

IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA DMAIC DEFINIR E MEDIR PARA A OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE PINTURA DE ELETROFORESE AUTOMOTIVA

Matheus Costa Pereira^a, Pedro José Papandréa^{b*}

^a Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI, Itajubá - MG

^b Centro Universitário UNA (UNA), Pouso Alegre - MG

RESUMO

Este artigo aborda o processo de pintura automotiva de Eletroforese, também conhecido como E-coat, e a aplicação das metodologias Seis Sigma e DMAIC Definir e Medir para a melhoria contínua desse processo. A eletroforese é um procedimento anticorrosivo que utiliza a imersão da peça em tanques com tinta carregada eletricamente, proporcionando proteção contra corrosão e uma aparência estética atraente. A implementação do Seis sigma, aliada a uma base de dados confiáveis, é essencial para promover melhorias e reduzir custos no processo de pintura. O DMAIC, uma etapa do Seis sigma, fornece uma estrutura orientada a resultados para identificar problemas e buscar a melhoria contínua. Este estudo identificou o defeito de sujidade como um desafio constante no processo de E-coat e, por meio do DMAIC, foram propostas ações de melhoria para reduzir sua ocorrência. Espera-se que a implementação dessas melhorias aumente a qualidade do processo de pintura automotiva, atendendo aos requisitos da indústria e garantindo a satisfação dos clientes.

PALAVRAS-CHAVE:

E-coat;
Eletroforese;
Pintura automotiva;
DMAIC.

INTRODUÇÃO

O processo de pintura automotiva é composto basicamente por: Eletroforese, Surface, Primer e Verniz. Neste trabalho, os esforços foram concentrados no processo de Eletroforese, também conhecido como E-coat, por ser um procedimento anticorrosivo realizado por meio da imersão da peça em tanques, seguido de processos de pré-tratamento, banho, lavagem e cura (Neto et al., 2018). De acordo com Pedro et al. (2019), o processo de E-coat é dividido em 9 estágios, que incluem etapas como desengraxe, lavagem, fosfatização, passivação, entre outras.

O E-coat também conhecido como revestimento eletroforético, é um método utilizado na indústria para proteger superfícies metálicas através da aplicação de uma camada de tinta. Durante o processo, a peça a ser revestida é imersa em um tanque contendo uma tinta com partículas eletricamente carregadas. Através da aplicação de corrente elétrica no tanque, as partículas de tinta são atraídas para a superfície da peça, aderindo e se depositando uniformemente. Após a aplicação, a peça é removida do tanque e passa por um processo de cura, permitindo que o revestimento seque e se fixe adequadamente. Esse método utilizado no trabalho proporciona proteção contra corrosão e oferece uma aparência estética atraente para as superfícies metálicas.

A implementação do processo de Seis sigma, com uma base de dados confiáveis para estudo, representa melhorias contínuas para o processo de pintura. É importante ter um controle analítico eficiente, uma vez que podem ocorrer falhas que passam despercebidas sem esse controle.

*Autor para correspondência:
Pedro José Papandréa
e-mail: pedro.papandrea@unifal-mg.edu.br

Segundo Truscott (2012), o Seis sigma consiste em estabelecer benchmarks de desempenho de negócios, fornece uma estrutura organizacional e definir um roteiro para sua implementação. Pfeifer, Reissiger e Canales (2004) afirmam que o Seis sigma pode ser aplicado em qualquer empresa, desde que seja feito de maneira estruturada, levando em consideração todos os aspectos importantes para os negócios e seguindo rigorosamente suas etapas.

Lynch, Bertolino e Cloutier (2003) destacam que o processo DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) deve abordar um problema de desempenho, ter objetivos claros e precisos com dados mensuráveis, além de acompanhar o processo e obter benefícios mensuráveis. Krishan e Prasath (2013) mencionam que, embora o DMAIC possa parecer linear, à medida que avança pelas fases, pode-se perceber a necessidade de coleta de mais dados, o que pode exigir um retorno à etapa de análise e o uso de outras ferramentas e técnicas.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada neste trabalho é classificada como pesquisa aplicada, pois tem como objetivo resolver um problema específico em um ambiente industrial (Kothari, 2004). Quanto à abordagem, foram empregadas tanto técnicas quantitativas quanto qualitativas. A abordagem quantitativa baseia-se na medição de valores ou quantidades, em que os fenômenos são expressos em termos numéricos. Por outro lado, a abordagem qualitativa está relacionada à qualidade ou natureza dos fenômenos em estudo (Kothari, 2004).

