



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIENCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

BERNARDO JOSÉ DE OLIVEIRA

**REDUÇÃO DE DESPERDÍCIO NA CADEIA PRODUTIVA DE UMA FÁBRICA DE
COMPONENTES AUTOMOTIVOS COM BASE NA
METODOLOGIA DMAIC**

Recife

2022

BERNARDO JOSÉ DE OLIVEIRA

**REDUÇÃO DE DESPERDÍCIO NA CADEIA PRODUTIVA DE UMA FÁBRICA DE
COMPONENTES AUTOMOTIVOS COM BASE NA
METODOLOGIA DMAIC**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Pesquisa Operacional.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo José Pires Ferreira.

Recife

2022

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

O48r	Oliveira, Bernardo José de. Redução de desperdício na cadeia produtiva de uma fábrica de componentes automotivos com base na metodologia DMAIC / Bernardo José de Oliveira. - 2022. 116 folhas, il., gráfs., tabs. Orientador: Prof. Dr. Rodrigo José Pires Ferreira. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2022. Inclui Referências. 1. Engenharia de Produção. 2. Pintura automotiva. 3. <i>Lean manufacturing</i>. 4. Seis sigma. 5. DMAIC. I. Ferreira, Rodrigo José Pires. (Orientador). II. Título. UFPE 658.5 CDD (22. ed.) BCTG/2023-102
------	---

BERNARDO JOSÉ DE OLIVEIRA

**REDUÇÃO DE DESPERDÍCIO NA CADEIA PRODUTIVA DE UMA FÁBRICA DE
COMPONENTES AUTOMOTIVOS COM BASE NA
METODOLOGIA DMAIC**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção. Área de concentração: Pesquisa operacional.

Aprovada em: 25 / 08 / 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rodrigo José Pires Ferreira (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Denise Dumke de Medeiros (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Ricardo Pires de Souza (Examinador Externo)
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, a minha querida filha, aos meus pais e a minha avó, por tudo que já me proporcionaram, desde amor incondicional até os momentos sérios, onde foi preciso usar da autoridade e do respeito para me educar e me encaminhar para o caminho de Deus e de um mundo mais justo e solidário.

Aos meus familiares e amigos que me acompanharam desde os primeiros passos até hoje e que torceram mutuamente para o meu sucesso profissional e pessoal.

Aos meus grandes amigos e parceiros do mestrado, principalmente a Camila, Clarissa, Fabio e Luciana e a todos os outros alunos que marcaram e participaram da minha jornada de estudos, onde a amizade deixou mais leve, atrativa e cheia de momentos de alegria.

A todos que fazem o Departamento de Engenharia de Produção, do Programa de Pós-Graduação da UFPE pelo acolhimento, em especial ao Professor Doutor Rodrigo José Pires Ferreira pela grande contribuição e paciência no andamento da minha dissertação.

A todos os professores que me passaram conhecimentos e foram fundamentais na minha conclusão do mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Aos professores Denise Dumke de Medeiros (Doutora, PPGEPRO/UFPE) e Ricardo Pires de Souza (Doutor, UFRN) que participaram da minha defesa de dissertação e que tiveram grande contribuições para a finalização do meu trabalho.

A empresa que serviu de cenário para este trabalho, ao qual eu era funcionário e pude dentro das minhas atribuições desenvolver meu estudo de caso que é base para esta dissertação e os meus companheiros de trabalho, em especial Erika, Ewerton, Hugo e Otávio, que sempre foram grandes amigos.

Obrigado a todos vocês!

RESUMO

O tema de pesquisa desta dissertação é a “Redução de desperdício na cadeia produtiva de uma fábrica de componentes automotivos com base na metodologia DMAIC”. O cenário para esta pesquisa, que foi desenvolvida em uma empresa fornecedora de componentes automotivos, onde existem vários processos produtivos como a injeção de peças plásticas, pintura automotiva e a montagem de componentes para a fabricação de parachoques. A empresa possuía um alto índice de falhas o que resultava em um grande descarte de peças defeituosa (SCRAP), gerando vários problemas e desperdícios na organização como a perda de tempo, falta de mão de obra, escassez de recursos, elevação dos custos, entre outros. O processo de pintura de peças é bem crítico e através da análise dos dados, foi identificado como o setor que tinha o maior o custo com o SCRAP da empresa. No *Lean Manufacturing*, a definição de desperdício é tudo aquilo que consome recursos, mas não agrega valor ao cliente. Portanto, visando fornecer soluções, foram desenvolvidos estudos e análises baseados no “Seis Sigma”, buscando melhorar a eficiência e eficácia de todas as operações através da metodologia DMAIC. Como o objetivo da utilização da metodologia DMAIC era desenvolver ações para a redução dos desperdícios de peças com defeitos (SCRAP), foram estipuladas metas primária, secundária e específicas para mensurar os ganhos deste trabalho. As metas específicas estavam relacionadas com os custos das cabines de pinturas NT1 e NT2, onde para a NT1 foi alcançado uma redução de 33,7% e para a NT2 foi alcançado uma redução de 25,3%. A meta secundária estava relacionada com a área de pintura e foi obtido uma redução de 26,1% da geração de SCRAP do setor. A meta primária foi relacionada com o indicador do custo geral de SCRAPxVENDAS da empresa e ao final do trabalho foi alcançado uma redução de 22,1% no indicador. Diante dos resultados alcançados, observamos que as ações geradas através do uso da metodologia DMAIC teve sua importância para a redução do desperdício da empresa e foi de total relevância para o sucesso desta pesquisa de dissertação de mestrado.

Palavras-chave: pintura automotiva; *lean manufacturing*; seis sigma; DMAIC.

ABSTRACT

The research theme of this dissertation is “Waste reduction in the production chain of an automotive components factory based on the DMAIC methodology”. The scenario for this research, which was developed in a supplier of automotive components, where there are several production processes such as the injection of plastic parts, automotive painting and the assembly of components for the manufacture of bumpers. The company had a high failure rate, which resulted in a large disposal of defective parts (SCRAP), generating several problems and waste in the organization such as loss of time, lack of manpower, scarcity of resources, rising costs, among others. The process of painting parts is very critical and through the analysis of the data, it was identified as the sector that had the highest cost with the company's SCRAP. In Lean Manufacturing, the definition of waste is anything that consumes resources, but does not add value to the customer. Therefore, in order to provide solutions, studies and analyzes were developed based on “Six Sigma”, seeking to improve the efficiency and effectiveness of all operations through the DMAIC methodology. As the objective of using the DMAIC methodology was to develop actions to reduce the waste of defective parts (SCRAP), primary, secondary and specific goals were stipulated to measure the gains of this work. The specific targets were related to the costs of the NT1 and NT2 spray booths, where for NT1 a reduction of 33.7% was achieved and for NT2 a reduction of 25.3% was achieved. The secondary goal was related to the painting area and a 26.1% reduction in the sector's SCRAP generation was achieved. The primary goal was related to the indicator of the general cost of SCRAPxSALES of the company and at the end of the work, a reduction of 22.1% in the indicator was achieved. In view of the results achieved, we observed that the actions generated through the use of the DMAIC methodology had its importance for the reduction of the company's waste and was of total relevance to the success of this master's dissertation research.

Keywords: automotive painting; lean manufacturing; six sigma; DMAIC.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Os 25 maiores fabricantes de suas marcas.....	23
Figura 2 - Estrutura do Sistema Toyota de Produção.....	26
Figura 3 - Pintura eletrostática realizada por robôs.....	35
Figura 4 - Desenho técnico da <i>Newtech</i>	36
Figura 5 - Fluxograma do processo de pintura.....	37
Figura 6 - Processo flamagem na cabine de pintura.....	40
Figura 7 - Processo de aplicação de primer na cabine de pintura.....	41
Figura 8 - Processo de aplicação da base 2 na cabine de pintura	42
Figura 9 - Processo de aplicação de verniz na cabine de pintura	43
Figura 10 - Peças pintadas saindo do forno da cabine de pintura.....	45
Figura 11 - Peça pintada com escorrimento de verniz.....	47
Figura 12 - Peça pintada com casca de laranja.....	48
Figura 13 - Peça pintada com fervura.....	48
Figura 14 - Peça pintada com deslocamento	49
Figura 15 - Peça pintada com manchas	50
Figura 16 - Peça pintada com cratera	50
Figura 17 - Peça pintada com impureza	51
Figura 18 - Peça com tonalidade mais escura.....	52
Figura 19 - Peça com ausência de brilho na sua superfície	52
Figura 20 - Peça pintada com falta de base	53
Figura 21 - Peça danificada devido uma batida.....	54
Figura 22 - Peças com maiores impactos financeiros no SCRAP da pintura.....	70
Figura 23 - Análise microscópica do substrato	71
Figura 24 - Mapa o processo da cabine de pintura com suas variáveis críticas	77
Figura 25 - Diagrama de Causa e Efeito do defeito de impureza.....	78
Figura 26 - Diagrama de Causa e Efeito do defeito de escorrido de base.....	79
Figura 27 - Diagrama de Causa e Efeito do defeito de danos no carregamento.....	80
Figura 28 - Diagrama de Causa e Efeito do defeito de batida.....	80
Figura 29 - Diagrama de árvore.....	84
Figura 30 - Procedimento e controle operacional da troca.....	86
Figura 31 - Análise de impureza por iluminação UV.....	87
Figura 32 - Mapa do processo Antes x Depois.....	88

Figura 33 - Sequência de limpeza das peças	89
Figura 34 - Procedimento de limpeza do aplicador do robô da base.....	89
Figura 35 - Procedimento de preparação de tinta	90
Figura 36 - Controle operacionais da preparação de tinta	91
Figura 37 - Fluxograma do ciclo de limpeza das gancheiras	91
Figura 38 - Peça desencaixada na gancheira ocasionando colisão do robô.....	92
Figura 39 - Procedimento de calibração das gancheiras.....	92
Figura 40 - Padrão de limpeza da peça F.....	93
Figura 41 - Procedimento de movimentação das peças pintadas	94
Figura 42 - Treinamento realizado na pintura e folha de registro	94
Figura 43 - Bancada da área do descarregamento	95
Figura 44 - Colunas de sustentação do shop stock.....	96
Figura 45 - Peças armazenadas no shop stock.....	96
Figura 46 - Movimentação das peças pintadas.....	97
Figura 47 - Fluxo de monitoramento do SCRAP	102

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Indicador do custo do SCRAP/Faturamento da empresa	58
Gráfico 2- Gráfico de Pareto com os Custos de SCRAP por área	59
Gráfico 3- Carta de Controle do SCRAP da linha de pintura	60
Gráfico 4- Carta de Controle do SCRAP da NT1	62
Gráfico 5- Carta de Controle do SCRAP da NT2	62
Gráfico 6- Gráfico de Pareto com as peças SCRAP da NT1	63
Gráfico 7- Gráfico de Pareto com os defeitos de pintura da NT1	64
Gráfico 8- Gráfico de Pareto com as peças SCRAP da NT2	65
Gráfico 9- Gráfico de Pareto com os defeitos de pintura da NT2	66
Gráfico 10- Comparativo dos gráficos de Pareto das peças X custo que impactam no SCRAP da NT1 e NT2	68
Gráfico 11- Comparativo dos gráficos de Pareto dos defeitos que mais impactam no SCRAP da NT1 e NT2	69
Gráfico 12- Análise da localização dos pontos de contaminação.	71
Gráfico 13- Gráfico de Pareto com a análise das cores.....	73
Gráfico 14- Gráfico de dispersão das Ocorrências X Horário	73
Gráfico 15- Relação dos defeitos por turno	74
Gráfico 16- Gráfico de Pareto com as falhas na etapa do carregamento	75
Gráfico 17- Gráfico com a relação das ocorrências do defeito de batida por turno.....	76
Gráfico 18- Gráfico de Pareto com a relação das peças que apresentam mais o defeito de batida.....	76
Gráfico 19- Carta de controle com os custos do SCRAP da NT1.....	98
Gráfico 20- Carta de controle com os custos do SCRAP da NT2.....	99
Gráfico 21- Carta de controle do % de SCRAP da pintura.....	100
Gráfico 22- Indicador de SCRAP x Vendas (PIP)	101

LISTA DE QUADROS

Quadro 1-	Etapas da metodologia DMAIC.....	31
Quadro 2-	Processo de carregamento de peça na cabine de pintura	39
Quadro 3-	Processo de descarregamento de peça na cabine de pintura.....	46
Quadro 4-	Atividades do carregamento Antes x Depois.....	87
Quadro 5-	Relatório gerencial com os dados do SCRAP da área da pintura.....	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Relação do custo por peças.....	67
Tabela 2-	Matriz de Priorização.....	83
Tabela 3-	Plano de ação	85
Tabela 4-	Lista de procedimentos	104

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS	Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno
ANFAVEA	Associação Nacional do Fabricantes de veículos automotores
DMAIC	Define, Measure, Analyse, Improve e Control
NOK	Não OK
NT1	NewTech 1
NT2	NewTech 2
PDCA	Plan, Do, Check e Act
PIP	Plant Improvement Plan
PP	Polipropileno
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	JUSTIFICATIVA	18
1.2	OBJETIVOS	19
1.2.1	Objetivo geral	19
1.2.2	Objetivos específicos.....	19
1.3	METODOLOGIA	20
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2	REFERENCIAL TEÓRICO	22
2.1	SETOR AUTOMOTIVO	22
2.1.1	Setor automotivo no Brasil	24
2.2	LEAN MANUFACTURING	25
2.3	SEIS SIGMA	27
2.4	METODOLOGIA DMAIC	28
2.4.1	Define	28
2.4.2	Measure	28
2.4.3	Analyse	29
2.4.4	Improve	29
2.4.5	Control.....	30
2.5	REVISÃO DA LITERATURA.....	31
3	PROCESSO DE PINTURA AUTOMOTIVA.....	34
3.1	PINTURA ELETROSTÁTICA	34
3.2	CABINE DE PINTURA (NEWTECH)	35
3.3	PROCESSO DE PINTURA	37
3.3.1	Carregamento das Peças.....	38
3.3.2	Flamagem do Substrato	39
3.3.3	Aplicação do Primer.....	40
3.3.4	Aplicação da Base.....	41
3.3.5	Aplicação do Verniz	42
3.3.6	Secagem no Forno	43
3.3.7	Descarregamento das Peças.....	45

3.4	PROBLEMAS E DEFEITOS NA PINTURA AUTOMOTIVA	46
3.4.1	Escorrimento de Primer, Base ou Verniz.....	47
3.4.2	Casca de Laranja (Orange Peel)	47
3.4.3	Fervura	48
3.4.4	Desplacamento	49
3.4.5	Manchas	49
3.4.6	Cratera	50
3.4.7	Impurezas.....	51
3.4.8	Tonalidade.....	51
3.4.9	Brilho	52
3.4.10	Falta de Primer, Base ou Verniz	53
3.4.11	Batida.....	53
4	ESTUDO DE CASO	55
4.1	A EMPRESA.....	55
4.2	IMPLATAÇÃO DA METODOLOGIA DMAIC	56
4.3	ETAPA DEFINE	57
4.3.1	Qual o problema da empresa?	57
4.3.2	Quais os processos envolvidos?	58
4.3.3	Qual o histórico do problema?	59
4.3.4	Quais as metas do Projeto DMAIC na empresa?	60
4.4	ETAPA MEASURE	61
4.4.1	Estratificação dos dados da linha de pintura.....	61
4.4.2	Estratificação da NT1	63
4.4.3	Estratificação da NT2	64
4.4.4	Relação entre PEÇA x CUSTO	66
4.4.5	Metas específicas.....	69
4.5	ETAPA ANALYSE	70
4.5.1	Análise dos principais defeitos	71
4.5.1.1	Impureza.....	71
4.5.1.2	Escorrido de base.....	72
4.5.1.3	Danos do carregamento	74
4.5.1.4	batida	75
4.5.2	Mapa do processo	77
4.5.3	Diagrama de Causa e Efeito (Ishikawa)	78

4.5.3.1	Impureza.....	78
4.5.3.2	Escorrido de Base.....	79
4.5.3.3	Danos no carregamento	79
4.5.3.4	Batida.....	80
4.6	ETAPA IMPROVE	81
4.6.1	Matriz de Priorização	81
4.6.2	Diagrama de Árvore.....	84
4.6.3	Plano de Ação.....	85
4.6.4	Evidência das Ações	86
4.7	ETAPA CONTROL	97
4.7.1	Resultados das metas específicas	97
4.7.2	Resultado da meta secundária.....	99
4.7.3	Resultado da meta primária.....	100
4.7.4	Plano de monitoramento.....	101
4.7.5	Padronização das ações.....	103
5	CONCLUSÃO	105
5.1	LIMITAÇÕES E DIFICULDADES DO TRABALHO.....	109
5.2	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	110
	REFERÊNCIAS	111

1 INTRODUÇÃO

Existe uma tendência nas empresas pela busca da modernização para a indústria 4.0. Um dos seus grandes trunfos que contribuem para a diferenciação das empresas no mundo dos negócios é a gestão de seus conhecimentos e a capacitação de seus trabalhadores para esta nova fase dos processos produtivos (SCHWAB, 2016).

Esta nova fase depende de grandes esforços por parte das empresas para atingir um modelo de excelência operacional, buscando assertivos níveis de qualidade de produtos e serviços, visando reduções de desperdícios e custos. A dimensão do trabalho mudou com a evolução dos sistemas de produção. A cada Revolução Industrial, o perfil exigido dos trabalhadores foi se modificando, passando do trabalho manual para o intelectual (AIRES; FREIRE; SOUZA, 2016).

Tudo isso para garantir a confiabilidade e satisfação dos clientes, diante da globalização e modernização do setor automotivo e da grande competitividade das empresas. O primeiro desafio está no desenvolvimento de tecnologias que promovam soluções econômicas e compatíveis com as necessidades dos clientes (KAMP; OCHOA; DIAZ, 2016).

O cenário para esta dissertação é uma fábrica de componentes automotivos, localizada no *supplier park* de uma montadora de carros, onde possui processos produtivos de injeção de peças plásticas, pintura automotiva e montagem de componentes para a fabricação de para-choques. O estudo de caso para essa dissertação está alinhado com o sistema de informação gerencial da empresa.

Garcia e Garcia (2003, p. 29), definem que sistema de informação gerencial: “É qualquer sistema que produza posições atualizadas no âmbito corporativo, resultado da integração de vários grupos de sistemas de informação que utilizam recursos de consolidação e interligação de entidades dentro de uma organização”,

Uma das prioridades do plano de melhoria da planta é a redução do indicador SCRAP versus VENDAS, por se tratar de uma relação em que se mede o nível do desperdício para a empresa.

O principal mérito para este tipo de gerenciamento é a capacidade de definir indicadores de desempenho para cada processo crítico, seja este devido a sua qualidade ou ao seu impacto (COSTA, 2010).

Esse indicador da empresa relaciona o percentual de peças defeituosa (SCRAP) com o percentual de vendas da empresa, ou seja, é o valor em R\$ de peças descartadas sobre o valor em R\$ do faturamento da empresa.

Segundo dados históricos da empresa, existem grandes variações no indicador de SCRAP x VENDAS superando o target indicado pela diretoria, por este motivo, esse indicador está crítico e é sinalizados como prioridade no plano de melhoria da empresa.

A redução desse indicador (SCRAP x VENDAS) pode ser obtida com a redução do SCRAP (numerador) ou com o aumento das vendas (denominador). O aumento do faturamento da empresa é algo que está ligado ao aumento da venda de carros no mercado, este depende do cenário econômico do Brasil e dos países que a montadora exporta, ou seja, é algo que não depende da empresa e das pessoas envolvidas na gestão dos processos.

Sendo assim, redução do desperdício das peças defeituosa (SCRAP) está ligada diretamente com sua manufatura e seus processos, que podem sofrer ações e melhorias para atender o plano estratégico.

Analisando os resultados de SCRAP da empresa, foi identificado através da estratificação, que o setor de pintura da empresa é a área que tem o maior custo em R\$ com o desperdício de peças. Devido à linha de pintura ser a área de maior impacto no SCRAP e da sua importância para o negócio da empresa, ela foi o foco para a implantação da metodologia, que foi a fonte para a pesquisa dessa dissertação.

As linhas de pintura analisadas nesse trabalho são automatizadas e utilizam uma tecnologia francesa para a pintura dos para-choques por aplicação eletrostática. As peças pintadas seguem critérios de qualidade estipulados pelo cliente para atender normas técnicas, garantindo também boa aparência, resistência e que as cores dos para-choques estejam em harmonia com as carrocerias dos automóveis.

O *Lean Manufacturing* ou manufatura enxuta foi criado com a finalidade de aumentar a produtividade e reduzir os custos operacionais por meio da eliminação dos desperdícios no processo produtivo (LIKER, 2004; OHNO, 1997).

A proposta do *Lean Manufacturing* é aumentar eficiência do sistema produtivo, eliminando desperdícios (ORTIZ, 2006), além de implantar um sistema de melhoria contínua (Kaizen), especificar valor e padronizar o processo.

Uma metodologia muito utilizada por empresas que visam essa melhoria contínua de processo é o Seis Sigma. Carvalho; Paladini, (2005) salientam que o método se destaca por usar ferramentas estatísticas bastante eficazes para solucionar problemas. Como suporte para esse trabalho, será utilizado a metodologia DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve e Control*); é uma metodologia de melhoria composto por um roteiro que ajuda as empresas a resolverem problemas, diminuindo desperdícios, evitando erros, aumentando a produtividade e melhorando os seus processos.

O DMAIC é metodologia do Seis Sigma, utilizada amplamente para identificar e implementar melhorias nos processos de grandes e pequenas empresas.

1.1 JUSTIFICATIVA

Com a globalização e modernização do mercado automotivo, os fornecedores dos fabricantes de automóveis foram impulsionados a garantir o mesmo nível de qualidade, serviço e custos em todo o mundo.

Em 2020, o setor automotivo representou uma fatia de aproximada de 22% do PIB industrial do Brasil. Seu poder de influência sobre a economia, porém, não se restringe ao fato de ser diretamente responsável por uma parcela tão relevante da indústria, mas também por sua ligação intrínseca com diversos outros setores industriais.

O modelo de excelência operacional e gerenciamento industrial das empresas garantem que os custos e os níveis de qualidade esperados pelo cliente sejam respeitados, tornando mais competitiva para atender as necessidades e expectativas do mercado automotivo.

Xie et al. (2016) defendem que o conhecimento, tanto como uma fonte de poder e um recurso, é estrategicamente importante para a atividade de inovação. As empresas devem procurar formas de reforçar o desenvolvimento de conhecimentos e usá-los de forma satisfatória.

Essa pesquisa acontece dentro da manufatura de uma empresa, em um processo produtivo de pintura automotiva bem específica cujo objetivo é a redução de seus desperdícios, com o total alinhamento a estratégia da empresa para a redução de custos,

aumento da capacidade produtiva da empresa, redução de horas extras, disponibilidade das máquinas para novos projetos e o aumento da confiabilidade e satisfação do cliente.

A redução do desperdício de peças defeituosas está baseada no seu plano estratégico e orçamento, sendo uma das prioridades do plano de melhoria da planta. Logo, teremos que buscar melhorias a partir de ferramentas e estratégias de gestão para tomada de decisões, visando assegurar a redução na taxa de defeitos e a solução desses problemas.

Sendo assim, alterações incrementais estariam no centro do processo de inovação. Para Zawislak (2008) inovação é a aplicação do conhecimento para gerar alterações técnicas ou organizacionais capazes de oferecer vantagens para a empresa que os realiza.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta dissertação é aplicar a metodologia DMAIC para a redução de desperdício em operações de uma indústria do setor automotivo. E com isso, contribuir para aumentar a sua competitividade.

1.2.2 Objetivos específicos

Para o alcance do objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Estratificar e analisar os dados gerais para verificar onde existem os maiores desperdícios;
- b) Mapear o processo em que ocorre o problema utilizando ferramentas da qualidade;
- c) Identificar e priorizar as principais causas e propor ações de correção e melhorias para resolução dos problemas;
- d) Verificar a eficácia das ações através da análise e comparações dos resultados;
- e) Realizar monitoramento e padronização das ações para garantir a continuidade das melhorias.

1.3 METODOLOGIA

O método de pesquisa escolhido para este trabalho é o estudo de caso, onde foram utilizados os conceitos da filosofia do *Lean Manufacturing* e do Seis Sigma para a solução do problema no que diz respeito ao desperdício por peças defeituosas (SCRAP). A aplicação dessa metodologia dependeu de esforços mútuos entre a organização e as pessoas envolvidas nos processos, a fim de possibilitar o entendimento para preparação da fundamentação conceitual da metodologia, extração de conhecimento a partir de dados quantitativos e qualitativos, utilização de estatística, conhecimento sobre os processos, entre outros desafios.

As principais fontes de evidências em um estudo de caso que alimentam a coleta de dados podem vir de documentos, arquivos, entrevistas, observações diretas, observações dos participantes e artefatos físicos. Isso constitui um conjunto complementar a fonte de dados. Quanto maior for o número de fontes utilizadas ao longo de toda pesquisa, mais robustez terão os resultados encontrados (YIN, 2001; ROESCH, 2009).

A eficiência da metodologia sistematizada Seis Sigma já foi comprovada por várias organizações de classe mundial como uma iniciativa de melhoria contínua da qualidade dos processos, produtos e serviços (KWAK; ANBARI, 2006).

Essa pesquisa buscará aplicações da metodologia, visando essa eficiência da classe mundial, objetivando gerar conhecimentos dirigidos para a solução dos problemas específicos da organização, ou seja, que os resultados obtidos sejam aplicados imediatamente à medida que forem sendo identificados.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em 5 capítulos. Neste primeiro capítulo a temática da pesquisa é apresentada, juntamente com a contextualização do problema, a justificativa do projeto, os objetivos, a metodologia utilizada para o alcance dos propósitos e a organização do trabalho.

No segundo capítulo estão abordados a fundamentação teórica, com um panorama do setor automotivo e uma base conceitual do *Lean Manufacturing*, Seis Sigmas e da

metodologia DMAIC. Além disso, é disponibilizada uma Revisão da Literatura com foco na importância e relevância da metodologia para melhoria de resultados nas organizações.

No terceiro capítulo é apresentado o processo de pintura automotiva, sendo descrito a aplicação por eletrostática que são realizadas nas cabines de pinturas e suas etapas de produção. Também, neste capítulo são apresentados os principais problemas que ocorrem e impactam na qualidade das peças pintadas.

O quarto capítulo contempla a apresentação do estudo de caso com a aplicação da metodologia DMAIC para redução do desperdício com descarte de peças com problemas de pintura.

Por fim, no quinto capítulo, são apresentadas as conclusões, limitações enfrentadas ao longo do desenvolvimento deste trabalho tal como sugestões de futuros trabalhos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será apresentada a base conceitual que servirá de suporte ao desenvolvimento do trabalho e os principais elementos abordados, tais como: um panorama geral sobre a indústria automotiva; uma visão geral acerca do setor automotivo mundial e no Brasil e uma base conceitual do Lean Manufacturing, Seis Sigmas e da metodologia DMAIC.

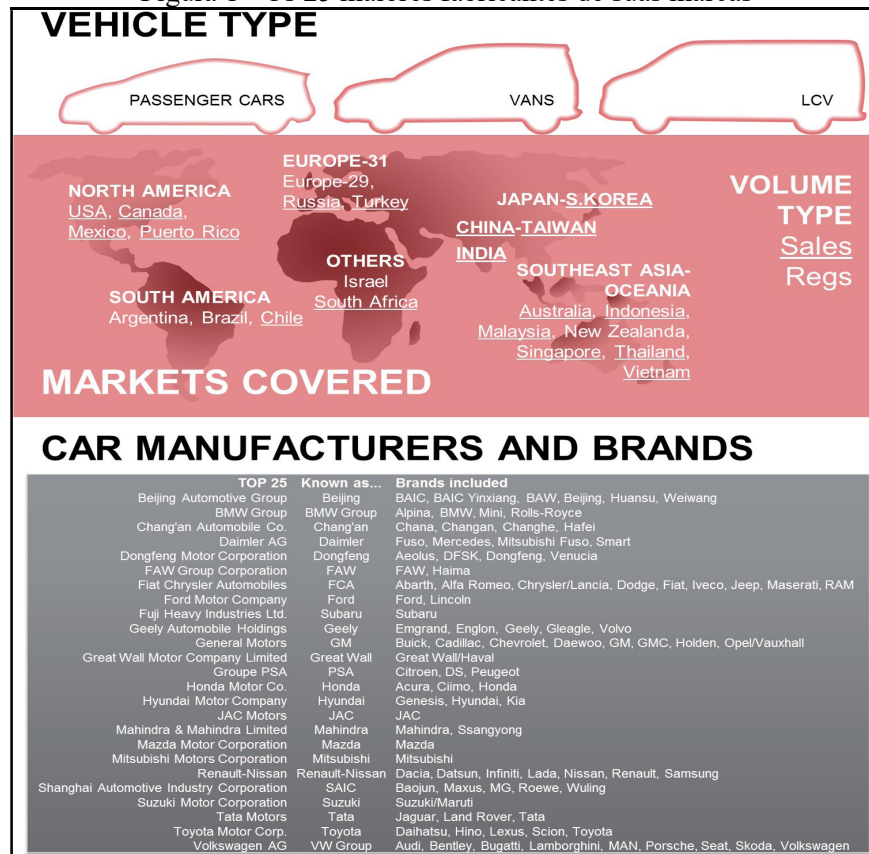
Além disso, para demonstrar a eficácia da metodologia utilizada, é apresentada uma revisão da literatura a qual ilustra o atual estado da arte sobre a temática proposta no trabalho.

2.1 SETOR AUTOMOTIVO

Em 2016, existiam 25 grandes fabricantes de veículos conforme verificamos na Figura 1, mas o setor continua a ser marcadamente dominado pelas empresas mais tradicionais, onde também é um segmento cuja força está concentrada em poucos grupos surgidos e instalados em grandes países (Estados Unidos, França, Itália, Alemanha, Japão e Coreia do Sul). Com práticas como fusões e alianças estratégicas, esses grupos também desenvolveram cruzamentos de ações, o que tende a estreitar ainda mais a concentração de mercado.

