

# APLICAÇÃO DO MÉTODO DMAIC PARA MELHORIA NO PROCESSO DE SOLDA A LASER NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

## APPLICATION OF THE DMAIC METHOD FOR IMPROVEMENT IN THE LASER WELDING PROCESS IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

**Luiz Ricardo de Paiva** [luizricardopaiva@gmail.com](mailto:luizricardopaiva@gmail.com)  
Engenharia Mecânica pela ETEP Faculdades (São José dos Campos/Brasil)

**Michael Fidelis da Cruz** [michael.fideliz@hotmail.com](mailto:michael.fideliz@hotmail.com)  
Técnico em Mecânica pela ETEP Faculdades (São José dos Campos/Brasil)

**Rodrigo Otávio Venturini Salamão** [rodrigoventurini@ig.com.br](mailto:rodrigoventurini@ig.com.br)  
Graduado em Engenharia Industrial Mecânica pela ETEP Faculdades (São José dos Campos/Brasil)

**Luís de Souza Sanchez** [l\\_s\\_sanchez@yahoo.com.br](mailto:l_s_sanchez@yahoo.com.br)  
Graduado em Administração de Empresas pela Universidade de Taubaté (Taubaté/Brasil)

**Erika Peterson Gonçalves** [erika@univap.br](mailto:erika@univap.br)  
Doutor em Engenharia Aeronáutica e Mecânica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (São José dos Campos /Brasil).  
Professora na Universidade do Vale do Paraíba (São José dos Campos/Brasil).

RT&T | a. 10 | n. 2 | p. 03-32 | jul./dez. 2019

Recebido em: 20 de outubro de 2017 | Aprovado em: 20 de março de 2018

Sistema de Avaliação: Double Blind Review | DOI: <https://doi.org/10.25112/rtt.v10i2.1798>

## RESUMO

A soldagem a laser é amplamente utilizada na indústria automotiva, pois apresenta qualidade no acabamento, aporte de energia e redução da zona afetada pelo calor. No entanto, a limitação quanto à espessura do cordão de solda, instabilidade no foco do laser e a dificuldade em guiá-lo para a região de soldagem exigem sistemas robotizados de alta precisão para a aplicação de maneira adequada. O processo na unidade fabril em questão é totalmente robotizado, porém, apresentou instabilidade durante a soldagem, resultando em falhas no cordão e desgaste prematuro dos bicos de soldagem. Este trabalho, por meio da metodologia DMAIC, estabeleceu a correlação entre as falhas no cordão de solda, troca excessiva dos bicos e *cast* do arame de soldagem. Foi determinada a causa raiz do problema e propôs-se soluções viáveis, as quais foram implementadas. A partir dessas ações na empresa automotiva, foi possível reduzir o consumo de bicos em 60% durante o processo de soldagem, permitindo manter o índice de falhas abaixo de 0,6 a cada mil unidades inspecionadas.

**Palavras-chave:** DMAIC. Soldagem a Laser. Indústria Automotiva.

## ABSTRACT

Laser welding is widely used in the automotive industry, because it offers quality in finishing, energy supply and reduction of the heat affected zone. However, limiting the thickness of the weld bead, instability in the focus of the laser and the difficulty in guiding it to the welding region, requires high-precision robotic systems for proper application. The process in the industry in question is totally robotized, but it showed instability during welding, resulting in cord failure and premature wear of the welding nozzles. This work, through the DMAIC methodology, established the correlation between weld bead failures, excessive nozzle exchange and cast welding wire. The root cause of the problem was determined and viable solutions were proposed and implemented. From these actions in the automotive industry it was possible to reduce the nozzle consumption by 60% during the welding process, allowing to keep the failure rate below 0.6 per thousand inspected units.

**Keywords:** DMAIC. Laser Beam Welding. Automotive Industry.

## 1 INTRODUÇÃO

O interesse na soldagem a laser de chapas metálicas tem aumentado consideravelmente, por apresentar alto potencial de redução de custos para as empresas, além de alta resistência e qualidade no acabamento das peças, produzindo um cordão de solda estreito e profundo, o que minimiza os efeitos metalúrgicos sofridos pela zona afetada pelo calor (ZAC) (HAMIDINEJAD, 2013).

Este processo está relacionado a uma tecnologia de alta precisão, o que requer controle das variáveis envolvidas, minimizando assim, impactos no desempenho do processo, evitando perdas e retrabalho (YANG E EL-HAIK, 2008).

O DMAIC (*Define* (Definir – D), *Mesure* (Medir – M), *Analyze* (Analisar – A), *Improve* (Implementar – I) e *Control* (Controlar – C)) é parte integrante do modelo Seis Sigma para controle da qualidade que utiliza ferramentas estatísticas clássicas para a solução de problemas, sendo uma metodologia organizada baseada em modelos rigorosos possibilitando uma sequência ordenada, eficaz e lógica no gerenciamento dos projetos.

Esse modelo é formado por cinco fases visando a melhoria de processos e que tem como objetivo, definir de forma organizada os problemas e situações que serão melhorados. O levantamento de dados permite a obtenção de informações direcionadas para a melhoria de processos.

No processo de soldagem é possível identificar os problemas existentes na linha (sejam instrumentais ou humanos) e definir as metas para a correção dessas falhas, sendo uma importante ferramenta para o controle de qualidade. Este procedimento permite a apresentação de uma proposta de alteração no processo, correlacionando os impactos e as soluções a serem implementadas. Como parte final da metodologia, é importante estabelecer um Procedimento Operacional Padrão (POP), que visa garantir o alcance da meta proposta a longo prazo.

Em um segmento industrial de elevada competitividade, como é o a indústria automotiva, as variáveis dos processos devem ser conhecidas e controladas de forma criteriosa e sistemática, especialmente quando esses processos estão diretamente relacionados à fabricação do produto destinado ao consumidor final, nesse caso o próprio automóvel. Dentre essas variáveis podemos destacar os indicadores financeiros, de produção, de manutenção e de qualidade, os quais impactam diretamente nos resultados da unidade fabril.

Este trabalho tem como objetivo mitigar os problemas na linha de soldagem de uma indústria automobilística por meio da aplicação do método DMAIC como ferramenta para determinar os fatores que interferem no processo de soldagem a laser responsáveis pela descontinuidade do cordão de solda resultando no aumento do consumo de bicos de soldagem.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia aplicada na execução deste trabalho envolveu o método DMAIC.

Na fase DEFINIR utilizou-se as seguintes ferramentas: *Project charter*, métrica Seis Sigma, análise de séries temporais e análise econômica (para avaliar o histórico do problema, retorno econômico e impacto sobre o cliente).

Na fase MEDIR foi analisado o impacto das principais partes do problema para identificar as prioridades por meio das seguintes ferramentas: estratificação, diagrama de Pareto, matriz de priorização, gráfico sequencial e análise de séries temporais.

Na etapa da fase ANALISAR foram aplicadas as seguintes ferramentas: mapa do processo, diagrama de causa e efeito e matriz de priorização (a fim de identificar e priorizar as causas potenciais do problema prioritário).

Na fase IMPLEMENTAR foram utilizados os seguintes processos: *brainstorming* para geração de ideias, diagrama de causa e efeito para eliminação das causas fundamentais do problema e matriz de priorização para elencar as soluções potenciais.

E por fim na fase CONTROLAR foram usadas as ferramentas: procedimento operacional padrão, gestão visual, confecção de manuais e reuniões, com intuito de controlar as ações estabelecidas e transmitir os novos padrões a todos envolvidos e fazer monitoramento da performance do processo e do alcance da meta.

A Figura 1 ilustra todo o processo de aplicação da metodologia DMAIC.

**Figura 1: Etapas de Aplicação da Metodologia DMAIC**

	Atividades	Ferramentas
<b>D</b>	Descrição do problema do projeto – definição de meta	<i>Project Charter</i>
	Avaliar: histórico do problema, retorno econômico, impacto sobre clientes/fornecedores	<i>Project Charter</i> <i>Métricas Seis Sigma</i> <i>Análise Econômica</i>
	Análise da viabilidade em realizar o projeto	
	SIM	
	Definir na equipe metas e responsabilidades	
DEFINIR: Definir com precisão o Escopo do Projeto	Identificar as necessidades dos clientes	
	Definir principal processo envolvido no projeto	
	Definir na equipe metas e responsabilidades	
	NÃO	
	Selecionar outro projeto	

<b>M</b>	Atividades	Ferramentas
<b>MESURE:</b> Determinar a localização ou foco do problema	Decidir entre coletar novos dados ou usar dados existentes	Avaliação do Sistema de Medição / Inspeção
	Identificar a forma de estratificação para o problema	Estratificação
	Analisar o impacto das várias partes do problema e identificar os problemas prioritários	Estratificação, Diagrama de Pareto, Matriz de Priorização
	Estudar as variações dos problemas prioritários identificados	Gráfico Sequencial, Análise de Séries Temporais
	Estabelecer meta para o problema prioritário	Cálculo Matemático

<b>A</b>	Atividades	Ferramentas
<b>ANALISE:</b> Determinar a Causa do Problema Prioritário	Analisar o processo gerador do problema prioritário	Mapa de Processo
	Identificar e organizar as causas potenciais do problema prioritário	Diagrama de Causa e Efeito
	Priorizar as causas potenciais do problema prioritário	Matriz de Priorização