Em relação ao procedimento adotado, foi utilizado o método de pesquisa-ação. Esse método combina teoria e prática, envolvendo uma reflexão contínua e um processo iterativo entre pesquisadores e profissionais para promover mudanças e melhorias na situação investigada (Avison et al., 1999). A abordagem do DMAIC aplicada foi Definir e Medir.

O processo de eletroforese, também conhecido como E-coat, ETL, Ed-coat e electrodeposition paint (ELPO), é um procedimento de pintura industrial utilizado para proteger peças metálicas contra corrosão. Consiste na imersão das peças em tanques contendo a tinta aplicada, e durante esse processo ocorrem fenômenos como eletrólise, eletroforese, eletrocoagulação e eletro endosse. A pintura eletroforética é um processo complexo que envolve diversos estágios e consome muita energia. Cada camada de pintura é aplicada separadamente, mas todas trabalham em conjunto para atender aos requisitos necessários (SALIHOGU; SALIHOGU, 2016).

Após a aplicação do processo de eletroforese, é necessária a lavagem das peças para remover os resíduos de tinta não depositada da superfície do material. Os métodos modernos de pintura incluem etapas de pré-tratamento, eletrodeposição, aplicação de selante anticorrosão, aplicação de primer e, por fim, o acabamento (AKAFUAH et al., 2016).

De acordo com Êgea, Primolini e Da Maia (2018), a pintura por eletroforese atende aos requisitos de resistência à corrosão exigidos pela indústria automotiva, graças às etapas de limpeza que removem impurezas e garantem alta qualidade do processo.

O sistema de pintura por eletroforese é dividido em etapas de pré-tratamento e secagem, que incluem pré-tratamento, anodos, spray de borda, tanque de anolito, squid de filtração e refrigeração, chiller/termochiller e tanques de pintura E-coat e ultrafiltração. Conforme descrito por Neto et al. (2018), a alta qualidade da pintura KTL é garantida por meio do tratamento da superfície com agentes anticorrosivos e o processo é composto por etapas de pré-tratamento, banho, lavagem e cura. Uma representação visual desse processo pode ser vista na Figura 1.

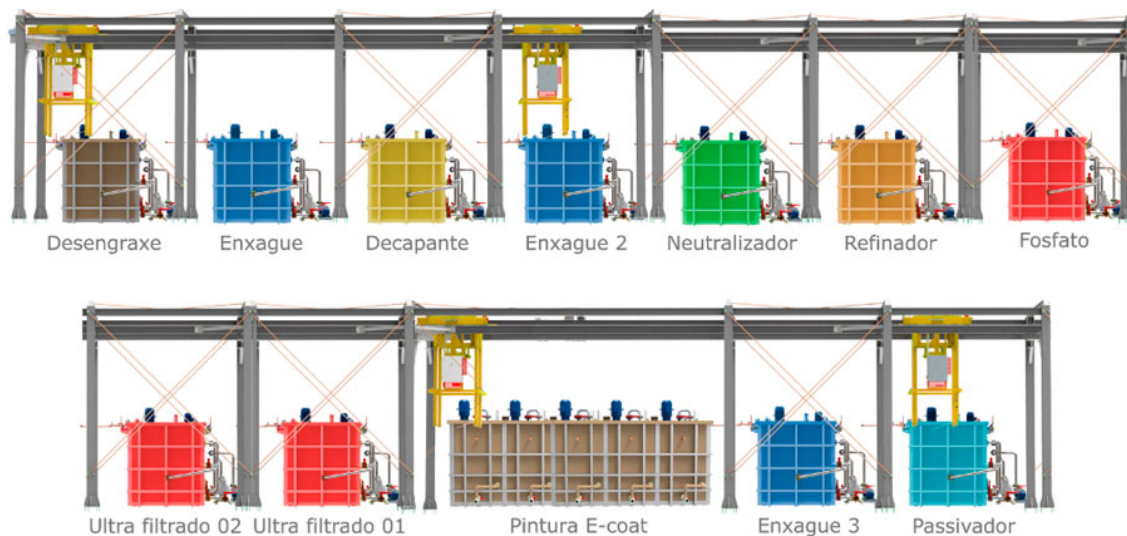


Figura 1 – Sistemas de pintura (Erzinger, 2023)

