ao redor, sua formação é dada pela interação entre as forças do núcleo fundido e a sua contenção sólida circundante. Assim essas expulsões ocorrem quando a força do núcleo fundido sobre a sua contenção na forma sólida é igual ou superior à força efetiva aplicada pelo eletrodo (Vicente, 2018).

A presença de respingos de solda, pode impactar diretamente na segurança e limpeza dos equipamentos e ambiente de trabalho, pode comprometer a vida útil dos

equipamentos e aumentar os custos com materiais consumíveis, além de comprometer a qualidade do produto e produtividade do processo (Almeida, 2022).

2.3. MÉTODO DE RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS

Surgindo como uma abordagem estruturada, o "problem solving" envolve a identificação, análise das causas e implementação de soluções, visando melhorias contínuas e aprimoramento dos processos organizacionais, com o intuito de alcançar resultados mais eficazes e satisfatórios (Martin, 2007). O processo de resolução de problemas é composto por uma série de etapas estruturadas que incluem a identificação clara do problema utilizando a ferramenta 5W1H (What, Why, Who, When, Where, How), análise das causas raiz, desenvolvimento de soluções alternativas, seleção da melhor solução, implementação, monitoramento dos resultados e ajustes contínuos. Além disso, envolve a utilização de diversas outras ferramentas de qualidade, como o método dos "5 Porquês", o ciclo PDCA (Plan, Do, Check, Act), o Diagrama de Ishikawa, entre outros, para facilitar a compreensão do problema, a busca por soluções eficazes e a melhoria contínua dos processos organizacionais (Stewart, 1991).

2.3.1. 5W1H

A ferramenta 5W1H é uma abordagem eficaz para coletar informações abrangentes em qualquer situação. Envolve responder às questões-chave: "What" (O quê), "Why" (Por quê), "Who" (Quem), "When" (Quando), "Where" (Onde) e "How" (Como). Essas perguntas oferecem uma visão detalhada, abrangendo desde a essência do problema até os envolvidos, o momento, o local e os procedimentos. A ferramenta 5W1H é valiosa para auxiliar em decisões e considerar todos os aspectos relevantes de maneira abrangente (Causey, 2009).

Essa abordagem é especialmente útil em resolução de problemas, planejamento de projetos, estratégias e comunicação clara. Ao responder às questões-chave, a ferramenta 5W1H ajuda a evitar lacunas de informação e garante que todos os detalhes cruciais sejam considerados, contribuindo para uma compreensão aprofundada e tomada de medidas eficazes (Foster, 2003).

Figura 5: Modelo de ferramenta 5W1H

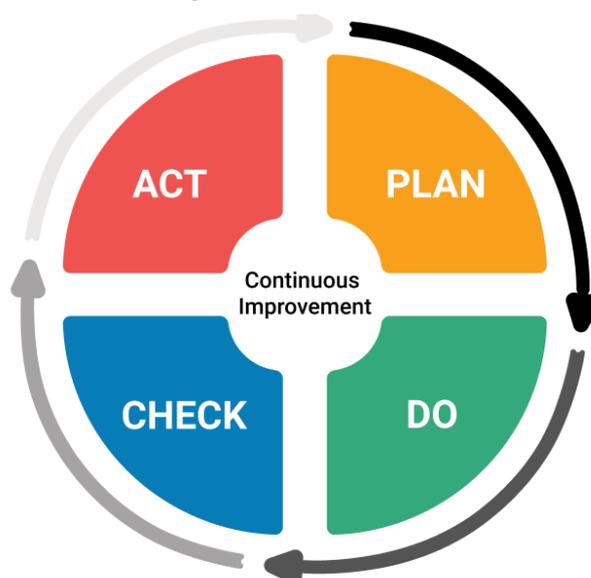


Fonte: Lima (2022).

2.3.2. PDCA

O Ciclo PDCA, que significa Plan (Planejar), Do (Executar), Check (Verificar) e Act (Agir), é uma metodologia amplamente empregada para alcançar a melhoria contínua em diversos processos. Composto por quatro etapas interligadas, o PDCA envolve a definição de metas e abordagens no planejamento, a implementação das ações, o monitoramento dos resultados em relação aos objetivos e, finalmente, ajustes baseados nas análises realizadas. Essa abordagem cíclica e sistemática permite adaptações constantes e refinamentos, resultando em melhorias graduais e sustentáveis (Deming, 1986). O PDCA desempenha um papel fundamental na conquista da eficácia operacional, resolução de problemas, otimização do desempenho e estímulo à inovação. Ele oferece uma estrutura organizada para avaliar, planejar, implementar e controlar medidas de aprimoramento, estabelecendo um ciclo contínuo de aprendizado e progresso. Quando aplicado de maneira consistente o Ciclo PDCA (Figura 6), capacita as organizações a atingirem seus objetivos de maneira mais eficiente e eficaz, fomentando uma cultura de evolução contínua (Juran, 1989).

Figura 6: Modelo PDCA



Fonte: Engine Br (2023).

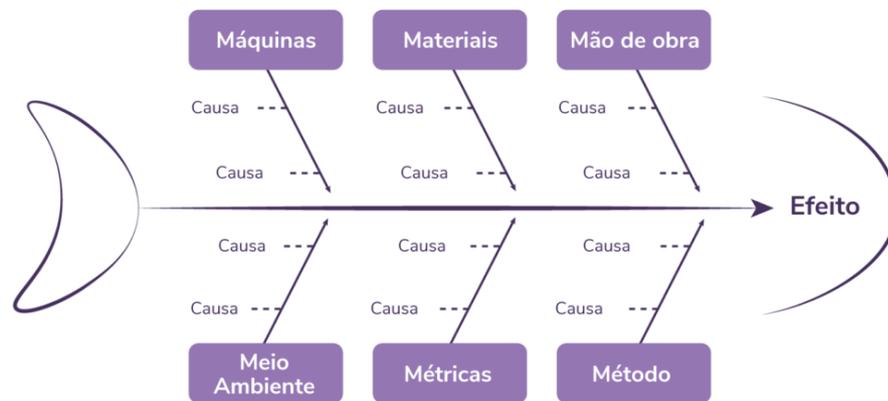
2.3.3. Diagrama de Ishikawa

O Diagrama de Ishikawa, popularmente conhecido como Diagrama de Causa e Efeito ou Diagrama de Espinha de Peixe, surgiu através das contribuições do engenheiro japonês Kaoru Ishikawa na década de 1960. Essa ferramenta de gestão da qualidade é amplamente empregada para analisar e visualizar as origens de problemas específicos ou efeitos indesejados em processos, produtos ou serviços. O diagrama representa visualmente as relações de causa e efeito, possibilitando que equipes identifiquem múltiplas fontes de variação e ajam de forma estruturada para resolvê-las (Ishikawa, 1968).