<b>I</b>	Atividades	Ferramentas
<b>IMPROVE:</b> Promover, Avaliar e Implementar Soluções para o problema Prioritário	Gerar ideias de soluções potenciais para a eliminação das causas fundamentais do problema prioritário.	Brainstorming, Diagrama de Causa e Efeito
	Priorizar as Soluções Potenciais	Matriz de Priorização
	Identificar e implementar Melhorias ou Ajustes para as Soluções Selecionadas caso necessário	
	Elaborar e Executar um Plano para a Implementação das Soluções em Larga Escala	

<b>C</b>	Atividades	Ferramentas	
<b>CONTROL:</b> Garantir que o alcance da meta seja mantido a longo prazo	Avaliar o alcance da meta em larga escala		
	A meta foi cumprida?		
	NÃO	SIM	
	Retornar à etapa MESURE	Padronizar as alterações realizadas no processo em consequência das soluções adotadas – Produção POP	POP, Gestão Visual
		Divulgar novos padrões a todos os envolvidos	Manuais, Reuniões, POP, Gestão Visual
		Definir e implementar plano de monitoramento do desempenho do processo e do alcance da meta	Amostragem, Auditoria do uso do POP, Plano de coleta de dados
		Definir e implementar um plano para tomada de ações corretivas caso surjam problemas no processo	Relatório de Anomalias
Sumarizar o que foi aprendido e recomendar estudos futuros			

Fonte: Os autores

## 2 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Várias são as opções tecnológicas disponíveis no mercado para a junção da carroceria com o teto de automóveis. O processo analisado neste estudo trata-se de brasagem a laser de diodo 3– 4 kW com orientação do foco através de um sensor tátil pneumático, sendo o metal de adição formado pela liga  $\text{CuSi}_3$  com pré-aquecimento para a junção de chapas aço-carbono zincadas e a cabeça de brasagem a laser é suportada por um robô articulado vertical.

Para se chegar a esse processo, a empresa em questão constatou que, os benefícios da brasagem são mais aparentes quando utilizados em superfícies classe A (em automóveis corresponde as partes visíveis do veículo), por apresentarem bom acabamento, baixíssimas distorções e deformações, junção resistente e preparada para o processo de pintura. A seleção do laser de diodo frente ao YAG, se deu considerando que o laser de diodo reduz 75% as rebarbas ao final do processo, e a velocidade de brasagem pode chegar a  $4,4 \text{ m.min}^{-1}$ , frente a  $2,5 \text{ m.min}^{-1}$  do Laser YAG.

O processo em questão precisa atender aos seguintes requisitos: união estanque (anticorrosivo), superfície de costura lisa, boa junção de lacunas (até 0,2 mm), união sem poros, sem alteração da resistência à corrosão do material base, mínima transmissão de calor ao material base, mínimos atrasos, resistência adequada, evitar a fusão do material base, cobertura isenta de resíduos de fumo, retificação fácil, sem operação especial da costura e sem gases adicionais.

Esse processo, o qual é acompanhado por um operador qualificado, é aplicado na junção da carroceria com o teto do automóvel, sendo realizado simultaneamente, nos lados esquerdo e direito do veículo em seu sentido longitudinal. Este operador é o responsável por realizar a troca das bobinas de arame, bicos, manutenção de primeiro nível e intervém no processo em situações de falha grave. Além de executar a inicialização, parametrização e operação dos sistemas responsáveis pela realização da soldagem e sistemas auxiliares.

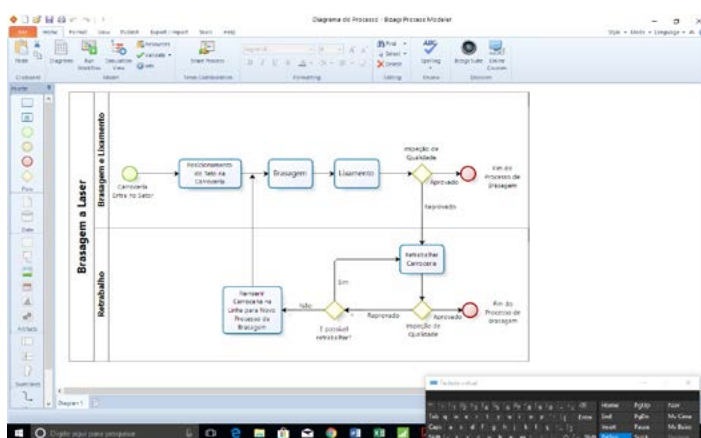
### 2.1 MAPA DO PROCESSO DE BRASAGEM

A Figura 2 (a) mostra em um diagrama de blocos o mapa do processo de brasagem. Neste, observa-se as principais atividades realizadas no setor, os pontos de inspeção do veículo e possíveis ações a serem tomadas em caso de não conformidade. O mapeamento do processo é de grande importância para a identificação das regras, validações e detalhamento de atividades (OLIVEIRA, 2010).

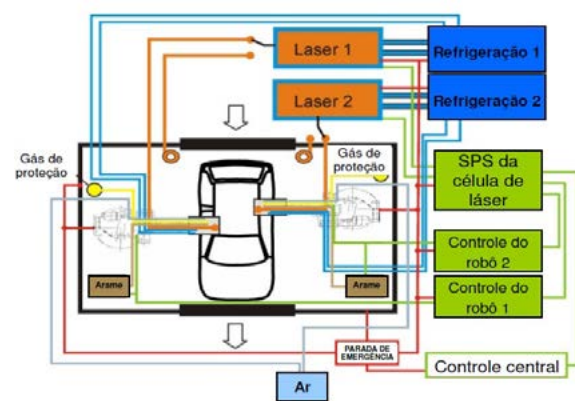
O encaminhamento de um veículo para a área de retrabalho não significa impacto imediato na linha de produção como um todo, pois, o número de veículos disponíveis no processo neutraliza breves paradas na linha de produção. Porém, a reinserção de um veículo na linha de montagem, é uma medida que gera impactos mais significativos no ciclo de produção, sendo necessário um planejamento detalhado com a execução, preferencialmente, em momentos de linha inativa.

A Figura 2 (b) apresenta o detalhamento da estação de brasagem com todos os seus componentes. São duas estações de soldagem que, controladas por dois robôs, operam de forma independente, tendo o controle central e dispositivos de emergência comum à ambos.

**Figura 2: (a) Mapa do processo de brasagem a laser. (b) Detalhes do processo na célula de brasagem**



(a)



(b)

Fonte: os autores

## 2.2 ETAPA DEFINIR

### 2.2.1 PROJECT CHARTER

A Figura 3 apresenta o resultado obtido após a utilização da ferramenta *Project Charter*.

Figura 3: execução da ferramenta *Project Charter*

Project Charter																												
<b>Informações Gerais do Projeto</b>																												
Nome do Projeto	Aplicação do DMAIC no Processo de Solda a Laser																											
Project Sponsor	Industria Automotiva Taubaté																											
Project Manager	Luis de Souza Sanchez																											
Processo Impactado	Soldagem a Laser Carroceria + Teto																											
Data de Início	janeiro-17																											
Data de Término	dezembro-17																											
Economia Estimada	R\$250.000,00																											
Custo Estimado	R\$10.614,38																											
<b>Descrição do Problema, Objetivos e Entregas desse Projeto</b>																												
<b>O Problema</b>	Desgaste excessivo do bico de soldagem e solda irregular no processo de junção do teto com a carroceria do veículo automotor na planta de Taubaté																											
<b>Justificativa</b>	Apesar dos inúmeros benefícios apresentados pelo processo de soldagem a laser, como: alta resistência mecânica, elevada qualidade no acabamento, cordão de solda estreito e profundo, efeitos metalúrgicos sofridos pela zona afetada pelo calor (ZAC) reduzidos, menor distorções, soldagem em passe único e entre outros. Foi encontrado uma falha na continuidade do cordão de solda, causada principalmente por um desgaste prematuro do bico de soldagem. O impacto desta falha apresentada é relevante pois gera não conformidades e retrabalhos impactando na eficiência do processo e gerando custos adicionais. O que justifica o desenvolvimento de um projeto para sanar essas não conformidades.																											
<b>Objetivos SMART</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>S - Aumentar a vida útil dos bicos de solda</li> <li>S - Cordões de Solda Contínuos</li> <li>M - Incremento de vida útil em 50%</li> <li>M - Cordões ininterruptos numa mesma região a ser soldada</li> <li>M - Aumento do OEE das máquinas em 10% (deve ser um cálculo relativo ao aumento de vida útil do bico.</li> <li>M - Queda nas não conformidades e Retrabalhos em 10%</li> </ul>																											
<b>Escopo do Projeto e Datas</b>																												
<b>Requisitos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cordões de soldas sem interrupções</li> <li>Queda do número de trocas de bicos / mês.</li> <li>Aumento do OEE (Manutenção)</li> <li>Definição do Benchmark</li> <li>Padronização e Aderência ao Processo</li> </ul>																											
<b>Restrições</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>O Projeto deverá estar finalizado até Dez/17</li> <li>Os testes e análises devem ser feitos nos laboratórios da empresa</li> <li>Possíveis intervenções não podem retardar a produção.</li> <li>Algumas informações não poderão ser compartilhadas por estarem protegidas por cláusula de confidencialidade e propriedade intelectual.</li> </ul>																											
<b>Datas de Entregas Propostas</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Key Milestone</th> <th>Start</th> <th>Complete</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Formar o time de Projeto / Revisões Preliminares / Escopo</td> <td>jan-17</td> <td>mar-17</td> </tr> <tr> <td>Finalizar Project Plan / Charter / Kick Off</td> <td>fev-17</td> <td>abr-17</td> </tr> <tr> <td>Fase Definir</td> <td>mai-17</td> <td>jun-17</td> </tr> <tr> <td>Fase Medir</td> <td>jun-17</td> <td>jul-17</td> </tr> <tr> <td>Fase Analisar</td> <td>jul-17</td> <td>ago-17</td> </tr> <tr> <td>Fase Implementar</td> <td>ago-17</td> <td>out-17</td> </tr> <tr> <td>Fase Controlar</td> <td>out-17</td> <td>dez-17</td> </tr> <tr> <td>Fechamento e Conclusões do Projeto</td> <td>dez-17</td> <td>dez-17</td> </tr> </tbody> </table>	Key Milestone	Start	Complete	Formar o time de Projeto / Revisões Preliminares / Escopo	jan-17	mar-17	Finalizar Project Plan / Charter / Kick Off	fev-17	abr-17	Fase Definir	mai-17	jun-17	Fase Medir	jun-17	jul-17	Fase Analisar	jul-17	ago-17	Fase Implementar	ago-17	out-17	Fase Controlar	out-17	dez-17	Fechamento e Conclusões do Projeto	dez-17	dez-17
Key Milestone	Start	Complete																										
Formar o time de Projeto / Revisões Preliminares / Escopo	jan-17	mar-17																										
Finalizar Project Plan / Charter / Kick Off	fev-17	abr-17																										
Fase Definir	mai-17	jun-17																										
Fase Medir	jun-17	jul-17																										
Fase Analisar	jul-17	ago-17																										
Fase Implementar	ago-17	out-17																										
Fase Controlar	out-17	dez-17																										
Fechamento e Conclusões do Projeto	dez-17	dez-17																										