A indústria automotiva possui importantes encadeamentos produtivos sobre outros setores. Utilizando-se da contribuição de Casotti; Goldenstein (2008), observou-se que 50% do total de borracha, 25% do total de vidro e 15% do total de aço produzidos no mundo se destinam a essa indústria, em especial. Para movimentar esse setor, mais de 8 milhões de funcionários estão empregados diretamente e, para cada emprego direto, mais de cinco indiretos são gerados, se computados no cálculo o setor de autopeças.

Figura 1 - Os 25 maiores fabricantes de suas marcas



Fonte: Global Car Market, New-Car Sales, 2016.

De acordo com Ferraz; Kupfer; Haguénaur (1996) e Casotti; Goldenstein (2008) este setor está em permanente processo de consolidação, sendo frequente as incorporações, fusões, *joint ventures* e parcerias comerciais das mais diversas naturezas que, de uma forma geral, reafirmam a estrutura de mercado oligopolizado deste setor econômico.

Para os autores Cassol; Zapala; Cintra (2017), é possível observar uma tendência de competição global, em que as empresas que buscam inovar são as que tendem a alcançar melhores resultados. As empresas que se tornam mais competitivas são as que mostram uma capacidade de resposta rápida às necessidades do mercado/cliente, sendo capazes de inovar e conseguir coordenar recursos internos e externos em busca de vantagem competitiva.

2.1.1 Setor automotivo no Brasil

O início do setor automotivo está bem alinhado com o da história da industrialização e urbanização do Brasil. Onde pode-se considerar, que o Brasil passou de um país majoritariamente rural para o bloco dos emergentes no âmbito da tecnologia e do desenvolvimento, a partir da primeira indústria brasileira de automóveis e autopeças, ocorrendo em meados da década de 1950.

No ano de 2021, o setor automotivo teve uma grande importância para a economia do Brasil, onde representa aproximada de 22% do PIB industrial. O poder da importância e da influência sobre a economia, também é devido sua ligação intrínseca com diversos outros setores industriais, como aço e derivados, materiais eletrônicos, borracha e plástico.

As montadoras de carros tem também um forte ligação direta em áreas como Pesquisa e Desenvolvimento, pela necessidade do alto padrão tecnológico exigido na produção de automóveis e em todo seu sistema de pesquisas, criações e planejamentos.

Outro fator importante, é a ligação do setor automotivo com as empresas do sistema logístico, onde essas tornam possíveis que a cadeia de produção automotiva tenha conexão com polos tecnológicos e industriais do mundo inteiro, fator indispensável para o funcionamento de uma cadeia de produção.

De acordo com o Ministério da Economia, o Brasil possui atualmente 31 fabricantes automotivos, englobando produtores de veículos, máquinas agrícolas e rodoviários. No mercado de autopeças são mais de 590 fabricantes, que produzem para as montadoras e para a reposição automotiva. Relacionado com a comercialização de veículos, o país contava com 5.592 concessionárias no último levantamento realizado pelo Governo Federal, em 2017.

Nos dados do ano de 2020 da indústria automobilística, segundo a Anfavea (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores), destaca que o Brasil passou de oitavo para sexto lugar no ranking mundial de vendas de carros, com 2,7 milhões de licenciamentos, contra 2,6 milhões da França e 2,5 milhões do Reino Unido. Apesar da recuperação, o Brasil ainda está distante do quarto lugar que manteve durante metade da década passada, de 2010 a 2014. Hoje essa posição é ocupada pela Índia, com 4,4 milhões de veículos leves vendidos.

Com relação a produção de veículos, porém, o Brasil continua em nono lugar, com 2,9 milhões de unidades fabricadas em seu território. Nesse ranking está mais fácil recuperar a posição ocupada de 2010 a 2013, que foi o sétimo lugar. Com a crise econômica, o Brasil caiu para nono lugar de 2015 a 2017.

2.2 LEAN MANUFACTURING

O principal objetivo do *Lean Manufacturing* é a redução do tempo entre o pedido do cliente e o momento da entrega do produto ou serviço para ele. Esta redução é obtida com o controle e eliminação dos desperdícios da produção, buscando melhores produtos com os menores custos (LUSTOSA et al., 2008; MACEDO; POSSAMAI, 2013).

Para Lustosa (2008) e Atkinson e Mukaetova-Ladinska, (2012) o foco inicial continua nos processos produtivos, mas os princípios da filosofia são amplos e aplicam-se tanto na engenharia e administração, quanto aos serviços. Já Womack; Jones; Roos (2004) e Laganga (2011) defendem que o *Lean Manufacturing* não é apenas uma técnica, é uma filosofia que representa a otimização dos recursos, melhoria da qualidade, aumento da produtividade e, conseqüentemente, menores custos de produção. Já os desperdícios por defeitos são para a empresa produtos produzidos que deverão sofrer retrabalhos (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009; SUZAKI, 2010).

Liker (2008) e Browning; Heath (2009) descrevem que o *Lean Manufacturing* é um sistema baseado em uma estrutura e não somente em um conjunto de técnicas e ferramentas. Essa estrutura foi representada na forma de uma casa, que podemos verificar na Figura 2.

Womack; Jones (2004) e Staats et al. (2011) definem a manufatura enxuta como um processo de cinco passos: definir o valor do cliente, definir o fluxo de valor, fazê-lo “fluir”, “puxar” a partir do cliente e lutar pela excelência. “O pensamento enxuto é uma forma de especificar valor, alinhar na melhor sequência de ações que criam valor, realizar essas atividades sem interrupção toda vez que alguém as solicita e realizá-la de forma cada vez mais eficaz” (WOMACK; JONES, 2004, p. 4).

Figura 2 - Estrutura do Sistema Toyota de Produção



Fonte: Adaptado de Liker, 2005.

O *Lean Manufacturing* não é apenas um conjunto de metodologias. Ele é um sistema sofisticado que contribui para o sucesso do todo, procurando estimular as pessoas a melhorarem os processos nos quais trabalham. (LIKER, 2008).

A produção enxuta classifica os desperdícios em oito tipos, e sua total ou parcial eliminação pode gerar grandes ganhos para a organização. São eles: desperdício de processamento, espera, transporte, movimentação, defeitos, estoque, conhecimento sem ligação e superprodução (DENNIS, 2008; HINES; TAYLOR, 2000; MARQUES, 1995; ESMEMR, CETI; TUNA, 2010).

2.3 SEIS SIGMA

É um conjunto de práticas originalmente desenvolvidas pela Motorola para melhorar sistematicamente os processos ao eliminar defeitos. Pode ser considerada também como uma estratégia gerencial disciplinada e altamente quantitativa com objetivo de gerar melhorias na qualidade de produtos, processos e no aumento da satisfação de parceiros, clientes e consumidores.

O Seis Sigma é utilizado para medir o nível de qualidade de um processo, produtos e operações, tomando como referência a quantidade de defeitos por milhão, bem como para avaliar o desempenho de características críticas, focalizando nas estratégias para uma melhoria contínua dos processos e redução de variabilidades. O objetivo principal é chegar próximo ao zero defeito, uma vez que “defeito” pode ser definido como a não conformidade de um produto ou serviço, de acordo com suas especificações.

A eficiência da metodologia sistematizada Seis Sigma já foi comprovada por várias organizações de classe mundial como uma iniciativa de melhoria contínua da qualidade dos processos, produtos e serviços (KWAK; ANBARI, 2006).

Ao longo da última década, o Seis Sigma veio se consolidando como uma abordagem abrangente que está alinhada à implementação de estratégias que promovem a melhoria do desempenho do negócio, aumentando o potencial competitivo e impulsionando as ações estratégicas e gerenciais. Segundo Arnheiter; Maleiyeff (2005) “Hoje, Seis Sigma é uma estratégia abrangente de longo prazo para tomada de decisão mais do que um programa estritamente focado na gestão da qualidade”. Já Coronado; Antony (2002) definem que o Seis Sigma como “Uma estratégia para melhoria de negócios usada para melhorar a lucratividade do negócio, eliminar refugo, reduzir custo da não qualidade e melhorar a eficiência e eficácia de todas as operações, assim como encontrar, ou mesmo exceder as expectativas e necessidades dos clientes”.

A aplicação do Programa Seis Sigma utiliza diversos métodos de melhorias e soluções de problemas, um desses é a metodologia DMAIC, que são as iniciais para: *Define* (definir), *Measure* (medir), *Analyse* (analisar), *Improve* (melhorar) e *Control* (controlar).

2.4 METODOLOGIA DMAIC

Segundo vários autores (PANDE et al., 2000; KLEFSJÖ et al., 2001; BAÑUELAS; ANTONY, 2003; LYNCH et al., 2003; GUPTA, 2005), o DMAIC é a metodologia estruturada mais utilizado pelas empresas que aplicam o Programa Seis Sigma, bem como o mais citado nas publicações (BRADY; ALLEN, 2006), devido a sua simplicidade e similaridade com o Ciclo PDCA, que é largamente empregado no processo de melhoria contínua. Para Lynch (2003) “Outros aspectos importantes na utilização do DMAIC é o foco na satisfação do cliente, busca contínua da redução da variabilidade, adaptação para o projeto de produtos e processos e a aplicação efetiva a processos administrativos e de serviços”.

O DMAIC é mais reconhecido pelo seu potencial de solução de problemas por assegurar a redução na taxa de defeitos e falhas nos produtos, serviços e processos. Refere-se a um ciclo de melhoria orientado pela análise de dados com o intuito de melhorar, otimizar e estabilizar processos e projetos de negócios. A metodologia do DMAIC é constituída por cinco etapas:

2.4.1 Define

Nessa primeira etapa o problema, a meta e o escopo do projeto deverão ser claramente definidos. Deve-se também elencar quais são os processos envolvidos e afetados, além do impacto que o problema traz para a organização. É importante identificar, a relevância do projeto e se o mesmo demanda prioridade para a unidade de negócio.

Envolve a complexidade do problema imposto e busca definir o projeto de maneira que todos os objetivos e metas impostas sejam obtidas com sucesso, portanto, ao final desta etapa há necessidade do engajamento de todos os envolvidos de modo que todos saibam o que será estudado e melhorado perante as metas estabelecidas (RIBEIRO; CATEN, 2003).

2.4.2 Measure

Nessa segunda etapa, o problema deverá ser refinado ou focalizado. Os resultados devem ser medidos para obtenção de dados úteis à focalização do problema através de uma coleta de dados confiáveis, desta forma, identifica-se uma forma de estratificar e priorizar o problema. Em seguida, um novo plano de coleta de dados deverá ser feito baseado na

estratificação, a fim de analisar o impacto de cada parte do problema, onde para cada problema identificado como prioritário, deverá ser estabelecida uma meta específica.

Depois das análises e mapeamento do processo são identificadas as variáveis que mais impactam no processo, em seguida serão relacionadas as causas e efeitos apresentados para então ser estabelecido o sistema de medição adequado de modo que determine a capacidade atual do processo (REIS, 2016).

2.4.3 Analyse

Nessa terceira etapa, deverão ser determinadas as causas fundamentais do problema e estas devem estar associadas a cada uma das metas definidas nas etapas anteriores. É necessário fazer um mapa de processo ou fluxograma, no intuito de definir para cada etapa do processo, quais são as variáveis envolvidas e para cada variável, deve-se identificar as suas causas potenciais, sendo importante analisar essas causas para avaliar seus impactos no problema. O uso prático das ferramentas estatísticas fortalece toda a metodologia (CARVALHO; PALADINI, 2016).

2.4.4 Improve

Nessa quarta etapa, sugere-se inicialmente uma priorização de todas as possíveis causas do problema. Pode ocorrer de existir uma grande variedade de causas potenciais, portanto deve-se utilizar como critério, o impacto e relevância de cada uma delas para o problema.

Em seguida, realiza-se o desdobramento das causas potenciais que foram priorizadas, para que surjam ideias de soluções que servirão de base para um plano de ação.

Dentre as ideias potenciais elencadas, é imprescindível verificar a aplicabilidade e viabilidade, pois caso seja necessário, ajustes e melhorias poderão ser realizados durante a implementação no processo.

2.4.5 Control

Essa última etapa consiste na avaliação dos resultados obtidos, para confirmar se as metas estabelecidas no início do projeto foram atingidas. Essa confirmação deve ser realizada através de comparativo dos dados coletados, antes e após a implementação das soluções.

Sendo o resultado favorável, a próxima fase consistirá na padronização das alterações realizadas no processo em consequência das soluções adotadas. Visando a padronização, deverão ser elaborados ou revisados os procedimentos operacionais. Por fim, deve se implementar um plano para monitoramento da performance do processo e do alcance da meta. Essa fase é muito importante para impedir que os problemas já resolvidos sejam recorrentes.

Algumas atividades estão relacionadas a esta fase, são elas: realizar treinamento aos envolvidos, colocar em prática todo o plano, registrar o novo sistema, efetuar o monitoramento do sistema, expandir todo conhecimento e melhorias obtidas, analisar os benefícios e comemorar as conquistas (FONTE, 2008).

No Quadro 1 podemos um resumo das etapas da metodologia DMAIC com as definições de suas principais características.

Quadro 1 - Etapas da metodologia DMAIC

ETAPA	CARACTERÍSTICAS
Etapa D: Define (Definir)	Na primeira etapa do DMAIC, é identificado o problema e definida a meta do projeto. Através da avaliação do histórico do problema e apresentação de possíveis restrições e suposições, a equipe de trabalho é formada e é definido o cronograma preliminar do projeto.
Etapa M: Measure (Medir)	Na segunda etapa do DMAIC, o problema é refinado ou focalizado. A equipe de projeto deverá decidir entre coletar novos dados ou usar dados já existentes na empresa. Realiza-se o Plano de Coleta de Dados e com os dados obtidos, a equipe deverá analisar estatisticamente o impacto das várias partes do problema e identificar os problemas prioritários.
Etapa A: Analyze (Analisar)	Na terceira etapa, é feita a análise do processo gerador de problema prioritário. São ferramentas úteis para a análise: Fluxograma, Mapa de Processo, Mapa de Produto, Análise do Tempo de Ciclo, FMEA e FTA. A partir dos resultados dessas ferramentas, são identificadas e organizadas as causas potenciais do problema prioritário.
Etapa I: Improve (Melhorar)	Na quarta etapa, inicialmente são geradas ideias de soluções potenciais para a eliminação das causas fundamentais do problema prioritário. Faz-se a análise das ideias e soluções, priorizando as potenciais, avaliando e minimizando seus riscos. A partir de então, as soluções são testadas em pequena escala (teste piloto) e analisadas, caso necessite de ajustes ou melhorias para a implementação das soluções em larga escala.
Etapa C: Control (Controlar)	Na última etapa do DMAIC, inicialmente é feita uma avaliação do alcance da meta em larga escala. Em caso satisfatório, a próxima ação é padronizar as alterações realizadas no processo em consequência das soluções adotadas e transmitir os novos padrões a todos os envolvidos no processo. Na sequência, define e implementa um plano para monitoramento da performance do processo e do alcance da meta.

Fonte: Adaptado de Werkema, 2012.

2.5 REVISÃO DA LITERATURA

As grandes empresas se esforçam na busca de um modelo de excelência operacional, com assertivos níveis de qualidade de produtos e serviços, visando reduções de desperdícios e custos. A dimensão do trabalho mudou com a evolução dos sistemas de produção. A cada Revolução Industrial, o perfil exigido dos trabalhadores foi se modificando, passando do trabalho manual para o intelectual (AIRES; FREIRE; SOUZA, 2016).

Um dos seus grandes trunfos que contribuem para a diferenciação das empresas no mundo dos negócios é a gestão de seus conhecimentos e a capacitação de seus trabalhadores para esta nova fase dos processos produtivos (SCHWAB, 2016).

Palange e Dhatrak (2021) descrevem que o objetivo de qualquer fabricante é a satisfação do cliente, isso pode ser alcançado entregando o produto de qualidade, na hora certa a um custo razoável. Qualquer organização, seja de manufatura ou de serviço, sobreviverá e sustentará a competência se for flexível o suficiente para responder contínua e sistematicamente às necessidades dos clientes e, consequentemente, agregar valor ao produto.

Para Balamurugan et al (2020) o conceito de *Lean Manufacturing* foi desenvolvido para maximizar a utilização de recursos através da minimização de desperdícios, posteriormente o enxuto foi formulado em resposta ao ambiente de negócios flutuante e competitivo. Devido ao ambiente de negócios em rápida mudança, as organizações são forçadas a enfrentar desafios e complexidades.

Tudo isso para garantir a confiabilidade e satisfação dos clientes, diante da globalização e modernização do setor automotivo e da grande competitividade das empresas. O primeiro desafio está no desenvolvimento de tecnologias que promovam soluções econômicas e compatíveis com as necessidades dos clientes (KAMP; OCHOA; DIAZ, 2016).

Kurt Möldner et al (2020) utilizaram uma pesquisa para verificar os efeitos da prática do *Lean Manufacturing* no desempenho de inovação de processos das organizações de manufatura. A pesquisa foi composta por 22 escalas de medida e três pares de hipóteses foi desenvolvida com base em uma extensa revisão de literatura. Um questionário foi administrado em larga escala e distribuído entre especialistas industriais apropriadamente selecionados. Os conjuntos de dados obtidos de 340 respostas foram analisados por meio de análise fatorial confirmatória, estatística descritiva, correlações e múltiplos modelos. Os resultados sugerem que as práticas das técnicas do *Lean* e humanas têm um impacto positivo de moderado a forte na entrada e na ocorrência de inovação de processo nas organizações de manufatura. Por sua vez, como resultado da inovação de processos, isso parece melhorar o desempenho operacional das empresas.

Uma metodologia muito utilizada por empresas que visam essa melhoria contínua de processo é o Seis Sigma. Carvalho e Paladini (2005) salientam que o método se destaca por usar ferramentas estatísticas bastante eficazes para solucionar problemas.

Srinivasan et al (2014) relatam que na era moderna, as ferramentas e técnicas Seis Sigma foram implementadas em vários setores de manufatura, que se esforçam para melhorar a melhoria contínua na obtenção de menor variação, custo e alta qualidade dos produtos. Foi utilizada a implantação da metodologia DMAIC para a eliminação/redução de problemas no processo de pintura por spray de amortecedores que tinha grande impacto no produto final. Na fase do *Define* foram implementadas as ferramentas como gráfico de Pareto, voz do negócio (VOB) e o termo de abertura que identifica o pré-tratamento no processo de pintura por spray como a etapa crítica. A fase de *Measure* teve uma avaliação do processo de pintura por spray, com sessões intensas de *Brainstorming*, as respostas imperativas culminaram como

peel-off e bolhas. Na fase do *Analyse*, as causas-raiz vitais que impactam as respostas foram identificadas como temperatura de limpeza, temperatura do fosfato e pH do fosfato (potência do hidrogênio) usando diagrama de causa e efeito e escala Likert. Na fase do *Improve* concentra-se na otimização das causas-raiz vitais que afetam as respostas usando a abordagem de design robusto de Taguchi. Na fase do *Control*, foi realizada a confirmação das condições que foram otimizadas e seus resultados obtidos, onde foram satisfatórios chegando a níveis sigma de 3,31 a 4,5.

Durante um estudo, Rifqi et al (2021) queria validar a aplicação da metodologia DMAIC em uma empresa automotiva que visava melhorar seus fluxos dentro da oficina de produção, puxando o fluxo físico e minimizando os diferentes desperdícios. Como resultado o DMAIC permitiu uma melhor estruturação de todo o projeto, escolhendo as soluções de melhoria certas com a escolha certa das ferramentas de qualidade e várias vantagens. Essa implementação mostra uma melhoria espetacular no planejamento da produção, na fluidez do fluxo, além de um ganho financeiro importante para a empresa.

Um outro exemplo de solução de problemas baseada em fatos usando a abordagem DMAIC foi apresentada por Pranavi e Umasankar (2021) para reduzir defeitos na pintura de chapa metálica em um fabricante de automóveis. O DMAIC ajudou a identificar, analisar e erradicar a causa raiz dos defeitos no processo e, assim, ajuda a alcançar níveis superiores de qualidade por meio de maior produtividade. A pesquisa foi realizada na operação de Estampagem onde são fabricadas as bobinas de chapas metálicas nos painéis externos do capô dos carros. A aplicação sistemática permitiu que o problema na qualidade da cadeia de suprimentos fosse resolvido para o problema de descascamento de tinta. Com base neste estudo, conseguiu-se que os painéis da coifa procedentes do processo de Retrabalho e Oficina foram significativamente minimizados. Após a implementação bem sucedida do DMAIC nos processos de montagem, o número de defeituosos por mês caiu de 230 para 54, o que representa uma redução maciça de 85% nas peças defeituosas. A partir dos resultados, verificou-se que a taxa de rejeição que era de 3% teve uma redução para 0,4%.

Em um trabalho de autoria de Oliveira, B. J.; Ferreira, R. J. P., publicado nos anais do XXVIII Simpósio de engenharia de produção, realizado em 10 a 12 de novembro de 2021, no campus da UNESP, tive a oportunidade de apresentar os ganhos que a metodologia DMAIC teve com um trabalho para melhorar o controle de processo para a diminuição das variações nos testes de lavabilidade entre lotes de tintas em uma indústria no setor de produção de tintas decorativas imobiliária.

3 PROCESSO DE PINTURA AUTOMOTIVA

No passado, a indústria automotiva realizava a aplicação da tinta manualmente e a evaporação do solvente para a secagem da superfície pintada ocorria em temperatura ambiente. Com o passar do tempo e a necessidade de produção em massa, a aplicação da tinta passou a ser realizada por robôs e a secagem por evaporação tornou-se inviável, foi quando as indústrias começaram a utilizar fornos.

As tintas que eram utilizadas durante o processo de pintura automotiva continham em sua composição chumbo, cromo e outros metais pesados. Com as proibições das leis ambientais e com o avanço da tecnologia, resultou em uma mudança para tintas à base de água. Do ponto de vista ambiental, a tinta acrílica de esmalte de poliuretano à base de água é atualmente a tinta mais amplamente usada por razões devido a redução do seu impacto.

A pintura automotiva é utilizada basicamente para proteção, correção de pequenas imperfeições e a parte da estética do carro. Conforme Carvalho (1993, p. 47), as falhas referentes a composição, preparação e processo de aplicação da tinta são frequentes. Com o objetivo de avaliar os defeitos provenientes do processo de pintura, as peças pintadas são analisadas de forma crítica para detectar imperfeições que aparecem na superfície pintada. Portanto, a partir da microscopia é possível perceber mudanças no revestimento, conforme considerações feitas por Carvalho (1993, p. 47-57), Fazenda (2005, p. 712-718) e Pierozan (2001, p. 80-83).

3.1 PINTURA ELETROSTÁTICA

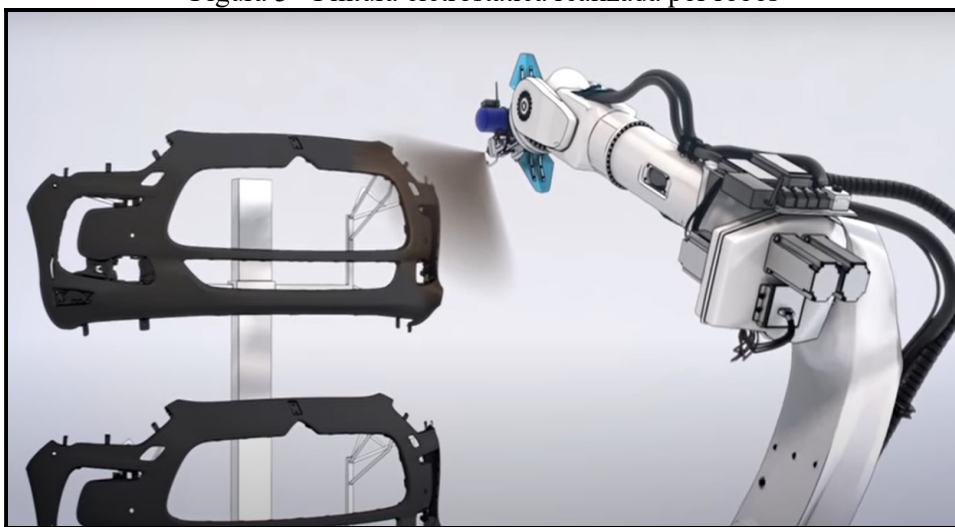
A pintura eletrostática é uma das formas de pintura mais resistentes e efetivas. Essa pintura utiliza um processo diferenciado por meio de cargas elétricas para a fixação da tinta. Esse tipo de pintura pode ser aplicado em superfícies metálicas, plástica ou em qualquer outro material que esteja carregado eletricamente.

Durante a aplicação, a pistola de pintura é carregada eletricamente com cargas positivas ou negativas e a superfície onde será aplicado será carregado eletricamente com cargas opostas as da tinta. Com isso, quando a tinta entra em contato com a superfície ocorre a

atração entre as cargas opostas fazendo a tinta fixar na superfície. Na Figura 3 podemos verificar uma aplicação eletrostática sendo realizada por robôs.

Os benefícios do processo de pintura eletrostática são a capacidade de recuperar o excesso de tinta pulverizada e automatizar o processo de pintura, reduzindo os custos de manufatura. A razão para o pouco consumo de tinta durante a pulverização eletrostática é que não existem desperdícios, já que todas as partículas de tinta irão ser atraídas para a peça. Com isso, esse processo chega a garantir mais de 50% em economia de tinta, 90% a menos no tempo de aplicação, 200% a menos no tempo de cura para o manuseio da peça e muito mais aderência da pintura no substrato.

Figura 3 - Pintura eletrostática realizada por robôs



Fonte: O Autor, 2022.

3.2 CABINE DE PINTURA (NEWTECH)

As cabines de pintura utilizadas pela empresa são chamadas de *NEWTECH*, são automatizadas e possuem uma tecnologia francesa, onde utilizam robôs para realizar a pintura por aplicação eletrostática. Estas cabines possuem uma das mais modernas tecnologias em linhas de pinturas de peças automotivas do mundo. Na Figura 4 podemos observar o desenho técnico de toda estrutura da *Newtech*.

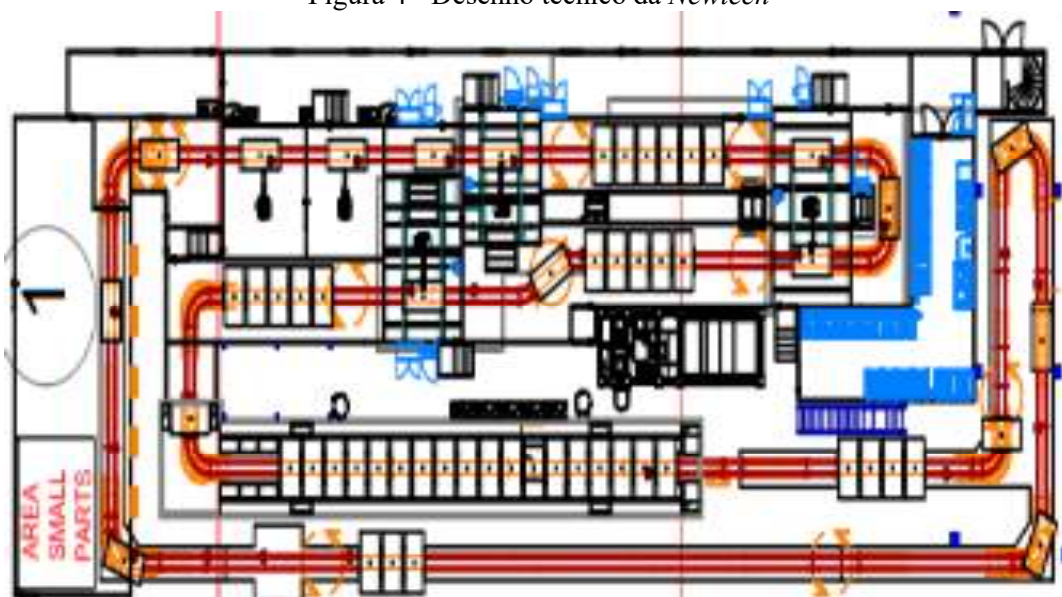
A *Newtech* possui 60 carrinhos em seu circuito de trajetória, estes conduzem as peças para serem pintadas por robôs no interior da cabine, sem a interferência humana. A cada 2 minutos um carro é liberado com peças pintadas, onde dependendo do tamanho das peças, pode se ter de 3 até 60 peças pintadas por carrinho.

As peças passam pela aplicação do primer, tinta e verniz e no final entram no forno onde já saem secas. O processo de pintura da cabine *Newtech* tem uma economia de 50% da utilização de tintas e 90% a menos do tempo de aplicação. Para uma aplicação perfeita e uniforme existem os controles da temperatura, da umidade, da ventilação e o sentido do ar no interior da cabine. A cabine de pintura apresenta vários sensores de controles e de segurança, fazendo com que tenha boa qualidade de aplicação e com menor custo.

A cabine *Newtech* possui uma sala específica para controle da preparação e armazenamento de tintas, primer e verniz. Com isso, evita-se contaminações e permite que a cabine tenha capacidade de pintar várias peças e com diversas cores, aumentando a sua capacidade e autonomia de trabalho. Na preparação existem os controles da diluição, viscosidade e de outros parâmetros técnicos das tintas, primer e verniz, que ficam em agitação dentro de cubas de inox e seguem para cada um de seus robôs específicos através de tubulações com circuito fechado, que ao final retornam para suas cubas.

Existe uma preocupação muito grande com o meio ambiente e a exemplo disso, temos a recuperação da pulverização da tinta que não adere nas peças. O excedente de tinta é direcionado para baixo por um fluxo de ar que é insuflado dentro das cabines de pintura, fazendo com que a névoa de tinta desça para o piso e seja capturada por uma lâmina de água, que ficam recirculando no sistema. Essa água passa por um tratamento na própria *Newtech* que retira os contaminantes deixando a água em condições para que seja reutilizada.