O Diagrama de Ishikawa é uma representação visual com formato semelhante a uma espinha de peixe, com uma linha horizontal que representa a 'espinha' e linhas perpendiculares conectadas a ela que simbolizam as 'costelas'. Cada costela corresponde a uma categoria de possíveis causas que podem contribuir para o efeito indesejado (Ishikawa, 1985). As categorias mais comuns são frequentemente conhecidas como 6M (Mão de obra, Método, Material, Máquina, Meio Ambiente e Medição), mas elas podem variar dependendo do contexto.

A construção do Diagrama de Ishikawa (Figura 7), envolve um processo de brainstorming colaborativo, onde a equipe identifica as possíveis causas relacionadas ao problema. O objetivo é listar todas as causas possíveis, mesmo aquelas que possam parecer insignificantes em um primeiro momento (Ishikawa, 1985).

Figura 7: Modelo do diagrama de Ishikawa

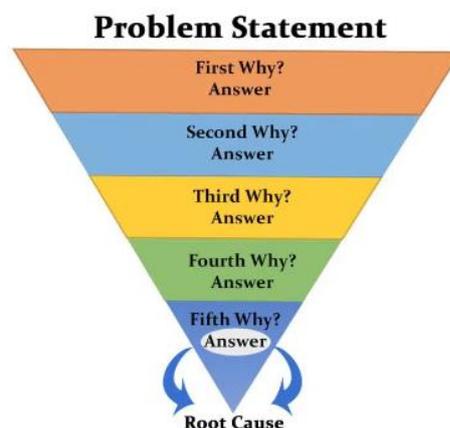


Fonte: Keeps (2022).

2.3.4. 5 Why's

A ferramenta "5 Why's", ou "5 Porquês", é um método analítico que busca identificar as causas raiz de um problema, investigando repetidamente o motivo por trás dele. Através de uma série de questionamentos sucessivos, o "por quê" é indagado cinco vezes ou mais, permitindo uma exploração profunda das relações de causa e efeito. Essa abordagem auxilia na revelação dos fatores subjacentes que originaram o problema, possibilitando que a organização tome medidas corretivas direcionadas e evite a reincidência (Juran, 1989). O método dos "5 Why's", Figura 8, é valioso para compreender os aspectos fundamentais de um problema e evitar soluções superficiais. Ele estimula a análise crítica e a exploração detalhada, fornecendo insights significativos que podem levar a melhorias duradouras e eficazes nos processos e operações organizacionais (Deming, 1986).

Figura 8: Modelo 5 Why's



Fonte: PM Study Circle (2023).

3. METODOLOGIA

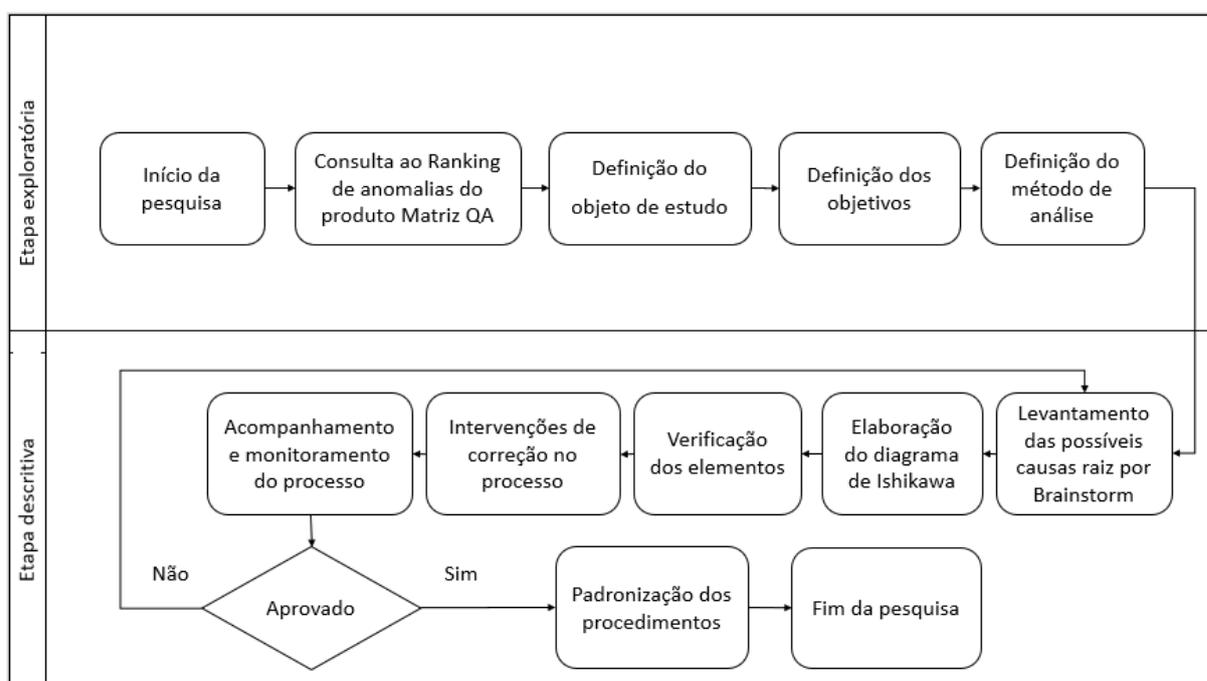
3.1. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

O trabalho em questão tem por finalidade se apresentar como uma pesquisa aplicada, por objetivos uma pesquisa descritiva, com abordagem qualitativa e quantitativa, utilizando o método hipotético-dedutivo, realizando procedimentos de estudo de casos. O presente estudo adotou uma abordagem qualitativa visando proporcionar uma compreensão aprofundada de um fenômeno específico em seu contexto real. A seleção do caso considerou critérios de relevância e representatividade, com o objetivo de explorar minuciosamente o fenômeno (Yin, 2014).

3.2. ETAPAS DA PESQUISA

As etapas da pesquisa ocorreram conforme o fluxo apresentado na Figura 9.

Figura 9: Etapas da pesquisa



Fonte: O Autor (2023).

Inicialmente definiu-se o escopo da pesquisa com base no ranking de anomalias do produto Matriz QA, que é um ranking interno com as principais oportunidades de melhoria no processo de acordo com a quantidade de ocorrências da anomalia.

Então, a partir desse objeto de estudo, foram definidos os objetivos e as ferramentas utilizadas para análise da causa. Com a definição do método de problem solving, através de Brainstorm foram levantadas as causas para elaboração do diagrama de causa e efeito, realizando a verificação da condição de cada elemento, para determinar e realizar as intervenções a serem realizadas no processo.

Após a realização das intervenções necessárias, realizou-se um acompanhamento na linha para monitorar os resultados, para, então, validar o estudo, padronizando os procedimentos.

