

# **PROPOSTA DE APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DMAIC NO PROCESSO DE CORTE A LASER DE CHAPA METÁLICA NUMA INDÚSTRIA DE PEÇAS AUTOMOTIVAS: estudo de caso em um fornecedor de peças metálicas automotivas**

**Elias Gomes Freire**

[egf@discente.ifpe.edu.br](mailto:egf@discente.ifpe.edu.br)

**Heitor Martins dos Santos Bomfim**

[heitormrt93@gmail.com](mailto:heitormrt93@gmail.com)

**Roberto Trindade Araújo**

[rta@discente.ifpe.edu.br](mailto:rta@discente.ifpe.edu.br)

**Orientadora: Prof. Inêz Manuele dos Santos**

[inez.santos@igarassu.ifpe.edu.br](mailto:inez.santos@igarassu.ifpe.edu.br)

---

## **RESUMO**

O processo de corte e furação a laser é uma tecnologia crítica no processo de fabricação automotiva. O erro de corte e furação a laser de chapas metálicas na indústria automotiva pode gerar significativo impacto ao processo de produtivo de peças automotivas, tais como a rejeição de peças, atrasos na produção e aumento de custos. Assim, é imprescindível o uso de ferramentas de controle da qualidade que deem suporte a redução de defeitos e auxiliem na melhoria do processo e na qualidade do produto final. Com o objetivo de mitigar esses erros, a presente pesquisa aborda o uso da metodologia DMAIC como ferramenta de adaptação ao relatório A3 utilizado e de melhoria nos processos de análise e solução de problemas já existentes na empresa estudada. O uso da metodologia DMAIC define as diretrizes para a prevenção e elaboração de controles gerenciais através de controles estatísticos e padronização de ações que contribuem para a eliminação das falhas.

Palavras-chave: Corte a laser. Análise e solução de problemas. Melhoria de processo. Metodologia A3. DMAIC.

## **ABSTRACT**

The laser cutting and drilling process is a critical technology in the automotive production process. The error in laser cutting and drilling of sheet metal in the automotive industry can have a significant impact on the manufacturing process of automotive parts, such as part rejection, production delays and cost increases. Thus, it is essential to use quality control tools that support the reduction of defects and help to improve the process and the quality of the final product. With the aim of mitigating these errors, this research addresses the use of the DMAIC methodology as a tool adapting the A3 report used and improving existing problem-solving processes in the studied company. The use of the DMAIC methodology defines the guidelines for the prevention and elaboration of managerial controls through statistical controls and standardization of actions that contribute to the elimination of failures.

Keywords: Laser cutting. Analysis and problem solving. Process improvement. Methodology A3. DMAIC.

# 1 INTRODUÇÃO

A indústria automotiva brasileira tem significativo potencial produtivo tanto de veículos quanto de autopeças que vem se expandindo nas últimas décadas (ANFAVEA, 2023). Para acompanhar a demanda e o desenvolvimento desse setor, a melhoria dos processos é crucial para atender ao aumento da produção e da eficiência operacional na cadeia automotiva, tais como ocorre nos processos de cortes de chapas metálicas a laser na indústria metalmeccânica.

De acordo com Maurício (2014), a tecnologia de corte a laser é utilizada nas mais variadas áreas, sendo, em algumas indústrias, um dos processos iniciais na fabricação dos produtos. De acordo com Xie, Wang e Zhu (2021), a tecnologia de corte a laser é amplamente utilizada na fabricação de peças automotivas e a qualidade dessas peças é crítica para garantir a segurança e o desempenho dos veículos. Ainda segundo esses autores, o uso do corte a laser, além de otimizar os processos de fabricação, ajudam a diminuir o risco de não conformidade dos produtos e ter melhor garantia da qualidade.

Apesar da maior precisão, é comum o processo de corte a laser produzir efeitos não desejáveis no produto, como criação de rebarbas, de estrias ou de cortes/furos além das medidas de tolerância (MAURÍCIO, 2014). Para esse autor, o corte defeituoso ou fora dos limites de tolerância, torna o produto inacabado e incompatível com os requisitos dos processos de fabricação seguintes, contabilizando custos da não qualidade, por falhas internas quanto ao uso de recursos como mão de obra e matéria prima desperdiçados, e de falhas externas, traduzidas em gastos com o trato das reclamações, que não acrescentam valor ao produto final.

O erro na furação a laser da chapa metálica, normalmente acontece quando há um desvio na posição da furação em relação ao projeto original da peça. Isso pode ocorrer por diferentes motivos, como a deformação térmica da chapa metálica durante o processo de corte a laser, a variação da espessura do material, problemas no sistema de posicionamento da máquina de corte, entre outros.

Esse problema na furação a laser na indústria automotiva pode gerar significativo impacto ao processo de fabricação de peças automotivas, tais como a rejeição de peças, atrasos na produção e aumento de custos, que pode ser evitado com a adoção de boas práticas no projeto e execução do processo de corte para evitar esse problema, tais como o uso de ferramentas da qualidade e estatísticas para análise e solução de problemas, análise e gestão de riscos, análise de custos, análise de indicadores, consulta aos agentes afetados, análise multicritério e métodos estatísticos.

Para tratar essa problemática das não conformidades no processo, um fabricante de peças automotivas em Pernambuco, objeto desta pesquisa, tem aplicado a metodologia do relatório A3, uma importante ferramenta do *Lean Manufacturing* para documentar e solucionar problemas de forma colaborativa, com foco na melhoria contínua, que busca fornecer uma estrutura sistemática para a solução de problemas baseada em fatos e dados. Acontece que a ferramenta A3 aplicada tem se mostrado limitada na questão de não trazer dados suficientes, registrando apenas os principais resultados para que eles caibam dentro do formato A3, onde detalhes dos dados obtidos originalmente não podem ser recuperados no futuro, centrando o foco apenas na resolução do problema e não se aprofundando na etapa de planejamento. A forma como os dados e informações sobre as causas das ocorrências do problema vêm

sendo levantados também tem sido falho, onde em algumas situações as ferramentas usadas não se mostram suficientes para sustentar ou argumentar a solução do problema com eficácia. A metodologia também não direciona passos para criação de diretrizes de prevenção e elaboração de controles gerenciais onde ocorre o problema, isto é, não criar meios para padronizar as melhorias.

Com base nesse contexto, este artigo visa apresentar uma proposta de adaptação na prática de resolução de problemas, usada para identificação e eliminação de não conformidades na empresa em estudo, utilizando a ferramenta DMAIC. Essa ferramenta permitirá melhor estruturar, avaliar e resolver o problema de não conformidades no processo de corte e furação a laser das chapas metálicas, por meio de melhores planejamentos e as ações de melhoria no processo, visando reduzir as não conformidades.

Este artigo está estruturado nas seguintes seções, além dessa introdução: a seção 2 contém a fundamentação teórica, onde são abordados os assuntos que embasaram essa pesquisa; a seção 3 apresenta os procedimentos metodológicos; a seção 4 apresenta os resultados e discussões da proposta; e por fim, a seção 5 apresenta as considerações, limitações e sugestões para trabalhos futuros.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 CHAPAS METÁLICAS AUTOMOTIVAS**

Atualmente, pode-se dizer que chapas de materiais como aço, ferro, cobre e alumínio, classificadas como perfuradas, expandidas ou prensadas, são utilizadas em vários ambientes, em que são muitas as possibilidades de uso dessas na construção civil, arquitetura e decoração, assim como na indústria automotiva (COSIAÇO, 2022). Desta forma, a utilização de chapas de aço na indústria automotiva tem elevada importância devido à sua grande capacidade de se moldar de acordo com o tipo de uso e finalidade, bem como sua alta resistência (CRIFÉR, 2023).