Figura 4 - Desenho técnico da *Newtech*



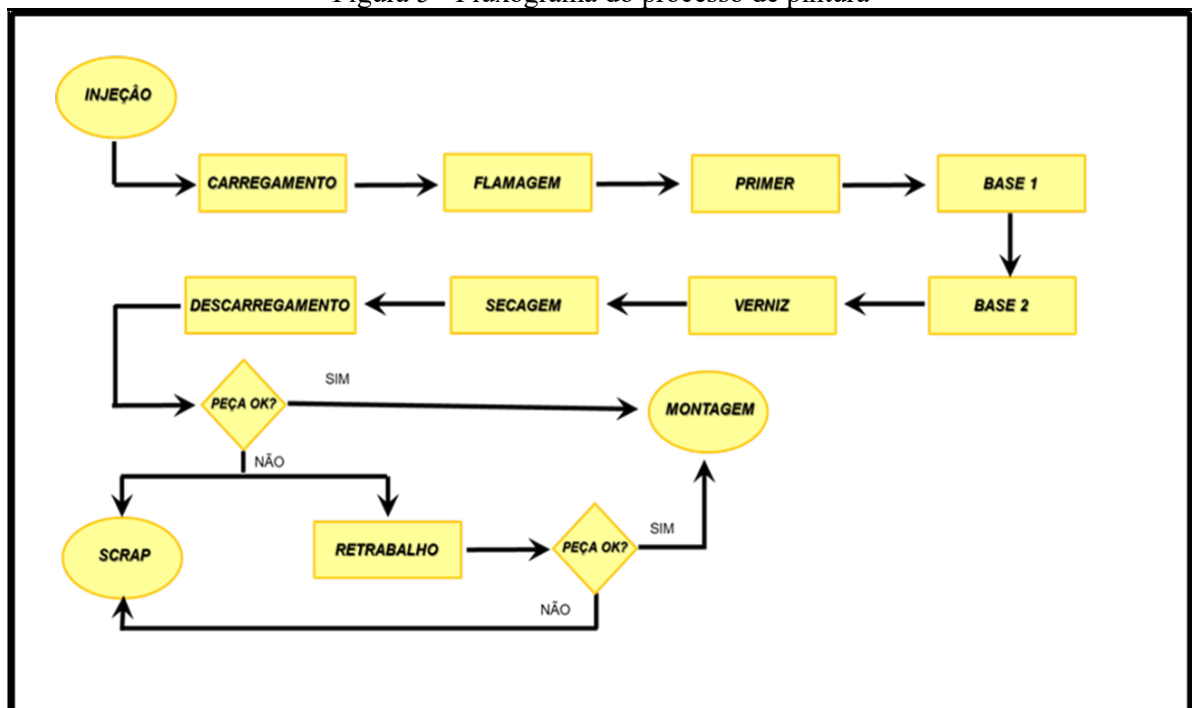
Fonte: O Autor, 2022.

3.3 PROCESSO DE PINTURA

O processo de pintura eletrostática se inicia com requisição das peças que foram injetadas em PP (Polipropileno) ou ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno), em seguida as peças são preparadas e fixadas nas estruturas metálicas denominadas gancheiras, que estão entre os 60 carrinhos que fazem o circuito de pintura da *Newtech*. Os carrinhos vão seguindo pelo circuito e vão passando pelo processo de flamagem, aplicação do primer, aplicação da base 1, aplicação da base 2, aplicação do verniz e passam pelo forno para realizar a secagem da pintura nas peças.

Após todos os processos realizados dentro da cabine *Newtech*, as peças são retiradas das gancheiras, identificadas com a rastreabilidade e são inspecionadas. Caso ocorra algum problema/defeito na pintura as peças são retrabalhadas ou descartadas (SCRAP). As peças que estão em boas condições ou que são retrabalhadas seguem para serem montadas. Na Figura 5 conseguimos observar o fluxograma do processo de pintura da cabine *Newtech*.

Figura 5 - Fluxograma do processo de pintura



Fonte: O Autor, 2022.

3.3.1 Carregamento das Peças

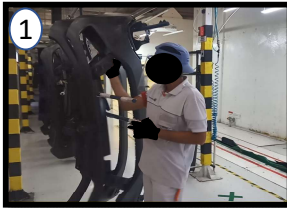
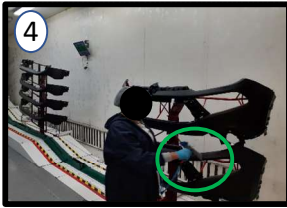
A operação de carregamento das peças na cabine é a parte inicial do processo de pintura, onde a atividade é realizada por operadores, sendo uma das poucas operações realizadas por humanos. O processo consiste em alimentar as gancheiras com as peças que serão pintadas, realizar inspeções e limpeza das peças antes do processo de pintura. Essa é etapa muito importante, já que o encaixe correto nas gancheiras evita o risco das peças caírem, serem mal pintadas, deformadas e haver choques com os robôs durante a aplicação. Durante o carregamento da linha, existe o procedimento de auditoria para a retirada de peças injetadas “não conformes”, juntamente com o processo de limpeza, pois estas ações evitam retrabalhos e descarte de peças NOK (SCRAP).

As peças são limpas com um pano especial de microfibra umedecido com álcool isopropílico. O pano tem que ser de um material especial para não liberar fiapos durante o processo de limpeza, sendo capaz de reter pó e sujeiras. O álcool isopropílico é utilizado para ajudar na remoção de pequenos contaminantes gordurosos, como as impressões digitais e óleos. Devido às suas propriedades químicas, o álcool isopropílico é muito volátil, tornando-se ideal para a limpeza de superfícies, sem deixar resíduos. Deve-se limpar toda a superfície da peça que será pintada, sempre com movimentos contínuos até as extremidades, para retirar toda impureza e contaminação.

Após a limpeza com o pano especial e álcool isopropílico, as peças são sopradas com uma pistola de ar comprimido ionizado para eliminar a energia estática presente na superfície. As peças que serão pintadas são constituídas de material plástico, ao qual existem o acúmulo de cargas elétricas nas superfícies desses objetos, que são geradas principalmente pelo atrito entre materiais. Essa energia estática faz com que haja a atração de partículas dispersas para contaminar as peças, gerando impurezas na superfície. Na pistola, um campo elétrico cria íons que são transportados pelo fluxo de ar em direção às peças neutralizando a carga estática e evitando que partículas se fixem e contaminem as peças.

No Quadro 2 podemos observar as sequências das atividades envolvidas no processo de carregamentos das peças para entrarem na cabine e serem pintadas.

Quadro 2 - Processo de carregamento de peça na cabine de pintura

OPERAÇÃO	ETAPAS	REGISTRO	
CARREGAMENTO	1 - Retirar peça do shop stock da injeção.		
	2 - Posicionar as peças na gancheira e inspecionar.		
	3 - Observa se o encaixe está OK e se a peça está bem fixada.		
	4 - Conferir no monitor se a peça esta correta com a programação de pintura.		
	5 - Limpeza da peça com pano com alcool isopropílico.		
	6 - Soprar as peças com ar comprimido ionizado.		

Fonte: O Autor, 2022.

3.3.2 Flamagem do Substrato

A etapa de flamagem consiste na exposição da superfície das peças plásticas em PP (Polipropileno) ao plasma gerado por uma chama, permitindo o enxerto das funções polares no substrato da peça, melhorando assim a molhabilidade e por conseguinte o espalhamento do primer, da tinta e do verniz, permitindo a criação de interações e ligações químicas entre o plástico e a pintura.

O processo de flamagem é realizado por um robô que tem um maçarico em chamas na sua extremidade e durante sua trajetória passa com uma distância de cerca de 11 cm das peças. Não é o calor da chama que ativa o polipropileno, o tratamento da superfície é realizado na zona do plasma e não na zona mais quente da chama. O plasma apresenta um princípio físico simples, pois ao se acrescentar uma energia a um gás, este é ionizado e passa ao estado de plasma. Por ser muito enérgico é então, projetado na superfície dos materiais permitindo ativar as funções polares.

Quando a tensão superficial do substrato é reduzida durante a flamagem e fica menor que a tensão superficial do líquido, as gotículas projetadas aumentam sua superfície de contato, com isso tem um maior alastramento e aderência nas peças.

A aderência das camadas de primer, tinta e verniz no substrato é uma das características principais que é necessário respeitar nas peças, pois o deslocamento compromete a pintura inteira da peça. Na Figura 6 podemos observar um robô realizando o processo de flamagem de uma peça.

Figura 6 - Processo flamagem na cabine de pintura



Fonte: O Autor, 2022.

3.3.3 Aplicação do Primer

O processo da pintura do primer é a primeira aplicação realizada no substrato. Ela é realizada por um robô que possui uma pistola na sua extremidade e utiliza o método pneumático, onde o líquido é pulverizado na peça através do ar comprimido. O primer é uma tinta especial para preparação de superfícies, geralmente tem coloração cinza para não atrapalhar na tonalidade da pintura do substrato e tem na sua composição pigmentos condutivos (Ex.: Preto de carbono). O principal objetivo da aplicação do primer é reforçar a aderência no substrato e tornar a superfície das peças condutora para os processos posteriores de pintura eletrostática.

A aplicação de primer em substratos plásticos também tem a função de preencher pequenas imperfeições e porosidades que podem ser resultantes do processo de injeção das peças.

Um filme seco de primer tem de 8 a 10 microns de espessura e qualquer defeito na aplicação da camada de primer acarretará a falta de tinta ou verniz na peça. Na Figura 7, podemos observar um robô realizando a aplicação do primer com uma pistola pneumática na cabine de pintura *Newtech*. Após a aplicação, a peça fica em espera por 12 min para a

dessolvatação, ou seja, a evaporação do solvente do primer antes da próxima aplicação que é a da base (tinta).

Figura 7 - Processo de aplicação de primer na cabine de pintura



Fonte: O Autor, 2022.

3.3.4 Aplicação da Base

O processo da pintura da base é a segunda aplicação no substrato da peça, formando a segunda película de proteção. Nessa etapa a peça ganha a coloração que será compatível com a carroceira do automóvel fabricado na montadora. A aplicação da base é realizada por um robô utilizando a tecnologia de pulverização por força centrífuga e a aplicação eletrostática.

Uma turbina em forma de sino é posta em rotação a alta velocidade (50.000 rpm), a tinta é injetada nessa turbina e devido a força centrífuga, sai em forma de gotículas muito finas, formando uma névoa de tinta. Uma corrente de ar comprimido canaliza a névoa em direção a peça para pintar.

No robô o sistema centrífugo é ligado a uma turbina eletrizada com tensão negativa (30 a 100 KVolt), fazendo com que as gotículas de tinta que formam a névoa fiquem carregadas negativamente. Uma vez pulverizadas, as gotículas da tinta são atraídas em direção ao substrato das peças, pois os carrinhos em que estão as peças estão aterrados, permitindo a evacuação das cargas elétricas. Com isso, toda a névoa de tinta vai em direção do substrato da

peça, tendo um ótimo rendimento de aplicação (aprox. 60%), economia de tinta e uma aplicação uniforme.

A aplicação da base é realizada em duas etapas. Na etapa da base 1 o robô aplica cerca de 70% da tinta, depois a peça fica em espera por 6 minutos, onde o solvente evapora e a película fica mais seca. Em seguida, a peça segue para a aplicação da base 2, onde é concluída a pintura com o restante da tinta. A aplicação sendo realizada em duas etapas favorece para que a tinta não escorra, não surjam imperfeições, aumente a resistência da película da tinta e corrija falhas de aplicações. A espessura final da película da tinta seca pode ser de 10 a 30 microns, sofrendo variações em função da tonalidade.

Na Figura 8 podemos observar um robô realizando a aplicação da base 2 na cabine de pintura *Newtech*. Após a aplicação a peça fica em espera por 20 min para a dessolvatação, criando uma película seca da tinta, antes da próxima aplicação que é o verniz.

Figura 8 - Processo de aplicação da base 2 na cabine de pintura



Fonte: O Autor, 2022.

3.3.5 Aplicação do Verniz

O processo da pintura do verniz é a terceira e última aplicação no substrato da peça, formando a terceira película de proteção. A aplicação do verniz também é realizada por um robô que utiliza a mesma tecnologia de pulverização por força centrífuga e a aplicação eletrostática.

Por ser a última camada de pintura no substrato da peça, a película de verniz possui a maior camada (35 microns), pois além da função estética que proporciona brilho as cores, ela também é responsável por proteger o substrato contra riscos, agressões químicas e intempéries, dando uma maior resistência e durabilidade a pintura.

Durante o processo da pintura ainda no robô, existe a mistura do verniz com um catalizador antes de ser pulverizado pela turbina. A névoa formada pelas gotículas de verniz também tem a presença de gotículas do catalizador e ao se unirem, formam uma mistura que é aplicada no substrato da peça. O catalizador é responsável por acelerar a secagem do filme de verniz e deixar a película mais resistente.

Na Figura 9 podemos observar um robô realizando a aplicação do verniz na cabine de pintura *Newtech*. Após a aplicação, a peça fica em espera por 20 min para a dessolvatação, criando uma película seca do verniz, antes da próxima etapa que é a secagem no forno.

Figura 9 - Processo de aplicação de verniz na cabine de pintura



Fonte: O Autor, 2022.

3.3.6 Secagem no Forno

O objetivo da secagem é acelerar a reação química entre o verniz e o catalizador, para assegurar a dureza da película do verniz necessária para a manipulação da peça e evaporar todo solvente que ainda esteja presente no substrato.

A processo de secagem no forno é mecânico e contínuo, onde os carrinhos que fazem a sustentação e posicionamento das peças entram em um grande forno, se deslocando sobre trilhos, até a saída das peças secas.

A evaporação do solvente da pintura ocorre da camada mais externa para a camada mais interna da película. Logo, a temperatura dentro do forno tem que ir aumentando gradativamente com o deslocamento do carrinho dentro do equipamento, chegando no limite de 90 °C na parte intermediária. Caso a temperatura inicial do forno já fosse de 90 °C a película do verniz iria secar de imediato, formando uma barreira e impedindo a saída do solvente das camadas mais internas. Com isso, teríamos defeitos no acabamento da pintura como enrugamentos, deformações e bolhas.

O tempo de deslocamento e permanência das peças no forno necessário para a conclusão da secagem é de 40 minutos. Se o tempo de secagem for inferior a 25 minutos as peças sairão com o filme úmido, no entanto caso ultrapasse o período de 1 hora, a película do verniz e da tinta começarão a apresentar alterações de tonalidade, ficando amareladas.

No interior do forno existe a insuflação de ar que é filtrado e depois aquecido por um sistema de incineradores. Esse ar limpo e quente é canalizado no sentido das peças para executar o processo de secagem e o arraste dos vapores de solventes liberados. O ar quente resultante do processo é captado por exaustão e passa novamente pela incineração, onde 70% volta para o processo de secagem e o restante de 30% do ar é liberado para a atmosfera sem contaminantes. A utilização desse sistema evita que haja contaminações do meio ambiente e que também não existam acúmulos de gases voláteis dentro do equipamento, gerando risco de incêndio e explosões.

Na Figura 10 podemos observar carrinhos saindo do forno com peças já secas. A peça fica esfriando durante 10 min até a próxima etapa de descarregamento, onde será manuseada.

Figura 10 - Peças pintadas saindo do forno da cabine de pintura



Fonte: O Autor, 2022.

3.3.7 Descarregamento das Peças

A operação de descarregamento das peças é a parte final do processo de pintura, onde a atividade é realizada por operadores. O processo consiste em retirar as peças das gancheiras que saíram da cabine de pintura e já foram pintadas, identificar as peças com as etiquetas de rastreabilidade, realizar inspeções para verificar a qualidade da pintura e destinar as peças conformes para o estoque. As peças retiradas da linha com algum problema de pintura são direcionadas para o retrabalho ou para o descarte (SCRAP).

O sistema informatizado de gestão da cabine de pintura envia o comando para a impressão da etiqueta de rastreabilidade na chegada do carrinho ao ponto de descarregamento. As peças deverão ser identificadas com essa etiqueta contendo um código de barras, onde constam todas as informações pertinentes a peça, tais como: a numeração do carrinho em que a peça foi pintada, o dia, a hora, a cor e o modelo da peça.

Todas as peças devem ser inspecionadas para garantir a qualidade, verificando a conformidade da tonalidade da pintura e os defeitos provenientes de problemas de injeção, contaminações, problemas dos parâmetros de aplicações, defeitos por atritos e deformações.

A redução do descarte de peças (SCRAP) está diretamente ligada ao plano estratégico da empresa e está sendo fonte de estudo para este trabalho de dissertação do mestrado profissional em engenharia de produção. A partir dessa pesquisa foram geradas

ações de melhorias no processo produtivo da pintura para a redução do desperdício com peças defeituosas.

No Quadro 3 podemos observar as sequências das atividades envolvidas no processo de descarregamentos das peças pintadas que saem da cabine de pintura.

Quadro 3 - Processo de descarregamento de peça na cabine de pintura

OPERAÇÃO	ETAPAS	REGISTRO	
DESCARREGAMENTO	1 - Retirar peça pintada da gancheira.		
	2 - Identificar a peça com a etiqueta de rastreabilidade.		
	3 - Inspeccionar a peça para observar se tem problemas de qualidade.		
	4 - Caso exista problemas na pintura, retrabalhar a peça.		
	5 - Se a peça estiver NOK e não dê para retrabalhar, então descartar (SCRAP).		
	6 - Colocar a peça OK no shop stock para ser montada.		

Fonte: O Autor, 2022.

3.4 PROBLEMAS E DEFEITOS NA PINTURA AUTOMOTIVA

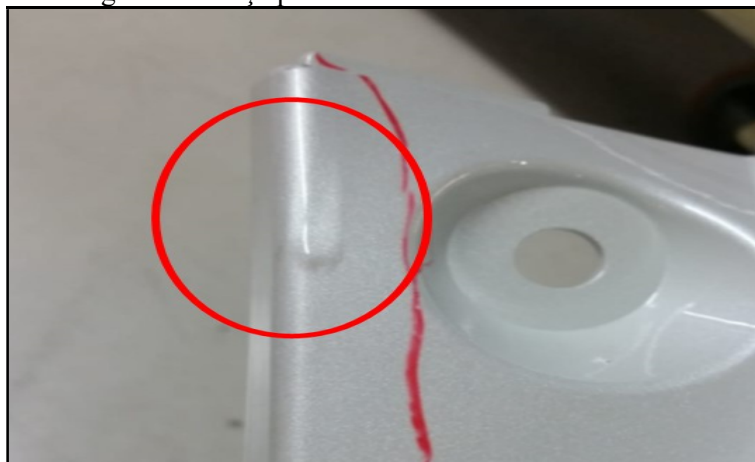
O principal objetivo de uma linha de pintura automotiva é manter uma aplicação de perfeita, de modo a garantir o um bom aspecto das peças e as exigências dos clientes conforme a alguns parâmetros de qualidade. No entanto, podem existir vários problemas de aplicação identificados em uma linha de processo de pintura industrial.

Existem alguns problemas de pintura que podem ser percebidos durante a aplicação dos revestimentos, outros somente serão observados após a cura das camadas de tinta. Alguns dos principais defeitos relacionados à pintura industrial são:

3.4.1 Escorrimento de Primer, Base ou Verniz

Trata-se de um acúmulo de produto em superfícies verticais que tende a escorrer, como podemos verificar um exemplo na Figura 11. O escorrimento pode ocorrer com qualquer tipo de substância, primer, base ou verniz após a aplicação e antes da secagem completa dessas camadas. O escorrimento está associado a parâmetros como viscosidade e temperatura da tinta, quantidade de tinta aplicada, e temperatura e umidade das cabines de aplicações.

Figura 11 - Peça pintada com escorrimento de verniz

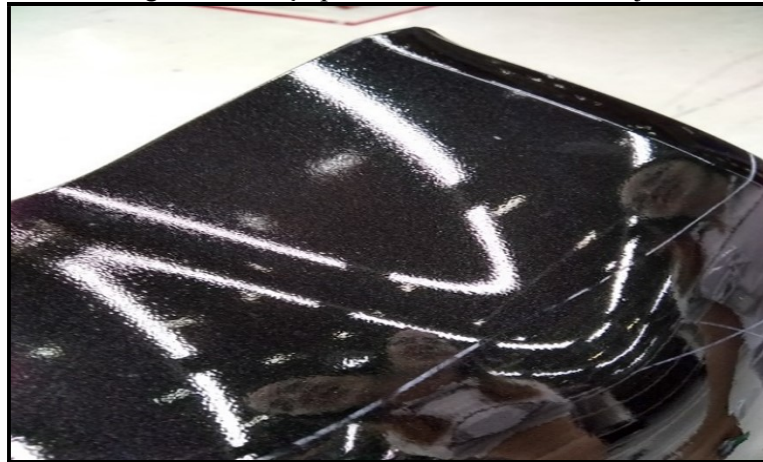


Fonte: O Autor, 2022.

3.4.2 Casca de Laranja (Orange Peel)

A casca de laranja, como o próprio nome diz, refere-se a mesma aparência da superfície da casca de uma laranja, como podemos verificar no exemplo da Figura 12. Nesse caso ocorre o desnivelamento da película da tinta, A casca de laranja é influenciada pela molhabilidade da tinta, pelo solvente utilizado na diluição da tinta e verniz e pelo refluxo de aditivos na tinta. A avaliação pode ser realizada através de instrumentos ou por comparação visual por padrões preestabelecidos.

Figura 12 - Peça pintada com casca de laranja



Fonte: O Autor, 2022.

3.4.3 Fervura

É um problema de aplicação semelhante a pequenas bolhas que surgem na superfície da peça após a aplicação e secagem da tinta, como podemos verificar no exemplo da Figura 13. As pequenas bolhas são causadas pela evaporação desordenada de solventes na tinta através do revestimento da tinta. Em camadas de filme muito espessas, o balanço de solventes da tinta (leves e pesados) e as taxas de aquecimento utilizadas na cura da pintura, são os principais fatores que acarretam a ocorrência da fervura.

Figura 13 - Peça pintada com fervura



Fonte: O Autor, 2022.

3.4.4 Desplacamento

Trata-se da perda de aderência de uma camada com a outra ou de uma camada com a superfície do substrato, como podemos verificar no exemplo da Figura 14. O deslocamento é considerado um dos defeitos de maior severidade e pode estar relacionado a problemas na flamagem, contaminação de superfícies ou problemas no processo de secagem.

Figura 14 - Peça pintada com deslocamento



Fonte: O Autor, 2022.

3.4.5 Manchas

Refere-se a não uniformidade da cor na superfície da peça pintada. É mais facilmente percebida em peças de cores metálicas do que em peças de cores sólidas, como podemos verificar no exemplo da Figura 15. Uma vez que, se todos os cristais metálicos não ficarem alinhados no mesmo ângulo e com a mesma orientação, esta região pode ter um aspecto de “sombra” na sua superfície. As manchas estão ligadas pelo método de aplicação da tinta base.

Figura 15 - Peça pintada com manchas

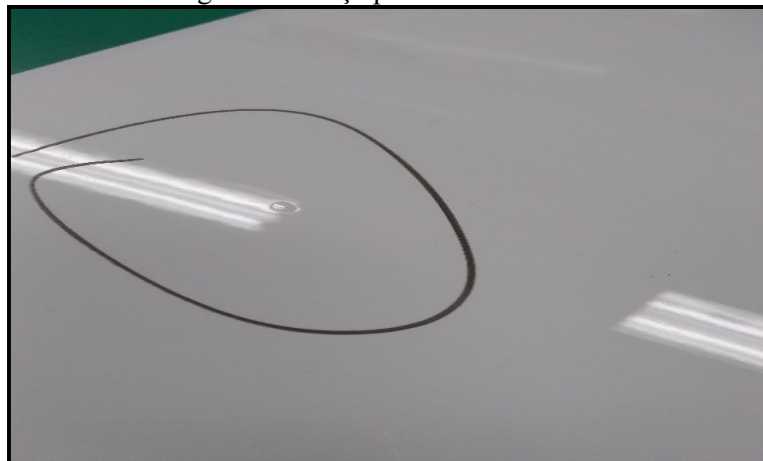


Fonte: O Autor, 2022.

3.4.6 Cratera

É um problema de aplicação que apresenta depressões na superfície da peça, as quais podem expor as camadas inferiores. As crateras que se revelam no filme da tinta são formadas por bolhas as quais, após romperem-se, não mais se nivelam, como podemos verificar no exemplo da Figura 16. Podem ser ocasionadas por contaminações das superfícies durante o processo de pintura.

Figura 16 - Peça pintada com cratera



Fonte: O Autor, 2022.

3.4.7 Impurezas

São partículas provenientes do próprio sistema de pintura ou do ambiente que se alojam na superfície da unidade antes da cura da tinta. As impurezas podem aparecer em qualquer camada dos revestimentos da pintura, como podemos verificar no exemplo da Figura 17. O controle é realizado através de inspeção visual de acordo com um padrão de tolerância para o tamanho e para a quantidade de impurezas, já preestabelecidas para cada região das peças.

Figura 17 - Peça pintada com impureza



Fonte: O Autor, 2022.

3.4.8 Tonalidade

A cor da peça pintada pode variar e ficar diferente em relação a tonalidade da cor padrão. A avaliação pode ser realizada visualmente através de comparações ou através de um colorímetro. Esse equipamento quantifica as variações e fornece dados para os ajustes no processo. A diferença de tonalidade está relacionada a contaminações da tinta durante a sua aplicação ou com a espessura da camada de tinta fora da especificação (baixa ou alta).

Na Figura 18, podemos observar uma diferença de tonalidade entre as cores do para-choque e da carroceria do carro, onde a cor da peça está com a tonalidade mais escura.

Figura 18 - Peça com tonalidade mais escura



Fonte: O Autor, 2022.

3.4.9 Brilho

É a reflexão direta da luz sobre a superfície pintada. Quando temos uma menor dispersão da luz aplicada na superfície, teremos um maior brilho. A medição do brilho é realizada através de um aparelho, que quando está posicionado sobre uma superfície incide um feixe de luz a um determinado ângulo e através de sensores, mede o quanto da luz foi refletida. Problemas de brilho podem ser relacionados com contaminações no verniz, problemas durante sua aplicação, ações mecânicas que atiram a superfície da peça ou com a espessura da camada de verniz fora de especificação. Na Figura 19 temos um exemplo de substrato com ausência de brilho devido efeito mecânico por atrito na peça.

Figura 19 - Peça com ausência de brilho na sua superfície



Fonte: O Autor, 2022.

3.4.10 Falta de Primer, Base ou Verniz

São defeitos graves provenientes de problemas de aplicações, que deixam as peças com falhas na pintura. A falta de primer geralmente acarreta também a falta de base e verniz no mesmo local, pois uma das funções do primer é a condutividade para a pintura eletrostática. Contudo, a falta de primer, de base e verniz podem estar relacionados a falhas de parâmetros de aplicação dos robôs ou peças mal encaixadas nas gancheiras.

Na Figura 20 pode ser observado uma falta de base no substrato da peça ocasionado por falha de aplicação.

Figura 20 - Peça pintada com falta de base



Fonte: O Autor, 2022.

3.4.11 Batida

São descascamentos das camadas de verniz e da base ocasionadas por choques mecânicos nas peças. A cura total do filme do verniz dura aproximadamente 12 horas, antes disso se houve algum choque mecânico contra o substrato pintado, a camada do verniz e da base será danificada. Esse defeito é grave pois afeta a qualidade e a estética da peça, o que levará ao seu descarte (SCRAP).

Na Figura 21 temos um exemplo, onde verificamos uma peça que sofreu um choque mecânico quando estava sendo manuseada, o que levou a retirar da proteção do verniz e danificar a cobertura da tinta.

Figura 21 - Peça danificada devido uma batida



Fonte: O Autor, 2022.

4 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo será apresentado o estudo de caso que foi desenvolvido na empresa e serviu de base para esse trabalho de dissertação de mestrado profissional em engenharia de produção. Cujo objetivo era a redução do desperdício de peças defeituosas (SCRAP), que ocorria dentro da manufatura da empresa no processo produtivo de pintura, através da utilização da metodologia DMAIC.

O processo de pintura realizado na cabine *Newtech* foi mapeado e analisado com o objetivo de gerar conhecimentos técnicos e sinalizar os problemas no processo. Através das ferramentas de qualidade foram realizadas as estratificações dos resultados da produção, com o intuito de investigar e identificar possíveis causas raízes dos problemas.

Com os resultados das análises e a identificação real das causas dos problemas que geravam altos desperdícios no processo de pintura, foram desenvolvidas e implementadas ações de melhoria nos processos para se obter as soluções.

4.1 A EMPRESA

A empresa onde foi o cenário para o desenvolvido do projeto para este trabalho é uma multinacional francesa líder em tecnologia de componentes plásticos para a indústria automotiva. Sua principal atividade é a produção e fornecimento de componentes plásticos que são montados em peças automotivas internas e externas e que tem como clientes, as montadoras de veículos.

Para proteger a identidade e o patrimônio intelectual da empresa, nesse trabalho a trataremos com o nome de “INDUSTRIA FANTASIA” e durante o decorrer do trabalho utilizaremos em partes, dados e informações fictícias, para assegurar que seus processos e tecnologia sejam protegidas de acordo com a segurança de informações.

Para o processo de fabricação das peças automotivas externas (parachoques), são injetadas várias partes plásticas, que primeiramente passam pelo processo de pintura eletrostática e posteriormente são montados todos os componentes, antes de seguir para o cliente na versão e na cor solicitada.

A pintura eletrostática é realizada através de duas cabines automatizadas que fazem aplicações do primer, base (tinta) e verniz nas peças plásticas através de robôs. As cabines apresentam tecnologia francesa e são consideradas as mais modernas do mundo com um custo unitário de aproximadamente 7 milhões de euros. As cabines de pintura apresentam vários sensores de controles e de segurança, que fazem com que as cabines tenham boa qualidade de aplicação e com menor custo.