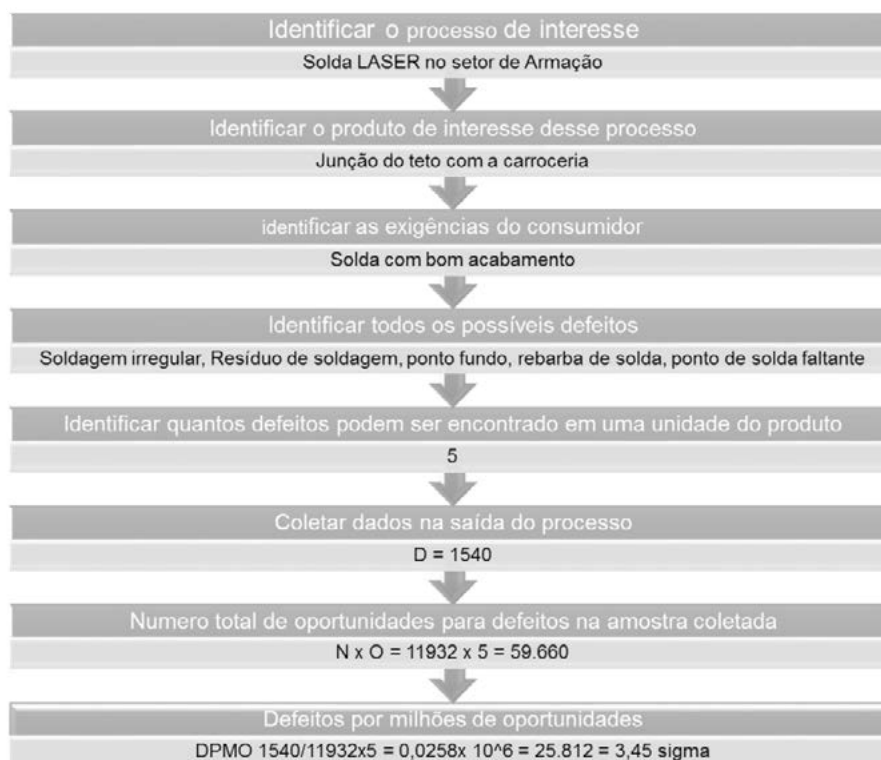
Definição dos Recursos e Custos do Projeto				
Equipe	Luiz Ricardo de Paiva Michael Fidels da Cruz			
Suprta e Recursos	Dr. José Eduardo Salgueiro Lima Me. Luiz Sanches			
Tipo de Custos	Vendor / Labor Names	Rate	Qty	Amount
Bicos	Bicos novos para teste em laboratório	R\$21,46	3	R\$64
Mão de Obra Operador (Soft)	Dedicação por parte do operador para a realização de testes na linha e reuniões (horas)	R\$15,00	50	R\$750
Mão de Obra Qualidade (Soft)	Execução de medições, ensaios e envolvimento em reuniões (horas)	R\$18,00	50	R\$900
Laboratório de Ensaios (Soft)	Alocação de recursos do laboratório para execução de testes e elaboração de pareceres	R\$400,00	20	R\$8.000
Outros	Budget reservado a custos eventuais que possam surgir no decorrer do projeto	R\$900,00	1	R\$900
			<b>Total Costs</b>	<b>R\$10.614</b>
Definição dos Benefícios do Projeto e Clientes				
Process Owner	Indústria Automotiva - Iaubacê			
Key Stakeholders	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dep. Produção</li> <li>• Dep. Processos</li> <li>• Dep. Qualidade</li> <li>• Dep. Compras</li> <li>• Dep. Financeiro</li> <li>• Consumidores Finais</li> <li>• Comandante Centrais</li> <li>• Órgãos Reguladores (Funza, CONTRAN, etc.)</li> </ul>			
Cliente Final	Concessionárias, Consumidor, Empresas Especializadas no setor Automotivo			
Benefícios	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Racionalização de Custos</li> <li>• Melhor Eficiência de utilização de recursos</li> <li>• Diminuição dos trabalhos</li> <li>• Solida comercial (melhora nas propriedades mecânicas)</li> <li>• Aumento da Disponibilidade da Máquina</li> </ul>			
Tipo de Definição	Descrição do Benefício	Benefício Estimado		
Redução de Custos Específicos	Queda no consumo de Arros, Discos de Lixa e outros insumos	R\$10.000		
Aumento no Lucro				
Aumento de Produção (Soft)	Incremento na disponibilidade do equipamento	R\$100.000		
Improvcd Compliance	Procedimentos mais claros e melhor aderência por parte da operação	R\$30.000		
Melhora na Tomada de Decisões	Críticas mais claras e objetivos de avaliação	R\$10.000		
Queda na Manutenção	Queda no número de intervenções por parte do departamento, aumentando o OEE	R\$50.000		
Outros custos evitados		R\$20.000		
			<b>Total</b>	<b>R\$250.000</b>
Descrição dos Riscos do Projeto				
Riscos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Substituição Tecnológica</li> <li>• Solução Economicamente Inviável</li> <li>• Falta de expertise (know-how)</li> <li>• Off Target</li> <li>• Literatura escassa</li> <li>• Fluxo de Informação</li> </ul>			
Preparado por:	Luiz Ricardo de Paiva Michael Fidels da Cruz	Data:	18-mar-17	

## 2.2.2 MÉTRICAS DO SEIS SIGMA

De acordo com BERLITZ e HAUSSEN (2005), a métrica Seis Sigma permite medir o nível de qualidade de processos, procedimentos e equipamentos. Para ROTONDARO (2008), o Seis Sigma mede a capacidade do processo em trabalhar livre de falhas, assim, Seis Sigma significa a redução da variação no resultado entregue aos clientes numa taxa de 3,4 falhas por milhão ou 99,99966% de perfeição, onde é comprometido menos de 1% do faturamento com esses custos indesejáveis.

Para o processo analisado (Figura 4), níveis de performance 3,45-sigma, comprometem 25% a 40% do faturamento com custos gerados pela falta de qualidade no processo.

**Figura 4: Métricas do Seis Sigma**



**Fonte: Os autores**

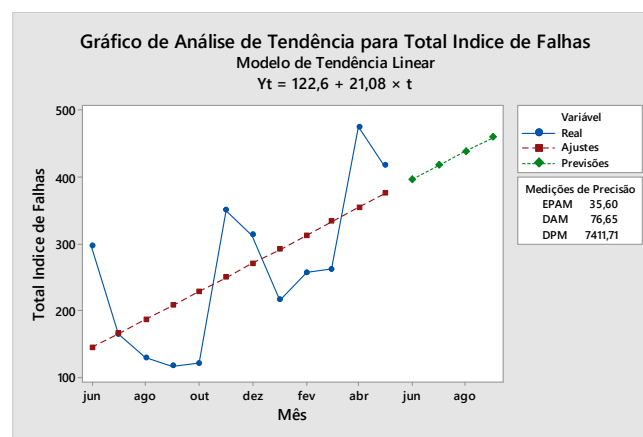
## 2.2.3 ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS

De acordo com WAINER (2010), séries temporais são seqüências de dados quantitativos relativos a momentos específicos e estudados segundo sua distribuição no tempo. Analisar as séries temporais do departamento permite definir se há um problema e projetar, estatisticamente, tendências para os

eventos ocorridos no passado, de modo a antever e trabalhar em medidas preventivas ou em último caso, planos que visam mitigar os impactos.

A Figura 5 ilustra a tendência de falhas no período aproximado de 12 meses.