Os principais tipos de chapas metálicas usadas na indústria automotiva são:

- Chapas de aço de baixo carbono: são fabricadas a partir do aço que apresenta maior resistência e maleabilidade, facilitando sua manipulação. Essas chapas podem ser usadas na carroceria, em autopeças (Eixos, rodas, parafusos, bielas, cilindros, estruturas dos bancos) e nos filtros do veículo. Elas podem ser de aço carbono, galvanizada ou grossas (CRIFÉR, 2023).
- Chapas de aço inoxidável: são chapas de elevada resistência à corrosão e mudança de cor, devido a uma camada extra e invisível de cromo que possui. Pode estar presente, principalmente, nas peças de motor, sistemas de escape, tanques de combustível, partes de suspensão, discos de freio e eixos de transmissão (A VOZ DA INDÚSTRIA, 2023).
- Chapas de alumínio: O alumínio constitui-se de um metal mais leve que o aço e com propriedades mecânicas e características de maleabilidade e resistência que possibilitam redução do peso do veículo e absorção maior de impactos (LOIOLA, 2018). As chapas de alumínio são utilizadas tanto na carroceria do

veículo como no bloco do motor, para reduzir o peso do veículo devido a menor densidade do alumínio.

- Chapa de cobre: São compostas de zero metais adicionais. Ela é eletricamente condutiva, tornando-os aplicáveis para fazer condutores eletrônicos do veículo. Também é resistente à corrosão, durável e forte (RAPID DIRECT, 2021).

Dessas chapas, o caso em estudo focaliza-se na problemática do erro de perfuração de corte a laser das peças de aço carbono grossa, devido há um desvio na posição da furação em relação ao projeto original da peça, em que se devem encontrar meios melhores de analisar as causas que levam a esse problema e de prevenir a ocorrência dessas, a fim de melhorar a eficiência operacional nesta etapa.

## 2.2 O CORTE A LASER EM CHAPAS METÁLICAS AUTOMOTIVAS

O corte a laser é definido por um feixe de radiação focada em um ponto preciso, geralmente, proporcionado por uma lente convexa e um diodo emissor de feixe de cor vermelha, gerando altas temperaturas, ocasionando o derretimento do material a ser processado, gerando rejeito, que é expulso utilizando por ação de tipos de gases, dependendo da matéria prima utilizada (GOLNABI; BAHAR, 2008). O potencial dessa tecnologia no corte de metais possui algumas vertentes, onde em termo de capacidade existe o laser em 1D, que é usado para perfuração da chapa, em 2D, que é utilizado para perfurar, cortar e soldar, e o laser em 3D, que é utilizado para perfurar, cortar, soldar, fresar e tornear (DUBEY; YADAVA, 2008).

A tecnologia de corte a laser é amplamente utilizada no setor automotivo em diversas aplicações, desde a produção de componentes estruturais até a fabricação de peças de acabamento. Entre as principais aplicações do corte a laser no setor automotivo, podem-se citar o corte de chapas metálicas em diferentes formatos e tamanhos, com alta precisão e eficiência.

Os cortes a laser nas chapas são feitos, normalmente, nos componentes de carrocerias, portas, capôs e outras peças estruturais. Também são dados na fabricação de peças de acabamento, como painéis de instrumentos, forros de portas e bancos, que exigem alta precisão e qualidade de acabamento, bem como na gravação e marcação de peças automotivas, como chassis, motores e sistemas de transmissão, para identificação e rastreamento de componentes (MARTINS; SOUZA, 2017).

As vantagens dessa tecnologia são a flexibilidade para variados tipos de processos, a qualidade elevada e precisa do produto final, redução de custos por perdas de matéria prima e energia, que envolve o desgaste do produto e equipamentos, ocasionado por procedimentos tradicionais que geram mais contato físico com matéria prima. É importante ressaltar que cada tipo de material apresenta características específicas que influenciam no processo de corte a laser. Por exemplo, metais como aço carbono e alumínio são materiais comumente cortados a laser, mas apresentam dificuldades como a reflexão do feixe de laser e a geração de rebarbas.

Maurício (2014) afirma que, apesar da tecnologia de corte a laser melhorar a precisão e a qualidade no corte da chapa metálica, é comum o processo de corte a laser produzir efeitos não desejáveis no produto, tais como a criação de rebarba, estrias e o aumento da fenda de corte. Estes efeitos, não desejáveis, podem originar não conformidades, dependendo da sua intensidade e frequência de incidência, ou

seja, um elevado número de estrias na superfície de corte, existência de rebarba no produto, ou medidas das peças que ultrapassam as tolerâncias da especificação, originam produção defeituosa e, conseqüentemente, reclamações dos clientes, em que é importante a sua melhoria, como forma de reduzir os custos da não qualidade.

Como pode ser visto, falhas de precisão no corte ou furação são efeitos indesejáveis, passíveis de ocorrer nas peças cortadas ou perfuradas a laser, ocasionando peças com defeito, em que ferramentas de análise de causas e melhorias devem ser usadas para melhor compreender e tratar os problemas dessas ocorrências, a fim de obter a qualidade, a eficiência e a produtividade esperada pela tecnologia empregada. Assim, o relatório A3 foi a ferramenta analisada nesta pesquisa e, após reconhecer que a mesma apresentava algumas deficiências, foi proposto o uso do DMAIC de modo a melhor estruturar e tratar essa problemática das não conformidades nesse tipo de processo de fabricação.

## 2.3 A METODOLOGIA DO RELATÓRIO A3

O relatório A3 é uma ferramenta desenvolvida pela Toyota Motor Corporation no seu programa de melhoria contínua. Foi desenvolvido para ser um orientador sistematizado na busca, identificação e solução de problemas nos processos de produção (SOBEK; JIMMERSON, 2006; SANTOS, 2019). O relatório A3 é assim chamado porque é realizado numa folha em formato A3 (297mm X 420mm) e tem a finalidade de ser uma guia prática para a resolução de problemas de maneira sequencial e, ao mesmo tempo, servir como um resumo do conhecimento obtido durante o processo (GRILO; OLIVEIRA; SOUZA JUNIOR, 2016).

Segundo Pascoal, Lamaguti e Bernardes (2021; 2022), a dinâmica da aplicação da Metodologia A3 compreende o preenchimento sistemático e interativo do relatório A3, em que os dados e informações são descritos de forma narrativa e participativa dos envolvidos no processo cujo intuito é identificar e solucionar um determinado problema, baseando no ciclo PDCA. Sobek II e Smalley (2010) afirmam que o relatório A3 é uma ferramenta que foi criada para rodar o ciclo PDCA, de modo a permitir uma compreensão detalhada do problema ou da oportunidade, além de dar novas ideias sobre como solucionar um problema.

Segundo Santos (2019, p. 4), “não existe um modelo único do relatório, mas sim uma estruturação em seções com informações básicas”. Além do título, Pascoal, Lamaguti e Bernardes (2021) explicam que o preenchimento do relatório A3 é dado em sete seções, No quadro 1 são descritas as seções para desenvolvimento do relatório A3.

Quadro 1 - Seções e pontos importantes do relatório A3

<b>Etapa</b>	<b>Pontos importantes</b>
Histórico (contexto da situação)	Nessa etapa é feita a apresentação do contexto geral da situação; o fornecimento de informações; a demonstração de como o assunto se alinha com as metas da empresa; a inclusão de dados históricos ou quaisquer informações que possam ajudar a compreender a importância do problema.

Condição atual e descrição do problema	Nessa etapa é feita a apresentação visual de um resumo do estado atual do processo ou sistema; destacados os fatores principais do estado atual; identificado o problema real no estado atual, e o resumo das informações relevantes para o estado atual.
Objetivo	Nessa etapa é estabelecida uma meta ou estado pretendido para a situação; determinado como será a mensuração do desempenho; e estabelecido um padrão quantificável contra o qual comparar os resultados, quando possível.
Análise da causa fundamental	Nessa etapa é mostrada a causa fundamental do problema identificado no estado atual; separado os sintomas e opiniões da determinação da causa e efeito; determinado o tipo de ferramenta mais útil para compreensão da causa-raiz; e identificado que testes podem ser realizados para simular a causa raiz.
Contramedidas	Nessa etapa é identificado quem fará as ações de contramedida; definido o que será feito de fato; definido o prazo para completar os itens de cada ação; e definida a ordem e local da implementação.
Verificação/Confirmação de efeito	Nessa etapa é definida as formas de verificar a eficácia dos itens; usada a mesma mensuração de desempenho listada na seção de objetivos; verificada a eficácia total dos itens de ação; e planejado que dados precisarão ser coletados.
Ações de acompanhamento	Nessa etapa procura-se por processos semelhantes no departamento que poderiam se beneficiar com as ações de melhoria; e verificado se há processos semelhantes fora do departamento ou da fábrica que deveriam conhecer essas informações.