3.3. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi conduzido na oficina de Funilaria de uma indústria 4.0 no segmento automotivo, que é amplamente reconhecida como a linha de produção mais avançada e eficiente do mundo, com um forte compromisso com a inovação e eficiência operacional. A área de Funilaria abriga a maior parte dos sistemas robóticos da fábrica, incluindo uma parcela significativa de linhas automatizadas. Isso demanda um acompanhamento contínuo do processo e a elaboração de projetos voltados para a melhoria contínua, com o objetivo de alcançar um padrão de produtividade de excelência.

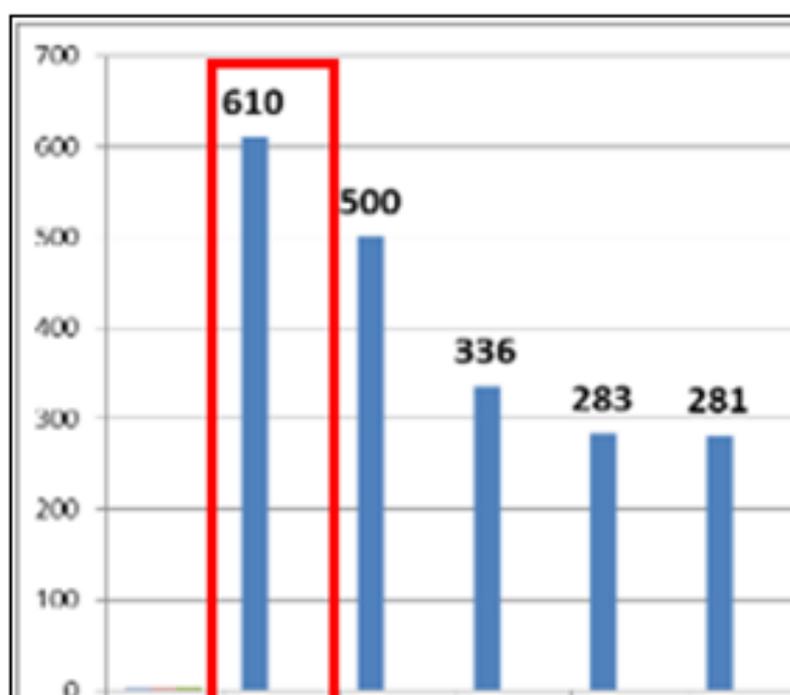
No contexto descrito, foi percebida a necessidade de implementar um projeto de aprimoramento, focando nas causas mais relevantes para o indicador de produtividade, de acordo com as orientações internas. Utilizou-se a abordagem de Resolução de Problemas com o objetivo de identificar e determinar a melhor estratégia de decisão.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

4.1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

De acordo com análise de dados estratificados pelo ranking de anomalias do produto Matriz QA considerando os problemas mais relevantes por número de ocorrências (Figura 10) optou-se pelo estudo da anomalia de obstrução das porcas M6 no túnel dos veículos fabricados, por representar uma parcela significativa com 610 de ocorrências, liderando o ranking., seguido pelo desalinhamento de staffa (500), amassado na porta traseira esquerda (336), deslocamento do vão de porta-malas (283) e amassado negativo na porta traseira esquerda (281). conforme o gráfico ilustra abaixo.

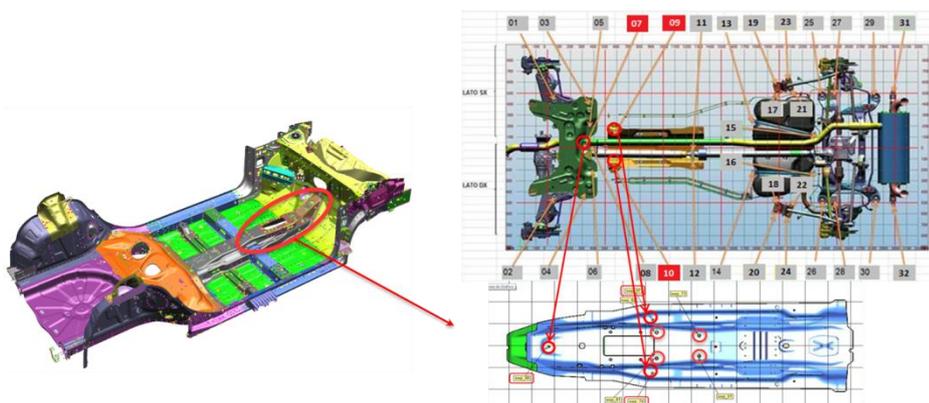
Figura 10: Ranking de anomalias do produto Matriz QA



Fonte: O Autor (2023).

As porcas M6 são soldadas na oficina de funilaria, posicionadas no túnel dos automóveis fabricados na indústria, conforme a Figura 11. A peça segue para a oficina de montagem, onde passa por uma operação automática de fixação dos demais componentes (Figura 12).

Figura 11: Pontos de fixação das porcas



Fonte: O Autor (2023).

Figura 12: Operação de montagem dos componentes



Fonte: O Autor (2023).

Porém, a operação apresentava falhas, devido a casos de obstrução da rosca das porcas de fixação, que se dá pelo depósito de partículas oriundas do processo de soldagem (Figura 13), impactando na montabilidade da peça. Para corrigir os impactos da anomalia na montagem da peça é necessário posicionar uma mão de obra para retrabalho manual de passar o macho realizando a limpeza das porcas, afetando a produtividade do processo (Figura 14).

Figura 13: Respingo de solda na borda da porca



Fonte: O Autor (2023).

Figura 14: Operação provisória de passar macho nas porcas



Fonte: O Autor (2023)

A estratégia definida para este estudo foi aplicar a ferramenta 5W1H, visto que ela permite uma melhor compreensão do fenômeno que ocasionou o problema (Tabela 1).

Tabela 1: 5W1H

Método	Descrição
WHAT (O que?)	Porcas M6 obstruídas na Oficina de Montagem
WHY? (Por quê?)	Esse fenômeno é observado continuamente.
WHERE? (Onde?)	O fenômeno é observado na operação 135 da oficina de montagem e na linha de revisão na oficina de carrocerias.
WHO? (Quem?)	A condição está afetando o responsável pela linha e os colaboradores da montagem.
WHEN? (Quando?)	Esse fenômeno é observado de maneira aleatória.
HOW? (Como?)	O fenômeno ocorre devido ao respingo gerado pela soldagem da porca, que penetra na rosca.
RESUMO DO FENÔMENO	As porcas M6 costumavam frequentemente se soltar durante a execução da operação 135 na Oficina de Montagem. Esse fenômeno ocorre de maneira imprevisível, causando impacto negativo nos colaboradores da montagem. A origem desse problema está relacionada ao respingo gerado durante o processo de soldagem da porca M6, que acaba penetrando na rosca.