**Figura 5: Análise de Séries Temporais**



Fonte: Os autores

Analisando a série temporal é possível perceber a tendência crescente na instabilidade na ocorrência da falha. Este resultado mostra a relevância no estudo, pois as não conformidades do processo não estão atreladas a ocorrências pontuais no setor analisado.

## 2.2.4 ANÁLISE ECONÔMICA

Segundo KAT (2003), a estratégia de uma empresa necessita de medidas financeiras de desempenho para melhorar seus gastos e, sua implementação contribui para a melhoria da competitividade no mercado.

### 2.2.4.1 Gastos com Insumos

No processo executado durante este estudo são utilizados bicos de contato 1,6 mm  $\text{CuSi}_3$  para direcionar a saída do arame de solda, que apresenta um consumo diário de 1 bico/caixa de arame de 15 kg, para a produção de 200 carrocerias. A Tabela 1 apresenta os gastos com os insumos envolvidos durante o processo de brasagem.

**Tabela 1: Gastos com Insumos para o processo de brasagem**

Insumo	Custo unitário (R\$)
Bicos (unidade)	21,46
Arame (rolo 15 kg)	485,00
Disco Lixadeira (unidade)	4,15

**Fonte: Os autores**

De acordo com o apresentado na Tabela 1, cada bico custa, em média, R\$ 21,46. Em condições ótimas de operação são utilizados 2 bicos por dia (lado direito e esquerdo). Em 12 meses são trabalhados 167,66 dias, totalizando um custo total de R\$7.195,97. Com a incidência do problema analisado, o custo da operação passou a ser de R\$ 21.587,90/ano, evidenciando um aumento de cerca 66,7 % no gasto com bicos.

No acabamento da solda são utilizados discos abrasivos para lixamento. Com a apresentação de incidência do problema, esta operação deve ser ajustada com maiores pressões nos discos, visando melhoria na qualidade do acabamento da solda, o que acarreta maior desgaste do ferramental, ocasionando um maior consumo no processo diário. Regularmente são utilizados 14 discos/dia, totalizando um custo de R\$ 9.743,37/ano.

Com a identificação da falha no processo, observou-se um aumento no consumo 4 discos/dia, totalizado um custo de R\$ 12.666,38/ano, o que corresponde a um aumento de 30% nos gastos com discos.

#### **2.2.4.2 Custos com Horas Extras Trabalhadas**

Quando há uma falha que o reparador não consegue corrigir no decorrer do processo, a carroceria é separada em áreas de retrabalho. Estes retrabalhos são realizados em final de semana (inatividade da linha), gerando custo extra com mão de obra. Com base nos dados fornecidos pela indústria automobilística em questão, no período de maior número de falhas, ocorreu um aumento no custo na ordem de R\$ 20.994,64.

## 2.3 RESULTADOS DA ETAPA MEDIR

### 2.3.1 AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO

De acordo com Werkema (2012), as técnicas para a avaliação do Sistema de Medição/Inspeção (MSE) permitem a quantificação do grau de confiabilidade dos dados gerados pelos sistemas de medição, inspeção e registros utilizados pela empresa. Por se tratar de uma inspeção visual, com critérios subjetivos, para a aprovação ou rejeição do processo optou-se por realizar o MSE como forma de medir essa subjetividade e direcionar para as medidas a serem executadas.

O MSE foi realizado em 100 veículos, sendo a inspeção realizada em triplicata por três inspetores com diferentes níveis de experiência e em momentos distintos, totalizando 900 inspeções. Dos 100 automóveis inspecionados, 50% deles apresentavam condições satisfatória, sendo classificados como "Bom – 1", já os outros 50% foram reprovados na inspeção padrão, sendo classificados como "Ruim – 0".

A inspeção padrão foi conduzida por uma equipe de auditores, inspetores e engenheiros de processo vinculados à empresa, para que o critério subjetivo da inspeção visual fosse mitigado ao máximo. Com base nos relatórios de inspeção gerados por cada um dos profissionais, calculou-se uma exatidão global de 76,6%, considerada baixa para os padrões de qualidade da indústria automobilística.

A baixa taxa de exatidão pode representar dois fatores: quando é restrita a um único operador evidencia a necessidade de treinamento. Porém, quando essa taxa é percebida por todos os operadores, evidencia um problema sistemático (operação insuficiente, treinamento insuficiente ou padrões incorretos). A inspeção visual é um atributo, onde não há medição ou gabarito "passa ou não passa", o que dificulta a aceitabilidade do processo analisado.

A condução do MSE permite também avaliar as taxas de classificação errada que ocorrem durante a inspeção do processo.

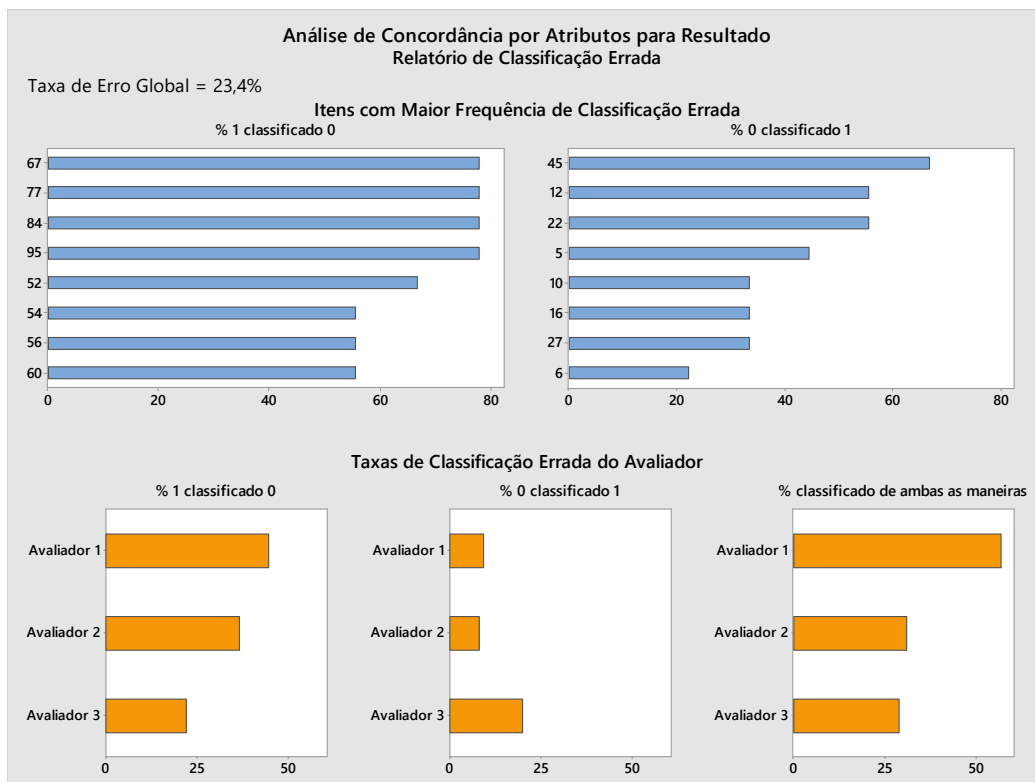
A taxa de erro global foi de 23,4%, considerado um valor elevado para os padrões do mercado automobilístico. Porém, quando se analisou a retenção de veículos que estão dentro dos padrões mínimos de qualidade exigidos e que são reprovados por inspetores, essa taxa sobe para 34,4%, o que demonstra um rigor elevado na inspeção e, possivelmente, uma falta de clareza na definição do que é aceitável. A taxa de veículos que não atendem aos padrões mínimos de qualidade e que mesmo assim foram aprovados foi de 12,4%, fator que pode estar relacionado ao excesso de confiança por parte do avaliador mais experiente.

A taxa de classificações mistas foi da ordem de 39%, considerado alarmante, uma vez que cada veículo foi avaliado em triplicata por cada inspetor, sendo que nesta avaliação o resultado do processo de soldagem de um mesmo veículo em momentos distintos, foi ora aprovado, ora reprovado por um mesmo inspetor.

A Figura 6 mostra o relatório de classificação errada de forma mais detalhada, sendo possível notar uma tendência maior do avaliador 1 (menos experiente) em reprovar mais veículos e com um maior número de avaliações mistas. O avaliador 3 (mais experiente) tende a aprovar carros que não estão dentro dos padrões mínimos de qualidade.

É importante ressaltar que mesmo o veículo tendo sido aprovado nessa inspeção, ainda há o teste de estanqueidade e rigorosa inspeção final.