Fonte: Adaptado de Sobek II e Smalley (2010).

De acordo Sobek II e Smalley (2010), as quatro primeiras etapas correspondem à fase de planejamento e as três últimas às fases de executar, verificar e agir, conforme visto no quadro 1. Pascoal, Lamaguti e Bernardes (2021) ressaltam que não há uma formalidade quanto ao fluxo e o tipo de informação a ser preenchida em cada etapa, em que os pontos importantes apresentados servem de referência para sua elaboração. Assim, fica a critério de cada autor do processo definir a melhor estratégia e forma de registro de análises e ações, dependendo de cada situação. Além disso, diversas ferramentas da qualidade podem ser usadas em conjunto, em que as ferramentas escolhidas dependerão do problema e objetivo pretendido (PASCOAL; LAMAGUTI; BERNARDES, 2021; 2022).

## 2.4 DMAIC

A metodologia DMAIC é constituída por cinco etapas, em que sua sigla corresponde: Define (D) – definir; Measure (M) – medir; Analyze (A) – analisar; Improve (I) – aperfeiçoar e Control – controlar, constituindo numa abordagem sistemática para a melhoria de processos e aumento da qualidade do produto, amplamente utilizada em empresas brasileiras.

O DMAIC é uma metodologia que se tornou popular para a melhoria contínua de processos e produtos, sendo amplamente aplicada em várias áreas, incluindo a indústria automotiva (CHAKRABORTY; PRAMANIK, 2018). Através do uso dessa metodologia, é possível obter melhorias significativas na eficiência do processo, na qualidade do produto final e na satisfação do cliente (KUMAR; JHA; KUMAR, 2020). Além disso, como ferramenta da qualidade, ela auxilia no suporte a redução de defeitos, aumento da produtividade e na melhoria do processo (OLIVEIRA *et al.*, 2021). Werkema (2013) afirma que o DMAIC junto a outras ferramentas da qualidade auxiliam na busca da melhoria contínua do processo de forma versátil e objetiva.

Werkema (2013) apresenta um modelo de aplicação do DMAIC, demonstrando os objetivos, a ação e as ferramentas da qualidade e estatísticas que podem ser usadas em cada etapa, conforme pode ser visto no quadro 2.

Quadro 2 – Etapas do DMAIC, objetivos ação e ferramentas da qualidade

<b>Etapas</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Ações</b>	<b>Ferramentas</b>
<b>Definir</b>	Estabelecer o escopo do projeto, incluindo sua importância, equipe responsável e cronograma	Explicar a questão e analisar como isso afeta os clientes, a estratégia e os resultados financeiros da empresa; Escolher projetos que serão utilizados para resolver os problemas; Estabelecer os objetivos que devem ser alcançados	Termo de Abertura (Project Charter); Gráficos de Controle; Análise de séries temporais; VOC (Voz do Cliente); Análises Econômicas, SIPOC; VSM.
<b>Medir</b>	Identificar o foco específico do problema em questão, verificar a confiabilidade dos dados existentes e realizar a coleta de dados necessários	Determinar quais aspectos do projeto serão monitorados, como os dados serão coletados e registrados, e quais são as especificações do projeto	Coleta de Dados; Estratificação; Amostragem; Folha de verificação; Diagrama de Pareto; Histograma; Índice de Capacidade; Amostragem; Coleta de Dados.
<b>Analisar</b>	Examinar minuciosamente o processo, a fim de identificar as possíveis causas subjacentes do problema em questão	Examinar cuidadosamente os dados e os procedimentos envolvidos; Identificar as causas que estão contribuindo para o baixo desempenho do processo	Fluxograma; Mapa do processo/produto; FMEA (Failure Mode and Effects Analysis); Brainstorming; Diagrama de Causa e Efeito



<b>Aperfeiçoar</b>	Identificar e avaliar as soluções prioritárias e aprimorá-las, buscando a melhor opção para resolver o problema	Gerar conceitos para possíveis soluções visando eliminar as causas dos problemas identificados na etapa anterior. Testar essas soluções para verificar sua viabilidade em uma implementação em larga escala	Brainstorming; Diagrama de Causa e Efeito; FMEA; Teste de mercado; Stakeholder Analysis; Simulação; 5W2H
<b>Controlar</b>	Assegurar a manutenção do alcance da meta em longo prazo e estabelecer padrões para a padronização das alterações implementadas	Implementar a solução desenvolvida na quarta etapa em uma escala ampla e monitorar o desempenho do processo ao longo do tempo; Estabelecer padrões para as alterações realizadas no processo com a adoção das soluções; Elaborar um plano de ações corretivas para lidar com eventuais problemas que possam surgir no processo	Cartas de controle; Histograma; Índice de capacidade; Manuais; Procedimento padrão

Fonte: Adaptado de Werkema (2013).

Embora tenham origens diferentes, Werkema (2013) ainda explica que há uma correspondência entre o PDCA e o DMAIC e como se dá isso em oito passos, conforme apresentado no quadro 3. Nesse, observa-se a forte ênfase que o DMAIC traz ao planejamento, antes que as ações sejam executadas.

Quadro 3 - Correspondência entre PDCA e DMAIC

<b>P</b>	PROBLEMA: Identificação do problema	DEFINE	<b>D</b>
	ANÁLISE DO FENÔMENO: Reconhecimento das características do problema	MEASURE	<b>M</b>
	ANÁLISE DO PROCESSO: Descoberta das causas principais	ANALYZE	<b>A</b>
<b>D</b>	PLANO DE AÇÃO: Contramedidas às causas principais	IMPROVE	<b>I</b>
	EXECUÇÃO: Atuação de acordo com o plano de ação		
<b>C</b>	VERIFICAÇÃO: Confirmação da efetividade da ação	CONTROL	<b>C</b>
<b>A</b>	PADRONIZAÇÃO: Eliminação definitiva das causas		
	CONCLUSÃO: Revisão das atividades e planejamento para trabalhos futuros		

Fonte: adaptado de Werkema (2013).

Como pode ser visto no quadro 3, a primeira etapa do DMAIC refere-se à definição do problema a ser solucionado, estabelecendo-se metas e objetivos claros para a melhoria do processo. De acordo com Ribeiro *et al.* (2018), essa etapa é essencial para que a equipe responsável pela melhoria do processo possa identificar as causas raízes do problema e estabelecer estratégias para a sua solução.

Após a definição do problema, a etapa de medição é iniciada, na qual dados são coletados e analisados para avaliar o desempenho atual do processo. Conforme o estudo de Guimarães e Santos (2019), a coleta de dados é uma etapa crucial do DMAIC, pois permite que a equipe responsável pela melhoria possa entender como o processo está operando e identificando onde estão os principais gargalos.

Com base na análise dos dados, a equipe pode partir para a etapa de análise, na qual são identificadas as causas raízes do problema. Segundo o estudo de Sampaio *et al.* (2017), a utilização de ferramentas estatísticas é essencial nessa etapa, permitindo que a equipe possa identificar quais fatores estão influenciando o desempenho do processo.

Na etapa de melhoria, são propostas soluções para os problemas identificados nas etapas anteriores. Conforme o estudo de Moro *et al.* (2019), é importante que a equipe responsável pela melhoria teste as soluções propostas antes da implementação, para garantir que elas sejam eficazes e não causem impactos negativos no processo.

Por fim, a etapa de controle é iniciada para garantir que as melhorias implementadas sejam sustentáveis e duradouras. Nessa etapa a equipe precisa monitorar continuamente o desempenho do processo e identificar novas oportunidades de melhoria. Segundo Gonçalves, Santos e Moraes (2022), incorporar um novo projeto é mais fácil do que mantê-lo ativo na forma que foi construído. Assim, é importante manter a melhoria contínua através do controle de mudanças realizadas e designação de novos padrões de processos por meio de documentação das ações implantadas.