Os revestimentos utilizados nas cabines de pinturas têm formulações que proporcionam às peças automotivas de plásticos efeitos visuais esteticamente agradáveis (fosco, alto brilho, perolizado ou metálico) oferecendo também, proteção contra falha mecânica prematura ou térmica.

Esses revestimentos para plástico são desenvolvidos em conjunto com seus fabricantes para cumprir três critérios específicos muito importantes, estabelecidos pelos fabricantes de automóveis: peças em harmonia, perfeitamente de acordo com o restante do veículo; o fluxo e nivelamento das peças de plástico revestidas que devem eliminar as imperfeições como rugosidade excessiva, poros ou bolhas de ar e finalmente e a durabilidade tecnológica que é o critério chave para a maior qualidade das peças.

4.2 IMPLANTAÇÃO DA METODOLOGIA DMAIC

Em todo processo produtivo de qualquer atividade que utilize recursos, mas que não traga vantagens lucrativas para empresa, é considerado desperdício. O desperdício por defeitos (SCRAP) é um dos oito desperdícios que a gestão do *Lean Manufacturing* considera nas etapas da cadeia produtiva.

Por estar alinhado ao plano estratégico do negócio e ao modelo de excelência operacional, este tema é de grande impacto e relevância para a empresa. Com isso, surgiu a necessidade de implantação da metodologia DMAIC a fim de atingir a eficiência de classe mundial, facilitar o mapeamento dos processos, a estratificação dos dados, a identificação das prováveis causas raízes visando gerar soluções para os problemas específicos da organização e a redução dos desperdícios por defeitos (SCRAP), fator de grande impacto financeiro.

Os dados e os resultados que fazem parte desse estudo de caso foram todos coletados e gerados durante a execução das etapas do DMAIC. Contudo, para garantir o sigilo no que se

refere a identidade e ao patrimônio intelectual da empresa, foram utilizados em partes, dados e informações fictícias, assegurando que seus processos e tecnologias sejam protegidos.

4.3 ETAPA DEFINE

A etapa do *Define* foi a parte inicial da metodologia do DMAIC, onde diante do problema da empresa, definimos qual foi o escopo e a área do trabalho que atuamos para buscar as possibilidades de melhorias e minimizar os impactos. Nessa fase, analisamos os dados iniciais do SCRAP para identificar as oportunidades, alinhados ao objetivo e às metas da empresa.

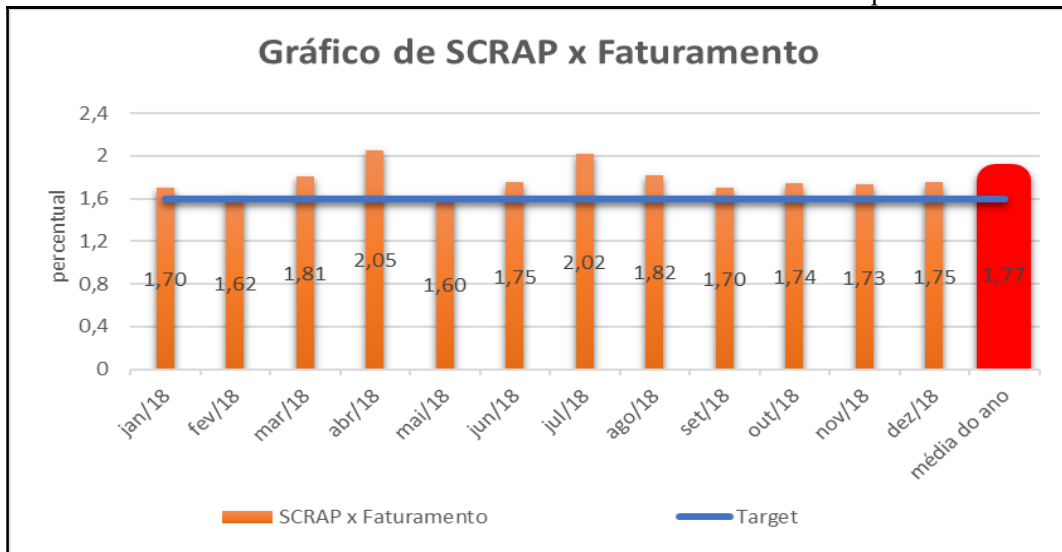
4.3.1 Qual o problema da empresa?

A empresa possui um alto índice de peças defeituosa (SCRAP) em todos os seus processos. A redução do SCRAP está relacionada no Plano de Melhoria da Planta ou PIP (*Plant Improvement Plan*) como um dos indicadores de maior prioridade, devido aos desperdícios que geram grandes impactos econômicos ao negócio.

O Plano de Melhoria da Planta foi elaborado pela alta direção em 2018 e tem uma visão estratégica a longo prazo para 5 anos, com revisões e alinhamentos anuais.

Esse indicador da empresa relaciona o percentual de peças defeituosas (SCRAP) com o percentual de vendas da empresa, ou seja, é o valor em R\$ de peças descartadas sobre o valor em R\$ do faturamento da empresa. No Gráfico 1 observamos que a média da relação do custo do SCRAP pelo Faturamento da empresa ficou acima do target (1,60%), finalizando o ano em 1,77%

Gráfico 1 - Indicador do custo do SCRAP/Faturamento da empresa



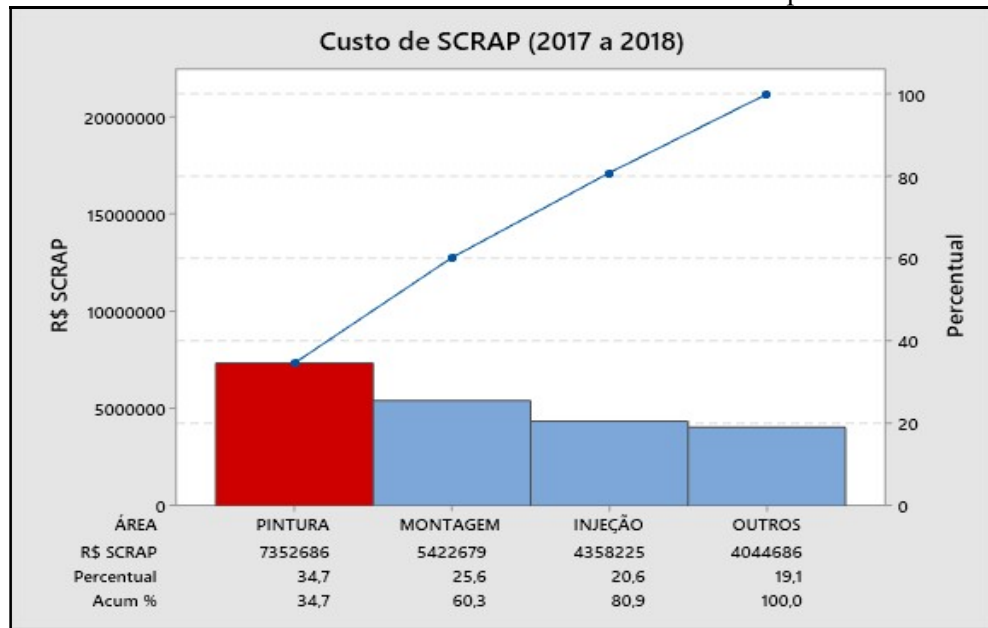
Fonte: O Autor, 2022.

4.3.2 Quais os processos envolvidos?

Analisando os dados gerais da empresa e com a ajuda do gráfico de Pareto, foi possível obter uma estratificação por área produtiva referente aos custos relacionados com o desperdício das peças defeituosas (SCRAP).

Através do Gráfico 2, pudemos identificar no Pareto que a área da pintura da empresa é o setor que tem o maior custo em R\$ com o desperdício de peças, representando 34,7% de todo valor gasto com SCRAP durante o período de 2017 a 2018. Por ser a área de maior impacto no SCRAP e devido a sua importância para o negócio da empresa, foi selecionada para a implantação das ações de melhorias.

Gráfico 2 - Gráfico de Pareto com os Custos de SCRAP por área



Fonte: O Autor, 2022.

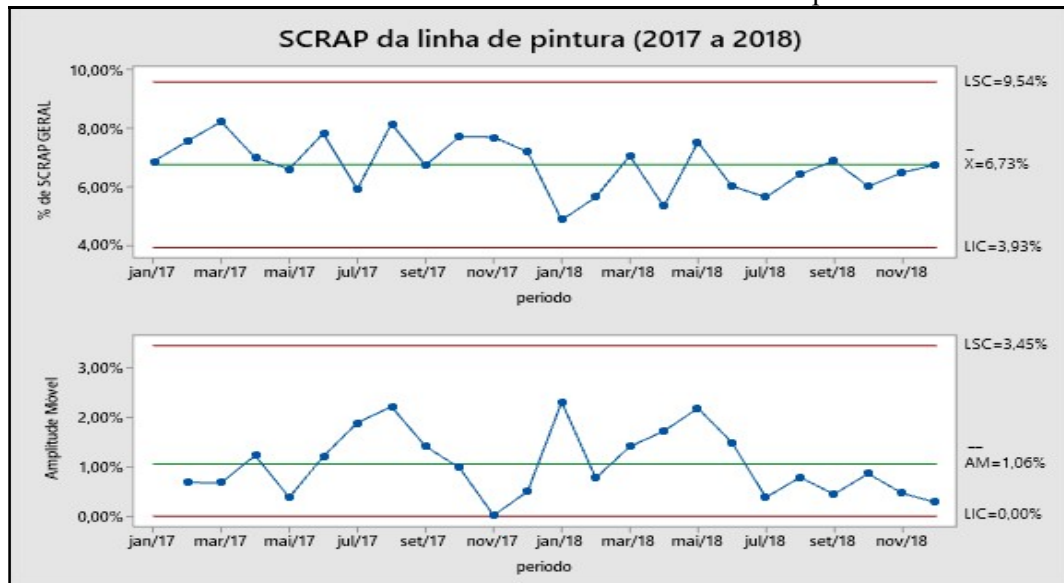
4.3.3 Qual o histórico do problema?

A partir da identificação da área da pintura como sendo a maior fonte geradora de SCRAP da empresa e de impacto para o negócio, foi realizado uma análise do histórico dos dados do SCRAP das linhas de pintura entre os anos de 2017 e 2018. Como podemos observar no Gráfico 3, uma carta de controle foi criada com o objetivo de avaliar se existiam quaisquer alterações no processo.

Analisando o Gráfico 3, verificamos que mesmo com os valores do SCRAP estando dentro da faixa dos limites inferiores e superiores de controle e sem nenhum ponto fora causado por anomalias, o resultado da média do SCRAP da linha de pintura ainda se mantém alto, com valor de 6,73% e sua amplitude móvel que é de 1,06%.

Desta forma, podemos verificar que existem oportunidades de melhorias na linha de pintura para reduzir a geração de peças defeituosas e consequentemente reduzir o percentual de SCRAP.

Gráfico 3 - Carta de Controle do SCRAP da linha de pintura



Fonte: O Autor, 2022.

4.3.4 Quais as metas do Projeto DMAIC na empresa?

Para podermos mensurar a eficiência da implantação da metodologia DMAIC na redução do desperdício de peças, a meta do projeto foi definida a partir da análise do desempenho do indicador da empresa de SCRAP x VENDAS. Esse indicador faz parte do Plano de Melhoria da Planta, onde existia a expectativa da alta direção para a redução desse índice.

- **META PRIMARIA:** Reduzir em 20% o indicador de SCRAP x VENDAS, onde o valor deve reduzir de 1,77% para 1,40%, baseado no PIP (*Plant Improvement Plan*).

O sucesso para o atingimento da meta pode ser obtido com a redução do custo do SCRAP (numerador) ou com o aumento do faturamento das vendas (denominador). Sendo que o aumento do faturamento da empresa está diretamente ligado ao aumento das vendas do mercado automotivo, fator que depende do cenário econômico do Brasil e de outros países, ou seja, é algo que independe da empresa e das pessoas envolvidas na gestão dos processos.

- **META SECUNDÁRIA:** Reduzir 25% o SCRAP das linhas de pintura da empresa, passando de 6,73% para 5,00%;

Diante do exposto, para conseguirmos reduzir os valores do indicador de SCRAP x VENDAS, será necessário desenvolver ações de melhorias nos processos da empresa, visando a redução do desperdício peças defeituosas (SCRAP) e seus custos.

4.4 ETAPA MEASURE

Na segunda etapa da metodologia DMAIC focamos na coleta de dados e de informações sobre o processo da pintura. O objetivo desta etapa é analisar e estratificar os dados do SCRAP, para que sejam identificadas as causas que mais impactam nesse problema.

4.4.1 Estratificação dos dados da linha de pintura

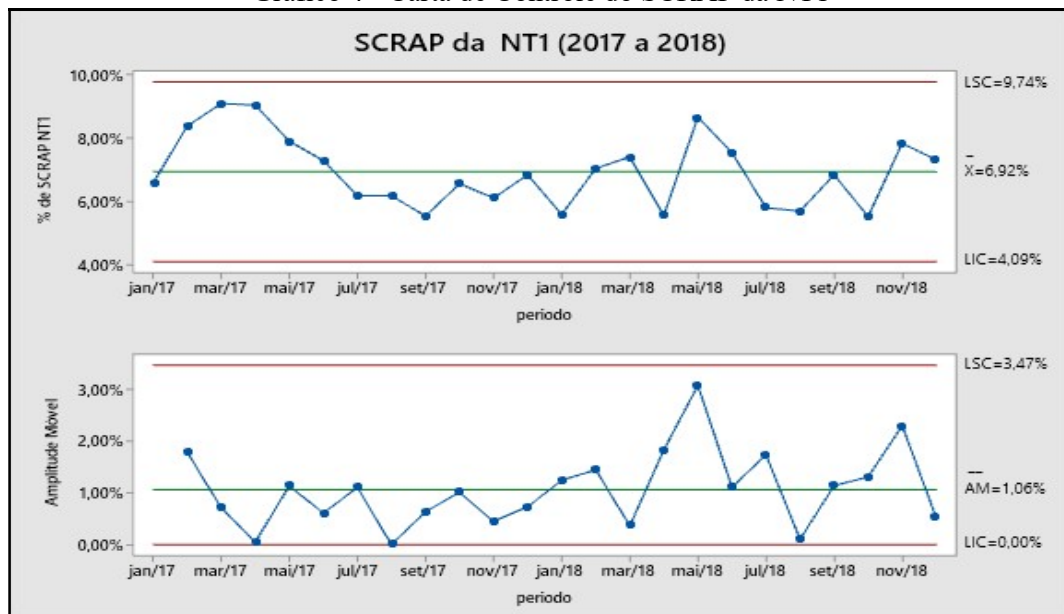
A linha de pintura da empresa possui duas cabines *Newtech* (NT1 e NT2) que são idênticas em estrutura e utilizam o mesmo tipo de processo, a mesma tecnologia e realizam as mesmas funções.

As cabines são independentes e seguem os roteiros de pintura de acordo com as suas programações, pintando peças e cores diferentes. Os equipamentos apesar de serem similares apresentam comportamentos e muitas vezes resultados diferentes, que podem ser ocasionados por defeitos elétricos ou mecânicos, diferenças nos parâmetros técnicos, variações nas condições de aplicação de cada cabine, erros operacionais, entre outros.

Realizamos a estratificação dos dados do SCRAP da pintura para identificar os impactos que cada *Newtech* tem em relação ao problema. Com isso, foram criados os gráficos 4 e 5, onde podemos observar que a NT1 e NT2 possuem valores do SCRAP dentro dos limites inferiores e superiores de controles e sem nenhum ponto causado por anomalias.

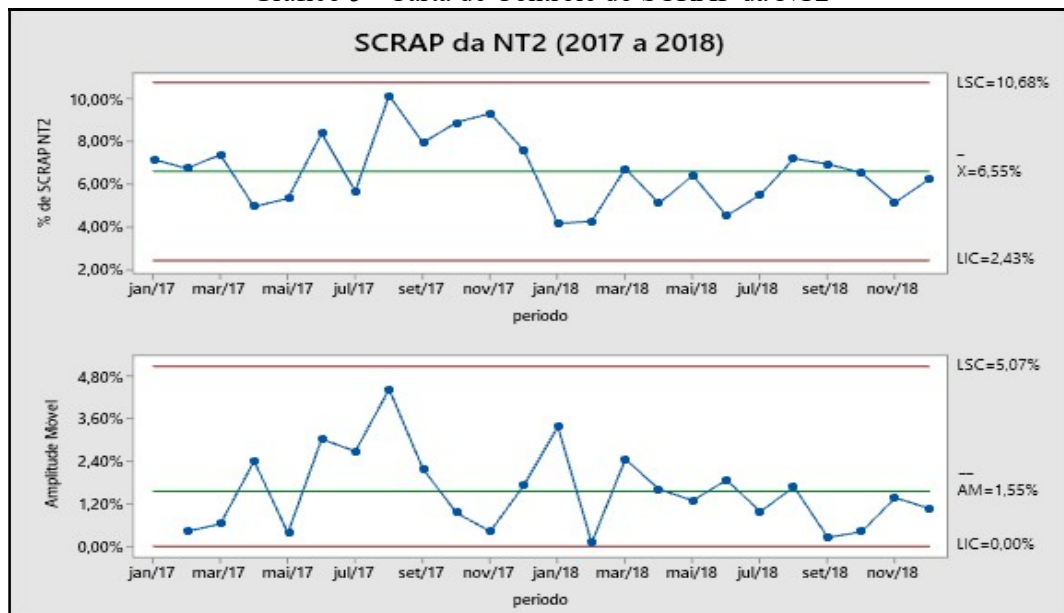
A NT1 possui o valor da média do SCRAP de 6,92% no período de jan/17 a dez/18 e sua amplitude móvel dos dados é de 1,06%. Comparando os dados da NT2 em relação a NT1, observamos que a NT2 possui uma média de SCRAP um pouco menor com 6,55% e uma amplitude móvel maior com 1,55%, indicando uma maior variação nos resultados do SCRAP.

Gráfico 4 - Carta de Controle do SCRAP da NT1



Fonte: O Autor, 2022.

Gráfico 5 - Carta de Controle do SCRAP da NT2



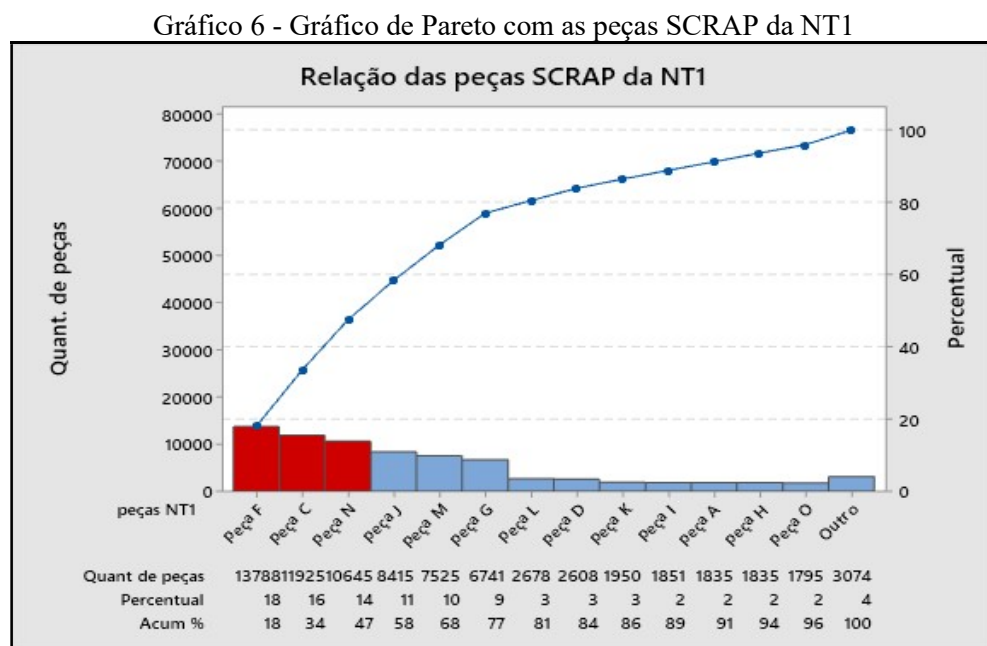
Fonte: O Autor, 2022.

4.4.2 Estratificação da NT1

Após conhecer os dados do SCRAP e da amplitude móvel da cabine de pintura NT1, precisamos de mais informações que ajudem identificar as principais causas do elevado número de peças defeituosas nessa linha da pintura.

Com a utilização de um gráfico de Pareto, realizamos uma estratificação dos dados da cabine NT1 e assim, poderemos avaliar quais as peças pintadas que têm os maiores índices de problemas.

Avaliando o Gráfico 6, podemos verificar que as 3 peças de maiores impactos em relação ao SCRAP eram as peças F, C e N. Essas 3 peças juntas representavam 47% de todo SCRAP da cabine de pintura NT1.



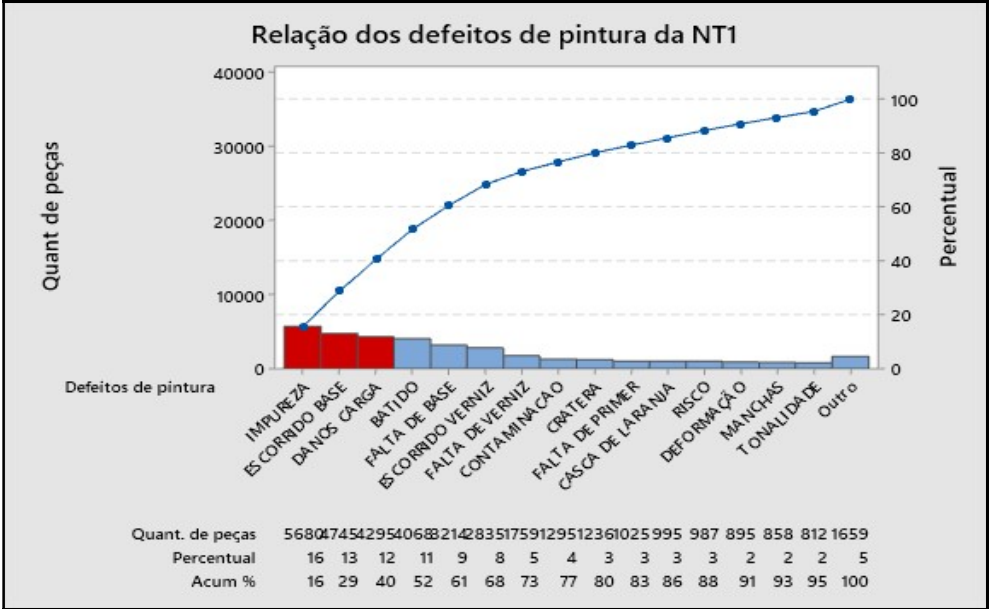
Fonte: O Autor, 2022.

Conhecendo os 3 tipos de peças que tem os maiores impactos no SCRAP da NT1, realizamos uma nova estratificação para identificar quais os defeitos de pintura que mais impactavam na qualidade e geravam defeitos.

Analisando o Gráfico 7, verificamos que os 3 maiores defeitos de pintura que impactavam nos 47% do SCRAP da NT1 eram IMPUREZA, ESCORRIDO DE BASE e

DANOS NO CARREGAMENTO, estes 3 defeitos somados representavam 40% dos problemas nas peças F, C e N.

Gráfico 7 - Gráfico de Pareto com os defeitos de pintura da NT1



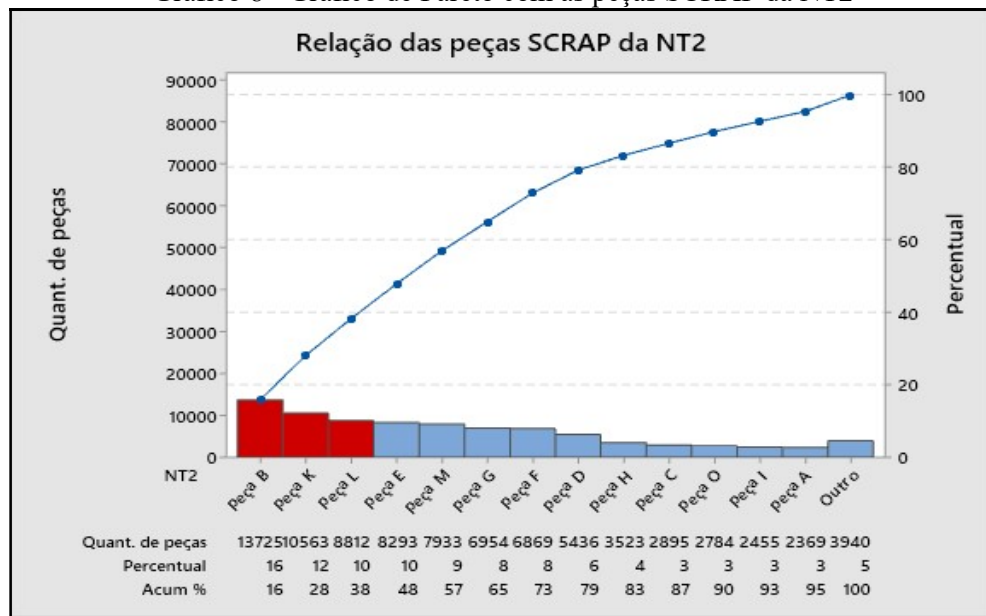
Fonte: O Autor, 2022.

4.4.3 Estratificação da NT2

Com as estratificações realizadas nos dados da NT1 e os resultados obtidos, procedemos com a mesma análise para a cabine de pintura NT2.

Diante dos dados obtidos pelo gráfico de Pareto, conforme Gráfico 8, verificamos que as 3 peças de maiores impactos em relação ao SCRAP eram as peças B, K e L. Essas 3 peças juntas representam 38% de todo SCRAP da cabine de pintura NT2. Observamos também que as peças de maiores problemas na linha da NT2 eram diferentes das que foram encontradas na estratificação dos dados da NT1.

Gráfico 8 - Gráfico de Pareto com as peças SCRAP da NT2



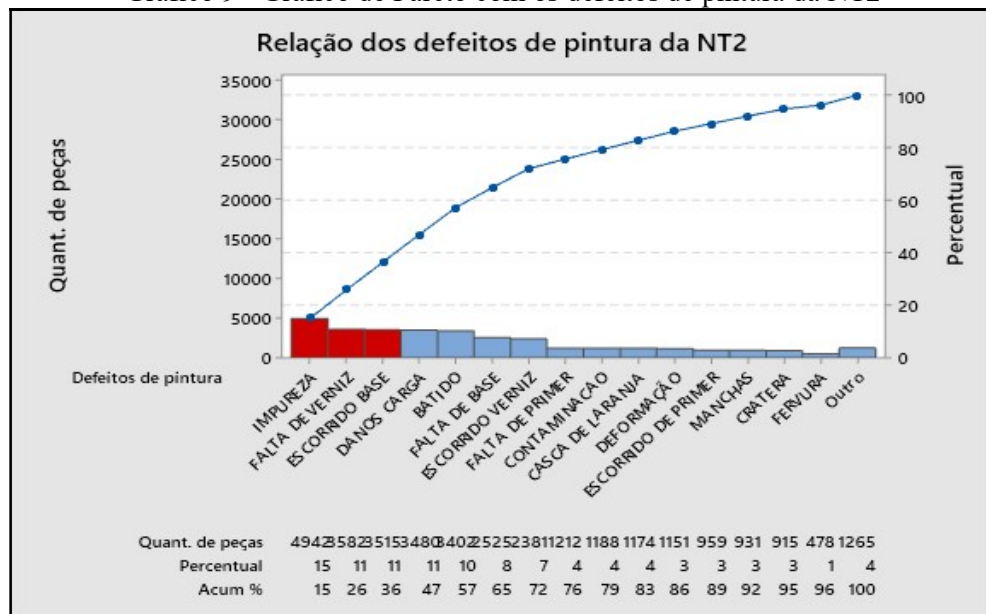
Fonte: O Autor, 2022.

Agora conhecendo também os 3 tipos de peças que tem os maiores impactos no SCRAP da NT2, realizamos uma nova estratificação dessas peças que representam 38% dos problemas, para verificar agora quais os defeitos de pintura que mais impactavam na qualidade e geravam defeitos na NT2.

Analisando o Gráfico 9, verificamos que os 3 maiores defeitos de pintura que impactavam nos 38% do SCRAP da NT2 eram IMPUREZA, ESCORRIDO DE BASE e FALTA DE VERNIZ. Os 3 defeitos somados representavam 36% dos problemas nas peças B, K e L.

Comparando os resultados com os que foram obtidos pela estratificação dos dados da NT1, verificamos que os defeitos de pintura IMPUREZA e ESCORRIDO DE BASE ficaram em destaque nas duas cabines de pintura.

Gráfico 9 - Gráfico de Pareto com os defeitos de pintura da NT2



Fonte: O Autor, 2022.

4.4.4 Relação entre PEÇA x CUSTO

O estudo tem como objetivo a redução do desperdício das peças defeituosas (SCRAP) portanto, é imprescindível considerar o custo destas peças e o impacto financeiro nos resultados, pois para atingir a meta principal, é necessário identificar quais são as que mais oneram para a empresa e dificultam a redução dos custos com o SCRAP.

Diante desta necessidade de ter um maior refinamento das informações obtidas anteriormente, utilizaremos os resultados da estratificação das linhas NT1 e NT2 e incluiremos a relação do custo por peça, conforme a Tabela 1.

O intuito será verificar quais são os componentes que apresentam maiores custos e impactam diretamente na qualidade, gerando o SCRAP.