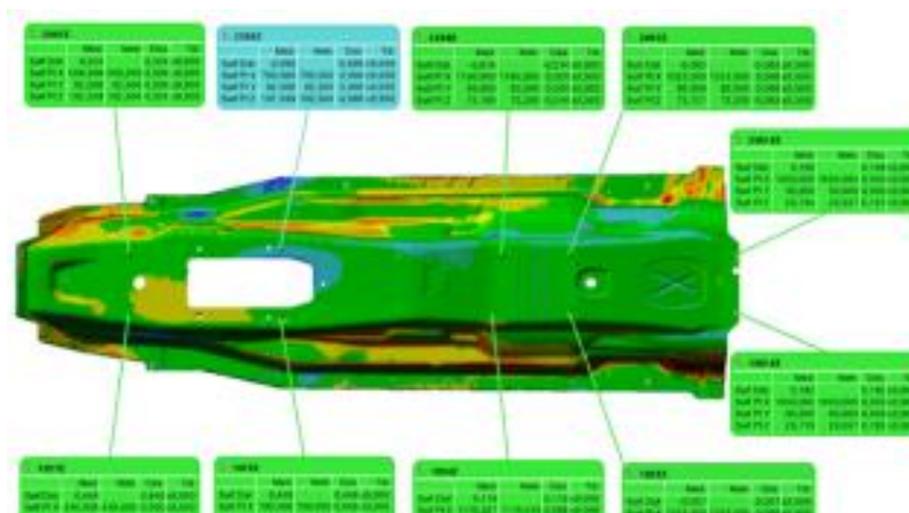
Fonte: O Autor (2023)

4.1. ANÁLISE DA CAUSA

Com base na descrição do fenômeno através da ferramenta 5W1H, realizou-se um Brainstorm para definir causas em potencial para a anomalia. Como o processo de soldagem é totalmente automatizado e executado por robôs, não foram consideradas influências por mão de obra e método. Para o material, foram consideradas as seguintes causas:

- ✓ Geometria da peça: A variação na geometria de uma peça pode ter um impacto significativo na geração de respingos de solda (LIMA, 2015). Na oficina de funilaria, através do MAC, foi elaborado um relatório geométrico (Figura 15) com as medições na peça, apresentando conformidade com o projeto.

Figura 15: Relatório geométrico da peça



Fonte: O Autor (2023).

- ✓ Composição do eletrodo: Os eletrodos utilizados na soldagem à projeção são geralmente feitos de materiais condutores, como cobre ou ligas de cobre. A escolha do material e a composição do eletrodo podem afetar diversos aspectos do processo de soldagem, incluindo a geração de respingos (Totten, 2015). De acordo com a especificação do fabricante a composição do eletrodo deve conter um percentual máximo de 2,5% de níquel, 0,7% de silício e 0,4% de cromo. Foram solicitadas análises em laboratório da composição química do material, em 4 medições o eletrodo se apresentou em conformidade quando comparados à especificação de projeto, conforme os dados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados de medição de composição química do eletrodo

Composição química – Eletrodo M6 KGR					
Elemento	Ni	Si	Cr	Cu	Outros
Medição 1	1,7600	0,0059	0,0462	97,740	0,448
Medição 2	1,7900	0,0063	0,0461	97,710	0,448
Medição 3	1,7800	0,0059	0,0461	97,720	0,448
Medição 4	1,7900	0,0047	0,0460	97,720	0,449
Média	1,780	0,006	0,046	97,720	0,448

Fonte: O Autor (2023).

- ✓ Revestimento de zinco da chapa: O revestimento de zinco é frequentemente utilizado para proteger o metal-base da corrosão, mas durante o processo de soldagem, pode interagir de maneira complexa com o calor e a corrente elétrica, influenciando os respingos de solda (Fernandes, 2016). Por meio de laboratório o revestimento de zinco foi medido em 3 pontos conforme indicado (Figura 16) e a média calculada foi de 7,8 μm , assim, se apresentando dentro da faixa estabelecida no projeto: 7,5 μm ~ 11,5 μm

Figura 16: Pontos de medição do revestimento de zinco.



Fonte: O Autor (2023).

Como máquina foram apontadas as seguintes causas:

- ✓ Desgaste dos eletrodos: Os eletrodos desempenham um papel crucial na soldagem, sua vida útil tem um impacto direto na qualidade da junta soldada, bem como na possibilidade de ocorrência de respingos (Hayden, 2017). Através de inspeção visual foi constatado um desgaste nos eletrodos superiores (Figura 17) e inferiores (Figura 18) dos robôs KGR1 e KGR2, os quais já haviam ultrapassado sua vida útil de 3000 carros.

Figura 17: Condição do eletrodo superior



Fonte: O Autor (2023).

Figura 18: Condição do eletrodo inferior



Fonte: O Autor (2023).

- ✓ Pino de centralização das porcas: A centralização da porca é essencial na soldagem por projeção. Ela garante distribuição uniforme de calor, corrente elétrica equilibrada e estabilidade do arco, evitando pontos quentes e flutuações. O contato efetivo entre a projeção e a peça de base também é assegurado, reduzindo a formação de respingos durante a soldagem (AWS, 2018). Em inspeção realizada no local verificou-se que a porca não estava acoplado corretamente no eletrodo, pois na base do pino centralizador existe

um ressalto com altura de 23,5mm, Figura 19, impossibilitando o devido acoplamento da porca.

Figura 19: Altura do ressalto no pino centralizador



Fonte: O Autor (2023)

- ✓ Sistema de resfriamento do eletrodo: Um resfriamento deficiente pode resultar em arco elétrico instável, distribuição irregular de calor e deposição desigual de material na junta. Além disso, o resfriamento inadequado pode levar a vaporização excessiva do eletrodo e aumento da temperatura na zona fundida, contribuindo para a ocorrência de respingos indesejados (Lancaster, 2016). Para chapas com revestimento, o sistema de resfriamento de eletrodos no processo de soldagem deve apresentar uma vazão de água mínima de 6 L/min (Barbosa, 2022). No medidor de vazão da água observou-se um valor em torno de 16l/min, ou seja, dentro de sua faixa de trabalho, Figura 20.