Como pode ser visto, com o uso dessa metodologia, é possível identificar os principais problemas, coletar dados, analisar as causas-raiz, implementar ações corretivas e estabelecer controles para garantir a sustentabilidade das melhorias.

#### **2.4.1 Estudos da metodologia DMAIC aplicada ao processo de corte na área automotiva**

Segundo Santos e Pisciotta (2020), o laser permite o corte com mais acuracidade ao provocar a fusão e evaporação de materiais, exigindo, assim, um fluxo de gás de assistência (oxigênio ou nitrogênio) que afaste as partículas fundidas para longe da área de corte. Isso resulta em cortes mais precisos e sem ranhuras. Portanto, a aplicação da metodologia DMAIC nesse contexto é essencial para garantir a eficácia e a qualidade do processo de corte a laser.

A aplicação do DMAIC na indústria automotiva de corte a laser tem sido objeto de estudos e pesquisas recentes. Por exemplo, em um estudo realizado por Paiva, *et al.* (2019), foram utilizados os princípios do DMAIC para melhorar a qualidade do processo de soldagem a laser em uma indústria automotiva.. Através da coleta de dados, análise de causa raiz e implementação de ações corretivas, foi possível atenuar os problemas no processo de soldagem a laser, os quais acarretavam a não continuidade do cordão de solda provocando o alto consumo dos bicos de soldagem.

Além disso, um estudo recente de Rosalin, Araújo e Assis (2022) utilizou a metodologia DMAIC para otimizar os processos de produção em uma indústria automotiva em São Paulo, conseguindo reduzir os refugos nas etapas de abastecimento, transformação e finalização do produto.

No estudo de Almeida e Rosa (2020) foi aplicado o DMAIC com o objetivo de poder diminuir os desperdícios gerados por falhas ocorridas durante o processo de corte e dobras em chapas de aço. A empresa em que se passa o processo tem real interesse de diminuição dos desperdícios perceptíveis devido à alta quantidade de sucata gerada e aumento de sua produtividade.

Já no estudo de Pinto (2022) é apresentado como a implementação da metodologia do DMAIC foi utilizada para redução de perdas geradas durante o processo de recorte e furação automático de revestimentos metálicos de uma empresa específica, que é realizado através de máquinas de usinagem com 5 eixos. Durante a produção do produto foi visto que havia grandes perdas, características das peças fabricadas que são de alto custo e foi mais que necessária essa análise para os envolvidos, para que se possa atender os requisitos dos clientes e reduzindo custos para empresa.

Como pode ser visto, o DMAIC tem sido aplicado para variados propósitos ligado ao corte a laser na indústria metalmeccânica, em que esse trabalho focará no uso dessa metodologia para melhor estruturação e proposta de melhoria ligada aos problemas de não conformidades na furação de corte a laser em chapas metálicas de peças automotivas.

## 2.5 FERRAMENTAS DA QUALIDADE

Existem diversas ferramentas da qualidade para uso como suporte à metodologia DMAIC (LIMA; SOUSA; ARESE, 2020). No quadro 4, são apresentadas as ferramentas da qualidade utilizadas na proposta de melhoria e as fases do DMAIC onde foram utilizadas nessa pesquisa.

Quadro 4 - Ferramentas da qualidade utilizadas no DMAIC

FERRAMENTA	DEFINIÇÃO	FASE DO DMAIC ONDE É UTILIZADA
BRAINSTORMING	Conhecido como “tempestade de ideias”, é uma metodologia que analisa a capacidade criativa de um grupo de indivíduos na busca de soluções para um determinado problema ou criação de algo inusitado (COUTINHO, 2021).	ANALYZE (analisar) e IMPROVE (aperfeiçoar)
CARTA DE CONTROLE	Foi criada por Shewhart na década de 1920. De acordo com Werkema (2013), tem como objetivo apresentar através da análise de dados, os tipos de variações em um evento observado e classificá-lo como típico ou atípico.	DEFINE (definir), MEASURE (medir), ANALYZE (analisar) e CONTROL (controlar)
DIAGRAMA DE ISHIKAWA	Foi projetado para mostrar a relação existente entre um resultado indesejável de um problema ou o resultado de um processo e todas as causas prováveis desse problema. Ele serve como um guia para identificar a causa raiz do problema e determinar quais as medidas corretivas a serem tomadas (CARPINETTI, 2012).	ANALYZE (analisar) e IMPROVE (aperfeiçoar)

DIAGRAMA DE PARETO	Foi criado por um economista italiano, Vilfredo Pareto (1843-1923). Essa ferramenta é bastante útil caso seja necessário uma classificação dos erros, problemas e defeitos para estudos e ações futuras. O conceito principal do princípio de Pareto é o famoso 80/20, ou seja, 80% dos problemas estão inseridos em 20% das causas. Ao se identificar as principais causas das falhas e retirá-las, serão resolvidos 80% dos problemas (CAMARGO, 2018).	MEASURE (medir) e CONTROL (controlar)
FLUXOGRAMA	É uma representação gráfica das etapas de um processo facilitando a visualização por meio de figuras geométricas, as quais indicam os passos a serem seguidos para se alcançar um resultado (COUTINHO, 2020).	ANALYZE (analisar)
FOLHA DE VERIFICAÇÃO	Consiste num formulário onde os itens já impressos serão utilizados para consulta futura de forma simplificada. Podem ser de dois tipos: para checagem dos limites superior e inferior de um processo ou apenas para checagem na classificação de falhas (CARPINETTI, 2012)	MEASURE (medir) e CONTROL (controlar)
MAPA DO PROCESSO	É um método gráfico de representação de um fluxo de trabalho ou processo através da criação de um fluxograma. Através do mapeamento será possível que qualquer pessoa da equipe obtenha informações sobre a dinâmica do processo (ASANA, 2022)	ANALYZE (analisar)
5W2H	É um <i>checklist</i> das ações preventivas e corretivas a serem aplicadas no ambiente da organização de forma simplificada e eficiente e que promova a sinergia entre os gerentes e colaboradores de forma a se alcançar os objetivos propostos. O foco desta ferramenta é descrever de forma clara os meios, custos e responsáveis pelas execuções (SEBRAE, 2022).	IMPROVE (aperfeiçoar)

Fonte: Os autores (2023).

### 3 METODOLOGIA

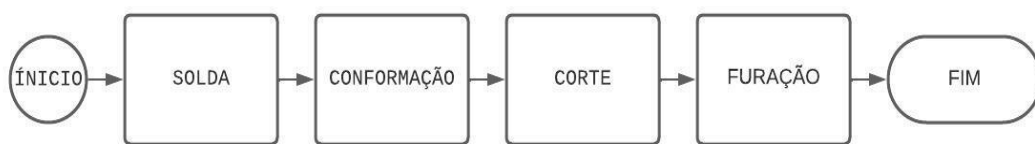
Essa pesquisa constitui-se num estudo de caso exploratório, de abordagem qualitativa, uma vez que buscou explorar o processo de controle de melhoria nas furações de chapas metálicas de uma empresa do ramo automotivo, a fim de propor melhorias na sua atual ferramenta de controle e melhoria de não conformidades. O estudo de caso é uma metodologia que permite a análise de um fenômeno em seu contexto real, o que é particularmente útil para investigar como uma metodologia é aplicada em uma situação específica (YIN, 2015).

Segundo Minayo (2014), a pesquisa qualitativa se preocupa com o nível de realidade que não pode ser quantificado, ou seja, ela é baseada no universo de significados, motivações, aspirações, crenças, valores e atitudes, em que essa trabalha com descrições, comparações e interpretações. A abordagem qualitativa na pesquisa desempenha um papel fundamental na compreensão aprofundada dos fenômenos estudados, pois permite uma análise valorizando as perspectivas e experiências dos participantes envolvidos. Além disso, ao analisar a utilização da ferramenta atualmente

aplicada e identificar oportunidades de melhorias, a abordagem qualitativa pode revelar *insights* sobre as motivações, as percepções e as barreiras enfrentadas pelos usuários, auxiliando no desenvolvimento de modelos de controle mais eficazes.