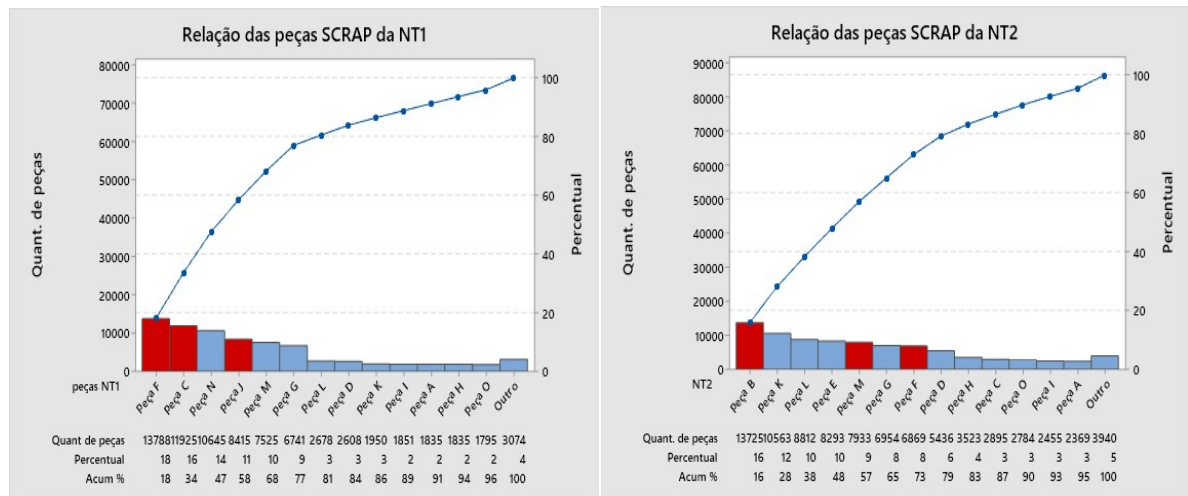
Tabela 1 - Relação do custo por peças

PEÇA	MODELO	LINHA	VALOR (R\$)
Peça A	Front	521	30,67
Peça B	Grade	521	46,19
Peça C	Spoiler	521	68,02
Peça D	Side R	521	18,91
Peça E	Side L	521	18,94
Peça F	Front	226	73,34
Peça G	Side R	226	22,50
Peça H	Side L	226	22,30
Peça I	Grade	226	30,82
Peça J	Light Bar	551	69,84
Peça K	Grade	551	27,92
Peça L	Rear	551	52,99
Peça M	Front ON	551	62,73
Peça N	Spoiler	551	49,84
Peça O	Front OFF	551	57,83

Fonte: O Autor, 2022.

Após relacionar o custo das peças, houve uma alteração significativa nos resultados dos componentes que mais impactam financeiramente o SCRAP das linhas da pintura. Analisando o Gráfico 10 que tem um comparativo entre os dados da NT1 e NT2, observamos que anteriormente, as 3 peças com maior quantidade de desperdício na cabine NT1, eram as peças F, C e N e na cabine NT2 as 3 peças eram as B, K e L, fator que poderia nos induzir a direcionar as ações corretivas com foco na redução quantitativa de SCRAP. No entanto, posteriormente observamos que quando considerado o custo de cada peça, os componentes F, C e J têm mais impacto financeiro na cabine NT1 e na cabine NT2, destacam-se os componentes B, F e M.

Gráfico 10 - Comparativo dos gráficos de Pareto das peças X custo que impactam no SCRAP da NT1 e NT2.



Fonte: O Autor, 2022.

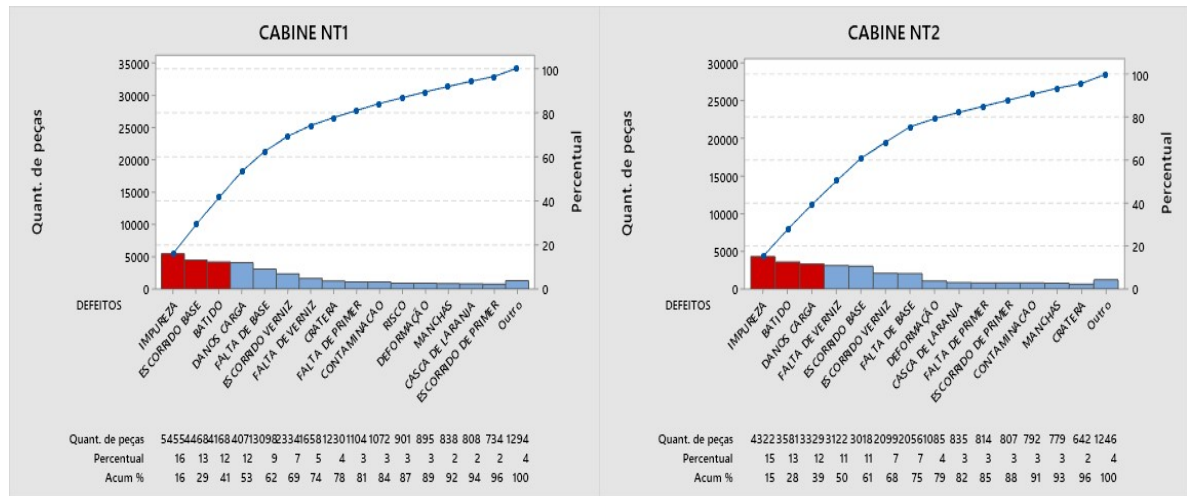
Ainda considerando os dados após inclusão da informação do custo das peças, podemos verificar que na cabine NT1 as 3 peças F, C e J representam 48% do quantitativo de componentes defeituosos, mas com um impacto financeiro é 57,9% de todo SCRAP da NT1. Já para cabine NT2 as 3 peças B, F e M representam 33% do montante de peças com problemas, mas que tem um impacto financeiro de 45% para a NT2.

De posse das novas informações e conhecendo quais são as 3 peças que tem os maiores impactos relacionados ao custo do SCRAP em cada cabine de pintura, procedemos com uma nova estratificação nos dados das NT1 e NT2 para identificar quais os defeitos que mais geravam problemas de qualidade nas novas peças.

No gráfico 11 temos um comparativo entre os dados da NT1 e NT2, onde verificamos que agora para a cabine NT1 os 3 maiores defeitos de pintura são IMPUREZA, ESCORRIDO DE BASE e BATIDA, estes 3 defeitos somados representavam 41% dos problemas nas peças F, C e J. Olhando para a cabine NT2 os 3 maiores defeitos de pintura são IMPUREZA, BATIDA e DANOS DO CARREGAMENTO, estes 3 defeitos somados representavam 39% de todos os problemas nas peças B, F e M.

Analisando os resultados das duas cabines NT1 e NT2, podemos observar que os defeitos de pintura IMPUREZA e BATIDA ficaram em destaque como problemas nas duas cabines de pintura.

Gráfico 11 - Comparativo dos gráficos de Pareto dos defeitos que mais impactam no SCRAP da NT1 e NT2.



Fonte: O Autor, 2022.

4.4.5 Metas específicas

Estes comparativos foram de grande relevância para direcionar as ações corretivas com foco na redução dos custos relacionado com o SCRAP nas linhas de pinturas, onde serão de extrema importância para que as metas sejam atingidas.

Com base nas estratificações das linhas de pintura NT1 e NT2, teremos metas específicas para cada cabine de pintura:

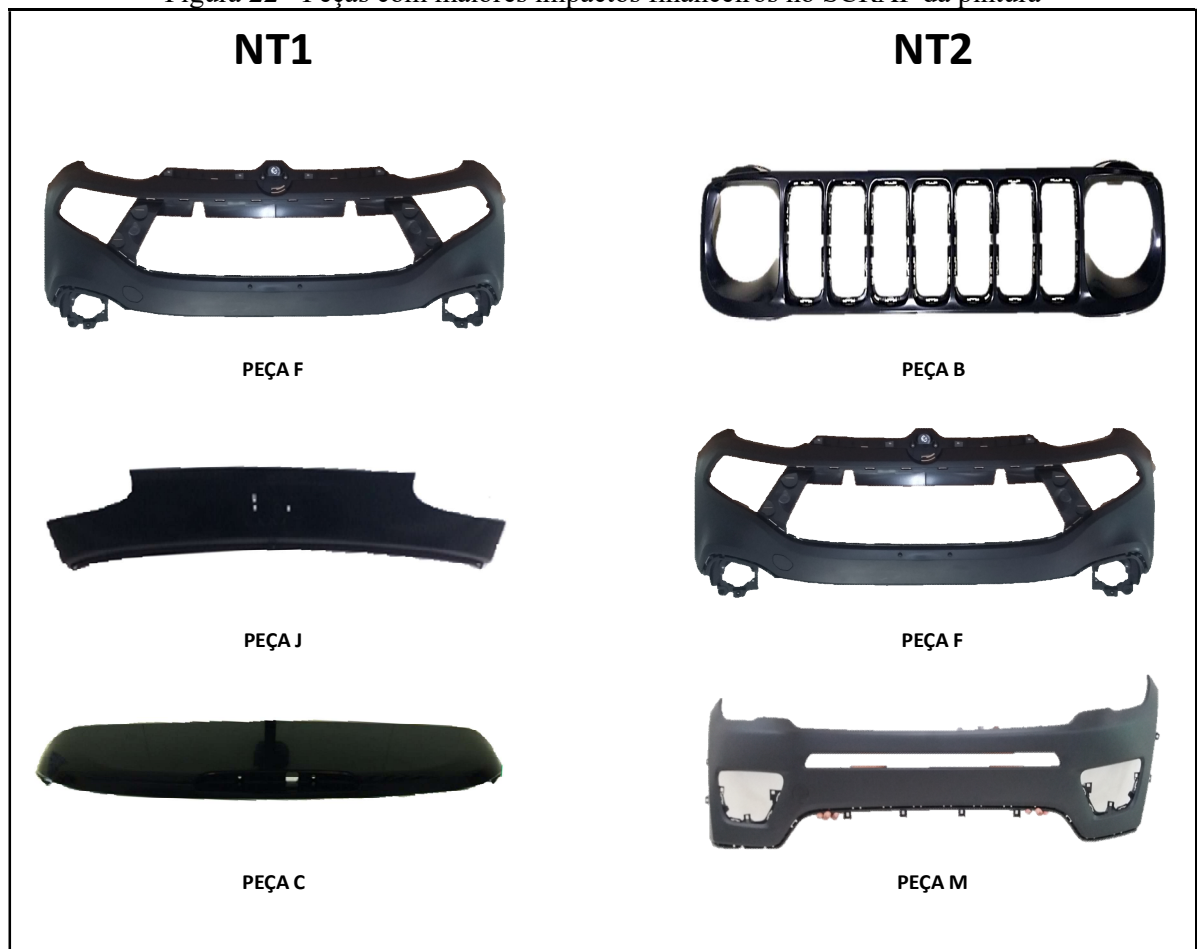
- **CABINE DE PINTURA NT1:** Reduzir em 30% a média dos custos com SCRAP (R\$), tomando como base o valor da média do baseline (2017/2018) que foi de R\$ 183.921,38 reais.
- **CABINE DE PINTURA NT2:** Reduzir em 20% a média dos custos com SCRAP (R\$), tomando como base o valor da média do baseline (2017/2018) que foi de R\$ 122.440,54 reais.

4.5 ETAPA ANALYSE

Na terceira etapa da metodologia do DMAIC, já tínhamos conhecimentos de quais eram as principais peças que tinham os maiores impactos financeiros no SCRAP da pintura, conforme Figura 22.

Iniciamos as análises partindo dos principais defeitos de pintura, na tentativa de identificar as oportunidades de melhorias e gerar ações que vão solucionar estes problemas.

Figura 22 - Peças com maiores impactos financeiros no SCRAP da pintura



Fonte: O Autor, 2022.

4.5.1 Análise dos principais defeitos

Os principais defeitos de pintura que foram obtidos a partir da estratificação dos dados das duas cabines de pintura foram: IMPUREZA, ESCORRIDO DE BASE, DANOS DO CARREGAMENTO e BATIDA.

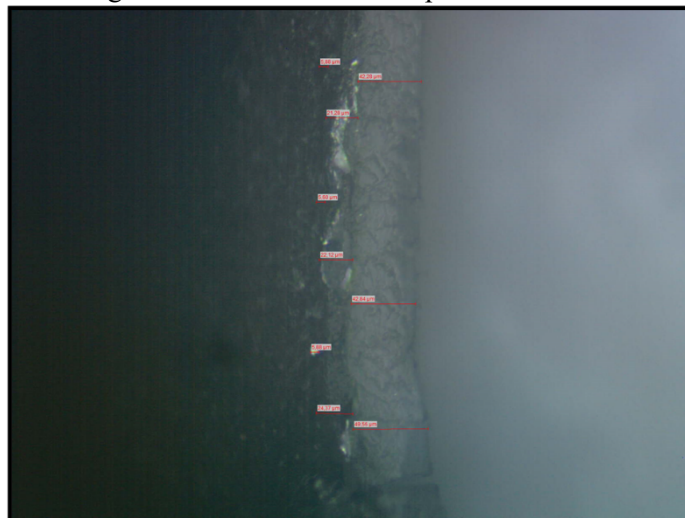
Começamos realizando as análises individualmente em cada defeito para ajudar nas investigações de suas causas e avaliar em que fase do processo da pintura eles ocorrem.

4.5.1.1 Impureza

O defeito por impureza foi o problema mais crítico que impactou no custo do SCRAP das duas cabines de pintura. Este defeito foi responsável pelo descarte de 9777 peças na área da pintura. Para investigar esse defeito, foram coletadas 25 amostras variadas de peças com impurezas e enviadas para o laboratório. A intenção era que através das análises laboratoriais de microscopia fossem identificados os locais onde mais se concentram a incidências da contaminação com impurezas.

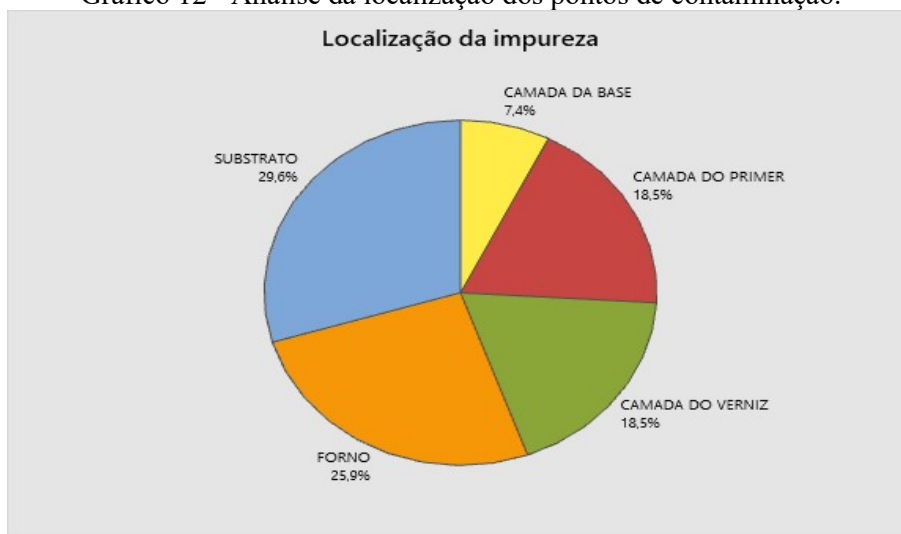
Os pontos de contaminação podem estar no substrato, na aplicação do primer, na aplicação da base, na aplicação do verniz e durante a secagem no forno. Conforme Figura 23, podemos verificar uma análise microscópica do substrato de uma peça pintada.

Figura 23 - Análise microscópica do substrato



Fonte: O Autor, 2022.

Gráfico 12 - Análise da localização dos pontos de contaminação.



Fonte: O Autor, 2022.

Conforme podemos verificar no Gráfico 12, temos os resultados das análises do laboratório nas 25 amostras das peças com impurezas. Analisando o gráfico, observamos que a maioria das contaminações com impureza ocorrem no substrato com 29,6% antes de pintar e em segundo lugar, durante a secagem das peças no forno com 25,9%.

4.5.1.2 Escorrido de base

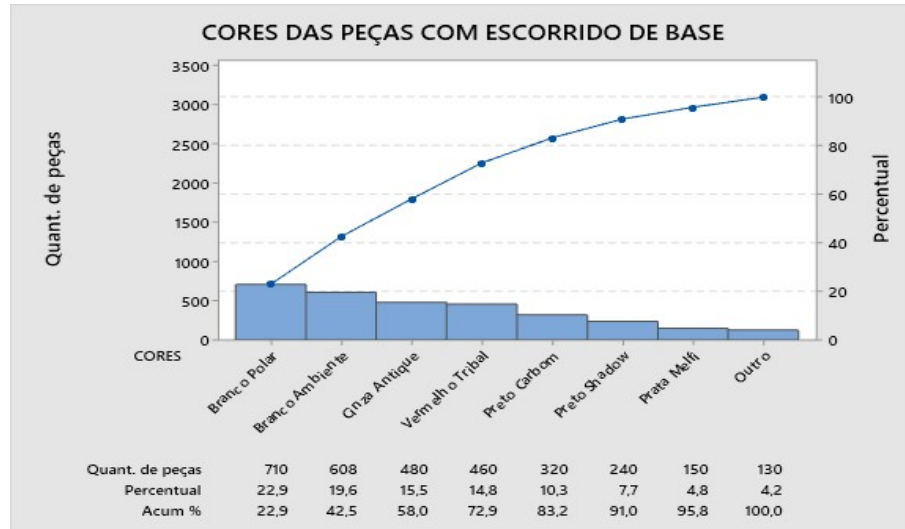
Analizamos os dados das 3098 peças que apresentaram problemas de escorrido de base, para verificar em qual cor pintada tínhamos o maior índice desse defeito e qual o horário que ocorriam com mais frequência, pois já tínhamos conhecimento de que o escorrido de base teve mais impacto na cabine de pintura NT1.

No Gráfico 13 temos uma avaliação das cores utilizadas na pintura das peças, onde podemos verificar que a cor que teve mais incidência na ocorrência do problema foi a Branco Polar, representando 22,9% dos casos e com um montante de 710 peças que tiveram o defeito de escorrido de base.

Já no Gráfico 14 temos uma relação das ocorrências comparadas com os horários em que ocorreram. Com isso, verificamos que a frequência dos defeitos por escorrido de base ocorriam com mais concentração entre os horários de 9hs a 16hs.

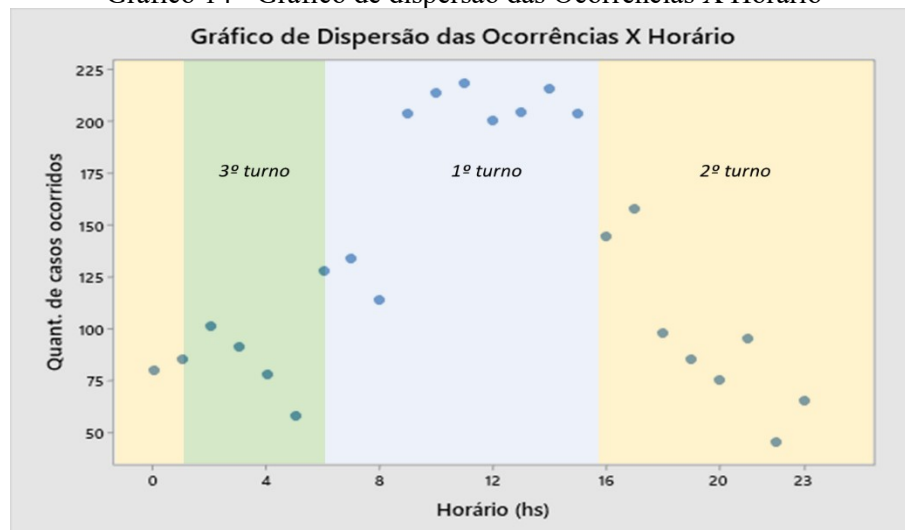
Podemos observar ainda no Gráfico 14, a separação das escalas dos turnos da pintura para verificar se existem correlação com o problema.

Gráfico 13 - Gráfico de Pareto com a análise das cores



Fonte: O Autor, 2022.

Gráfico 14 - Gráfico de dispersão das Ocorrências X Horário



Fonte: O Autor, 2022.

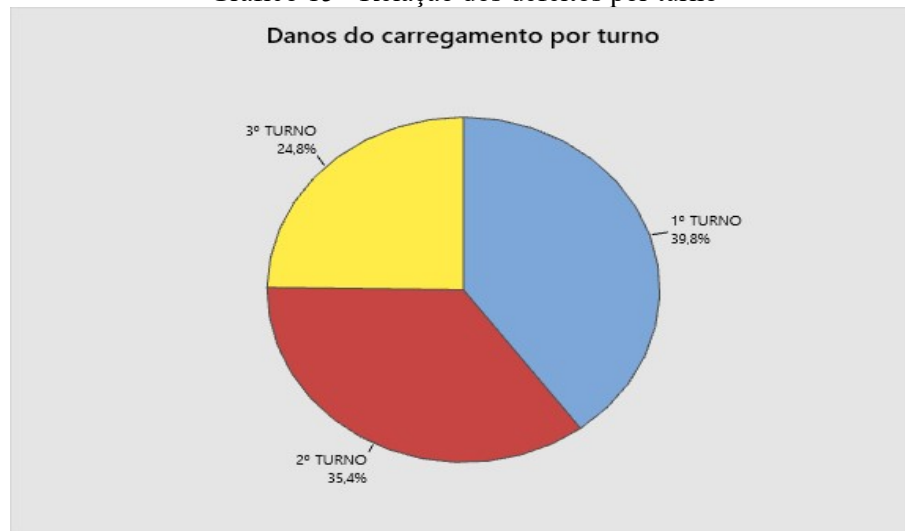
4.5.1.3 Danos do carregamento

O defeito por danos no carregamento geralmente é causado por falhas sistemáticas, falta de padronização e erros operacionais ocorridos durante a etapa de carregamento das peças na linha de pintura da *Newtech*. Como resultado das estratificações que realizamos, já conhecíamos que esse tipo de problema apresentou mais impacto na NT2 e foi responsável por 3329 peças com defeituosas que foram SCRAP. Agora iremos analisar esse defeito para verificar quais suas causas e em que fase no processo do carregamento eles ocorrem.

No Gráfico 15 realizamos uma análise dos dados separando as informações por turno de fabricação, observamos que o 1º turno apresentou mais problemas com 39,8% dos casos desse defeito, sendo responsável pelo SCRAP de 1326 peças por danos no carregamento.

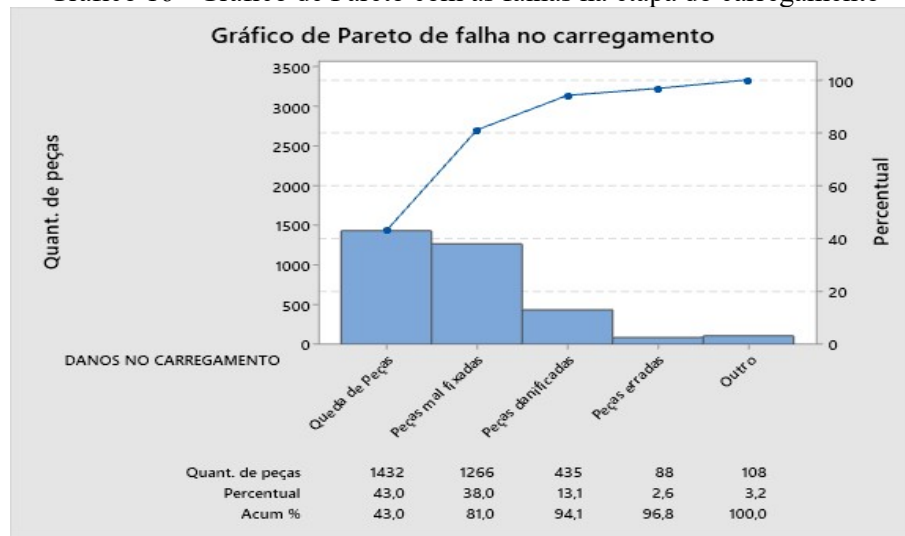
Já no Gráfico 16 realizamos um desmembramento das principais falhas do carregamento que acarretaram o SCRAP das peças, o principal motivo identificado foi a queda de peças dentro da linha de pintura com 43% dos casos, gerando o desperdício de 1432 peças.

Gráfico 15 - Relação dos defeitos por turno



Fonte: O Autor, 2022.

Gráfico 16 - Gráfico de Pareto com as falhas na etapa do carregamento



Fonte: O Autor, 2022.

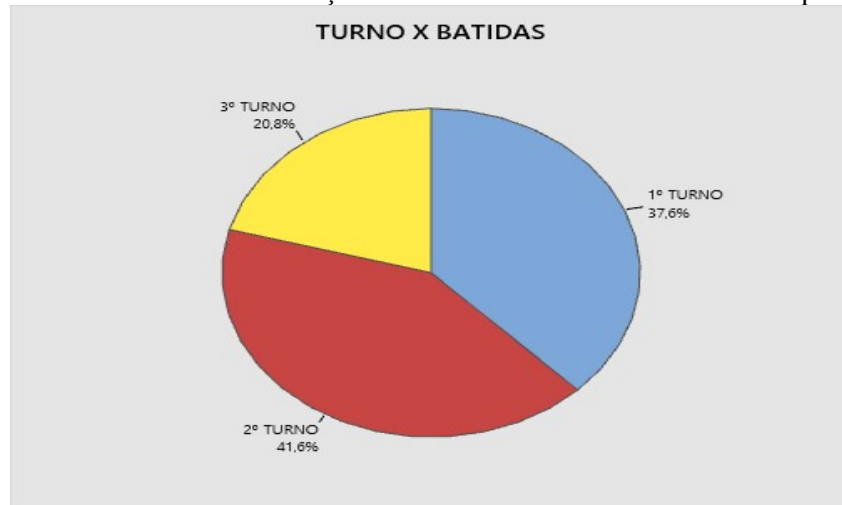
4.5.1.4 batida

O defeito por batida teve impacto no custo do SCRAP das duas cabines de pintura. Este defeito foi responsável pelo descarte de 7749 peças na área da pintura. O problema ocorre quando as peças já estão pintadas e sofrem uma “batida”, esse atrito mecânico leva a retirar as camadas protetoras do verniz e da base, deixando as peças com falhas de pintura no substrato.

Os choques mecânicos causados pelo manuseio e movimentações das peças antes da cura total da camada de verniz, que dura aproximadamente 12 horas, são os grandes vilões causadores desses problemas. Analisamos os dados desse defeito para verificar qual a frequência em que ele ocorre no processo e quais peças são mais afetadas.

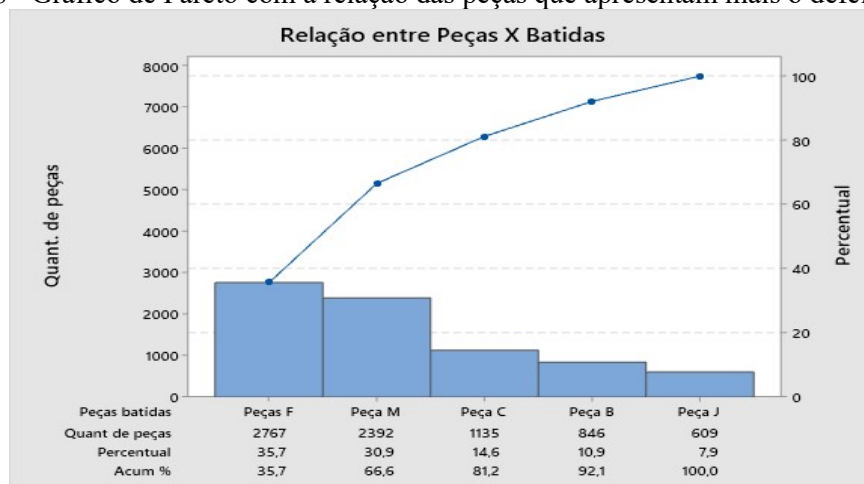
No Gráfico 17, realizamos uma análise dos dados relacionando as informações por turno de fabricação, observamos que o 2º turno apresentou mais problemas com 41,6% dos casos desse defeito, sendo responsável pelo SCRAP de 3224 peças por batida.

Gráfico 17 - Gráfico com a relação das ocorrências do defeito de batida por turno



Fonte: O Autor, 2022.

Gráfico 18 - Gráfico de Pareto com a relação das peças que apresentam mais o defeito de batida



Fonte: O Autor, 2022.

Avaliando o Gráfico 18, realizamos uma análise para verificar quais as peças que sofreram mais batidas e impactaram no SCRAP. Observamos que a peça F foi responsável por 35,7% dos casos, onde teve o desperdício de 2767 peças. Ainda no gráfico 18, conseguimos identificar uma correlação do defeito de batida com o tamanho das peças, pois as peças F e M são as que tem os maiores tamanhos e apresentaram maiores índices de SCRAP por problemas de batidas. Como as duas são as peças que tem as maiores áreas de contato, maiores são as chances de sofrerem choques mecânicos dentro da linha da pintura.