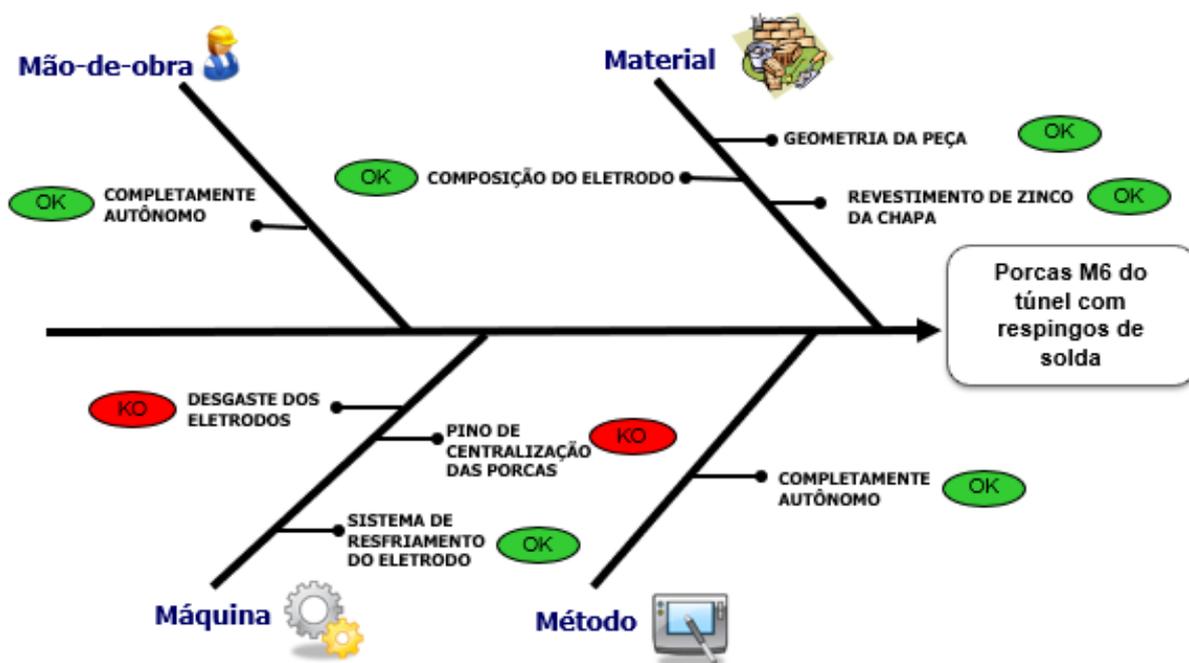
Figura 20: Indicador de vazão da água



Fonte: O Autor (2023).

Com a definição desses elementos foi elaborado um diagrama de Ishikawa para melhor entendimento de causa e efeito do fenômeno, Figura 21, onde os parâmetros em conformidade foram sinalizados com OK e tonalidade verde, e os parâmetros fora de conformidade do processo com KO e tonalidade vermelha.

Figura 21: Diagrama de Ishikawa



Fonte: O Autor (2023).

4.2. CONTRAMEDIDAS

Conforme evidenciado no diagrama de Ishikawa, Figura 6, existem 2 oportunidades de melhoria. Então, foram realizadas intervenções no processo para identificar e corrigir a origem do desgaste dos eletrodos e o acoplamento irregular da porca no pino de centralização.

Tabela 3: Aplicação dos 5 porquês no problema dos eletrodos desgastados.

Método	Descrição
Causa inicial	Eletrodo desgastado
1º Por que	Eletrodo superior e inferior da KGR1 e KGR2 estão desgastados.
2º Por que	Eletrodo já havia ultrapassado sua vida útil.
3º Por que	Eletrodo chega no seu limite de solda com média de 3000 carros soldados.
4º Por que	Eletrodo já tinha soldado mais de 3000 carros e não tinha sido trocado.
5º Por que	Não existia na linha um alarme que alertava a troca de eletrodo.

Fonte: O Autor (2023).

O eletrodo se apresentava desgastado, por já ter ultrapassado seu ciclo de vida útil. Portanto, foram posicionados novos eletrodos no robô. Para garantir a troca do eletrodo dentro do seu período de vida útil, criou-se um alarme na KGR, de maneira que a cada ciclo de 3000 carros, a linha para automaticamente para a realização da troca dos eletrodos, Figura 22.

Figura 22: Painel de alarme para troca de eletrodo do robô



Fonte: O Autor (2023).

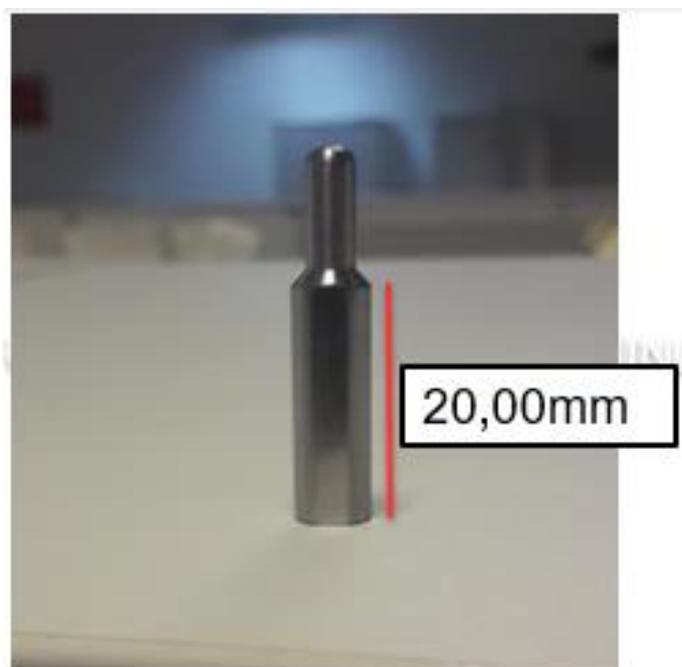
Tabela 4: Aplicação dos 5 porquês no problema do pino de centralização.

Método	Descrição
Causa inicial	Porca não acopla corretamente no eletrodo.
1º Por que	A porca não está centralizada.
2º Por que	Na base do pino existe um diametro maior onde a porca não desce.
3º Por que	O pino também é usado para centralizar o túnel no dispositivo de geometria.
4º Por que	O desenho atual do pino não permite um bom acoplamento da porca no eletrodo.
5º Por que	O 2º diâmetro deve ter altura de 20,00mm para o acoplamento da porca correto no eletrodo.

Fonte: O Autor (2023).

Com a detecção do mal acoplamento da porca no eletrodo devido a geometria do pino centralizador, foi confeccionado um novo pino com altura do 2º diâmetro de 20,00mm, Figura 23, garantindo o posicionamento correto da porca no eletrodo inferior.