Esta pesquisa foi realizada em uma empresa do setor de metalmeccânica de peças automotivas, localizada em Pernambuco, cujo foco centrou-se no setor de corte a laser, onde ocorre o processo de corte e furação de peças conformadas através do processo de *hot forming*, também conhecido como conformação a quente, que é um processo de fabricação utilizado na indústria automotiva para produzir componentes de alta resistência e complexidade. O processo de fabricação da empresa é dividido em quatro etapas. A figura 1 mostra um fluxograma deste processo onde primeiro se tem a solda, depois a conformação, e por último o corte e a furação.

Figura 1- Etapas do processo de fabricação da empresa em estudo



Fonte: Os autores (2023).

É visto que na etapa de furação está havendo ocorrências de não conformidades devido a não consistência do processo, em que os problemas que levam a essas devem ser mais bem estruturados e tratados do ponto de vista da qualidade e produtividade, a fim de melhorar a eficiência do processo e reduzir refugos por rejeição de peças e custos da não qualidade. De acordo com Yin (2015), o estudo de caso pode ser feito em uma única unidade de análise quando se deseja investigar um fenômeno em profundidade.

Atualmente, na empresa em estudo, é adotada a prática de fazer a análise e soluções de problemas, usando a metodologia A3, que segue uma sistemática que vai do esclarecimento do problema, passando pelo conhecimento da situação de ocorrências e causas potenciais a adoção de medidas e ações de melhorias, envolvendo algumas ferramentas da qualidade. Contudo, algumas dificuldades e desvantagens são observadas no uso dessa metodologia, abrindo-se a oportunidade de buscar outras metodologias, para a prática de análise e solução de problemas, que se adéquem a rotina de ocorrência de não conformidades em áreas produtivas. Assim, a metodologia DMAIC foi escolhida para ser explorada nessa pesquisa como ferramenta de análise e de ação de melhoria nas tratativas dessas não conformidades, devido ao maior foco no planejamento da abordagem do problema e, assim, obter soluções mais eficazes.

Esta pesquisa foi baseada na observação direta de um dos participantes desta, uma vez que o mesmo está inserido dentro do processo estudado. Segundo Bardin (2011), a observação direta é uma técnica que permite obter informações sobre o objeto de estudo por meio da observação de eventos, comportamentos e práticas. A observação direta foi escolhida como método de coleta de dados desta pesquisa por permitir a obtenção de informações detalhadas sobre as necessidades de melhorias específicas, a partir da situação real. Os dados coletados por meio dessa observação

foram complementados por entrevistas com profissionais envolvidos na aplicação de ferramentas de análise de falhas na empresa investigada.

As entrevistas foram realizadas com o objetivo de obter informações adicionais sobre a forma como a atual metodologia (A3) é aplicada na prática e quais as ferramentas utilizadas, bem como identificar oportunidades de melhorias nessa prática. As dificuldades e oportunidades encontradas permitiram moldar a metodologia DMAIC com práticas que facilitassem a melhor análise e tratativas para as causas dos erros de furação das chapas metálicas. As entrevistas foram realizadas de forma não estruturada, sendo realizada através de um *gemba* com os funcionários da própria empresa, que consiste numa prática de caminhar pela área de produção onde o trabalho acontece, de modo a observar um evento em relação ao processo. Nesse caso, tenta-se compreender como melhor o problema pode ser analisado.

A partir desse contexto, a proposta dessa pesquisa seguiu os seguintes passos:

- Passo 1 - Identificar e compreender a estruturação da metodologia DMAIC;
- Passo 2 - Analisar a estrutura, limitações e oportunidades de melhoria do A3 empregado;
- Passo 3 - Identificar a relação do A3 empregado com o DMAIC, de modo a adequar e propor ações e ferramentas da qualidade mais adequadas à estruturação e solução do problema no processo pesquisado;
- Passo 4 - Apresentar a proposta de aplicação do DMAIC para controle e tratativa das não conformidades nas etapas de corte e furação das chapas metálicas, com base na empresa em estudo.

A proposta de aplicação do DMAIC foi baseada no estudo de Werkema (2013), em que a sequência das etapas, seus objetivos e exemplos de ferramentas podem ser vistos no quadro 2, em que esse serviu de base para a proposta estruturadora da adaptação do A3 ao DMAIC.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Descrição das dificuldades e limitações no emprego do A3 na empresa

No formato atual, o relatório A3 pesquisado é composto por 5 etapas, onde na primeira busca-se **entender e esclarecer a situação atual** por meio de algumas perguntas pré-definidas que buscam levantar o máximo de detalhes possíveis acerca da situação problema. Uma limitação desta etapa se dá devido ao processo de entendimento que pode se tornar restrito e pouco objetivo, devido às perguntas não darem abertura para outras situações que poderiam ser relevantes para o entendimento do problema.

Na segunda etapa, busca-se **compreender a situação atual**, onde é feita uma demonstração, através de um pequeno fluxograma, de algumas etapas do processo e de lá é extraída a etapa onde o problema ocorre. Após isso, é utilizada a ferramenta de Ishikawa, onde é feito o levantamento e classificação das potenciais causas diretas, indiretas e não contribuintes para o fenômeno. Por não utilizar uma ferramenta de

coleta de dados estatísticos, o levantamento destas potenciais causas pode ficar frágil de base real.

Depois de levantadas todas as causas potenciais para o problema, é realizada a etapa de **análise da causa raiz**, utilizando a ferramenta dos 5 porquês, onde através de cada “porquê”, busca-se alcançar a causa raiz deste problema. Como na etapa anterior a esta, não se é utilizada nenhuma ferramenta gráfica estatística, de modo que não há certeza se as causas potenciais identificadas realmente resultam na raiz do problema original.

Depois de identificada a causa raiz, é dado início a etapa de **desenvolvimento de contramedidas e execução**, onde são determinadas as ações, os responsáveis e o tempo para execução dessas. Nessa etapa, atualmente, devido à falta de uso de melhores ferramentas de ocorrência e medida de dados das causas, baseado em estatísticas numéricas, não há garantia de que a causa raiz encontrada é gerado do problema, devido a fragilidade na coleta de dados, sendo possível que as ações executadas não tragam o resultado esperado.

Por fim, é feito o acompanhamento das ações, na etapa de **monitoramento dos dados e fechamento**, onde durante seis turnos é feito o acompanhamento das ações que foram realizadas e se foram efetivas. Caso o problema não ressurgir, é realizado o fechamento do A3, com a assinatura e validação do líder que solicitou a abertura do documento. Aqui não fica claro qual ferramenta deve ser usada para acompanhamento da eficácia das ações, nem são gerados dados suficientes para caso seja necessário uma nova análise acerca do problema pela falta de consistência das análises.

O atual relatório A3 empregado na empresa pode ser visto no anexo A.

#### 4.2 Relação do A3 empregado com o DMAIC

O quadro 5 apresenta, de modo sintetizado, a relação do A3 com o DMAIC e o que pode ser melhorado com o emprego deste último, de modo a embasar as etapas da proposta do DMAIC a ser aplicado para o problema dessa pesquisa.