**Figura 6: Relatório detalhado de Classificação a partir das respostas dos Inspetores.**



Fonte: Os autores

### 2.3.2 ESTRATIFICAÇÃO DAS FALHAS

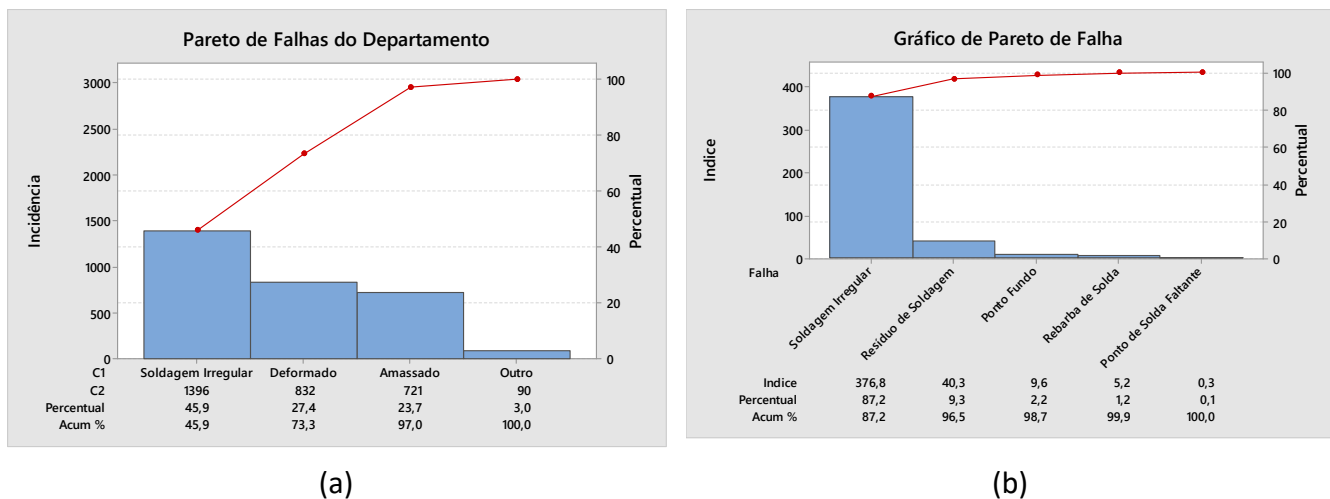
Segundo Peinado (2007), a estratificação permite analisar os dados separadamente para determinar onde, realmente, está a causa de um problema.

A análise para os robôs que realizam a operação, simultaneamente, um em cada lado do sentido longitudinal do veículo submetido à operação mostrou que a distribuição de falhas pelo robô de soldagem 1 foi de 44,7% e 55,3% para o robô 4. Em termos percentuais, a diferença de incidência é irrelevante, o que permite concluir que o que causa a falha é um fator comum a ambos os mecanismos.

Recorrer ao índice de falhas durante um período pré-determinado é necessário para quantificar e determinar a relevância da falha e o grau de importância em termos de incidência e refinar o foco e escopo de atuação do projeto.

A Figura 7 (a) mostra o diagrama de Pareto para todos os índices de falhas reportadas no sistema entre o período de abril de 2015 a abril de 2016.

**Figura 7: Diagrama de Pareto – Falhas no processo.**



**Fonte: Os autores**

As falhas de soldagem são responsáveis por aproximadamente 46% das falhas apontadas pelo departamento de qualidade, o que ressalta a necessidade de atuar nessa vertente do processo e buscar maneiras de mitigar e futuramente prevenir sua ocorrência.

A Figura 7(b) estratifica as falhas de um macro-grupo chamado “Soldagem” com o objetivo de separar os dados levantados por incidência. Essa estratificação permite focar em um problema mais específico e validar a regra de Pareto que estabelece que para muitos eventos, aproximadamente 80% dos efeitos vêm de 20% das causas (regra do 80/20, lei dos poucos vitais ou ainda princípio de escassez do fator) (PIMENTEL, 2017).

Com o resultado da estratificação, evidenciou-se que os aspectos qualitativos da soldagem, especialmente a sua irregularidade, é o problema recorrente, sendo responsável por 87% das ocorrências relacionadas ao processo de soldagem.

### 2.3.3 VARIAÇÕES DO PROBLEMA PRIORITÁRIO

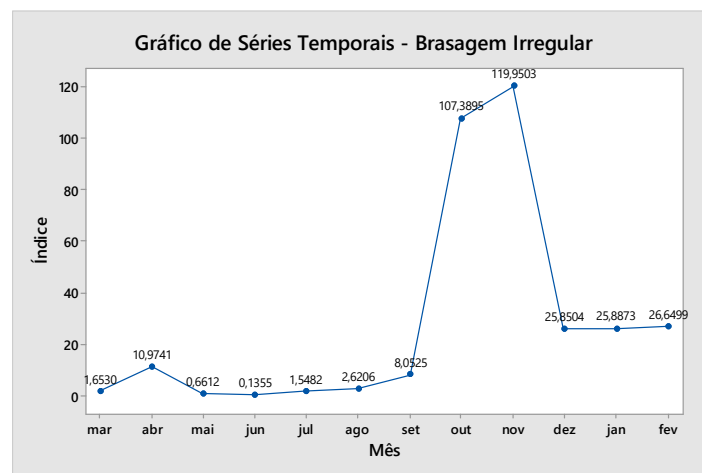
O problema prioritário foi identificado como sendo a Soldagem Irregular e entender a série histórica permite traçar uma meta realista com base nos valores registrados anteriormente dentro da normalidade.

A série temporal foi tomada no período de um ano (Figura 8). A Figura 8 ilustra que anterior ao surgimento repentino da falha, os índices ficavam próximo a uma falha a cada mil unidades.

As soluções apresentadas na fase mais crítica do problema foram suficientes para reduzir o índice de falhas (119 ocorrências no mês de novembro de 2016 para 25 falhas a cada mil unidades em dezembro do mesmo ano).

Mesmo sendo identificada a redução de, aproximadamente, 79% nas falhas, os números encontrados em dezembro de 2016 são ainda, aproximadamente, 2500 % superiores aos valores apresentados no período de maio-julho do mesmo ano.

**Figura 8: Séries Temporais de brasagem irregular**



Fonte: Os autores



## 2.4 RESULTADOS DA ETAPA ANALISAR

### 2.4.1 ANÁLISE DO PROCESSO GERADOR

O processo de soldagem a laser é um procedimento altamente automatizado, ou seja, com pouca interferência humana. A mecanização do processo ocorre pela utilização de robôs de alta precisão e que apresentam sincronismo com diferentes maquinários. Essas características reduzem as possibilidades do problema estar associado, majoritariamente, a falha humana.

O processo envolve os parâmetros de operação das máquinas, além de um monitor que registra o processo de soldagem em tempo real, o que o permite a tomada de decisões, caso seja necessário interferir no processo, com bastante brevidade. Este processo acontece de maneira rápida: a partir da entrada do veículo na cabine de soldagem até a liberação após a inspeção gasta-se, em média, quatro minutos e a soldagem, em si, ocorre em, aproximadamente, 60 segundos. O tempo pode ser um fator relevante para a qualidade do processo sendo apontado pelo fabricante da máquina de soldagem como um dos fatores a ser considerado.

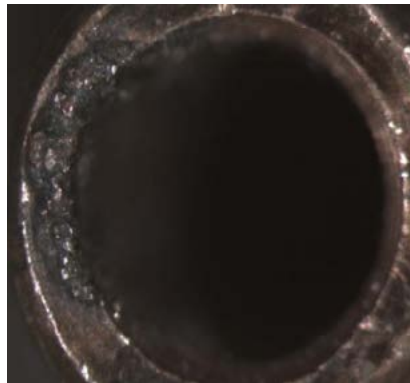
Por se tratar de uma produção em série, esse processo se repete inúmeras vezes, sem a necessidade de *setups* constantes, o que proporciona uma homogeneidade no resultado da operação quando comparado um veículo ao outro.

### 2.4.2 ANÁLISE DE DADOS DO PROBLEMA

Durante a fase medir foi possível constatar que o problema no processo de soldagem a laser apresenta uma variação repentina, saindo do seu estado de normalidade (incidência), e atingindo patamares bastante elevados em um curto espaço de tempo. Nesse período, foi possível observar um aumento no consumo de bicos, responsável por guiar o metal de adição durante o processo de soldagem. Sendo assim, a análise desses bicos pode evidenciar onde reside o problema, para que sejam tomadas as devidas ações.

Notou-se que o desgaste do bico (Figura 9) está restrito a uma região específica, devido ao atrito entre o mesmo e o metal de adição que passa por seu interior.

**Figura 9: Macrografia da região desgastada do bico de soldagem.**



**Fonte: Os autores**

Constatado o problema de atrito entre o bico de soldagem e o arame que exerce a função de metal de adição para o processo de soldagem, procedeu-se com o estudo e investigação dos fatores causadores do desgaste excessivo e prematuro.

Foram realizados ensaios de análise da composição química e de dureza no bico de soldagem com o objetivo de indicar se há alguma característica que influencia no desgaste prematuro do mesmo. Para tal, foram realizados ensaios de dureza Vickers em bicos de contato, antes e após o uso, sendo que a dureza apresentada em cada um dos casos foi de 86,8 HV e 83,8 HV, respectivamente. Estes dados mostram que existe uma variação mínima na dureza superficial, estando o bico novo com dureza superior ao bico usado, o que pode estar associado ao processo de revenimento não intencional, uma vez que os bicos estão expostos a um aquecimento superior a 900 °C, proveniente do laser de diodo para a fusão do metal de adição. Essa elevação na temperatura do bico com posterior resfriamento lento é capaz de rearranjar os grãos de sua microestrutura resultando em uma modificação de suas propriedades mecânicas, nesse caso, a redução não significativa de sua dureza superficial.

Buscou-se evidenciar também se há variação significativa na composição química dos bicos de um lote para o outro, fator que poderia justificar a aquisição de um lote fora do especificado, o que acarreta transtornos para o processo de forma eventual.

No ensaio de composição química (Tabela 2) identificou-se a quantidade dos seguintes elementos nos bicos: Cobre (Cu); Cromo (Cr); Zircônio (Zr); Ferro (Fe) e Silício (Si) e foi realizada a comparação com os laudos emitidos pela fabricante para evidenciar um possível desvio, o que justificaria o desgaste prematuro. As análises de dureza e composição química não foram capazes de evidenciar uma variação que justifique atribuir ao bico a causa do problema. Diante dessas informações, realizou-se reuniões com

grupos multidisciplinares para que fosse levantado as possíveis causas utilizando as ferramentas como *brainstorming* e diagrama de Ishikawa.