Figura 23: Novo pino centralizador

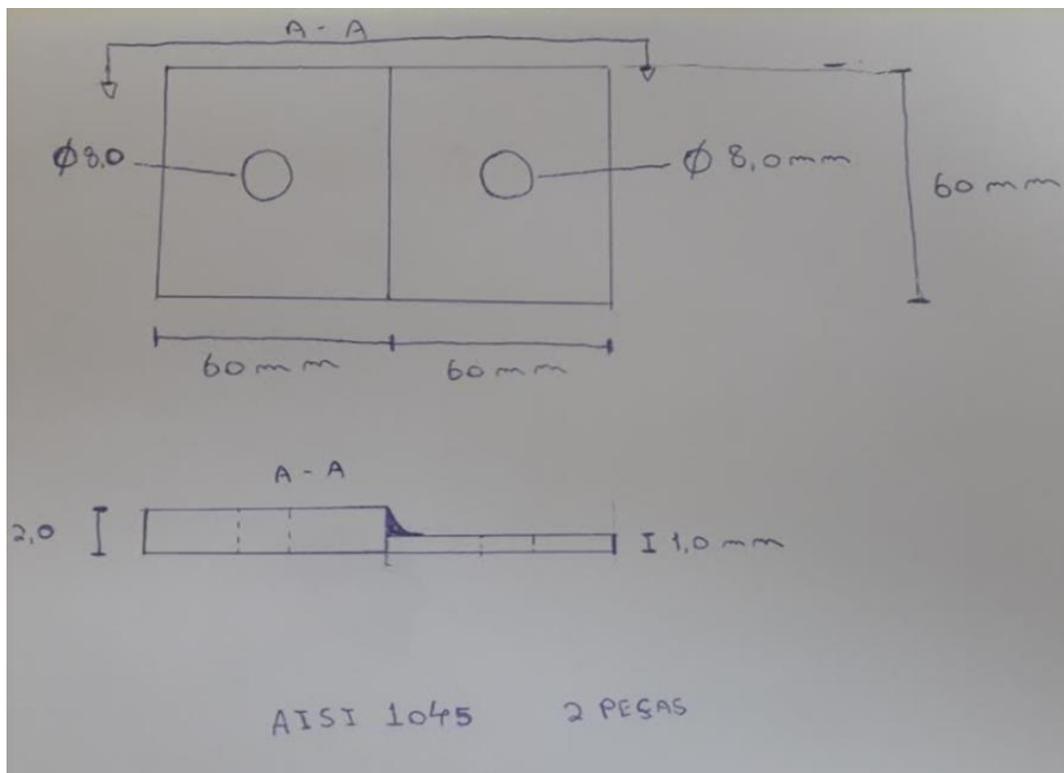


Fonte: O Autor (2023)

Também foi elaborado um novo projeto de desenvolvimento de um gabarito do tipo “passa ou não passa” para verificar a altura do pino (Figura 24) e solicitado à

empresa prestadora de serviços de usinagem a confecção da peça para verificação em linha (Figura 25).

Figura 24: Croqui para construção do gabarito de altura do pino



Fonte: O Autor (2023).

Figura 25: Gabarito “passa ou não passa” de altura do pino centralizador



Fonte: O Autor (2023).

4.3. IMPLEMENTANDO MELHORIAS

Após as ações de correção no processo, as peças foram acompanhadas em linha de produção, passando por uma inspeção visual, onde apresentam uma melhora de 100% para os casos de respingo (Figura 26).

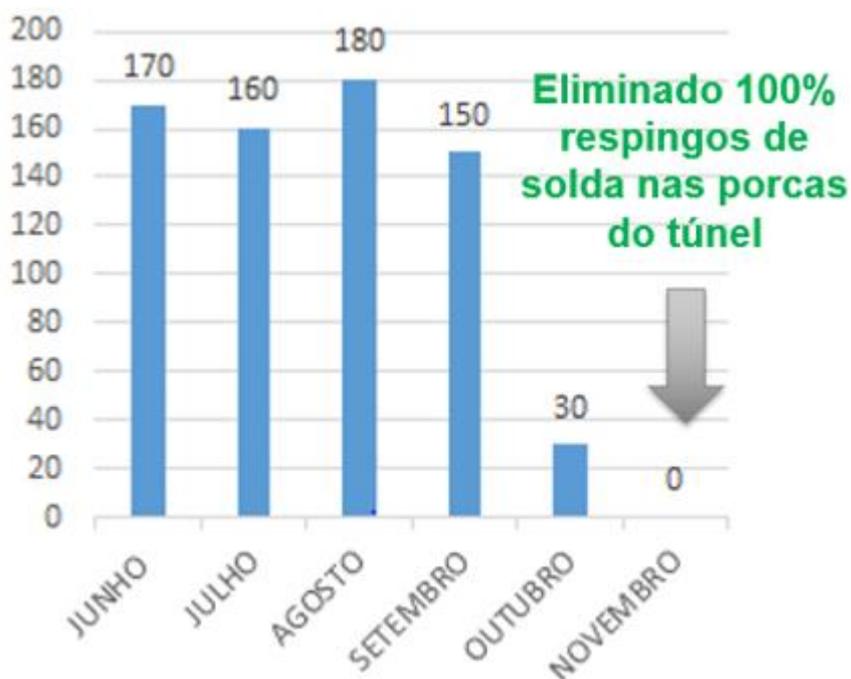
Figura 26: Acabamento da rosca soldada após intervenções



Fonte: O Autor (2023).

Posteriormente, com auxílio do indicador interno para o número de anomalias de obstrução de porca M6, foi possível verificar que no mês após as atividades de intervenção no processo o indicador de ocorrências zerou (Figura 27). Ao todo, as atividades de intervenção, somam um total de 10 horas de manutenção, avaliando os custos envolvidos e a perspectiva de gastos no cenário anterior, estima-se uma redução de 99,7% do valor anual gasto pela empresa para correção da anomalia em estudo. Levou-se em consideração para o cálculo o valor das horas de intervenção, custo de retrabalho e paradas de linha.

Figura 27: Gráfico do número de porcas obstruídas por dia



Fonte: O Autor (2023)

4.3. PADRONIZAÇÃO

Após realizadas as devidas análises, executadas melhorias no processo e validade o resultado através de indicadores, foram elaborados documentos internos para padronização das ações implementadas (Figura 28), treinamento dos condutores para realização da troca dos eletrodos e utilização correta do gabarito para verificação da altura do pino centralizador das porcas, e por fim, inserido no controle de rotina, a inspeção dos respingos de solda nas porcas.

Figura 28: Padronização da verificação de altura do pino

INSPETÃO E LIMPEZA DO SISTEMA SOLDA A PROJEÇÃO		
Nº	Descrição da atividade a ser realizada	Materiais / Ferramentas
28	Verificar alinhamento dos eletrodos: fixo e móvel. Para verificar o alinhamento, deve ser usada a ferramenta especial indicada pela foto. Caso os eletrodos não estejam alinhados, proceder com o procedimento de alinhamento.	
29	Verificar a altura dos pinos dos eletrodos com o gabarito fornecido na primeira imagem.	GABARITO

Frequência: Tempo de Execução: Estado da Máquina: Parada Em funcionamento

Tipologia das Atividades
 Inspeção: Operação: Manutenção:
 Montagem / ajuste: Desmontagem / limpeza: Operação de máquina: Operação de transporte: Operação de armazenamento: Operação de descarte:

Máquina: Grupo: Componente:

EPI:

Fonte: O Autor (2023).