Quadro 5 - Análise de adequação da proposta ao DMAIC

Etapas do A3	Etapa do A3 da empresa	Abordagem técnica aplicada	DMAIC	Proposta de adaptação
Definir problema	Esclarecer o Problema (atual e ideal situação)	Conjunto de perguntas de modo a descrever e compreender a ocorrência do problema	Definir (Define)	Proposta de uma ferramenta de gestão para melhor abordar o problema, que permitirá trazer maior detalhes para a proposta de solução.
Descrever problema	Compreender a situação atual	Localizar no mapeamento do processo o ponto de ocorrência do	Medir (Measure)	A fim de compreender de forma mais aprofundada a situação problema, será utilizada ferramentas <b>da qualidade</b> , tendo em vista que

		problema, as causas desse, por meio do diagrama de Ishikawa e aplicada a avaliação de probabilidade de contribuição direta dessas.		é uma ferramenta que possibilita captar dados estatísticos valiosos que, em conjunto com o diagrama de Ishikawa, será de grande valia para a compreensão do processo.
Definir meta	Nao há	Nao há	Analisar (Analyse)	Será proposta uma <b>ferramentas da qualidade</b> , para que através desta ferramenta seja possível coletar dados estatísticos, que irão trazer maior acuracidade para a proposta de solução ou melhoria.
Analisar a causa raiz	Análise da causa raiz	Análise dos 5x porque?		
Elaborar plano de ação	Desenvolvimento da contramedida e execução	Uso de cronograma para descrever a ação para o problema, sua realização, responsável e status		
Verificar as contramedidas	Desenvolvimento da contramedida e execução	Uso de cronograma para descrever a ação para o problema, sua realização, responsável e status	Implementar (Improve)	Aqui a proposta é pela utilização do <b>Plano de Ação</b> , para que seja possível destrinchar detalhadamente através das perguntas: o quê, quem, quando, onde, por que, como e quanto, o passo a passo para a implementação da solução ou melhoria.
Verificar os resultados e processos	Monitoramento dos resultados e fechamento	Acompanhamento da eficácia da ação na redução/eliminação do problema durante 6 turnos	Controlar (control)	Através de uma <b>ferramenta da qualidade</b> , poderá se monitorar estatisticamente os resultados obtidos após a implementação das modificações e verificar se será necessária uma nova análise ou se é possível expandir a melhoria para outros setores.
Padronizar o processo				

Fonte: Autoria própria (2023).

A partir da análise das metodologias traçadas pela empresa, das dificuldades e limitações identificadas e das oportunidades de melhorias, a seguir é apresentada a proposta de aplicação o DMAIC para melhorar a estruturação e tratativa do problema dessa pesquisa, considerando algumas rotinas já usadas no A3.



### 4.3 Proposta de aplicação do DMAIC para controle e tratativa das não conformidades nas etapas de corte e furação das chapas metálicas

Como pode ser observado no quadro 5, ambas metodologias são usadas para análise e solução de problemas, baseadas no ciclo de melhoria PCDA. O DMAIC é realizado em cinco etapas, que vai da exploração do problema à melhoria do processo, que permitem a utilização de diversas ferramentas de gestão da qualidade. O DMAIC permite identificar, quantificar e reduzir a variabilidade de um processo de maneira contínua, também podendo ser aplicado em diversos setores (OLIVEIRA *et al.*, 2021). Ainda, segundo os autores, com o melhor estudo e detalhamento do problema obtido com o DMAIC, tem-se aumentada a possibilidade de atingir a melhoria com êxito e de uma forma estruturada.

O quadro 6 apresenta a proposta de aplicação e as ferramentas da qualidade que auxiliarão a melhor estruturar o problema e melhorar as tratativas das ocorrências e criar meios para padronizar as melhores práticas.

Quadro 6 - Proposta de aplicação

Etapa	Objetivo	Ações e ferramentas propostas
<b>Definir</b>	Esta etapa envolve identificar o problema, estabelecer o objetivo do projeto, identificar as partes interessadas, definir o escopo, formar a equipe, desenvolver o plano para a tratativa do problema. É o estágio inicial para estabelecer uma base sólida para a melhoria do processo.	A ferramenta proposta nesta etapa é a <b>Declaração do Problema</b> , que é uma ferramenta usada para descrever de forma clara e concisa o problema que será abordado em um projeto ou iniciativa. Ela define o estado atual indesejado e destaca o impacto negativo nos resultados da empresa. A declaração do problema geralmente inclui informações sobre o que está ocorrendo, onde está ocorrendo, quando ocorre, a extensão do problema e sua importância para a organização. Essa ferramenta auxilia na compreensão do escopo e propósito do projeto, orientando as etapas subsequentes de análise e solução.
<b>Medir</b>	Nesta etapa será realizada a coleta de dados relevantes e confiáveis relacionados ao problema. Também será utilizado ferramentas estatísticas para analisar os dados e identificar tendências ou padrões.	As ferramentas propostas aqui são a <b>folha de verificação</b> em conjunto com o <b>gemba</b> e a <b>carta de controle</b> , que é utilizada amplamente na análise de processos e monitoramento de qualidade e empregada para identificar variações aleatórias (causas comuns) e variações especiais (causas especiais) em um processo. Esta ferramenta irá ajudar a monitorar estatisticamente as variações no processo.
<b>Analisar</b>	O objetivo desta etapa é identificar as principais causas ou fontes de variação que contribuem para o problema ou para as variações indesejadas no processo. Nessa etapa, a equipe analisa os dados coletados na fase anterior,	A proposta aqui é a de se utilizar o <b>fluxograma</b> , o <b>mapa de processo</b> , o <b>diagrama de Ishikawa</b> e o <b>diagrama de Pareto</b> , que consiste em um gráfico de barras, onde as barras são organizadas em ordem decrescente, da esquerda para a direita, representando a contribuição percentual de cada categoria para o problema total. A barra mais alta indica a

	utilizando ferramentas estatísticas e métodos de investigação, a fim de compreender a raiz do problema.	categoria que contribui mais significativamente para o problema, que será prioritariamente atacada. Isso irá colaborar para que seja possível obter mais dados estatísticos acerca do processo, facilitando a identificação do maior ofensor à eficiência do mesmo.
<b>Melhorar</b>	Aqui o objetivo é implementar soluções e ações para resolver as causas raiz identificadas durante a análise, visando a melhoria do processo. Essa etapa busca encontrar soluções práticas e efetivas que possam eliminar ou reduzir os problemas e variações indesejadas, com o objetivo de obter resultados melhores e mais consistentes.	É proposta a implementação do <b>Plano de Ação 5W2H</b> com o apoio do <b>Brainstroming</b> para definir e documentar detalhadamente as ações necessárias para implementar uma solução ou melhoria. O termo 5W2H refere-se às sete perguntas essenciais que o plano deve responder: o quê, quem, quando, onde, por que, como e quanto, auxiliando de forma mais organizada no sequenciamento do plano de melhoria.
<b>Controlar</b>	O Objetivo aqui é estabelecer controles e sistemas de monitoramento para garantir que as melhorias implementadas sejam mantidas a longo prazo e que o processo permaneça estável e dentro das metas estabelecidas.	Utilizando <b>Cartas de Controle</b> para monitorar o desempenho do processo ao longo do tempo, será possível identificar variações e desvios que possam indicar a necessidade de intervenção. Com esta ferramenta será possível acompanhar estatisticamente a performance das melhorias implementadas, obtendo dados estatísticos altamente relevantes para que se possa definir se o que foi feito, foi realmente eficaz. Ação dando certo, essa deverá ser padronizada.

Fonte: Autoria própria (2023).

Como pode ser visto, no quadro 6, o DMAIC é realizado em conjunto com ferramentas da qualidade, que auxiliam no entendimento e monitoramento do problema, como também na forma de planejar as ações. Com o emprego dessa metodologia, busca-se encontrar melhores soluções aos problemas a partir da melhorar estruturação e do monitoramento da repercussão da melhoria do processo e a padronização das ações aplicadas.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa pesquisa buscou propor a adoção do DMAIC como forma de melhorar a atual prática de análise e solução de problemas, o relatório A3, para controle de não conformidades nos processos de furação a laser de chapas, constituindo-se no estudo de caso exploratório numa indústria de autopeças automotivas.

Por meio desta pesquisa foi possível ampliar o conhecimento acadêmico acerca da utilização de ferramentas apropriadas para análise, solução e controle de problemas na área industrial, tendo em vista que o A3 assim como o DMAIC são ferramentas amplamente utilizadas neste setor, seja para tratar um problema específico ou para propor uma melhoria em qualquer tipo de processo.