**Tabela 2: Análise da Composição Química dos Bicos**

ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS BICOS (%)		
Elemento (%)	Bico Novo	Bico Usado
Cu	99,2	98,9
Cr	0,61	0,86
Zr	0,085	0,01
Fe	0,11	0,01
Si	0,025	0,03

**Fonte: Os autores**

#### 2.4.3 BRAINSTORMING DA FASE ANALISAR

De acordo com MEIRELES (2001), o *brainstorming* é uma ferramenta associada a criatividade, sempre usada na fase de planejamento na busca de ideias e soluções.

Nessa etapa foram identificadas e analisadas as possíveis causas do problema por meio de um grupo multidisciplinar formado por engenheiros, operadores, gestores de produção e qualidade. Nesta etapa foram criados tópicos para discriminar as falhas relacionadas aos setores, máquinas, fornecedores ou equipamento (Figura 10).

**Figura 10: Brainstorming das possíveis causas de irregularidade no processo de brasagem**

Brainstorming			
Problema: Brasagem Irregular			
Máquina de sola	Robô	Fornecedor/Insumo	Processo/ Qualidade
Sujeira	Sujeira	Arame fora do dimensional	Falta criterio objetivo
Oscilação da corrente elétrica	Falga articulação	Conduite fora do dimensional	Motivação operador
Roldana suja/desalinhada	Desgaste equipamento	Obstrução bico de nylon	Preventiva ineficaz
Folga tracionador	Falga de ajuste (lixamento)	Lote de arame ruim	Falta de mão de obra
Rolamentado/ esforço carretel	Imprecisão		Velocidade (produção, demanda)
Lente óptica			Lixamento ruim
Qualidade (Laser)			

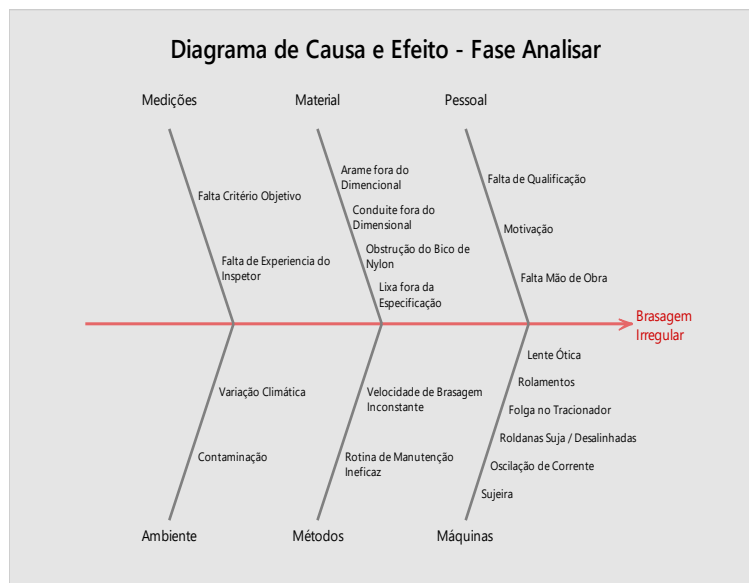
**Fonte: Os autores**

#### 2.4.4 DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO – FASE ANALISAR

Segundo Lins (1993), o diagrama de causa e efeito foi desenvolvido pelo engenheiro japonês Kaoru Ishikawa, que é conhecido como diagrama de Ishikawa, e também pode ser chamado de diagrama “espinha de peixe”, sendo essa ferramenta utilizada quando existe a necessidade de identificar as causas de um problema e permite detalhar as causas para a solução do problema.

A Figura 11, ilustra o diagrama de causa e efeito, possibilitando focar nas diversas causas possíveis relacionadas com o problema, evitando desperdícios de esforços com aspectos que não estão relacionados com o problema abordado. O diagrama é dividido em seis termos: medição, material, pessoal, ambiente, métodos e máquina. E com base na coleta de dados foi possível analisar as causas em questão.

**Figura 11: Diagrama de Causa e Efeito - Fase Analisar**



**Fonte: Os autores**

#### 2.4.5 MATRIZ DE PRIORIZAÇÃO

De acordo com BEM (2006), a matriz de priorização aponta que todos os projetos se destacam em alguns requisitos específicos, o resultado obtido não permite determinar qual atende de maneira mais abrangente os requisitos estipulados.

A Figura 12 mostra a matriz de priorização onde estão apresentados os pesos implementados para cada critério.

**Figura 12: Matriz de Priorização – Fase Analisar**

		Problema Prioritário		
		Solda irregular	Desgaste do Bico de contato	
Causa Potencial	Peso ( 5 a 10 )	10	8	Total
	Troca do lote do arame para se ter certeza que não é ele o responsável pela falha.	5	5	90
	Sujeiras nas roldanas	5	3	74
	O arame enroscado no conduíte	5	1	58
	Bico de nylon que precisa ser checado, pois o mesmo pode estar obstruído e agarrar o arame.	5	1	58
	Medir a potência do Laser	5	0	50
	Troca da lente de solda	5	0	50
	Desalinhamento das roldanas	0	5	40
	Esforço que o carretel está fazendo para desenrolar.	3	1	38
	Equalizar as roldanas aumentando a pressão ajuste do tracionador	1	3	34
	Instabilidade na correntes dos motores do tracionador	3	0	30
	Contaminação do processo	3	0	30

Legenda: 5- correlação forte 3- correlação moderada 1- correlação fraca 0- correlação ausente

**Fonte: Os autores**

Relacionando os pesos dos critérios com os pesos dos atributos analisados, dois itens destacaram-se, a troca de lote de arame e sujeiras nas roldanas, assim, estes itens foram foco dos estudos e criou-se procedimentos para analisar seus efeitos sobre o processo.

#### 2.4.6 INVESTIGAÇÃO E ANÁLISE DA CAUSA PRIORITÁRIA

No certificado de conformação do lote de arame consta sua especificação e dados técnicos, dentre eles o *cast* que é o quanto uma volta do arame abre ao desenrolar a bobina. Em consulta ao fornecedor da matéria prima, identificou-se que existe uma medida mínima para esta especificação. Deste modo, realizou-se ensaios com determinados lotes de arame os quais reportaram que tal especificação estava com uma medida inferior ao mínimo exigido. Esta variação na medida do *cast* é responsável pelo

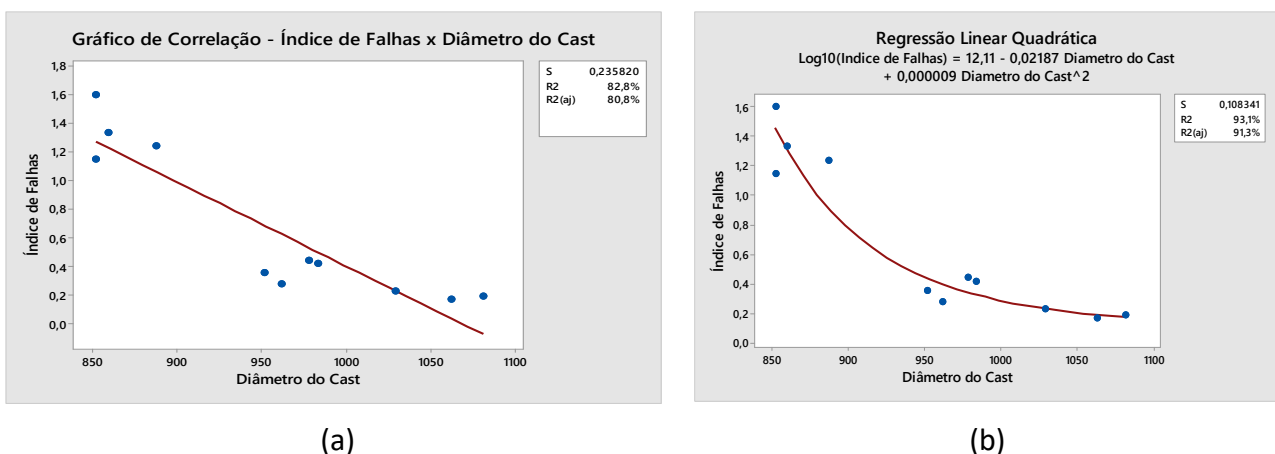
encurvamento do arame ao desbobinar levando ao aumento no ângulo de saída do arame, resultando em atrito excessivo no contato com bico de soldagem, o que acarretou o desgaste prematuro.

#### 2.4.7 CORRELAÇÃO ENTRE O DIÂMETRO DO CAST E O ÍNDICE DE FALHAS

A influência do diâmetro do *cast* e as falhas ocorridas na linha de soldagem foi averiguada por meio da medição do diâmetro do *cast* dos arames utilizados (mantidos em estoque para controle de qualidade de processo) e correlacionado com os dados históricos das falhas ocorridas no período utilizado.

A Figura 13 (a) mostra a correlação entre o índice de falhas e o diâmetro do *cast* do arame de soldagem, (b) mostra a regressão linear quadrática obtida partir dos dados relacionados.