Devido à importância do controle analítico neste processo, em que a qualidade e o custo final estão diretamente relacionados ao revestimento e aos procedimentos controlados pelos técnicos, a implementação do Seis sigma é essencial. Conforme Geffen e Rothenberg (2000), a operação de pintura é geralmente a principal fonte de resíduos perigosos gerados por empresas automotivas. Segundo Silva et al. (2012), o processo de eletroforese inicia-se com o banho de tinta, seguido por estágios de enxágue reverso, que garantem a recuperação da tinta não aglutinada nas peças. A tinta E-coat deve atender a requisitos básicos nos processos de pintura industrial, tais como alta qualidade, boa aparência estética, reprodutibilidade, máxima economia e danos mínimos ao meio ambiente, evitando a emissão de resíduos na atmosfera ou na água.

A Engenharia de Eletrodeposição é composta pelas seguintes etapas: sistema de transporte, pré-tratamento, tanque de tinta E-coat, zona de enxágue e estufa. O processo apresenta vários benefícios, incluindo baixo risco de incêndio e explosão, baixa emissão de compostos orgânicos voláteis (VOC) e ausência de descartes perigosos. Há também esforços para reduzir as emissões de VOC das operações de pintura automotiva, como limitar o uso de tintas à base de água e em pó, conforme estabelecido pelo United States Council for Automotive Research (USCAR) (KIM, 2011).

Além disso, o processo de E-coat é caracterizado por ter um custo efetivo elevado, ser totalmente automatizado, ter alta produtividade, permitir a aplicação eficiente da tinta e a pintura de peças de diferentes tamanhos e formatos. Ele também oferece alta penetração da tinta e não apresenta escorrimento, gotas ou cortinas indesejadas.

A sujidade é um desafio constante na operação de pintura, pois gera um grande número de rejeições e retrabalhos ao final da linha de produção. Por essa razão, é fundamental buscar a redução desse "inimigo" da pintura.

Atualmente, a sujidade representa o maior problema de qualidade nos veículos automotivos, correspondendo a aproximadamente 36,00% do número total de defeitos encontrados nos automóveis produzidos (FERNANDES; LEPIKSON; LEITE, 2020). Embora os erros de aplicação possam se assemelhar à sujidade, eles são diferentes em natureza, pois resultam de falhas no processo de pintura (HAMZAH et al., 2022).

O Seis sigma é amplamente utilizado na área da qualidade para implementar melhorias nos processos de negócio. Esse conceito auxilia no aprimoramento da organização, contribuindo para o aumento do valor tanto para o cliente quanto para a empresa como um todo. O Seis sigma baseia-se no uso de dados matemáticos e estatísticos para identificar falhas nos processos e desenvolver soluções. A utilização dessa metodologia envolve técnicas estatísticas (BAÑUELAS; ANTONY, 2002).

Conforme destacado por Truscott (2012), o sucesso do Seis sigma depende de liderança e administração conscientes, equipes treinadas e uma metodologia estruturada e eficiente, visando a melhoria contínua no longo prazo. O aprimoramento dos processos deve ser buscado de forma contínua, garantindo eficiência e redução da variabilidade (BAÑUELAS; ANTONY, 2004).

Os principais objetivos da aplicação do Seis sigma são a redução de custos, o aprimoramento de produtos e processos, bem como a satisfação dos clientes e o fortalecimento da marca. Pande, Neuman e Cavanagh (2007) afirmam que o objetivo é criar uma cultura focada nas necessidades do cliente, com gestores desempenhando um papel ativo e uma taxa mínima de erros.