Verificou-se nessa pesquisa, que a metodologia DMAIC é mais abrangente no sentido de propor métodos e técnicas as quais oferecem maior controle gerencial e versatilidade na tomada de decisão, enquanto que o A3, não traz direcionamento claro de como as primeiras etapas devem ser executadas no entendimento do problema, tornando-a frágil nesse aspecto. Destaca-se que o DMAIC tem maior foco no planejamento do problema, de modo a obter melhores êxitos de melhoria no processo, sendo uma ferramenta fácil de ser entendida e mostrando-se versátil na escolha das ferramentas de apoio a serem utilizadas nas etapas, de modo a melhor estruturar o problema em análise.

Uma limitação da pesquisa foi quanto às restrições impostas pela empresa pesquisada em não fornecer detalhes dos dados acerca de como a ferramenta A3 é aplicada, devido a normas de segurança advindas da matriz e da pouca experiência da equipe de pesquisa acerca da implementação da ferramenta.

Outra limitação foi a falta de oportunidade de aplicar a metodologia DMAIC, pois pressupõe-se que caso houvesse a aceitação da equipe de gestores responsável pela prática de controle do processo da aplicação do DMAIC, poder-se-ia melhor observar e confrontar os benefícios em relação à melhoria da qualidade em termos de redução de falhas ao se avaliar os relatórios dos indicadores, a partir da coleta de dados com bases estatísticas e do acompanhamento de forma real da eficácia das melhorias que são implementadas, fazendo com que na maioria dos casos os problemas fossem sanados de forma definitiva e deixando uma boa base para futuras melhorias.

Como sugestão para pesquisa futura, ficam as propostas de estudar as ferramentas da qualidade que melhor podem auxiliar no diagnóstico e acompanhamento da ocorrência das falhas de furação a laser em chapas metálicas de aço carbono, bem como de ferramentas de análise e gestão de riscos serem incorporadas aos modelos de análise e solução de problemas em etapas específicas.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, W. S.; ROSA, V. A. O. **Aplicação do método DMAIC no setor de corte e dobra de chapas em uma empresa do ramo metalúrgico.** In: XXVII SIMPEP, Simpósio de Engenharia de Produção, 11, 12, 13 de novembro de 2020.

ANFAVEA. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira.** Disponível em: <https://anfavea.com.br/site/anuarios/>. Acesso em 28 maio 2023.

ASANA. Recursos. Planejamentos de projetos. **Guia para o mapeamento de processos: definição, instruções e dicas.** Disponível em : <https://asana.com/pt/resources/process-mapping>. Acesso em: 02 agosto.2023.

A VOZ DA INDÚSTRIA. **Conheça as aplicações do aço inox na indústria automotiva. 2023.** Disponível em:

<https://avozdaindustria.com.br/opportunidades/conheca-aplicacoes-do-aco-inox-na-industria-automotiva>. Acesso em: 7 jun.2023.

BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011, 229 p.

CAMARGO, Robson. Projetos e negócios. **Diagrama de Pareto: o que é e quando você deve usá-lo?**. 23 ago.2022. Disponível em: <https://robsoncamargo.com.br/blog/Diagrama-de-Pareto-o-que-e-e-quando-voce-deve-usa-lo>. Acesso em: 01 ago. 2023.

CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. **Gestão da qualidade: conceitos e técnicas**. 2a ed. São Paulo. Atlas. 2012.

CHAKRABORTY, S.; PRAMANIK, S. **DMAIC application in an automotive industry for process improvement**. In: 3rd International Conference for Convergence in Technology (I2CT). IEEE, 2018. p. 1-4.

COSIAÇO. Indústria automotiva: quando utilizar chapas de metal?. **Blog Cosiaço Indústria e Metalúrgica**. 1 out. 2022. Disponível em: <https://www.cosiaco.com.br/blog/industria-automotiva-quando-utilizar-chapas-de-metal/> Acesso em: 28 maio. 2023.

COUTINHO, Thiago. Saiba como ter ideias geniais em pouco tempo com o Brainstorming. 6 jan. 2021. **O que é Brainstorming? Aprenda a solucionar seus problemas**. Disponível em: <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/brainstorming>. Acesso em 02 ago. 2023.

COUTINHO, Thiago. Você sabe o que é Fluxograma e como fazer um? Temos 4 dicas para você! **Fluxograma: entenda o que é e veja 4 dicas de como fazer um!** 2 dez. 2020. Disponível em: <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/fluxograma>. Acesso em : 03 ago.2023.

CRIFÉR. **Chapas de Aço para Indústria Automotiva: Quando utilizar?**. 3 fev. 2023. Disponível em: <https://www.crifer.com.br/chapas-de-aco-para-industria-automotiva-quando-utilizar/>. Acesso em: 28 maio 2023.

DUBEY, A. K.; YADAVA, V. Laser cutting process: parameters, optimization, and their effects on cutting quality—a review. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 204, n. 1-3, p. 328-339, 2008.

GOLNABI, H.; BAHAR, R. Laser cutting process: A review. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 49, n. 10, p. 729-739, 2009.

GONÇALVES, Júlia Estefane; SANTOS, Lislely Panfilo; MORAES, Aroldo José Isaias de. **Aplicação da metodologia DMAIC à redução de refugo em uma indústria metalúrgica: um estudo de caso**. In: XLII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil, 04 a 07 de outubro de 2022.

GRILO, Flávio Henrique Silva ;OLIVEIRA, Helber Felipe de; SOUZA JUNIOR, Paulo Antônio de. **MATRIZ A3 – UMA ABORDAGEM ACERCA DAS DIFERENTES**

COMPLEXIDADES DOS PROBLEMAS. **Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção**, v. 4. n. 6. p. 43-57, 2016.

GUIMARÃES, Maria; SANTOS, Ana. Coleta de dados no DMAIC: uma etapa crucial para a melhoria de processos. **Revista Brasileira de Gestão de Produção**, v. 10, n. 3, 2019.

KUMAR, A.; JHA, R. K.; KUMAR, V. **Application of DMAIC methodology for process improvement in a manufacturing industry**. In: International Conference on Automation, Computational and Technology Management (ICACTM). IEEE, 2020. p. 1-5.

LIMA, Gabriela Rodolfo Galvão de; SOUSA, Johnny Camello de; ARESE, Marcelo Contente. **Aplicação da metodologia DMAIC para aumento de eficiência produtiva em uma fábrica de chapas de aço**. In: XL ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil, 20 a 23 de outubro de 2020.

LOIOLA, E. M. - **Metais usados na indústria automobilística para redução de peso**. Anais do 10º SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO - SIEPE. Universidade Federal do Pampa | Santana do Livramento, 6 a 8 de novembro de 2018.

MARTINS, G. L.; SOUZA, E. C. Análise do corte a laser em chapas metálicas e suas aplicações na indústria automobilística. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 5 n. 2, p.78-87, 2017.

MAURÍCIO, A. Tecnologia de corte a laser nas indústrias. **Revista de Tecnologia Industrial**, v. 25 n. 2, p. 45-58, 2014.

MINAYO, M. C. S. **O desafio do Conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde**. 14. ed. São Paulo: Hucitec, 2014. 416 p.

MORO, Renata; et al. Teste de soluções propostas no DMAIC: garantindo a eficácia da melhoria de processos. **Revista de Engenharia de Produção**, v. 12, n. 4, 2019.

OLIVEIRA, K. *et al.* **Utilização de ferramentas da qualidade e metodologia DMAIC em empresa do setor automotivo para redução do índice de PPM de fornecedor**.

In: Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. Anais do X ConBRepro.

APREPRO: Paraná, 2021. Disponível em:

[https://aprepro.org.br/conbrepro/2021/anais/arquivos/10112021\\_111048\\_61645128cec75.pdf](https://aprepro.org.br/conbrepro/2021/anais/arquivos/10112021_111048_61645128cec75.pdf). Acesso em: 12 jun. 2023.

PAIVA, Luiz Ricardo de, *et al.* Aplicação do método DMAIC para melhoria no processo a laser na indústria automotiva. **Revista Tecnologia e Tendências**, v. 10, n. 2, p. 03-32, 2019.