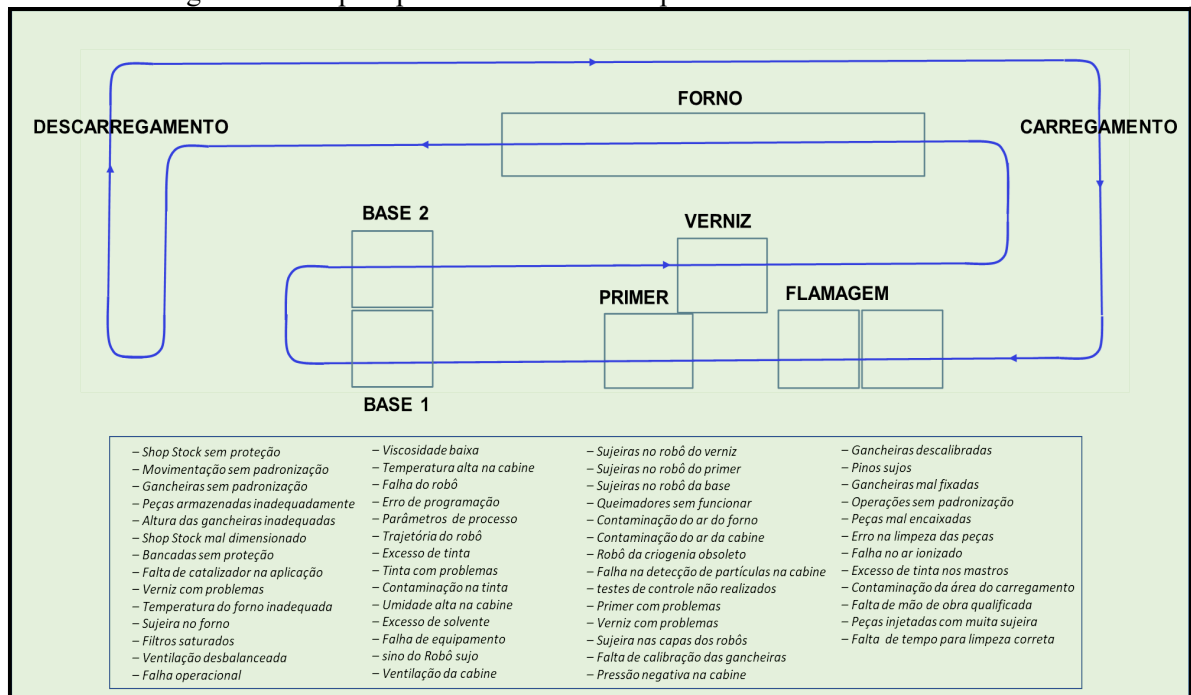
4.5.2 Mapa do processo

Elaboramos um mapa do processo identificando todas as etapas do processo de pintura através de uma representação gráfica da Cabine *Newtech*, a fim de deixarmos mais claro as ligações e as relações entre essas etapas do processo, visando identificar nas atividades oportunidades para a solução dos defeitos que mais impactam nos custos com o SCRAP da área da pintura.

Analisando o mapa do processo e com a ajuda da técnica de *Brainstorming* foram geradas ideias de possíveis variáveis da cabine e do processo de pintura, que possam ser as possíveis causas responsáveis pela existência dos defeitos.

Na Figura 24 temos o mapa do processo da cabine de pintura com as 54 variáveis que foram levantadas a partir da técnica do *Brainstorming*.

Figura 24 - Mapa o processo da cabine de pintura com suas variáveis críticas



Fonte: O Autor, 2022.

4.5.3 Diagrama de Causa e Efeito (Ishikawa)

O Diagrama de Ishikawa, também conhecido como diagrama de causa e efeito, tem a finalidade de realizar a organização do raciocínio lógico de todas as variáveis do processo de pintura que possam gerar os defeitos e que foram priorizados como os mais impactantes no desperdício de peças. Essas variáveis no processo surgiram após o levantamento de ideias e sugestões através da técnica do *Brainstorming*.

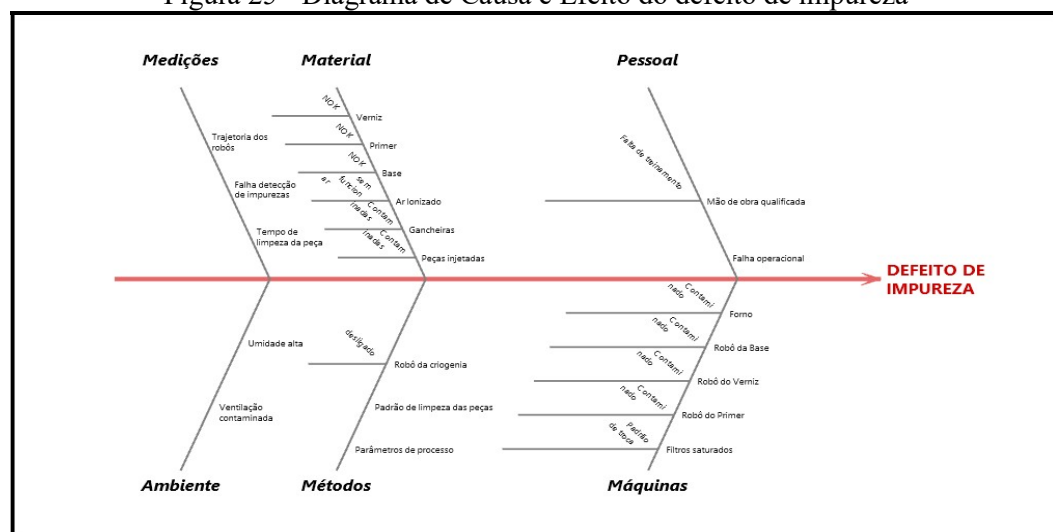
A utilização do diagrama de causa e efeito nos ajudou na busca da identificação dessas possíveis causas, para gerar as ações e focarmos nas soluções desses defeitos, com isso reduzir o custo com o desperdício das peças.

Todas as variáveis de processos que foram levantadas podem estar relacionadas nas causas de um ou mais defeitos, como também podem ser a causa raiz de um defeito e não ter relação com os demais.

4.5.3.1 Impureza

Na Figura 25, temos uma representação gráfica do diagrama de Causa e Efeito que foi elaborado para organizar as principais variáveis, que foram relacionadas como possíveis causas para a ocorrência do defeito de impureza.

Figura 25 - Diagrama de Causa e Efeito do defeito de impureza

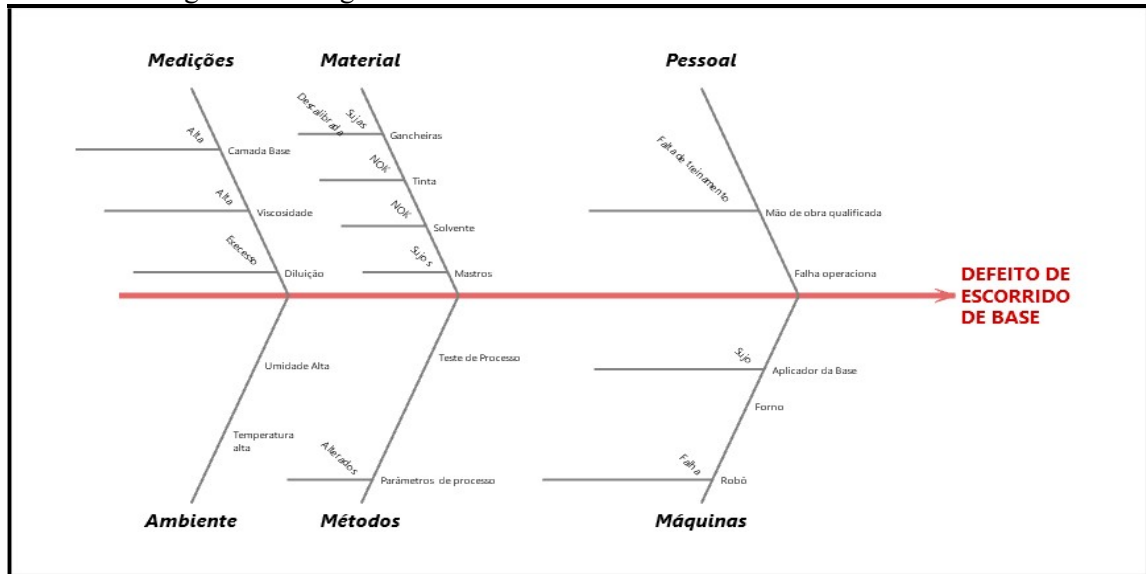


Fonte: O Autor, 2022.

4.5.3.2 Escorrido de Base

Na Figura 26, temos uma representação gráfica do diagrama de Causa e Efeito que foi elaborado para organizar as principais variáveis, que foram relacionadas como possíveis causas para a ocorrência do defeito de escorrido de base.

Figura 26 - Diagrama de Causa e Efeito do defeito de escorrido de base

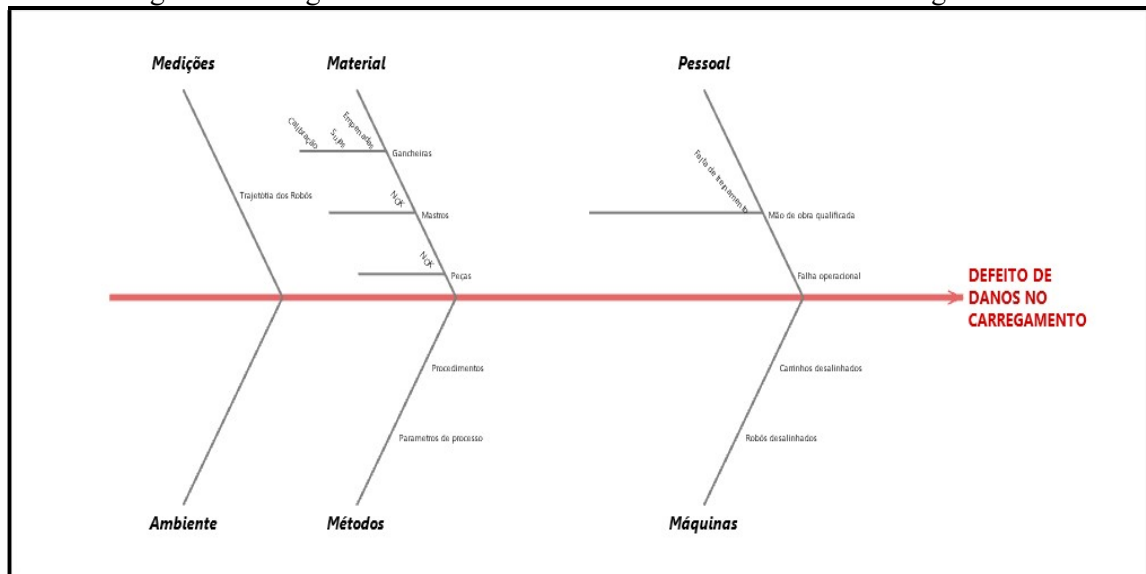


Fonte: O Autor, 2022.

4.5.3.3 Danos no carregamento

Na Figura 27, temos uma representação gráfica do diagrama de Causa e Efeito que foi elaborado para organizar as principais variáveis, que foram relacionadas como possíveis causas para a ocorrência do defeito de danos no carregamento.

Figura 27 - Diagrama de Causa e Efeito do defeito de danos no carregamento

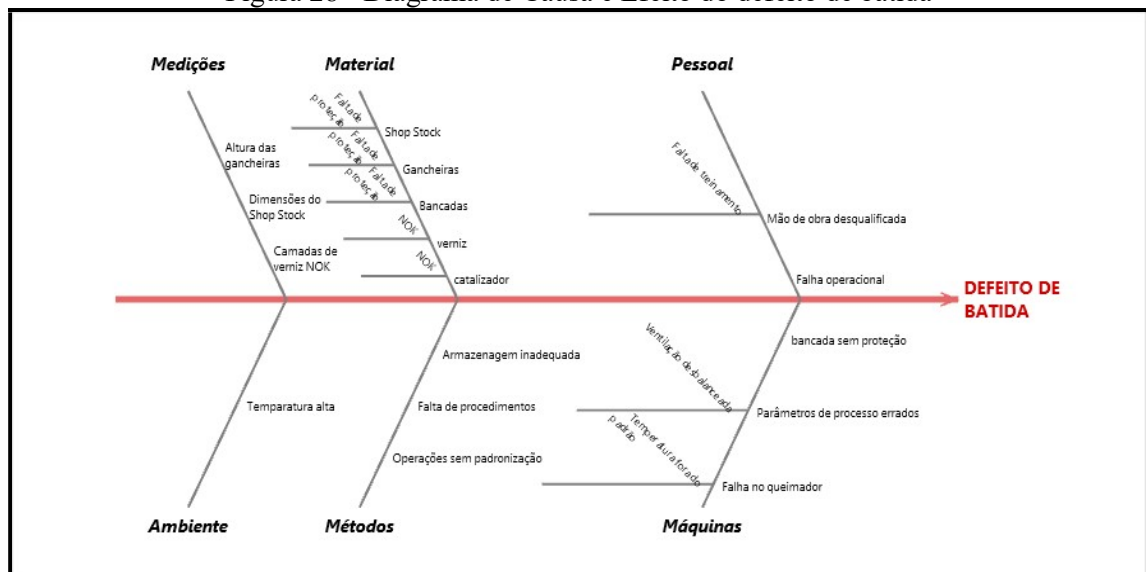


Fonte: O Autor, 2022.

4.5.3.4 Batida

Na Figura 28, temos uma representação gráfica do diagrama de Causa e Efeito que foi elaborado para organizar as principais variáveis, que foram relacionadas como possíveis causas para a ocorrência do defeito de batida.

Figura 28 - Diagrama de Causa e Efeito do defeito de batida



Fonte: O Autor, 2022.

4.6 ETAPA IMPROVE

Na quarta etapa da metodologia do DMAIC, já tínhamos conhecimento das possíveis causas potenciais que seriam responsáveis pelos defeitos das peças que tinham os maiores impactos financeiro no SCRAP da pintura.

O objetivo dessa etapa do *Improve* é priorizar as causas potenciais mais relevantes para facilitar as tomadas de decisões e buscar soluções mais adequadas que serão implementadas através de um Plano de Ação.

4.6.1 Matriz de Priorização

A Matriz de priorização foi uma ferramenta importante para podermos classificar e ordenar as possíveis causas raízes com mais importância, a fim de chegarmos nas soluções dos problemas de desperdício de peças da empresa, onde conceitos de *trade-off* também foram utilizados e tiveram grande relevância nas análises e tomadas de decisões.

Como já tínhamos levantado as possíveis causas nas etapas anteriores deste trabalho, nesta etapa focamos em obter as causas que teriam mais impactos, seguindo os critérios de priorização mais relevantes para o nosso processo. Para essa matriz utilizamos os critérios de IMPACTO NO RESULTADO (peso 10), CUSTO BAIXO (peso 8), AÇÃO RÁPIDA (peso 6) e URGÊNCIA (peso 4). Os critérios e seus pesos foram escolhidos visando obter as causas potenciais que realmente tivessem impactos nos problemas, com baixo custo de implementação, com ações e resultados rápidos e de acordo com o grau de urgência para o negócio de pintura.

Associados aos critérios, também foram utilizados valores para verificar qual o grau de correlação que cada causa tem com os critérios da matriz de priorização, podendo ser 0 (correlação ausente), 1 (correlação fraca), 3 (correlação moderada) e 5 (correlação forte). A relação entre o peso do critério e a correlação da causa gerou uma pontuação para diferenciar o nível de importância, onde as causas que tiveram maiores pontuações foram classificadas como as mais impactantes, sendo utilizadas para gerar ações com foco nas soluções dos problemas de desperdício de peças.

Na Tabela 2 temos a Matriz de Priorização com todas as possíveis causas dos problemas e suas pontuações. Foram selecionadas todas as causas que obtiveram valores

acima de 85% (>120 pontos) da pontuação máxima, para facilitar a priorização e escolha das causas mais importantes, com a finalidade de otimizar as ações para atingir os objetivos estratégicos.

Foram selecionadas no total 18 causas potenciais, das quais 5 causas estavam relacionadas com o defeito de impurezas, 4 causas com o defeito de escorrido de base, 3 causas com o defeito de danos no carregamento e 6 causas com o defeito de batida.

Tabela 2 - Matriz de Priorização

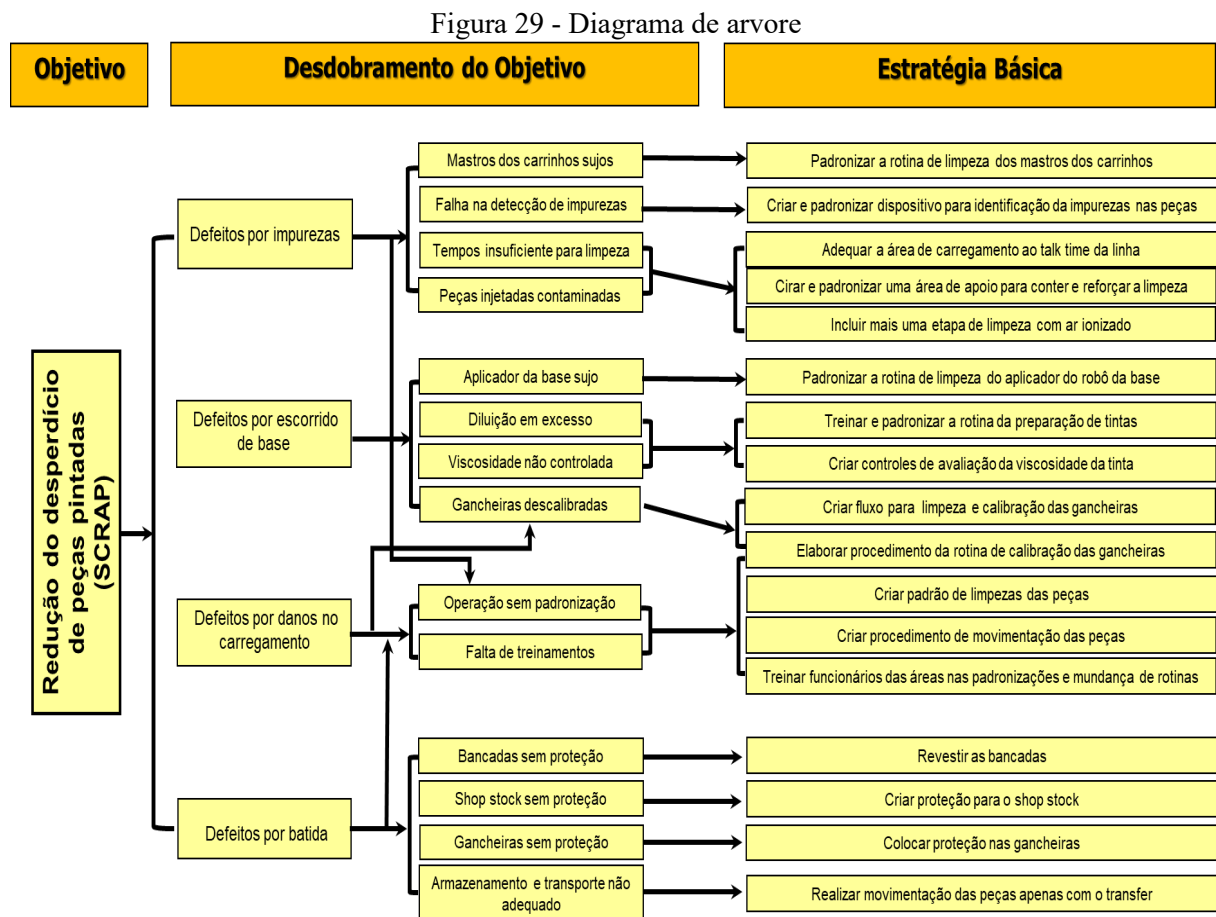
DEFEITO	CAUSAS POTENCIAIS	AVALIAÇÃO DO IMPACTO				TOTAL
		Impacto no resultado (10)	Custo baixo (8)	Ação rápida (6)	Urgência (4)	
IMPUREZA	Falta de treinamentos	30	40	30	4	104
	Falha operacional	10	8	18	4	40
	Forno Contaminado	50	8	8	20	86
	Contaminação do robô da base	30	8	18	12	68
	Contaminação do robô do primer	30	8	18	12	68
	Contaminação do robô do verniz	30	8	18	12	68
	Filtros do forno saturado	50	8	18	12	88
	Falta de padrão de troca dos filtros	10	24	6	12	52
	Problemas no verniz	30	24	6	12	72
	Problemas na base	30	24	6	12	72
	Problemas no primer	30	24	6	12	72
	Ionizador de ar sem funcionar	30	8	6	20	64
	Mastros dos carinhos sujos	50	40	30	12	132
	Padrão de limpeza das peças	50	40	18	12	120
	Trajetória dos robôs	30	40	18	12	100
	Falha na detecção de impurezas	50	24	30	20	124
	Tempos insuficiente para limpar as peças	50	40	30	20	140
	Umidade alta na cabine	10	8	6	20	44
	Ventilação contaminada	50	8	6	20	84
	Parametros de processo	10	24	6	12	52
	Peças injetadas contaminadas	50	24	30	20	124
ESCORRIDO DE BASE	Falta de treinamentos	0	24	30	4	58
	Falha operacional	10	40	30	4	84
	Aplicador da base sujo	50	40	30	12	132
	Forno com temperatura baixa	0	8	6	4	18
	Falha no robô da base	50	8	6	20	84
	Gancheiras sujas	30	24	18	12	84
	Gancheiras descalibradas	50	24	30	20	124
	Tinta não conforme	50	24	18	20	112
	Solvente não conforme	10	24	18	20	72
	Mastros dos carinhos sujos	0	40	30	12	82
	Testes de processo não realizados	30	40	30	12	112
	Parametros de processo alterados	50	24	30	12	116
	Temperatura alta na cabine de pintura	30	24	18	12	84
	Robô da criogenia sem funcionar	0	8	6	4	18
	Umidade alta na cabine	50	8	6	20	84
	Diluição em excesso	30	40	30	20	120
	Viscosidade não controlada	50	40	30	20	140
	Camada da alta	40	8	6	20	74
DANOS NO CARREGAMENTO	Falta de treinamentos	50	40	30	20	140
	Falha operacional	30	40	30	12	112
	Caminhos desalinhados	30	8	6	20	64
	Procedimentos desatualizados	50	40	18	20	128
	Parametros de processo	10	24	18	20	72
	Gancheiras descalibradas, pinos sujos e quebradas	50	24	30	20	124
	Mastros quebrados	30	24	30	20	104
	Peças fora de dimensões	30	8	6	12	56
	Trajetória dos robôs	0	24	18	12	54
BATIDA	Falta de treinamentos	50	40	30	20	140
	Falha operacional	30	24	18	20	92
	Bancadas sem proteção	50	40	30	12	132
	Temperatura do forno baixa	0	8	6	20	34
	Shop stock sem proteção	50	40	18	20	128
	Gancheiras sem proteção	50	40	18	20	128
	Verniz não conforme	10	24	6	20	60
	Catalisador não conforme	10	24	6	12	52
	Armazenamento e transporte não adequado	50	40	18	12	120
	Operação sem padronização	50	40	18	20	128
	Camada do verniz baixa	50	24	6	20	100
	temperatura alta na produção	10	8	6	12	36
	Altura das gancheiras	50	8	6	12	76

Fonte: O Autor, 2022.

4.6.2 Diagrama de Árvore

O Diagrama de Árvore é uma ferramenta que foi utilizada para visualizar de uma forma gráfica os diferentes níveis dos problemas e suas correlações, facilitando as tomadas de decisões. A partir do problema principal, realizamos o desdobramento dos defeitos de maiores impactos que foram estratificados e de suas principais causas potenciais que foram priorizadas. Em seguida, realizamos um desmembramento para avaliar as correlações entre as causas e criar estratégias que serão utilizadas para gerar as ações.

Na Figura 29 temos o Diagrama de árvore onde conseguimos observar todo desdobramento e suas correlações até chegar nas estratégias.



Fonte: O Autor, 2022.

4.6.3 Plano de Ação

Na Tabela 3 temos o plano de ação que surgiu a partir das estratégias criadas para a solução das causas potenciais necessárias para atingir o objetivo.

Tabela 3 - Plano de ação

Atividade (what)	Motivo (why)	Local (where)	Procedimento (how)
1 - Padronizar a rotina de limpeza dos mastros dos carrinhos.	Evitar que sujeiras do mastro contaminem as peças com impurezas durante aplicação dos robôs.	Carregamento	Criar procedimento e controle da atividade de limpeza dos mastros.
2 - Criar e padronizar dispositivo para identificação da impurezas nas peças.	Garantir avaliação de impurezas por instrumentos e evitar falhas operacionais.	Carregamento	Instalar lâmpadas UV para detecção das impurezas nas peças.
3 - Adequar a área de carregamento ao talk time da linha.	Garantir que toda rotina de limpeza seja realizada dentro do talk time da linha.	Carregamento	Análise do talk time da etapa de carregamento e equalizar.
4 - Criar e padronizar uma área de apoio para conter e reforçar a limpeza.	Impedir que peças injetadas contaminadas com impurezas cheguem no carregamento.	Carregamento	Atualizar mapa de processo e criar procedimento operacional para a nova etapa.
5 - Incluir mais uma etapa de limpeza com ar ionizado.	Reduzir a quantidade de impureza do substrato da peças.	Carregamento	Atualizar operação de limpeza para ar ionizado / limpeza com pano / ar ionizado.
6 - Padronizar a rotina de limpeza do aplicador do robô da base.	Garantir que não tenha sujeira no aplicador para garantir uma aplicação uniforme da tinta.	Sala de controle	Atualizar o procedimento e criar controles da limpeza do aplicador.
7 - Treinar e padronizar a rotina da preparação de tintas.	Evitar diluição fora de especificações ocasionando escorrido da tinta durante a aplicação.	Sala de tintas	Atualizar o procedimento e criar controles de diluições.
8 - Criar controles de avaliação da viscosidade da tinta.	Garantir que a tinta que está sendo aplicada seja monitorada e evitar erros.	Sala de tintas	Criar tabelas e controles de diluições.
9 - Criar fluxo para limpeza e calibração das gancheiras.	Evitar a utilização de gancheiras sujas na linha e NOK para evitar erros no carregamento.	Carregamento	Elaborar um fluxograma com o ciclo de utilização das gancheiras na linha.
10 - Elaborar procedimento da rotina de calibração das gancheiras.	Garantir a calibração das gancheiras e evitar erros no carregamento e durante a aplicação.	Carregamento	Criar procedimento de calibração.
11 - Criar padrão de limpeza das peças.	Garantir a operação corrente de limpeza das peças evitando contaminação por impurezas.	Carregamento	Elaborar um caminho de limpeza padronizando a limpeza de cada tipo de peça.
12 - Criar procedimento de movimentação das peças.	Evitar que exista batidas nas peças devido falhas operacionais durante movimentação.	Descarregamento	Elaborar procedimento padronizando a movimentação de cada tipo de peça.
13 - Treinar funcionários das áreas nas padronizações e mudança de rotinas.	Nivelar as informações e garantir o cumprimento das rotinas para evitar erros operacionais.	Todas as áreas	Treinar todos operadores.
14 - Revestir as bancadas.	Evitar que existam colisões com as peças.	Descarregamento	Revestir as bancadas com material que reduza o impacto e não danifique as peças.
15 - Criar proteção para o shop stock.	Evitar que existam colisões com as peças.	Descarregamento	Criar proteção no shop stock com material que reduza o impacto e não danifique as peças.
16 - Colocar proteção nas gancheiras.	Evitar que existam colisões com as peças.	Descarregamento	Criar proteção nas gancheiras com material que reduza o impacto e não danifique as peças.
17 - Realizar movimentação das peças apenas com o transfer.	Para padronizar a movimentação das peças e evitar falhas operacionais.	Descarregamento	Realizar regulagem nos transfer para colocar em operação.

Fonte: O Autor, 2022.

Figura 31 - Análise de impureza por iluminação UV



Fonte: O Autor, 2022.

- c) **Adequar a área de carregamento ao *talk time* da linha:** Os carrinhos das cabines de pinturas se deslocam entre estações automaticamente a cada 120 segundo, sendo este o *talk time* de cada posto do carregamento, portanto neste intervalo de tempo todas as atividades devem ser concluídas. Após mapeamento das atividades, foi realizado a equalização para adequar a operação ao *talk time* da linha sem comprometer a qualidade da limpeza das peças, como podemos observar no Quadro 4. O procedimento GOI-I-PSS-1654 foi revisado com as atualizações da área do carregamento. Essa ação foi realizada em conjunto com as ações 4 e 5.

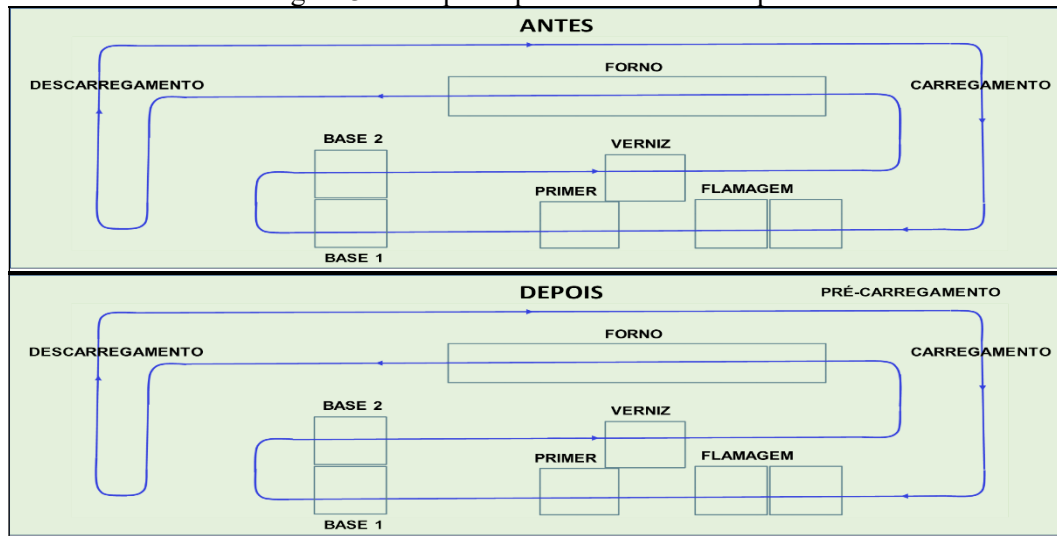
Quadro 4 - Atividades do carregamento Antes x Depois

OPERAÇÃO	ANTES	DEPOIS
CARREGAMENTO	1 - Retirar peça do shop stock da injeção.	1 - Observa se o encaixe está OK e se a peça está bem fixada.
	2 - Posicionar as peças na gancheira e inspecionar.	2 - Conferir no monitor se a peça esta correta com a programação de pintura.
	3 - Observa se o encaixe está OK e se a peça está bem fixada.	3 - Soprar as peças com ar comprimido ionizado.
	4 - Conferir no monitor se a peça esta correta com a programação de pintura.	4 - Limpeza da peça com pano com álcool isopróprilico.
	5 - Limpeza da peça com pano com álcool isopróprilico.	5 - Soprar as peças com ar comprimido ionizado.
	6 - Soprar as peças com ar comprimido ionizado.	-
TEMPO	116 SEGUNDOS	105 SEGUNDOS

Fonte: O Autor, 2022.