4.4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O presente estudo revelou conquistas notáveis e um impacto positivo abrangente na empresa. A implementação de ferramentas de qualidade permitiu uma análise minuciosa do processo de soldagem, identificando eficazmente pontos de ineficiência e áreas críticas que precisavam de atenção. Os resultados obtidos refletiram em uma melhoria significativa na produtividade da empresa. A identificação e eliminação das causas raiz dos problemas resultaram em uma considerável redução de retrabalho e interrupções na produção. Isso se traduziu na habilidade da empresa em entregar produtos de alta qualidade dentro dos prazos, aumentando a satisfação do cliente e fidelidade. Além disso, a otimização do processo de soldagem teve um impacto direto na lucratividade da empresa. A diminuição de custos de retrabalho, desperdício de materiais e tempo. A alocação mais eficiente dos recursos também levou a um aumento na eficácia geral das operações, impactando os lucros positivamente.

5. CONCLUSÃO

O estudo de caso realizado para a melhoria do processo de soldagem por meio das ferramentas da qualidade revelou-se altamente bem-sucedido e impactante. A análise minuciosa e a implementação das soluções orientadas pelas ferramentas da qualidade não apenas resolveram problemas específicos, mas também geraram melhorias abrangentes na empresa. A ferramenta "Problem Solving" teve um papel essencial no projeto, fornecendo uma estrutura sistemática para identificar e resolver problemas no processo de soldagem. Ao seguir seus passos, conseguiu-se compreender as causas-raiz dos problemas de qualidade e ineficiência na soldagem, resultando em melhorias significativas na produtividade e qualidade.

A produtividade foi substancialmente aprimorada, levando a uma eficiência operacional maior e maior satisfação do cliente. A redução dos custos de retrabalho e desperdício contribuiu diretamente para a lucratividade da empresa, solidificando sua posição no mercado. Este estudo enfatizou a importância das abordagens sistemáticas e metodológicas das ferramentas da qualidade para alcançar resultados tangíveis e duradouros. O sucesso desse projeto destaca a contínua relevância da aplicação dessas ferramentas para aprimorar processos e fomentar um ambiente de melhoria constante dentro da organização.

Em relação à contribuição para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) número 8, que visa promover trabalho decente e crescimento econômico, a pesquisa realizada no projeto é relevante. a redução dos custos de retrabalho e desperdício contribuiu para a eficiência econômica, beneficiando tanto a empresa quanto a economia local. As melhorias alcançadas através da pesquisa estão alinhadas com os princípios e metas da ODS 8.

Em síntese, foi possível determinar a origem dos respingos de solda encontrados nas porcas soldadas no túnel do veículo. Estes resultaram do desgaste excessivo dos eletrodos de solda inferior e superior, os quais ultrapassaram sua vida útil de 3000 ciclos, além do inadequado acoplamento da porca ao pino de centralização.

Com base nas análises realizadas por meio de ferramentas da qualidade, foram identificadas as causas raízes que conduziram a melhorias no processo, resultando na eliminação dos respingos de solda.

A criação de um alarme que sinaliza a troca do eletrodo de solda ao término de sua vida útil, juntamente com a modificação na geometria do pino de centralização da porca, demonstrou-se uma abordagem eficaz na prevenção dos respingos de solda. Essas medidas não apenas contribuíram para a redução dos defeitos no produto final, mas também para a otimização do nosso processo de fabricação.

O objetivo de melhorar o acabamento das porcas localizadas no túnel do veículo, durante o processo de soldagem, foi plenamente alcançado com a implementação das contramedidas adequadas. Como resultado dessas ações, o filete de rosca das porcas agora exibe um acabamento superficial desejável, totalmente isento de respingos de solda.

A elaboração de documentos de padronização dos procedimentos estabeleceu um quadro claro e consistente para a execução das tarefas, garantindo uma abordagem uniforme em toda a organização. Além disso, os treinamentos de qualificação e reciclagem dos procedimentos proporcionaram à nossa equipe o conhecimento e as habilidades necessárias para implementar essas mudanças de maneira eficaz.

5.1. CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO

As melhorias implementadas não apenas otimizaram o processo industrial, mas também tiveram um impacto positivo na qualidade dos produtos, na segurança dos consumidores, na produtividade da empresa e na cultura organizacional. As melhorias advindas do estudo de caso não apenas trouxeram benefícios operacionais, mas também contribuíram de maneira direta para a realização de vários Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

- ✓ **Contribuições Acadêmicas:** O estudo de caso trouxe avanços notáveis no campo científico. Ao mergulhar no processo de soldagem de porcas na indústria automobilística, conseguimos desvendar as raízes dos problemas de retrabalho e ineficiência. Ao aplicar soluções embasadas em dados concretos, conseguimos otimizar o processo, tornando-o mais eficaz. A coleta e análise de dados durante todo o processo não só proporcionaram melhorias, mas também lançaram luz sobre futuras pesquisas na área de soldagem industrial, enriquecendo nosso entendimento nesse domínio.

- ✓ **Contribuições Gerenciais:** No âmbito gerencial, o estudo trouxe ganhos significativos. A redução do retrabalho promoveu uma produção mais fluida e eficaz, resultando em maior produtividade para a empresa. Isso, por sua vez, se traduziu em maior lucratividade, uma vez que menos recursos foram gastos em reparos e retrabalho. Além disso, o estudo deixou claro o valor de uma análise crítica dos processos e a importância de implementar melhorias baseadas em dados reais. Essa abordagem pode ter influenciado a cultura organizacional, encorajando a empresa a adotar uma postura mais proativa na solução de problemas e na busca contínua pela eficiência operacional.
- ✓ **Contribuições Sociais:** No âmbito social, o impacto do estudo foi marcante. Ao aperfeiçoar a soldagem de porcas, conseguimos reduzir de forma notável o retrabalho das peças. Isso não apenas elevou a qualidade dos produtos finais, como também poupou recursos preciosos em termos de materiais e finanças. O resultado final é uma melhoria na segurança dos veículos produzidos, contribuindo diretamente para a segurança dos consumidores.
- ✓ **Contribuições para os ODS:**
 - **ODS 8 - Trabalho Decente e Crescimento Econômico:** A redução do retrabalho e a maior eficiência do processo resultaram em um ambiente de trabalho mais estável e saudável.
 - **ODS 9 - Indústria, Inovação e Infraestrutura:** O estudo de caso reflete diretamente o ODS 9 ao melhorar a infraestrutura industrial por meio da otimização do processo de soldagem.
 - **ODS 12 - Consumo e Produção Sustentáveis:** A diminuição do retrabalho e do desperdício de recursos está em linha com o ODS 12, que busca a promoção do consumo e produção sustentáveis. A otimização do processo contribui para a utilização mais eficiente dos recursos.