PASCOAL, E.; LAMAGUTI, B.; BERNARDES, P.. Metodologia A3: aplicação, vantagens, desvantagens e dificuldades a partir do estudo em uma fábrica de papel. **Revista Produção Online**. Florianópolis, SC, v. 21, n. 4, p. 2012-2032, 2021.

PASCOAL, E. T.; HIROKO IAMAGUTI, B.; VILELA BERNARDES, P. H. Metodologia A3: prós e contras a partir da perspectiva de um estudo de caso. **Cadernos UniFOA**,

Volta Redonda, v. 17, n. 49, p. 49–60, 2022. DOI: 10.47385/cadunifoa.v17.n49.3921. Disponível em: <https://revistas.unifoa.edu.br/cadernos/article/view/3921>. Acesso em: 04 jul. 2023.

PINTO, A. T. *et al.* **Aplicação da metodologia DMAIC para a redução de não conformidades em uma indústria metal mecânica.** In: XXIX SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Bauru, SP, Brasil, 09 a 11 de novembro de 2022.

RAPID DIRECT. **Tipos de chapas metálicas: como escolher na prototipagem rápida.** 11 nov. 2021. Disponível em: <https://www.rapiddirect.com/pt/blog/tipos-de-chapas-met%C3%A1licas/>. Acesso em: 7 jun. 2023.

RIBEIRO, João *et al.* Melhoria de processos utilizando o DMAIC. **Revista de Gestão Industrial**, v. 5, n. 2. 2018.

ROSALIN, Maria Carolina ; ARAÚJO, Amanda Florencio; ASSIS, Rodrigo Furlan de. **Aplicação do ciclo DMAIC em uma indústria automotiva.** In: XLII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 04 a 07 de outubro de 2022.

SANTOS, Jorge. **O uso do relatório A3 como ferramenta de implementação da filosofia Lean na gestão de empresas do setor de construção civil.** In: IX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Ponta Grossa, PR, Brasil, 04 a 06 de dezembro de 2019.

SANTOS, Wagner de Miranda; PISCIOTTA, Alex V. **Aplicações do laser na indústria 4.0: processos de corte, solda, medição e rastreabilidade por meio de gravação direta de peças.** Revista Brasileira de Mecatrônica, v. 3, n. 2, p. 15-35, 26 fev. 2021.

SAMPAIO, Pedro *et al.* Utilização de ferramentas estatísticas na identificação de causas raízes no DMAIC. **Revista de Qualidade e Produtividade**, v. 8, n. 1, 2017.

SEBRAE. Blog. Empreendedorismo . 30, dezembro 2022. **5W2H: o que é, para que serve e por que usar na sua empresa.** Disponível em: <https://www.sebrae-sc.com.br/blog/5w2h-o-que-e-para-que-serve-e-por-que-usar-na-sua-empresa#:~:text=O%20que%20%C3%A9%20a%20ferramenta,os%20envolvidos%20em%20um%20projeto>. Acesso em: 02 ago. 2023.

SOBEK, D. K.; JIMMERSON, C. **Relatório A3:** ferramenta para melhorias de processos. Lean Institute, 2006.

SOBEK II, D. K.; SMALLEY, A. **Entendendo o pensamento A3:** um componente crítico do PDCA da Toyota. Porto Alegre: Bookman, 2010.

XIE, J.; WANG, H.; ZHU, L. Application of laser cutting technology in automotive parts manufacturing. **Journal of Manufacturing Engineering**, v. 45, n. 3, p. 112-126, 2021.

WERKEMA, C. **Métodos PDCA e DMAIC e suas ferramentas analíticas.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

YIN, R. K. **Estudo de caso:** planejamento e métodos. Tradução: Cristhian Matheus Herrera, 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

## ANEXO A - RELATÓRIO A3 EMPREGADO NA EMPRESA OBJETO DO ESTUDO

<p><b>1. Esclarecer o problema (Atual e Ideal situação)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ O que aconteceu? Conseguiríamos reproduzir o problema? Qual é o problema? Qual é o KPI afetado?</li> <li>■ Quando o problema/fenômeno surgiu? Em qual sequência do processo (partida, marcha corrente, problema intermitente, shutdown, changover). Em qual dia, hora e turno?</li> <li>■ Onde você viu o problema/fenômeno surgir? Onde no equipamento, processo ou produto/material, você vê o problema? Qual é a fonte do problema?</li> <li>■ Qual a tendência/padrão o fenômeno tem? Está relacionado com quais variáveis do processo?</li> <li>■ Quem pode gerar o problema? Todos? Ou parece não acontecer com algumas pessoas ou times?</li> <li>■ Como o problema acontece? Qual foi a sequência de eventos que mudaram em relação a condição normal?</li> </ul>	<p><b>3. Análise de causa raiz (5 X Porquês)</b></p> <table style="width: 100%; text-align: center; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Por quê? Portanto</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Por quê? Portanto</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Por quê? Portanto</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Por quê? Portanto</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Por quê? Portanto</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Por quê? Portanto</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> </tr> </table>	Por quê? Portanto	Por quê? Portanto	Por quê? Portanto	Por quê? Portanto	Por quê? Portanto	Por quê? Portanto																																																																																																					
Por quê? Portanto	Por quê? Portanto	Por quê? Portanto	Por quê? Portanto	Por quê? Portanto	Por quê? Portanto																																																																																																							
<p><b>2. Compreender a situação atual (método estatístico, Ishikawa)</b></p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-bottom: 10px;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Início</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Processo</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Processo</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Processo</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Processo</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Processo</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Processo</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Processo</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Ponto final</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td> </tr> </table> <div style="margin-left: 40px;"> <p>Mão de obra      Medição      Métodos</p> <p>Material      Máquina      Meio ambiente</p> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: green;">○</span> Causa potencial investigada e não contribuinte</li> <li><span style="color: yellow;">△</span> Causa potencial investigada e confirmada como contribuintes diretos.</li> <li><span style="color: red;">✕</span> Causa potencial investigada e confirmada como contribuintes indiretos.</li> <li>▲ As causas seleccionadas são ponderadas e marcadas.</li> </ul>	Início	Processo	Processo	Processo	Processo	Processo	Processo	Processo	Ponto final										<p><b>4. Desenvolvimento de contramedida e execução</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: yellow;"> <th>No</th> <th>Problema</th> <th>Ação</th> <th>Data de realização</th> <th>Responsável</th> <th>Status</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table> <p><b>5. Monitoramento dos dados e fechamento</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>TURNO CHECK</th> <th>TURNO CHECK</th> <th>TURNO CHECK</th> <th>TURNO CHECK</th> <th>TURNO CHECK</th> <th>TURNO CHECK</th> <th rowspan="2">Assinar quando as ações corretivas forem executadas e validadas</th> <th>Fechamento relatório A3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>Assinatura Líder Processo</td> </tr> <tr> <td>Assinatura</td> <td>Assinatura</td> <td>Assinatura</td> <td>Assinatura</td> <td>Assinatura</td> <td>Assinatura</td> <td></td> <td>Data</td> </tr> </tbody> </table>	No	Problema	Ação	Data de realização	Responsável	Status																																																													TURNO CHECK	TURNO CHECK	TURNO CHECK	TURNO CHECK	TURNO CHECK	TURNO CHECK	Assinar quando as ações corretivas forem executadas e validadas	Fechamento relatório A3	1	2	3	4	5	6	Assinatura Líder Processo	Assinatura	Assinatura	Assinatura	Assinatura	Assinatura	Assinatura		Data
Início	Processo	Processo	Processo	Processo	Processo	Processo	Processo	Ponto final																																																																																																				
No	Problema	Ação	Data de realização	Responsável	Status																																																																																																							
TURNO CHECK	TURNO CHECK	TURNO CHECK	TURNO CHECK	TURNO CHECK	TURNO CHECK	Assinar quando as ações corretivas forem executadas e validadas	Fechamento relatório A3																																																																																																					
1	2	3	4	5	6		Assinatura Líder Processo																																																																																																					
Assinatura	Assinatura	Assinatura	Assinatura	Assinatura	Assinatura		Data																																																																																																					