**Figura 13: (a) Correlação Índice de Falha x Diâmetro do Cast (b) Regressão Linear Quadrática**



(a)

(b)

**Fonte: Os autores**

A partir da Figura 13 (a), é possível notar uma correlação negativa entre o diâmetro do *cast* e o índice de falhas, com um coeficiente de determinação ( $R^2 = 82,8\%$ ). É possível notar, no entanto, que para diâmetros de *cast* maiores que 950 mm a correlação perde força, ou seja, para diâmetros acima de 950 mm o índice de falhas não reduz na mesma proporção.

Com a análise por regressão é possível, matematicamente, encontrar uma equação matemática que melhor descreva a correlação que existe entre as duas variáveis analisadas.

A função matemática que melhor se ajustou aos dados analisados foi uma função quadrática, conforme Figura 13 (b) sendo o eixo das ordenadas uma escala logarítmica, o que explica o salto repentino no índice de falhas observado nas séries temporais da fase medir.

Com isso pode-se determinar que o diâmetro do *cast* é a causa raiz do problema e que pequenas variações abaixo da medida mínima necessária para atender o processo implicam em um aumento no número de falhas, controlar esse dimensional é prioritário.

Com base nos dados analisados, definiu-se um diâmetro mínimo do *cast* como sendo 1000 mm, e um limite superior de 1200 mm. Essas especificações foram acordadas com o fornecedor.

Entender a variação do valor do *cast* dentro de um mesmo lote, e determinar quais são os limites para essa variação, junto ao fornecedor, a partir de dados estatísticos é uma forma de prevenir a ocorrência de novos desvios.

Assim ações necessárias para o controle do processo tangem estabelecer um controle interno do diâmetro do *cast*, independente das informações contidas no certificado de conformidade emitido pelo fabricante é fundamental que este parâmetro seja aferido no início do processo para que se possa o mesmo possa ser estabilizado.

Comparar os valores medidos na planta com o que é reportado pelo fabricante e atualizar os estudos estatísticos do valor ideal para o diâmetro do *cast*, é parte de um processo de melhoria continua.

## 2.5 RESULTADOS DA ETAPA IMPLEMENTAR

### 2.5.1 BRAINSTORMING (FASE IMPLEMENTAR)

Para fase de implementação foram realizadas reuniões com toda equipe envolvida e surgiram propostas que estão apresentadas na Figura 14. Diversas ideias são de simples implementação e aparenta ter impacto significativo no problema principal, outras são mais complexas e requerem uma análise mais detalhada de sua viabilidade.

**Figura 14: Brainstorming da Fase Implementar**

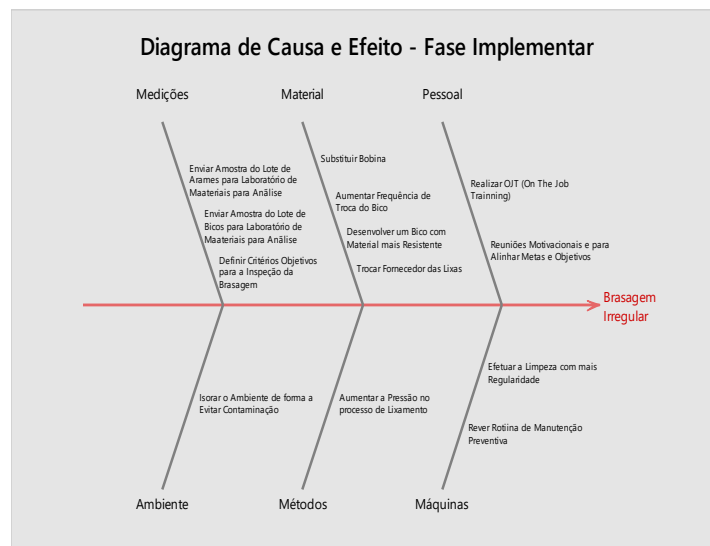
Brainstorming Solda irregular (implementar)			
Máquina de solda/ Robô	Medição	Fornecedor/ Insumos	Processo/ Qualidade
Limpeza	Enviar amostra para laboratório	Substituir Bobina	Treinamento
Manutenção preventiva	Definir critério para inspeção	Aumentar troca de bico	Motivação operador
	Medir diâmetro do cast	Desenvolver bico melhor	Aumentar a pressão da Lixa
		Trocar de fornecedor	Controlar sujeira no ambiente

**Fonte: Os autores**

### 2.5.2 DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO – FASE IMPLEMENTAR

Foi realizado um diagrama de causa e efeito, Figura 15, para possibilitar uma visão ampla das possíveis alternativas a serem implementadas. A segregação em grupos ajuda na tomada de decisões e na priorização.

**Figura 15: Diagrama de Causa e Efeito - Fase Implementar**



**Fonte: Os autores**

### 2.5.3 MATRIZ DE PRIORIZAÇÃO

Diante de todas as possibilidades elencadas pelos colaboradores, Figura 16, evidenciou-se quatro pontos para que não ocorram falhas no processo de soldagem ou sempre que houver o surgimento da falha a mesma possa ser cessada rapidamente.



**Figura 16: Matriz de Priorização da Fase Implementar**

		Problema Prioritário		
		Solda irregular	Desgaste do Bico de contato	
Peso ( 5 a 10)		10	8	Total
Causa potencial	Medir diâmetro do cast	5	5	90
	Treinamento	5	5	90
	Enviar amostra para laboratório	3	5	70
	Definir critério para inspeção	3	5	70
	Desenvolver outro bico	3	5	70
	Rever rotina de Preventvas	3	3	54
	Aumentar a pressão da Lixa	3	3	54
	Controlar sujeira no ambiente	3	3	54
	Trocar de fornecedor	1	1	18
	Legenda: 5- correlação forte 3- correlação moderada 1- correlação fraca 0- correlação ausente			

**Fonte: Os autores**

Em relação a medida do diâmetro do *cast* foi proposto ao fornecedor se comprometer a entregar as bobinas com valor mínimo de *cast* e inserir no certificado essas informações. Enquanto que o operador de manutenção, sempre que substituir a bobina, deverá verificar o diâmetro do *cast* por medições *in loco*. Caso ocorra a falha novamente, o procedimento é a substituição da bobina de arame e do bico de soldagem. Serão realizados treinamentos, ministrados pelos engenheiros envolvidos, buscando aprimorar o processo por meio da instrução dos operadores, evitando variações negativas no indicador de qualidade acarretando custos com retrabalho.

## 2.6 RESULTADOS DA ETAPA CONTROLAR

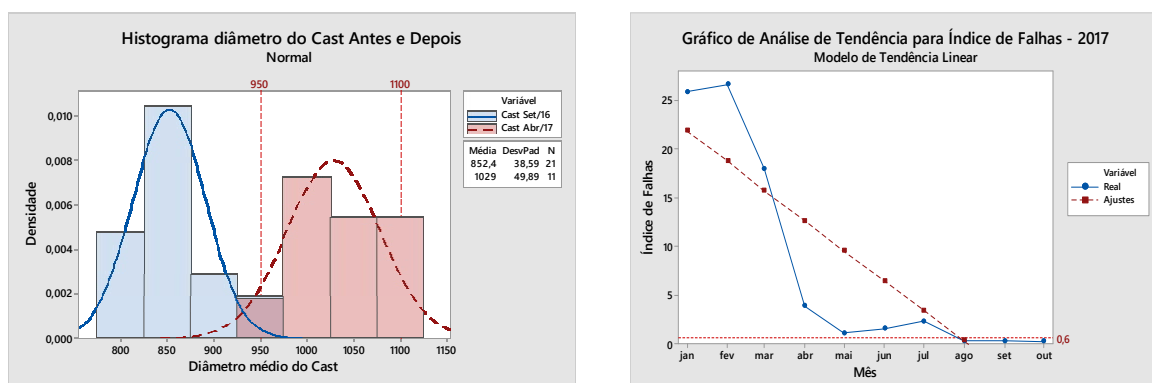
De acordo com Werkema (2012), o início dessa etapa está vinculado à mensuração dos resultados obtidos. Ações como, visitar os objetivos previamente estabelecidos, medir a eficácia das ações implantadas e os resultados no processo em questão, é fator determinante para direcionar as próximas ações. O insucesso no cumprimento do objetivo pode resultar em uma reformulação de fases anteriores e aprimoramento das ferramentas e técnicas previamente utilizadas.

### 2.6.1 MENSURAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

No decorrer da fase Analisar descobriu-se uma relação entre o diâmetro do *cast* e a incidência da falha, a Figura 17 (a) apresenta um histograma comparando os diâmetros fornecidos anteriormente com os que são fornecidos atualmente, demonstrando que as medidas adotadas refletiram na padronização e correto fornecimento.

A Figura 17 (b) apresenta o índice de falhas desde o início do projeto até a fase final, esse é o primeiro parâmetro que permite verificar o cumprimento da meta estabelecida, que consiste na redução do índice de falhas. Como é possível observar, houve uma queda nesse indicador a partir do mês de abril, no entanto a estabilização do processo de deu a partir do mês de agosto.

**Figura 17: (a)Variação do diâmetro do *cast* antes do controle do fornecimento (azul) após o controle do fornecimento. (b) Tendência do Índice de Falhas**



Fonte: os autores

É evidente a queda no índice de falhas relativas ao processo de soldagem na junção da carroceria com o teto do veículo, isso é devido a investigação da raiz do problema e implementação das soluções propostas.