- d) **Criar e padronizar uma área de apoio para conter e reforçar a limpeza:** Foi criada uma área denominada de Pré-Carregamento. Esta nova área é responsável por reforçar a limpeza, impedindo que as peças injetadas contaminadas com impurezas cheguem no carregamento. Foi elaborado o procedimento GOI-I-PSS-1652 para padronizar a operação. Na Figura 32 temos o mapa do processo da linha de pintura antes e depois, já com a implantação da área do Pré-Carregamento.

Figura 32 - Mapa do processo Antes x Depois



Fonte: O Autor, 2022.

- e) **Incluir mais uma etapa de limpeza com ar ionizado:** Com a equalização das atividades do carregamento e a criação da área do Pré-Carregamento, foi incluído mais uma etapa de limpeza com ar ionizado antes de limpar com o pano com álcool. O objetivo é reduzir a quantidade de impurezas no substrato para não saturar o pano com álcool, otimizando o processo e evitando que as impurezas se espalhem na peça. Na Figura 33 temos a representação da atividade de limpeza iniciando com o ar ionizado, em seguida a limpeza com pano com álcool e finalizando com o ar ionizado. O procedimento GOI-I-PSS-1654 foi revisado com as atualizações da área do carregamento.

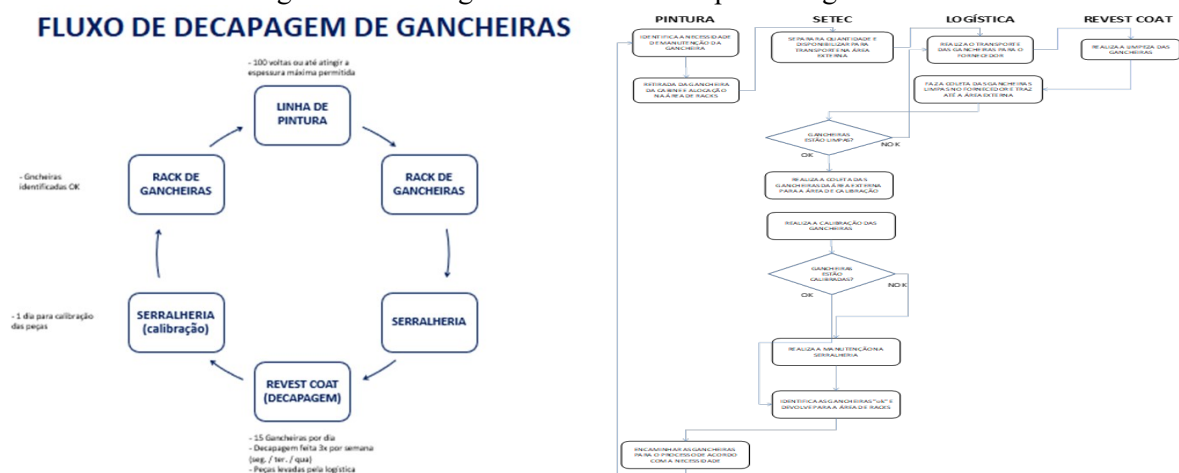
Figura 36 - Controle operacionais da preparação de tinta

[illegible]

Fonte: O Autor, 2022.

- i) **Criar fluxo para limpeza e calibração das gancheiras:** Foi criado um fluxograma com o ciclo de envio das gancheiras para limpeza (decapagem) e a responsabilidade de todos os envolvidos no processo. O objetivo foi padronizar o envio de gancheiras para limpeza e calibração, evitando que gancheiras NOK fossem utilizadas no carregamento e que ocasionassem defeitos nas peças. Na Figura 37 temos o fluxograma do ciclo de limpeza das gancheiras que foi elaborado, com a descrição de todo o processo e as áreas responsáveis. Essa ação foi realizada em conjunto com a ação 10.

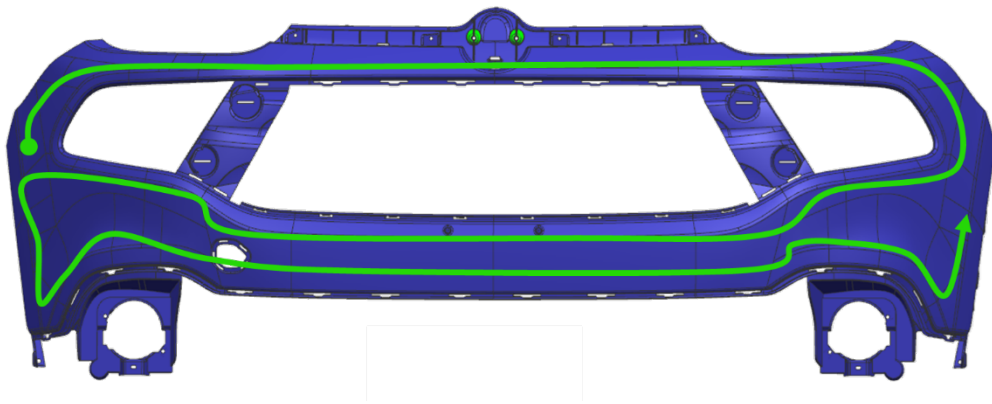
Figura 37 - Fluxograma do ciclo de limpeza das ganchearias



Fonte: O Autor, 2022.

k) Criar padrão de limpeza das peças: Foram elaborados padrões gráficos para a correta limpeza das peças com o ar ionizado e o pano com álcool. Essa padronização visa uniformizar o processo de limpeza, garantindo que não exista contaminações com impurezas e erros operacionais. Na Figura 40 temos um exemplo do padrão de limpeza da peça F, onde este e os demais padrões das outras peças foram incluídos no procedimento GOI-I-PSS-1654, que foi revisado com as atualizações da área do carregamento. Essa ação foi realizada em conjunto com a ação 5.

Figura 40 - Padrão de limpeza da peça F



Fonte: O Autor, 2022.

l) Criar procedimento de movimentação das peças: Foi criado o procedimento GOI-I-PSS-1838 de movimentação de peças para padronizar a operação e evitar que existam batidas nas peças pintadas devido a falhas operacionais. Na Figura 41 temos o procedimento de movimentação das peças pintadas.

Figura 41 - Procedimento de movimentação das peças pintadas

Fonte: O Autor, 2022.

m) Treinar funcionários das áreas nas padronizações e mudança de rotinas:

Todos os funcionários das áreas da pintura foram treinados para nivelar as informações e garantir o cumprimento das rotinas para evitar erros operacionais. Os treinamentos referentes aos novos procedimentos e aos que foram revisados tiveram seus registros em formulários, conforme verificamos na Figura 42.

Figura 42 - Treinamento realizado na pintura e folha de registro

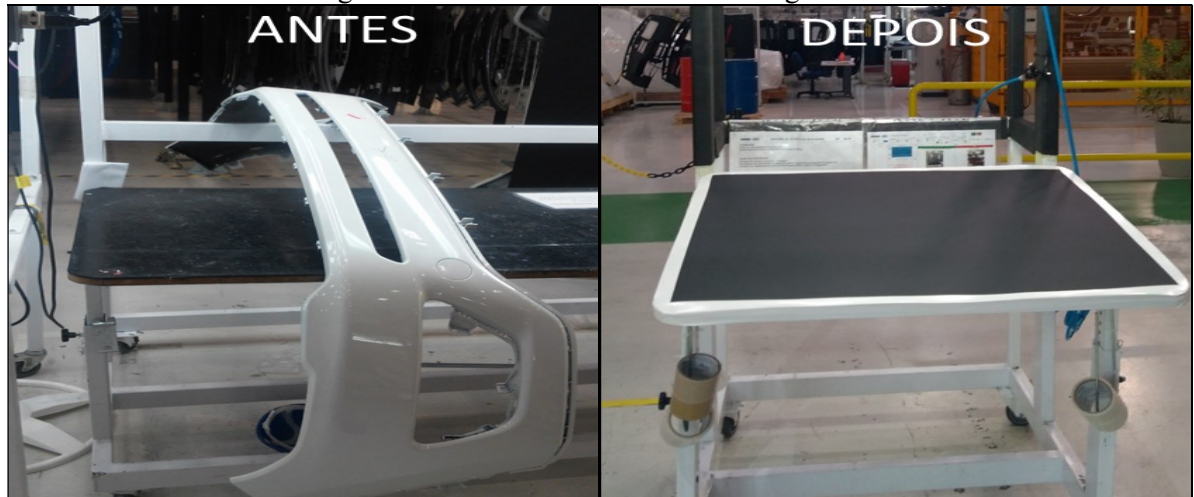


Registro de Treinamento Instruções de Trabalho / SW / Procedimentos				
Nº e Rev. IT / SW / Proc.:		Nome IT / SW / Proc.:		
Data do Registro:		Local do Treinamento:	POSTO DE TRABALHO	
Nº Ordem	Nome do Colaborador	Nº de Matrícula	Data do Treinamento	Visto do Colaborador
1			1 1	
2			1 1	
3			1 1	
4			1 1	
5			1 1	
6			1 1	
7			1 1	
8			1 1	
9			1 1	
10			1 1	
11			1 1	
12			1 1	
13			1 1	
14			1 1	
15			1 1	
Nome Instrutor:		Assinatura:		
Função:		Data:		

Fonte: O Autor, 2022.

- n) **Revestir as bancadas:** Todas as bancadas utilizadas no descarregamento da pintura foram revestidas com um material que reduzia o impacto e não danificassem as peças pintadas caso existissem colisões. Na Figura 43 temos exemplos de como eram as bancadas antes e depois como ficaram com o revestimento.

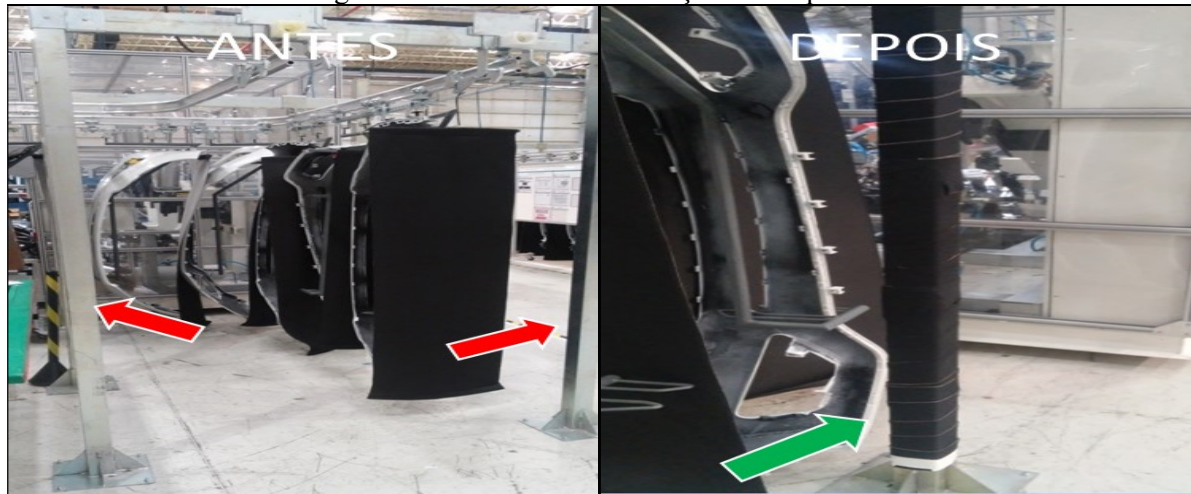
Figura 43 - Bancada da área do descarregamento



Fonte: O Autor, 2022.

- o) **Criar proteção para o shop stock:** As peças pintadas ficam armazenadas no shop stock e com a movimentação dessas peças existiam colisões com as colunas de sustentação da estrutura. Para evitar o desperdício de peças por batidas, foram colocadas proteções com o mesmo material utilizado no revestimento das bancadas reduzindo os impactos. Na Figura 44 temos exemplos de como eram as colunas de sustentação do shop stock antes e depois do revestimento.

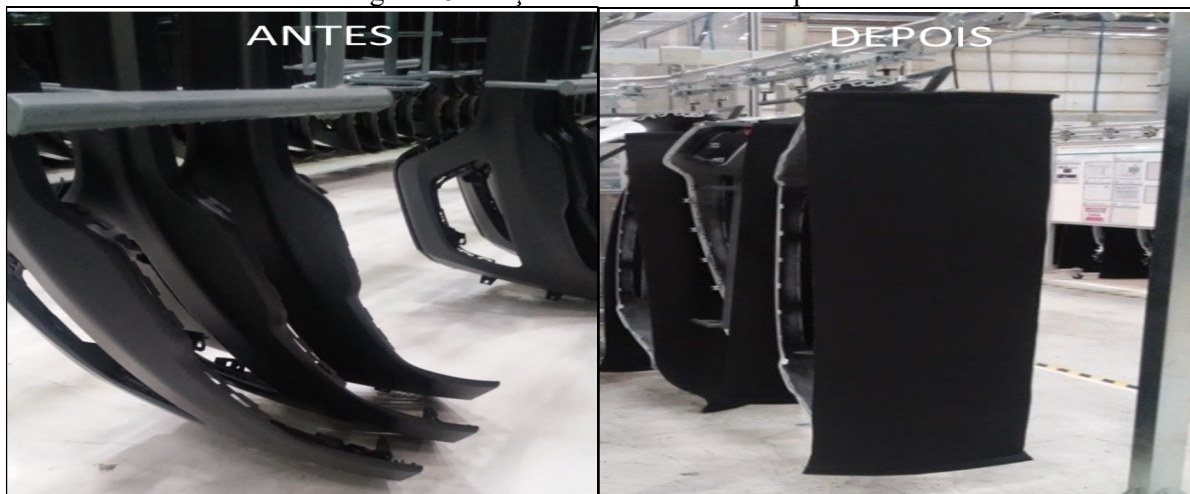
Figura 44 - Colunas de sustentação do shop stock



Fonte: O Autor, 2022.

- p) **Colocar proteção nas gancheiras:** Existiam colisões entre as próprias peças pintadas causando defeitos por batidas. Com isso, foram colocadas proteções entre as peças para evitar que uma batesse na outra e se danificassem. Na Figura 45 temos exemplos de como eram armazenadas antes e depois com a proteção.

Figura 45 - Peças armazenadas no shop stock



Fonte: O Autor, 2022.

- q) **Realizar movimentação das peças apenas com o transfer:** O transfer do shop stock foi totalmente revisado e regulado para que toda operação de movimentação das peças pintadas fosse realizada por ele. Antes as peças eram transportadas por carrinhos onde ocorriam colisões e batidas nas peças, como podemos verificar na Figura 46. Essa ação foi realizada e padronizada junto com a ação 12.

Figura 46 - Movimentação das peças pintadas



Fonte: O Autor, 2022.

4.7 ETAPA CONTROL

Na quinta e última etapa da metodologia do DMAIC, analisamos todos os resultados e os desempenhos das ações que foram implementadas no processo. A etapa do *Control* tem a finalidade de verificar se as metas estipuladas foram cumpridas, para garantir que o resultado do objetivo do plano estratégico da empresa fosse atingido.

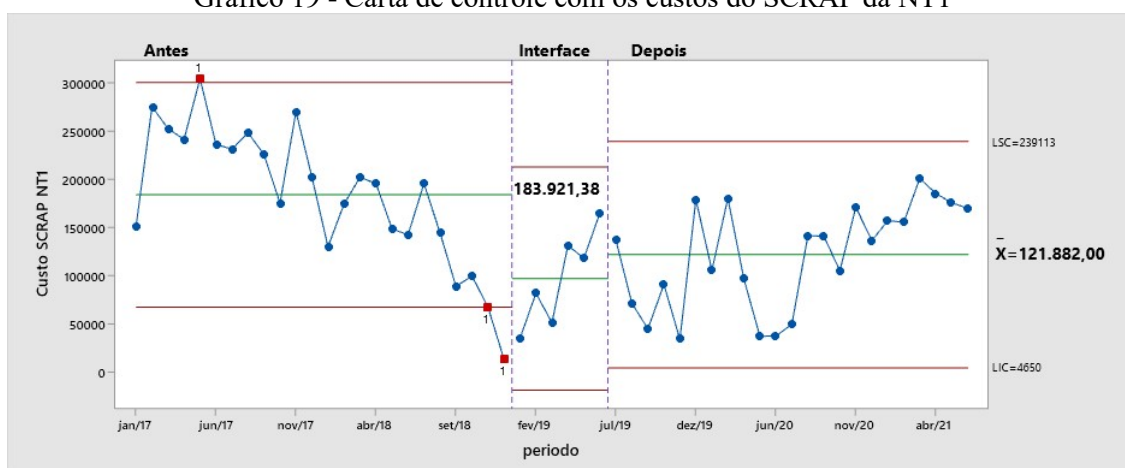
4.7.1 Resultados das metas específicas

As metas específicas surgiram a partir da estratificação dos dados das cabines de pintura NT1 e NT2, onde foram analisadas as informações e com isso, conseguimos identificar quais peças eram mais desperdiçadas e que tinham mais relevância e impactos nos custos com o SCRAP e seus principais defeitos.

Foram criadas metas específicas individuais para cada cabine, levando em consideração o impacto financeiro do SCRAP e a contribuição que cada cabine representava no alcance do resultado da empresa.

A meta específica para a NT1 foi reduzir em 30% a média dos custos com SCRAP (R\$), tomando como base o valor da média do baseline (2017/2018) que foi de R\$ 183.921,38 reais. Analisando o Gráfico 19, verificamos que a média dos custos dos SCRAP da NT1 acumulada até junho de 2021, ficou em R\$ 121.882,00. Conseguimos uma redução de 33,7% e relação ao período do baseline, superando o objetivo da meta específica da NT1 que era de 30%.

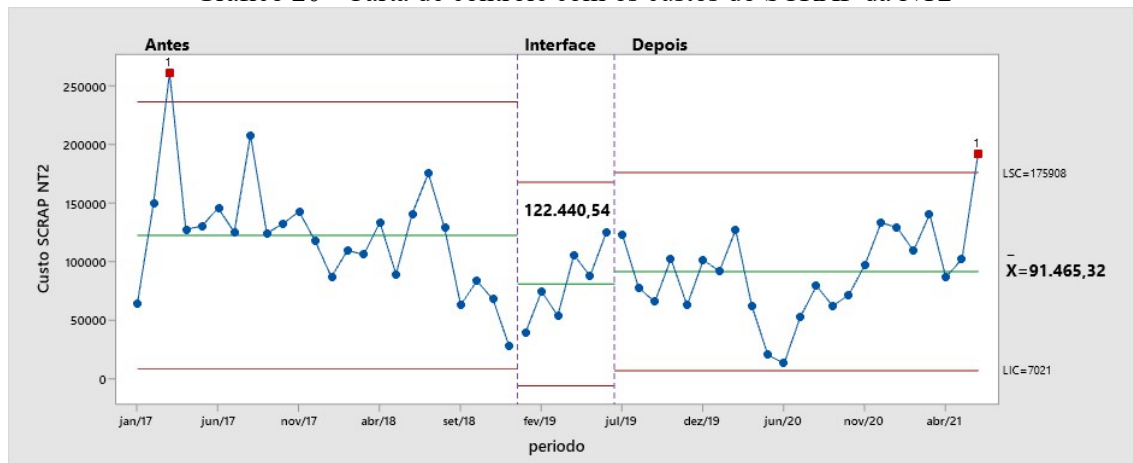
Gráfico 19 - Carta de controle com os custos do SCRAP da NT1



Fonte: O Autor, 2022.

A meta específica para a NT2 foi reduzir em 20% a média dos custos com SCRAP (R\$), tomando como base o valor da média do baseline (2017/2018) que foi de R\$ 122.440,54 reais. Analisando o Gráfico 20, verificamos que a média dos custos dos SCRAP da NT2 acumulada até junho de 2021, ficou em R\$ 91.465,32. Conseguimos uma redução de 25,3% em relação ao período do baseline, superando o objetivo da meta específica da NT2 que era de 20%.

Gráfico 20 - Carta de controle com os custos do SCRAP da NT2



Fonte: O Autor, 2022.

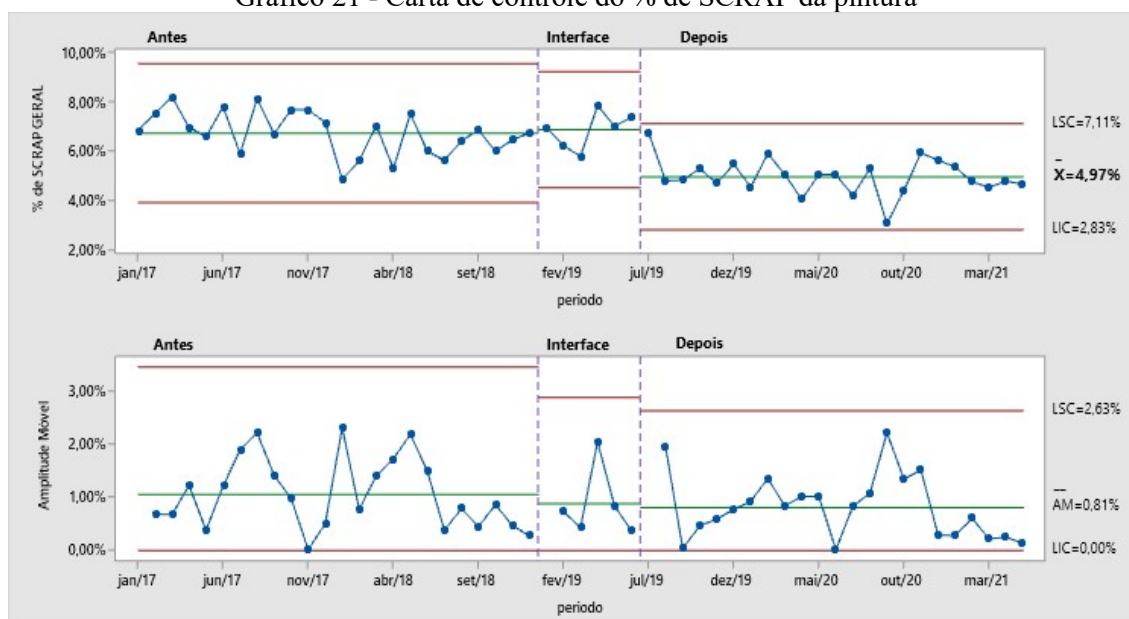
4.7.2 Resultado da meta secundária

Para se atingir o objetivo principal que é a redução do indicador de SCRAP x VENDAS, tivemos que desenvolver ações de melhorias nos processos da empresa, visando gerar ações para a redução do desperdício com peças defeituosas (SCRAP), já que o aumento das vendas do setor automotivo depende do cenário econômico e de outros fatores externos.

Diante deste contexto, surgiu a necessidade da elaboração de uma meta secundária que tivesse como objetivo reduzir 25% o SCRAP das linhas de pintura da empresa, passando de 6,73% para 5,00% até o ano de 2021.

Analisando o Gráfico 21, verificamos que o percentual do SCRAP das linhas de pintura acumulado até junho de 2021, atingiu o valor de 4,97%. Conseguimos uma redução de 26,1% em relação ao período do baseline, superando o objetivo da meta secundária que era de 25%.

Gráfico 21 - Carta de controle do % de SCRAP da pintura



Fonte: O Autor, 2022.

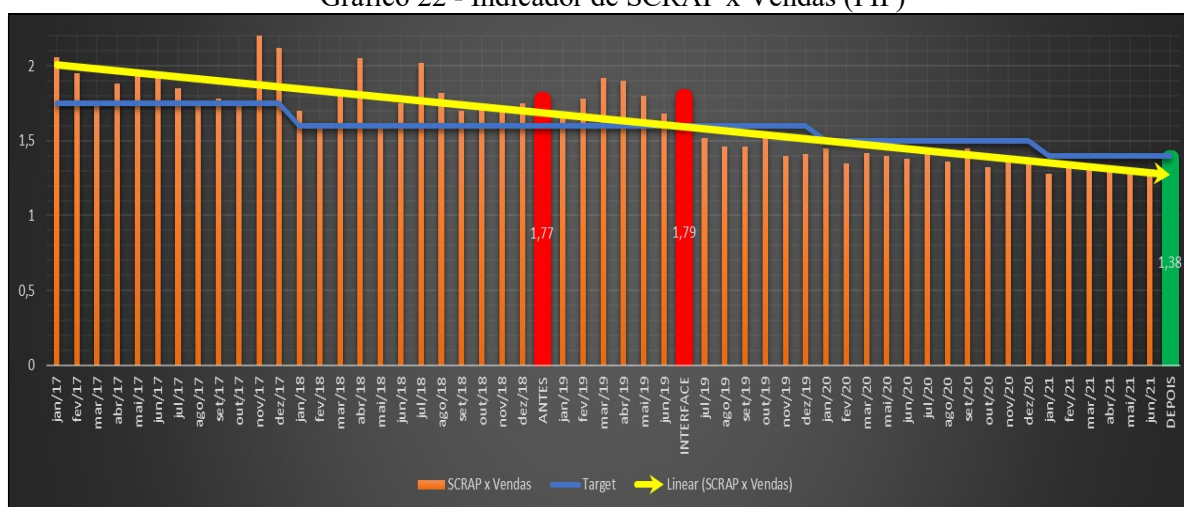
4.7.3 Resultado da meta primária

A empresa tinha um alto índice de peças defeituosa (SCRAP) em todos os seus processos e tinha como objetivo a redução do indicador de SCRAP x VENDAS alinhado com o Plano de Melhoria da Planta ou PIP (*Plant Improvement Plan*), que foi elaborado pela alta direção da empresa.

Devido esse problema, a meta primária ou principal deste trabalho foi reduzir em 20% o indicador de SCRAP x VENDAS, onde o valor devia passar de 1,77% para 1,40%, baseado no PIP da empresa.

Analisando o Gráfico 22, verificamos que o indicador de SCRAP x Vendas da empresa, reduziu para 1,38% e possui uma perspectiva de declínio conforme linha de tendência. Em relação ao período do baseline, conseguimos superar o objetivo da meta primária que era de 1,4%.

Gráfico 22 - Indicador de SCRAP x Vendas (PIP)

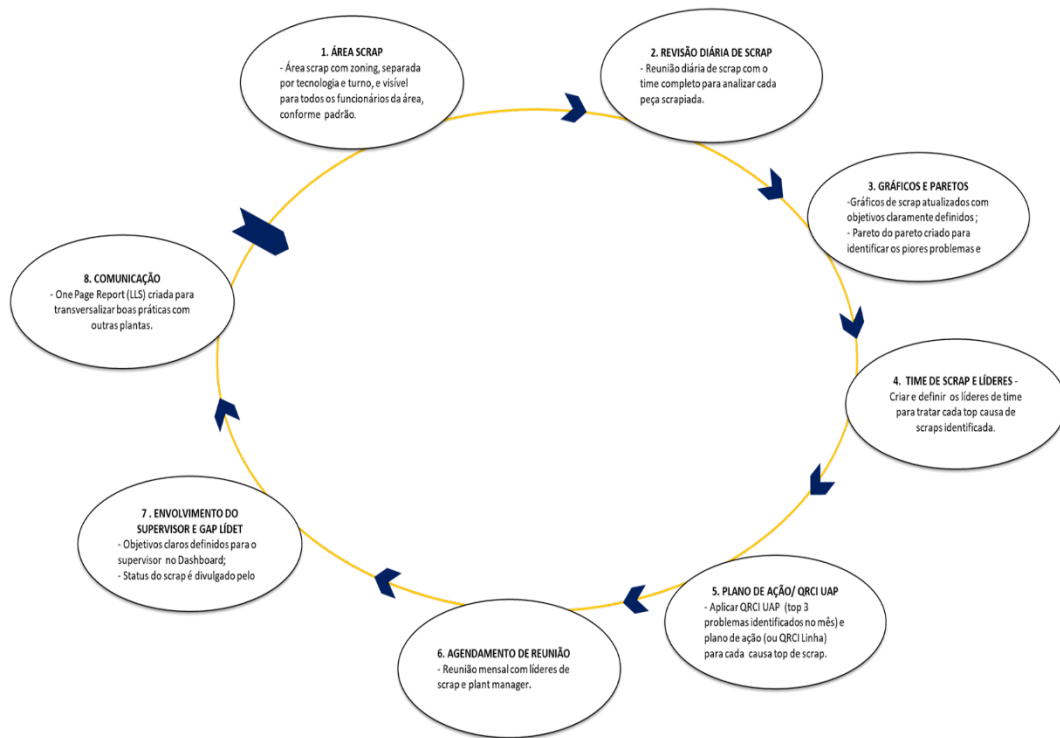


Fonte: O Autor, 2022.

4.7.4 Plano de monitoramento

O comportamento do SCRAP nas linhas de pinturas e suas tendências vem sendo acompanhado e monitorado diariamente em reuniões específicas, onde os dados são analisados e tratados quando houver desvios. As reuniões seguem a metodologia do fluxo de monitoramento conforme a Figura 47. Todas as pessoas envolvidas no processo participam de forma rápida e proativa, analisando os dados estratificados dos resultados do SCRAP das cabines de pintura do dia anterior. A partir da análise do problema são gerados planos de ações para atacar as causas dos defeitos que tiveram maiores impactos.