5.2. LIMITAÇÕES E FUTUROS TRABALHOS

Outros fatores poderiam ter sido considerados na pesquisa, que promovem impactos em aspectos como o consumo consciente, como por exemplo a otimização do sistema de refrigeração do eletrodo. A medida de redução da vazão de água no sistema, está alinhada com o ODS 6, viabilizando o uso sustentável da água, ao racionalizar recursos hídricos no processo industrial. Além disso, ao diminuir o

consumo de água, contribui indiretamente para o ODS 12, impulsionando a produção mais limpa e o consumo consciente. Um estudo mais detalhado se faz relevante para examinar o impacto ambiental e econômico, demonstrando como a indústria pode avançar rumo a práticas mais alinhadas com a sustentabilidade global.

REFERÊNCIAS

- Almeida, L., Carvalho, A., Silva, L., & Costa, C. (2022). S MIG, MAGANAI AUTOMOTIVA. Revista de Engenharia Mecânica, 24(1), 1-12.
- American Welding Society. (2018). Resistance Welding Handbook. Miami, FL: American Welding Society. ASM Handbook, Welding Braserenig and Soldering, Volume 8, 1993.
- Barbosa, D. M. (2023). Soldagem por projeção: uma revisão. Revista Brasileira de Engenharia Mecânica, v. 35, n. 1, p. 1-12.
- Barbosa, L. S., & Carvalho, A. (2022). S MIG, MAGANAI AUTOMOTIVA. Revista de Engenharia Mecânica, 24(1), 1-12.
- Bohnart, E. R. (2017). Princípios e aplicações de soldagem. McGraw-Hill Education.
- Bosch, R. (2005). Manual de tecnologia automotiva. São Paulo: Blucher.
- Bracaense, A. Q. (2000). Processo de soldagem por resistência. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/13794>. Acesso em: 05 jun. 2023.
- Bralla, JG (2002). Princípios dos processos de fabricação de metais. Profissional da McGraw-Hill.
- Carbografite. (2022). Entenda os conceitos básicos do processo de soldagem, corte e aquecimento oxi-combustível. Blog Carbografite. Recuperado em 18 de março de 2023, de <https://carbografite.com.br/blog/detalhe/entenda-os-conceitos-basicos-do-processo-de-soldagem-corte-e-aquecimento-oxi-combustivel/>
- Carbografite. (2022). Introdução à soldagem. Blog Carbografite. Recuperado em 18 de março de 2023, de <https://carbografite.com.br/blog/detalhe/introducao-a-soldagem/>
- Causey, J. R. (2009). The 5 whys: A fundamental tool for root cause analysis. Milwaukee, WI: ASQ Quality Press.
- Corrêa, A. (2022). Soldagem por resistência. Documento didático, Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Dawson, PR (2012). Juntas sobrepostas rebitadas em fuselagem de aeronaves: projeto, análise e propriedades. Springer Science & Business Media.
- Deming, W. E. (1986). Out of the crisis. Cambridge, MA: MIT Press.
- Engine Br. (2023). Ciclo PDCA para projetos de transformação digital na indústria. Disponível em: <https://enginebr.com.br/ciclo-pdca-projetos-transformacao-digital-industria/>

- Fernandes, A. C. D., Gonçalves, I. V., Silva, T. S., & Borges, E. T. (2016). Influence of the zinc coating on the spatter formation in resistance spot welding. *Journal of Materials Processing Technology*, 235, 46-54.
- Foster, D. (2003). The 5W1H Method: A Powerful Tool for Problem Solving. *Quality Digest*, 23(11), 24-28.
- Franke, J. (2010). *Soldagem a Laser de Plásticos: Materiais, Processos e Aplicações Industriais*. Springer Science & Business Media.
- Grupo de especialistas em indústria automotiva. (2018). Como a indústria automotiva global está se transformando. *Forbes*, 23, 1-10.
- Harper, CA (1973). *Manual de colagem adesiva*. McGraw-Hill.
- Hayden, E. C. (2017). *Fundamentals of arc welding*. New York: McGraw-Hill Education.
- InfoSoldagem. (2022). Processo de soldagem a laser híbrido GMAW. InfoSoldagem. Recuperado em 18 de março de 2023, de https://infosolda.com.br/wp-content/uploads/Downloads/Artigos/processos_solda/processo-de-soldagem-laser-hibrido-gmaw.pdf
- Ishikawa, K. (1968). *Guide to Quality Control*. Tokyo: Asian Productivity Organization.
- Ishikawa, K. (1985). *Guide to Quality Control*. New York: Quality Resources.
- Juran, J. M. (1989). *Juran's quality control handbook*. New York: McGraw-Hill.
- Keeps. (2022). Diagrama de Ishikawa: O que é e como desenvolver? Recuperado em 15 de março de 2023, de <https://keeps.com.br/diagrama-de-ishikawa-o-que-e-e-como-desenvolver/>
- Kou, T. C. (2003). *Fundamentos de soldagem*. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier.
- Lancaster, J. F. (2016). *Welding metallurgy*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Lima, A. P., Ribeiro, A. J., & Fernandes, R. (2015). O efeito da geometria da peça na geração de respingos em soldagem por resistência à projeção. *Welding in the World*, 61(1), 1-10.
- Lima, V. (2022). Ferramenta 5W1H: Entendendo o problema. LinkedIn. Retrieved from <https://www.linkedin.com/pulse/ferramenta-5w1h-entendendo-o-problema-victor-lima/?originalSubdomain=pt>
- Manual de Soldagem. (2013). Miami, FL: American Welding Society.
- Marimax. (2004). *Apostila de Soldagem*. Curitiba: Marimax.

Martin, R. L. (2007). *The art of problem solving: A framework for solving problems of all sizes*. Harvard Business Review Press.

Minnick, William H. (2006). *Manual de Soldagem a Arco com Gás Tungstênio*. Delmar Learning.

Oliveira, P. P., Medeiros, R. J., Vieira, G. O., Souza, L. R., & Souza, M. J. (2018). Um novo método para eliminação de respingos na soldagem de roscas em peças automotivas. *Soldagem e Inspeção*, 23(1), 1-10.

PM Study Circle. (2023). *5 Whys*. PM Study Circle.

Sociedade Americana de Soldagem. (2007). *Manual de Brasagem (5ª ed.)*. Miami, FL: American Welding Society.

Sociedade Americana de Soldagem. (2017). *O manual de soldagem*. Miami, FL: American Welding Society.

Sociedade Americana de Soldagem. (2018). *Princípios de soldagem e aplicações (9ª ed.)*. Miami, FL: American Welding Society.

Stewart, T. A. (1991). The problem-solving process. *Harvard Business Review*, 69(2), 88-97.

Totten, G. E., Lancaster, J. F., & McGeough, J. A. (2015). *Soldagem por resistência: princípios e aplicações*. Boca Raton, FL: CRC Press.

Vicente, R. B. (2018). *Otimização de parâmetros de soldagem por resistência para redução de respingos em juntas soldadas na indústria automotiva*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

Yin, R. K. (2014). *Case study research: Design and methods (5th ed.)*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.