Cogitou-se inicialmente, o encaminhamento das bobinas que não respeitassem o diâmetro mínimo do *cast*, para outra planta, dotada de maquinário mais moderno, capaz de neutralizar esse problema. Essa solução, apesar de não parecer absurda, se revela inviável do ponto de vista de planejamento de produção e logística, uma vez que é impossível prever qual lote estará fora do especificado e assim planejar um estoque razoável para o atendimento da demanda da produção.

Outra solução que possivelmente teria a capacidade de solucionar o problema era o rebobinamento de arames que não estivessem com o diâmetro mínimo dentro do especificado. Porém, esta solução apresenta potencial de gerar novos problemas, visto que não é a atividade fim da indústria em questão.

Assim, a ação de contactar o fabricante, tornando-o parte do time que busca solucionar o problema, foi fundamental para o compartilhamento de informações e subsequentemente a sugestão de soluções viáveis. Vale ressaltar que o fornecedor em questão é um fornecedor com homologação global e fornece para todas as plantas da empresa. Não é raro ver fornecedores com tamanha relevância para o *core business*, sendo corriqueira a justificativa de ocorrências pontuais, se isentando de responsabilidade, não considerando as nuances de cada planta.

A estratégia de abordagem junto ao fornecedor se mostrou adequada, visto que não houve resistência ao cumprimento das solicitações realizadas.

O cumprimento da meta prevista, é evidenciado pelo consumo de bicos no período quando comparado com os valores levantados pela série histórica. Além de representar uma economia, representa também uma redução na parada de máquina para a troca de bicos, que se converte em última análise em um aumento na capacidade produtiva.

O objetivo inicial estabelecido consistia em voltar o consumo de bico a patamares anteriores ao surgimento da falha de forma recorrente. Dado o aprimoramento de práticas e com o resultado do estudo das propriedades mecânicas do bico, foi possível otimizar o consumo, reduzindo-o para além do patamar registrado anteriormente.

### 2.6.2 PADRONIZAÇÃO

O primeiro documento que teve seu padrão alterado foi o certificado de conformidade emitido pelo fornecedor do arame CuSi<sub>3</sub>, foi solicitado que fosse inserido o diâmetro do *cast* para cada remessa e lote entregue.

Como reflexo da obrigatoriedade de medição do *cast* de todas as bobinas antes de serem instaladas, o procedimento utilizado pelos operadores para a troca da bobina precisou ser atualizado. Foi inserido a verificação do diâmetro do *cast*, não podendo a medida ser inferior a 1000 mm. Esse documento é acessível a todos os funcionários envolvidos no processo, departamento de processo e inspetores de qualidade.

### 2.6.3 COMUNICAÇÃO

A eficiente comunicação das alterações no processo é um passo importante para a efetividade das melhorias propostas. Para garantir a boa divulgação da comunicação, implementou-se um plano de

comunicação de todos os envolvidos, direta e indiretamente no processo de soldagem, OJT (*On The Job Training*) para os operadores do setor e a elaboração de um dispositivo Poka-Yoke para facilitar e prevenir possíveis erros na medição.

O procedimento para a realização da medição estabelece que é preciso retirar três espiras da bobina, deixar que o arco (*cast*) se forme livremente e posteriormente pendurar no dispositivo passa/não passa, para que se possa aferir se aquela bobina está dentro dos padrões pré-estabelecidos para ser utilizada no processo.

Apesar de se tratar de um procedimento relativamente simples, definiu-se que todos os operadores envolvidos na operação seriam submetidos ao OJT, conduzido pelo engenheiro de processo responsável pela implementação da melhoria. Durante esse treinamento evidenciou-se a importância e relevância desse passo para o satisfatório resultado da operação.

#### 2.6.4 PLANO DE MONITORAMENTO E TOMADA DE AÇÕES CORRETIVAS

O monitoramento das ações implementadas é realizado periodicamente pelo engenheiro responsável do departamento que acompanha a execução do procedimento para a verificação do diâmetro do *cast*. O índice de falhas também é monitorado pelos departamentos de processo e qualidade, que, ao verificar picos de incidência se reúnem para determinar as causas do desvio no processo.

Quando se verifica um aumento na ocorrência de soldagem irregular os operadores são instruídos a tomar novas medidas do diâmetro do *cast* referente a bobina instalada na máquina e informar o departamento de processo para que seja possível a verificação de possíveis variáveis alheias ao diâmetro do *cast* que influenciam na qualidade final da operação.

As bobinas que possuem *cast* com diâmetro fora da condição ótima pré-estabelecida serão analisadas pelo departamento de processos, onde algumas poderão, com a devida cautela e ciência do engenheiro responsável, serem utilizadas no processo. Vale ressaltar que se trata de medida atípica, cuja a decisão só deverá ser tomada pelo engenheiro responsável pelo processo e depois de analisar todas as variáveis envolvidas. As bobinas que não atendem as especificações serão remetidas a outra planta, que possui tecnologia de maquinário para que elas possam ser utilizadas com segurança sem que afetem o processo, e o fornecedor será informado da quantidade de bobinas dentro do lote que fugiram da especificação, esse controle é realizado pelo engenheiro responsável pelo processo.

A troca de bobinas com outras unidades se mostrou o procedimento mais viável, frente a possível devolução do material ao fabricante, pois envolve um complexo processo de exportação com custos elevados.

### 3 CONCLUSÕES

Esse trabalho estabeleceu a relação entre a irregularidade no processo de solda a laser e o consumo excessivo de bicos de soldagem em uma indústria automotiva. Encontrou a causa raiz do problema, a partir de estudos sistemáticos desenvolveu melhorias a serem implantadas e propõe uma maneira sistemática de controlar o processo por métodos empíricos.

A metodologia DMAIC possibilitou definir o escopo do projeto, mediar a real situação do problema apresentado e analisar as possíveis causas. Verificou-se que o desgaste prematuro do bico de solda era causado pelo atrito do arame utilizado como metal de adição no processo.

Em contato com o fornecedor verificou-se que essa conformação é um item controlável e recebe o nome de *cast*, análise estatísticas de vários lotes permitiu determinar qual o diâmetro que melhor atende ao processo de solda a laser para os robôs instalados na unidade de Taubaté, reduzindo o índice de falha e cessando a interferência não desejada com o bico de solda.

Parte da implementação abrangeu medidas na unidade fabril em questão e no fabricante, que passou a inserir o diâmetro do *cast*, no certificado de conformação e assumiu o compromisso de fornecer as bobinas dentro dos limites especificados.

Na planta, procedeu-se com medição do *cast* de todas as bobinas, além de treinamento para os operadores e inspetores, com o intuito de se estabelecer um padrão no procedimento a ser adotado.

Tais medidas possibilitaram o cumprimento das metas e objetivos previamente estabelecidos, fazendo com que o índice de falhas se estabilizasse abaixo de 0,6 defeitos a cada mil unidades fabricadas e o consumo de bicos fosse reduzido em mais de 60%. Todo o processo foi documentado e auditado por parte da empresa envolvida.

### 4 REFERÊNCIAS

BEM, F. Utilização do método AHP em decisões de investimento ambiental. In: **XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção** (XXVI ENEGEP), p. 38, Fortaleza, 2006.

BERLITZ, F. A.; HAUSSEN, M.L. Seis sigma no laboratório clínico: impacto na gestão de performance analítica dos processos técnicos. **Jornal Brasileiro de Patologia e Medicina Laboratorial**, Rio de Janeiro, v. 41, n. 5, p. 301-312, out. 2005.

HAMIDINEJAD, S. M.; HASANNIYA, M. H.; SALARI, N.; VALIZADEH, E. CO2 laser welding of interstitial free galvanized steel sheets used in tailor welded blanks. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, Suíça, v. 64, n.1, p. 195-206, jan. 2013.

KAT, J. M. Avaliação de desempenho de sistemas logísticos através do Seis Sigma e Balanced Scorecard. **Revista da FAE**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 113-124, maio/dez. 2003.

LINS, B. F. E. Ferramentas Básicas da Qualidade. **Revista Ciência da Informação**, Brasília, v. 22, n. 2, p. 153-161, maio/ago. 1993.

MEIRELES, M. **Ferramentas administrativas para identificar, observar e analisar problemas**. São Paulo: Arte & Ciência, 2001, 144 p.

OLIVEIRA, U. R.; PAIVA, E. J.; ALMEIDA, D. A. Metodologia integrada para mapeamento de falhas: uma proposta de utilização conjunta do mapeamento de processos com as técnicas FTA, FMEA e a análise crítica de especialistas. **Produção**, Guaratinguetá, v. 20, n. 1, p. 77-91, jan./mar. 2010.

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. **Administração da produção: operações industriais e de serviços**. Curitiba: UnicenP, 2007, 750 p.

PIMENTEL, P. **Do sertão para o mundo: contribuir para transformar vida**. Barueri: Novo Século, 2018, 144 p.

ROTONDARO, R. G. **Seis Sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços**, São Paulo: Atlas, 2008, 376 p.

WAINER, E.; BRANDI, S. D.; MELLO, F. D. **Soldagem, Processos e Metalurgia**. Rio de Janeiro: Blucher, 2000, 494 p.

WERKEMA, C. C. **Criando a cultura Seis Sigma**. Nova Lima: Elsevier, 2012, 264 p.

YANG, K.; EL-HAIK, B. **Projeto para Six Sigma: um roteiro para o desenvolvimento do produto**. São Paulo: Educator, 2008, 696 p.