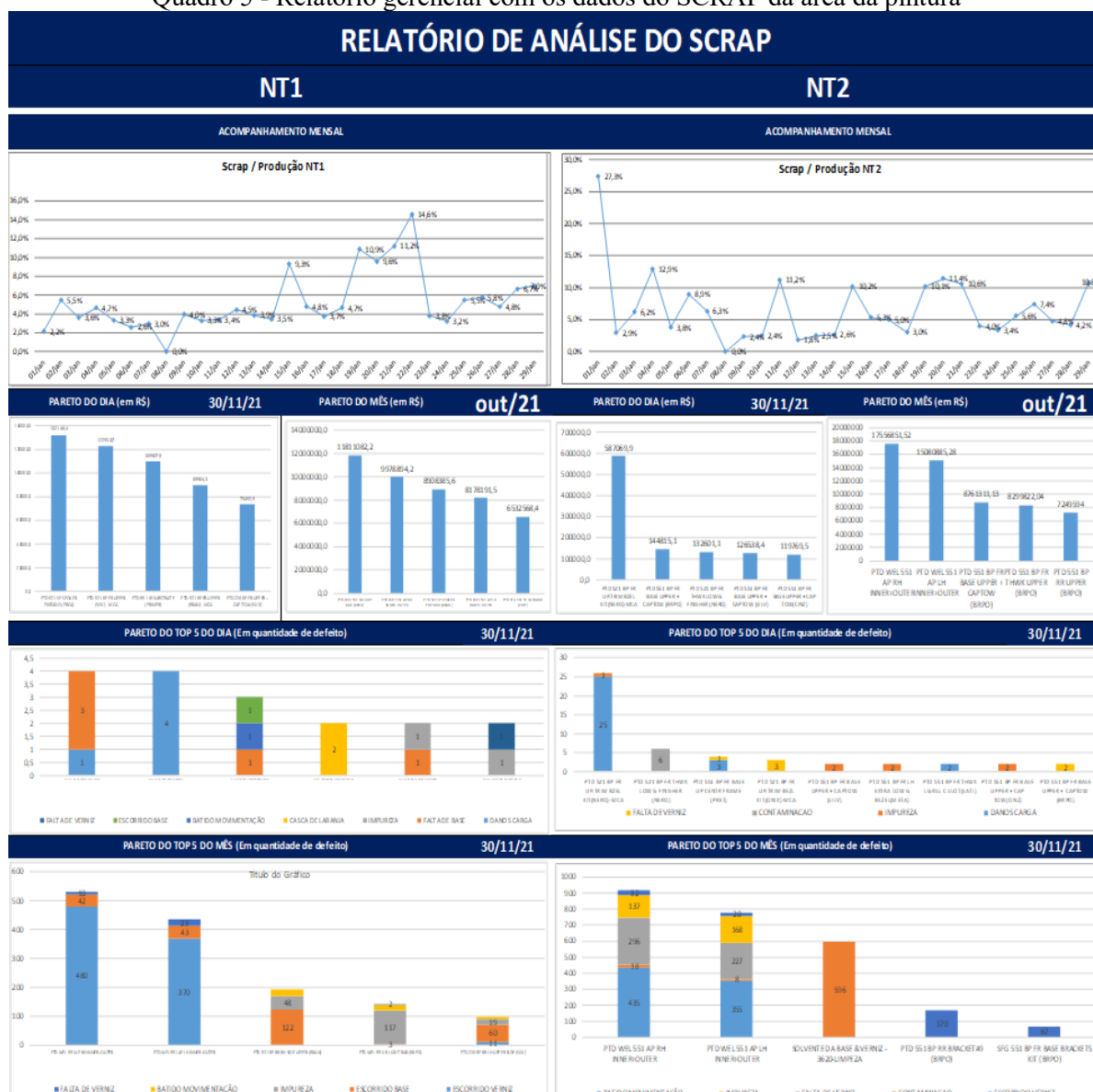
Figura 47 - Fluxo de monitoramento do SCRAP



Fonte: O Autor, 2022.

As informações dos dados que foram estratificados do SCRAP das cabines de pinturas e as ações que surgiram a partir das reuniões diárias e seus resultados, alimentam um relatório de análise do SCRAP, conforme o Quadro 5. Esse é um relatório gerencial composto de vários dados para acompanhamento do indicador do SCRAP da área da pintura que posteriormente é compartilhado com a alta direção, a fim de alimentar os dados do plano estratégico da empresa.

Quadro 5 - Relatório gerencial com os dados do SCRAP da área da pintura



Fonte: O Autor, 2022.

4.7.5 Padronização das ações

Com a identificação dos principais defeitos que impactavam no custo do SCRAP e suas causas potenciais, foram geradas ações para eliminar essas causas e solucionar os problemas. Durante a etapa do plano de ação foram criados, revisados ou modificados vários procedimentos, com a finalidade de padronizar os processos e as operações, inibindo e evitando os erros operacionais.

Na tabela 4, temos a relação de todos os procedimentos que foram criados, revisados ou modificados durante a execução deste trabalho, sendo que a cada alteração no processo as pessoas envolvidas foram treinadas.

Tabela 4 - Lista de procedimentos

PROCEDIMENTO	DESCRIÇÃO
GOI-I-PSS-0270	TROCAR CAPA PLÁSTICA DOS MASTROS
GOI-I-PSS-0403	INSPEÇÃO COM LÂMPADA UV
GOI-I-PSS-1652	PRÉ CARREGAMENTO
GOI-I-PSS-1654	CARREGAMENTO
GOI-I-PSS-0378	LIMPEZA DA BELL
GOI-I-PSS-0272	PREPARAÇÃO DE TINTA
GOI-F-PSS-0147	CHECK-LIST PREPARADOR DE TINTA
GOI-F-PSS-P032	CONTROLE DE TROCAS DE GANCHEIRAS
GOI-I-PSS-0271	CALIBRAGEM DE GANCHEIRAS
GOI-I-PSS-1838	MOVIMENTAÇÃO DA PEÇAS

Fonte: O Autor, 2022.

5 CONCLUSÃO

Esta pesquisa de dissertação do mestrado profissional em engenharia de produção foi desenvolvida dentro da manufatura de uma empresa que faz parte do *Supplier Park* da montadora de carros, onde sua principal atividade é a produção de componentes plásticos que serão montados em peças automotivas internas e externas.

O objetivo principal deste trabalho foi a implantação da metodologia DMAIC com foco para ações visando a redução do desperdício (SCRAP) no processo produtivo das linhas de pintura automotiva, em consonância com o planejamento estratégico da empresa. Existe um indicador específico da empresa que foi utilizado para mensurar as melhorias dos efeitos das ações do projeto. Esse indicador relaciona o percentual de peças defeituosa (SCRAP) com o percentual de vendas da empresa, ou seja, é o valor em R\$ de peças descartadas sobre o valor em R\$ do faturamento da empresa. Como a redução do indicador (SCRAP x VENDAS) poderia ser obtida com a redução do SCRAP (numerador) ou com o aumento das vendas (denominador), mas como o aumento do faturamento da empresa é algo que está ligado ao aumento da venda de carros no mercado, este depende do cenário econômico do Brasil e dos países, ou seja, é algo que não dependia da empresa e das pessoas envolvidas na gestão dos processos, então focamos apenas na redução do SCRAP.

O método de pesquisa que foi escolhido para este trabalho foi o estudo de caso, onde foram utilizados os conceitos da filosofia do *Lean Manufacturing* e do Seis Sigma para as soluções dos problemas da empresa no que diz respeito ao desperdício por peças defeituosas (SCRAP). A temática estava alinhada ao plano estratégico do negócio e ao modelo de excelência operacional da empresa, com isso teve grande impacto e relevância para a empresa. Sendo assim, aplicamos a metodologia DMAIC a fim de atingir a eficiência de classe mundial, facilitando o mapeamento dos processos, a estratificação dos dados, a identificação das prováveis causas raízes visando gerar soluções para os problemas específicos da organização e a redução dos desperdícios por defeitos (SCRAP).

Na etapa do *Define* identificamos o real problema da empresa, definimos qual seria o escopo e a área da atuação do trabalho. Conseguimos relacionar o desperdício de peças defeituosas com um indicador já existente na empresa e com isso, mensurar o impacto para o negócio. Através dos dados gerais, foi possível identificar que a área da pintura era a que tinha o maior custo em R\$ com o desperdício de peças, representando 34,7% de todo valor

gasto com SCRAP. A partir da estratificação e análise do histórico do problema da pintura, verificou-se que existiam oportunidades de melhorias na linha de pintura para reduzir a geração de peças defeituosas e consequentemente reduzir o percentual de SCRAP que estava em 6,73%.

Após as análises iniciais e conhecimento real dos problemas da empresa relacionados aos desperdícios, foram estipuladas metas para trabalho. Essas metas foram elaboradas para mensurar os resultados da aplicabilidade da metodologia do DMAIC, alinhados ao planejamento estratégico da empresa. A meta primária foi definida a partir da análise do desempenho do indicador da empresa SCRAP x VENDAS e foi estabelecida com o objetivo de reduzir o valor de 1,77% para 1,40%. A meta secundária surgiu diante da necessidade de desenvolver ações de melhorias nos processos da pintura, visando a redução do desperdício peças defeituosas (SCRAP), sendo assim, foi estipulada uma redução de 6,73% para 5,00%.

Na etapa do *Measure* foram realizadas as coletas dos dados e das informações sobre o processo da pintura, com o intuito de analisar e estratificar os dados do SCRAP separados das cabines NT1 e NT2, para que fossem identificadas as causas que mais impactam nesse problema. A NT1 possuía o valor da média do SCRAP de 6,92% e sua amplitude móvel dos dados era de 1,06%. Comparando os dados da NT2 em relação a NT1, observamos que a NT2 possui uma média de SCRAP um pouco menor com 6,55% e uma amplitude móvel maior com 1,55%, indicando uma maior variação nos resultados do SCRAP.

Estratificando ainda mais os dados da NT1 e NT2 chegamos aos resultados das peças que mais impactavam no SCRAP e os defeitos de pinturas que mais contribuíam para os desperdícios das peças. Entretanto, era imprescindível considerar o custo destas peças e o impacto financeiro nos resultados, sendo assim, realizamos um refinamento das informações e incluímos a relação do custo por peça, com a finalidade de identificar quais eram os componentes que apresentavam maiores custos e impactavam diretamente na qualidade. Com isso, identificamos que as 3 peças com maiores impactos no custo do desperdício na cabine NT1 eram as F, C e J e na cabine NT2 eram as B, F e M.

Posteriormente foram identificados quais eram os defeitos de pintura que mais geravam problemas de qualidade nas novas peças. Para a NT1, os maiores defeitos identificados foram IMPUREZA, ESCORRIDO DE BASE e BATIDA, representando 41% dos problemas nas peças F, C e J. Já na cabine NT2, os 3 maiores defeitos de pintura foram IMPUREZA, BATIDA e DANOS DO CARREGAMENTO; estes 3 defeitos somados representavam 39% de todos os problemas nas peças B, F e M. A partir desses dados foram

criadas metas específicas para cada cabine de pintura considerando o impacto individual de cada, cujo objetivo era a redução de 30% da média dos custos com SCRAP para a NT1 e para a NT2 era a redução de 20% na média dos custos.

Seguindo para a etapa *Analyse*, cada defeito apresentado foi analisado individualmente para auxiliar nas investigações e com a ajuda do mapa do processo em paralelo a um *Brainstorming*, foram identificadas possíveis variáveis da cabine e do processo de pintura que poderiam ser as possíveis causas da existência dos defeitos. Utilizamos um diagrama de causa e efeito para organizar as informações e buscar a identificação dessas possíveis causas, no intuito de gerar as ações e focarmos nas soluções desses defeitos.

Com o resultado das possíveis causas potenciais que seriam responsáveis pelos defeitos das peças que tinham os maiores impactos financeiro no SCRAP da pintura, passamos para a etapa do *Improve*. Com a ajuda de uma matriz de priorização classificamos e ordenamos as possíveis causas raízes com maior importância, levando em consideração os conceitos de *trade-off* e os critérios de IMPACTO NO RESULTADO (peso 10), CUSTO BAIXO (peso 8), AÇÃO RÁPIDA (peso 6) e URGÊNCIA (peso 4), para priorizar as causas com maior relevância para o trabalho. A partir das principais causas potenciais que foram priorizadas, foi realizado um desmembramento para avaliar as correlações entre as causas e os principais defeitos, foram criadas estratégias e ações para as soluções das causas potenciais necessárias para reduzir os defeitos. Após as execuções e implementações das atividades, foram coletadas novas evidências para avaliar todas as melhorias, verificar os impactos no processo e comparar todas as mudanças que foram realizadas.

Na quinta e última etapa da metodologia do DMAIC, O *Control*, foram analisados todos os resultados e os desempenhos das ações que foram implementadas no processo da pintura para verificar se os objetivos foram atingidos. As metas específicas foram criadas individualmente para cada cabine, levando em consideração o impacto financeiro do SCRAP e a contribuição que cada cabine representava no alcance do resultado da empresa. A meta específica para a NT1 era reduzir em 30% a média dos custos com SCRAP (R\$) e o resultado no final do trabalho foi uma redução de 33,7%. Para a NT2, a meta específica era reduzir em 20% e foi obtido uma redução de 25,3%.

Para se atingir o objetivo principal que era a redução do indicador de SCRAP x VENDAS, foram desenvolvidas ações de melhorias nos processos da empresa, visando gerar ações para a redução do desperdício com peças defeituosas (SCRAP), foi quando surgiu a necessidade da meta secundária cujo objetivo era uma redução de 6,73% para 5,00% do

SCRAP nas linhas de pintura da empresa e após a implementação das ações de melhoria, o resultado do SCRAP foi reduzido para 4,97%.

Como a empresa tinha um alto índice de peças defeituosa (SCRAP) em todos os seus processos e tinha como objetivo a redução do indicador de SCRAP x VENDAS alinhado com o Plano de Melhoria da Planta ou PIP (*Plant Improvement Plan*), a meta primária ou principal deste trabalho foi reduzir o indicador de SCRAP x VENDAS de 1,77% para 1,40%, porém após todas as ações realizadas, houve uma superação da meta estabelecida inicialmente, com a redução do indicador para 1,38%.

Com a implantação da metodologia DMAIC e os resultados obtidos, podemos ainda destacar aos ganhos com a redução dos impactos ambientais, onde não foram levantados dados nesse trabalho, mas não se pode deixar de ser citado. Com redução do desperdício pelo descarte de peças, garantimos também a redução de descarte de plásticos, menor consumo de energias, menores emissões de particulados, solventes e CO₂ provenientes da pintura, redução do consumo de água, redução do volume de tratamento de efluentes e geração de borras de tintas, entre outros.

Além disso, destaco os ganhos gerados para sociedade como a replicação da implantação da metodologia deste trabalho em outros setores que buscam a melhoria contínua e como fonte de estudo para auxiliar na capacitação de pessoas.

Diante de todos os resultados demonstrados, podemos concluir que obtivemos sucesso em todos os objetivos do projeto que visavam a redução do desperdício (SCRAP) na empresa, com a ajuda da utilização da metodologia DMAIC para a identificação dos problemas, estratificação dos dados e na geração de ações que realmente tiveram impactos relevantes para a solução desse problema. Além dos ganhos econômicos com a redução dos desperdícios de peças, tivemos vários outros que não foram mensurados, tais como: ganhos ambientais provenientes da redução de resíduos, redução de horas extras e relocação de trabalhadores, quebra de paradigmas, disponibilidade de máquinas para novos projetos, menor depreciação de equipamentos, redução de consumo de energia e matéria prima, padronizações de atividades e processos, entre outros.

5.1 LIMITAÇÕES E DIFICULDADES DO TRABALHO

As dificuldades foram surgindo de acordo com o desenvolvimento deste trabalho e à medida em que suas ações foram sendo realizadas. Com isso, também tivemos o surgimento de algumas limitações que foram sendo minimizadas e superadas no decorrer das atividades.

Inicialmente tivemos a dificuldade para quebrar paradigmas no que se diz respeito aos processos, na execução das atividades e rotinas operacionais. Diante dos resultados e das estratificações dos dados, conseguimos demonstrar realmente quais seriam as melhorias as mais eficientes e eficazes para as linhas de pinturas, deixando de lado a desculpa de “sempre foi feito assim”.

A limitação e a até mesmo a falta de recursos financeiros para a implantação de ações estruturais e de melhorias nas linhas de pinturas também foram impactantes para este trabalho. Como solução para driblar essa limitação, utilizamos o custo (R\$) como critério de priorização para classificar e ordenar as possíveis causas raízes, bem como foram utilizados os conceitos de trade-off para avaliar o que seria de grande relevância para as tomadas de decisões.

É importante ressaltar todos os impactos que a crise mundial de saúde relacionada com a pandemia, devido ao vírus do COVID-19, trouxe para todas as instituições. Em atendimento às exigências e normas sanitárias da Organização Mundial de Saúde e dos órgãos nacionais de saúde, várias ações foram realizadas para minimizar as contaminações entre os funcionários da empresa. Com isso, tivemos algumas dificuldades para coletar dados, promover as reuniões para discussões do problema e treinamentos. Diante desse cenário, tivemos algumas limitações nas implantações das ações de melhoria, o que gerou atrasos na conclusão deste trabalho.

5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Diante dos resultados satisfatórios obtidos com a utilização da metodologia DMAIC, através das análises dos dados e suas estratificações, foram elaboradas ações para solucionar as causas principais que contribuíam para o problema de desperdício com peças defeituosas (SCRAP) na fábrica de componentes automotivos, situada no *Supplier Park* da montadora de carros.

Há várias formas de desperdício existentes em outros modelos e tipos de manufaturas que desencadeiam uma série de eventos, gerando impactos nos custos financeiros e operacionais das empresas. Desta forma, percebemos a relevância e importância de ações estruturadas que visam a redução desses desperdícios.

Com isso, recomendamos a transferência e multiplicação dos conhecimentos obtidos através desta pesquisa, a serem utilizados futuramente em outros setores da empresa, por profissionais que buscam a eficácia operacional e demais organizações que almejam a melhoria contínua dos seus processos, a fim de atingir a excelência em suas atividades.

O modelo de referência pode ser usado para criar uma cultura que deve ser difundida para todos os funcionários da organização e que esteja engajada na implementação do programa Seis Sigma (ANTONY, 2004).

Além disso, uma vez que a capacidade criativa e a motivação das pessoas são ativos valiosos para qualquer organização, podendo em alguns aspectos serem considerados parte integral da tecnologia da empresa, o investimento na formação e capacitação das pessoas se reverte num incremento ao capital intelectual (VALLE, 1996; EDVINSSON, 1998; SULLIVAN, 1999).

De fato, a essência da melhoria contínua está no conhecimento que a organização tem sobre o que é necessário melhorar, bem como sobre os indicadores financeiros e não financeiros que refletem o desempenho organizacional (NEELY, 1998; 1999).

REFERÊNCIAS

- AIRES, R. W. A.; FREIRE, P. S.; SOUZA, J. A. Educação Corporativa como ferramenta para estimular a inovação nas organizações: uma revisão de literatura. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DO CONHECIMENTO - KM BRASIL*, 13., 2016, São Paulo. **Anais [...]** São Paulo: SBGC, 2016. p. 5-13.
- AIRES, R. W. do A.; MOREIRA, F. K.; & Freire, P. de S. (2018). Indústria 4.0: desafios e tendências para a gestão do conhecimento. **Revista E-Tech: tecnologias para competitividade industrial**, v. 11, 2018, p. 67–87.
- ANFAVEA. Dados estatísticos. 2021. Disponível em: <https://anfavea.com.br/site/edicoes-em-excel/> >. Acesso em: 02 de dezembro de 2021.
- ANTONY, J. Some pros and cons of six sigma: an academic perspective. **The TQM Magazine**, v.16, n.4, 2004, p.303-306.
- ARNHEITER, E.; MALEYEFF, J. The integration of lean management and six sigma. **The TQM Magazine**, v.17, 2005, p. 5-18.
- ATKINSON, P.; MUKAETOVA-LANDINSKA, E. B. Nurse-led liaison mental health Service for older adults: service development using lean thinking methodology. **Journal of psychosomatic research**, 72(4), p.328–31.
- BALAMURUGAN, R. et al. Implementation of lean tools and techniques in a connecting rod manufacturing industry. **Materials today: Proceedings**, v. 33, Part 7, 2020, p. 3108-3113.
- BARBOSA, H. B. M. **Implementação de um fluxo “Pull” no fabrico e abastecimento de acessórios na Bi-Silque – Produtos de comunicação Visual S.A.** 2012. 56 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2012.
- BROWNING, T. R.; HEATH, R.D. Reconceptualizing the effects of lean on production costs with evidence from the F-22 program. **Journal of Operations Management**, 27(1), 2009, p. 23–44.
- CARVALHO, M. M.; PALADINI, E. P. **Gestão da qualidade: teoria e casos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.
- CARVALHO, P. R. W. **Controle de qualidade na pintura industrial**. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.
- CASOTTI, B.P.; GOLDENSTEIN, M. **Panorama do setor automotivo: as mudanças estruturais da indústria e as perspectivas para o Brasil**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 28, p.147-188, set. 2008.
- COSTA, I. **Gestão por processos e a sua utilização na medição de desempenho**. 2010. Monografia (Graduação em Ciências Econômicas). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.
- CORONADO, R. B.; ANTONY, J. Critical success factors for the successful implementation of six sigma projects in organisations. **The TQM Magazine**, v.14, n.2, 2002, p. 92-99.

DENNIS, P. **Produção lean simplificada: Um guia para entender o sistema de produção mais poderoso do mundo. 2 ed.** Porto Alegre: Bookman, 2008.

DOMINGUES, J. P. D. **Aplicação de ferramentas lean e seis sigma numa indústria de sistemas de fixação.** 2013. 159 f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial). Universidade Nova Lisboa, Nova Lisboa, 2013.

EDVINSSON, L.; MALONE, M. S. **Capital intelectual.** São Paulo: Makron Books, 1998.

ESMEMR, S.; CETI, I.B.; TUNA, O. A Simulation for Optimum Terminal Truck Number in a Turkish Port Based on Lean and Green Concept. **The Asian Journal of Shipping and Logistics**, 26(2), 2010, p.277–296.

FAZENDA, J. M. R. **Tintas e vernizes: ciência e tecnologia** (3. ed.). São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

FCA. Painei de notícias corporativas. 2021. Disponível em: https://www.fcagroup.com/en-US/media_center/insights/Pages/pernambuco_brazil.aspx#. Acesso em: 08 de dezembro de 2021.

FENABRAVE. Emplacamento de veículos novos. 2020. Disponível em: <http://www.fenabreve.org.br/portalv2/Conteudo/Emplacamentos>. Acesso em: 15 de dezembro de 2021.

FERRAZ, J. C.; KUPFER, D.; HAGUENAUER, L. **Made in Brazil: desafios competitivos para a indústria.** Rio de Janeiro: Campus, 1996.

FONTE, M. O. A. **O Lean Sigma Aplicado a uma Industria Automobilística.** 2008. 51 f. Monografia (Graduação em engenharia de produção). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2008.

GARCIA, E.; GARCIA, O. P. A importância do sistema de informação gerencial para a gestão empresarial. **Revista Ciências Sociais em Perspectiva, do Centro de Ciências Sociais Aplicadas de Cascavel**, v.2, n.1, 2003, p. 21-32.

HINES, P.; TAYLOR, D. **Going Lean. 1 ed.** Cardiff: Lean Enterprise Research Center, 2000.

KAMP, B.; OCHOA, A.; DIAZ, J. Smart servitization within the contexto of industrial user–supplier relationships: contingencies according to a machine tool manufacturer. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)**, v. 11, n. 3, 2017, p. 651-663.

KURT MOLDNER, A. et al. Exploring lean manufacturing practices' influence on process innovation performance. **Journal of Business Research**, v. 106, 2020, p. 233-249.

KWAK, Y. H.; ANBARI, F. T. **Benefits, obstacles, and future of six sigma approach.** Technovation, Essex, England, v.26, n.5-6, p.708-715, 2006.

LIKER, J. K. **O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo.** Porto Alegre: Bookman, 2008.

LIKER, J. K. **The Toyota Way: 14 management Principles from the world's greatest manufacturer.** New Jersey. Macgraw-Hill. 2014.

LAGANGA, L.R. Lean service operations: Reflections and new directions for capacity expansion in outpatient clinics. **Journal of Operations Management**, 29(5), 2011, p.422–433.

LUTOSA, L. et al. **Planejamento e Controle da Produção**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

LUZ, D. F. **Sistema corporativo de produção: um estudo de caso do sistema produtivo da general motors, utilizando as dimensões competitivas**. 2011. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2011.

MACEDO, M.; POSSAMAI, E. Impactos da implementação do *Lean manufacturing* na obtenção de vantagem competitiva: um estudo de casos múltiplos. **Revista Gestão Industrial**, v. 9, 2013, p.366–391.

MARQUES, J. M. **Produtividade: alavanca para a competitividade**. 1 ed. São Paulo: Edicon, 1995.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA. Setor automotivo. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/produtividade-e-comercio-exterior/pt-br/assuntos/competitividade-industrial/setor-automotivo>. Acesso em: 02 de dezembro de 2021.

NEELY, A. D. **Measuring business performance**. London: Economist Books, 1998.

NEELY, A. D. The performance measurement revolution: why now and what next? **International Journal of Operations & Production Management**, v.19, n.2, 1999, p. 205-228.

NOVO VAREJO. A configuração do setor automotivo no Brasil. 2020. Disponível em: <https://novovarejo.com.br/a-configuracao-do-setor-automotivo-no-brasil/>. Acesso em: 20 de setembro de 2021.

OHNO, T. **O sistema Toyota de produção: Além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman. 1997

OLIVEIRA, B. J.; FERREIRA, R. J. P. **Controle de processo com a metodologia DMAIC e seis sigma para a diminuição das variações nos testes de lavabilidade entre lotes de tintas látex**. XXVIII Simpósio de Engenharia de produção. Campus da UNESP. São Paulo. 2021.

ORTIZ, C. A. **Kaizen assembly: designing, constructing, and managing a lean assembly line**. New York: CRC Press, Taylor & Francis Group. 2006.

PALANGE, A.; DHATRAK, P. Lean manufacturing a vital tool to enhance productivity in manufacturing. **Materials today: Proceedings**, v. 46, Part 1, 2021, p. 729-736.

PEREIRA, R; MISAGHI, M.; HURTADO, A. Estudo comparativo entre o *lean manufacturing* versus a produção limpa. **Coletânea Brasileira de Engenharia de Produção** 5. p.191-213, 2019.

PIEROZAN, L. **Estabilização de processos: um estudo de caso no setor de pintura automotiva**. 2001. 421 f. Dissertação (Mestrado em engenharia de produção). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2001.

PORTO DO RECIFE. Arquivo de notícias. 2015. Disponível em: <https://www.portodorecife.pe.gov.br/noticia-int.php?id=pernambuco-e-o-novo-endereco-da-industria-automotiva-mundial>. Acesso em: 21 de julho de 2021.

PRANAVI, V.; UMASANKAR, V. Application of Six Sigma approach on hood outer panel to reduce the defect in painting peel off. **Materials Today: Proceedings**, v. 46, Part 2, 2021, p. 1269-1276.

REIS, M. S. **Estatística para a melhoria de processos: a perspectiva seis sigma**. Imprensa da Universidade de Coimbra. Coimbra: University Press, 2016.

RIBEIRO, J. L. D.; CATEN, C. S. **Cartas de Controle para Variáveis, Cartas de Controle para Atributos, Função de Perda Quadrática, Análise de Sistemas de Medição**. 2012. 172 f. Dissertação (Mestrado em engenharia de produção). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

RIFQI, H.; ZAMMA, A.; BEM SOUDA, S.; HANSALI, M. Lean Manufacturing Implementation through DMAIC Approach: **A Case Study in the Automotive Industry**. **Quality Innovation Prosperity**, 25(2), p. 54–77, 2021.

ROESCH, S. M. **Projetos de estágio e de pesquisa em administração: guia para estágios, trabalhos de conclusão, dissertações e estudos de caso**. São Paulo: Atlas, 2009.

SANTOS, A. B.; MARTINS, M. F. **Modelo de referência para estruturar o Seis Sigma nas organizações**. *Gest. Prod.*, São Carlos, v. 15, n. 1, p. 43-56, 2008.

SATOLO, E. G. et al. **Análise da utilização de técnicas e ferramentas no programa Seis Sigma a partir de um levantamento tipo survey**. *Produção*, v. 19, n. 2, p. 400-416, 2009.

SOUZA, B.; SANTOS, A. P. L.; FILHO, M. L. S. **Uso do projeto robusto para identificação de fatores que contribuem para a intensidade do aspecto de “casca de laranja” em superfície de para-choques pintados**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

STAATS, B.R.; BRUMMER, D. J.; UPTON, D.M. Lean principles, learning, and knowledge work: Evidence from a software services provider. **Journal of Operations Management**, 29(5), 2011, p. 376–390.

SCHWAB, K. **A Quarta Revolução Industrial**. São Paulo: Edipro, 2016.

SRINIVASAN, K. et al. Reduction of Paint line Defects in Shock Absorber Through Six Sigma DMAIC Phases. **Procedia Engineering**, v. 97, 2014, p. 1755-1764.

SULLIVAN, P. H. Profiting from intellectual capital. **Journal of Knowledge Management**, v.3, n.2, 1999, p.132-142.

VALLE, B. M. Tecnologia da informação no contexto organizacional. **Ciência da Informação, Brasília**, v. 25, n.1, p. 7-11, 1996.

WERKEMA, C. **Criando a cultura lean seis sigma**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A Mentalidade Enxuta nas Empresas: elimine o desperdício e crie riqueza**. 8ª ed. Rio de Janeiro: Campus, 2004.

XIE, X. et al. How does knowledge inertia affect firms product innovation? **Journal of Business Research**, V. 69, n 5, 2016, p. 1615-1620.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos. 2. ed.** Porto Alegre: Bookman, 2001.

ZAWISLAK, P. A. et al. Towards the innovation function. **Journal of Technology Management & Innovation**, V. 3, n 4, 2008, p. 17-30.