É essencial que o método seja baseado em dados confiáveis, pois a fórmula estatística do desvio padrão, que indica o grau de variação nos processos e itens, depende desses dados. Para alcançar a excelência, o objetivo é manter uma taxa de defeitos de 3 a 4 por milhão de processos, o que corresponde a uma precisão superior a 99,99%. Se a quantidade de defeitos no produto entregue ao cliente for menor do que o esperado, isso resultará em insatisfação do cliente, enquanto uma quantidade maior de defeitos implicará em prejuízos financeiros para o fabricante. Portanto, a precisão dos dados é de extrema importância, e quanto menor for o desvio padrão, mais próximo o valor estará do esperado.

Para detectar valores discrepantes (outliers), utiliza-se o desvio padrão (ROUSSEEUW; CROUX, 1993), ele é calculado elevando-se a variância ao quadrado, conforme expresso na Equação (1).

$$s^2(D_p) = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (1)$$

Adams, Gupta e Wilson (2007) destacam que, para a aplicação da metodologia, é essencial compreender o desempenho atual e estabelecer metas para a empresa. Nesse contexto, torna-se fundamental avaliar os Custos da Não Qualidade (COPQ, do inglês Cost of Poor Quality).

Torna-se relevante ressaltar que nem sempre as mudanças resultam em melhorias. Portanto, é necessário um planejamento cuidadoso e o uso de métodos e ferramentas adequadas para garantir que as melhorias sigam o caminho planejado. O DMAIC, amplamente conhecido, é um método que se baseia nessa abordagem.

O DMAIC oferece uma estrutura bem definida para a resolução de problemas e a melhoria contínua. Segundo Sokovic, Pavletic e Pipan (2010), o DMAIC é uma extensão essencial do Seis sigma, baseado em uma estrutura orientada a resultados que visa eliminar etapas improdutivas e gerar rendimentos eficientes.

A etapa de "Define" do DMAIC é responsável por avaliar o histórico dos processos e problemas, além de definir a projeção do processo. Nessa fase, o objetivo é estabelecer uma compreensão clara do problema que precisa ser resolvido, identificar as partes interessadas afetadas pela mudança, estabelecer metas específicas e determinar como o problema será solucionado. Também é importante estabelecer a conexão entre o processo e o problema em questão. Algumas técnicas comumente utilizadas nessa etapa incluem: mapa de raciocínio, voz do cliente, escopo de projetos, SIPOC (Supplier, Input, Process, Output, Customer) e Project Charter.

A etapa de "Measure" do DMAIC envolve a medição e análise dos dados para identificar as fontes potenciais do problema estudado. Nessa fase, são utilizadas ferramentas de qualidade para realizar uma análise profunda da base de dados, avaliar a confiabilidade do processo, investigar as variabilidades e entender o estado atual do processo. Algumas das ferramentas comumente utilizadas nessa etapa incluem: mapa de processos, espinha de peixe (diagrama de Ishikawa), matriz causa e efeito, matriz esforço x impacto, estatística descritiva, histograma, boxplot e Pareto. Essas ferramentas auxiliam na compreensão dos dados e na identificação das principais causas do problema em estudo.

Na etapa de "Analyze" do DMAIC, o objetivo é avaliar o processo e seu comportamento atual, buscando identificar as causas raízes do problema em questão. Nessa fase, são utilizadas diversas ferramentas e técnicas de análise para analisar os dados coletados anteriormente. Algumas das ferramentas comumente utilizadas nessa etapa incluem: Failure Mode and Effect Analysis (FMEA); diagrama de dispersão; regressão linear; teses de hipóteses.

Na etapa de "Improve" do DMAIC, o foco é na proposição, teste e execução das melhorias identificadas. Nessa fase, são eliminadas as ações que não agregam valor e são definidas as ações específicas para promover a melhoria do processo. Além disso, é importante avaliar a viabilidade e a exequibilidade das implementações planejadas. Algumas das ferramentas e técnicas comumente utilizadas nessa etapa incluem: diagrama de árvore, matriz de priorização, 5w2h; 5S; Single minute exchange of dies (SMED); Kaizen.

Na etapa de "Control" do DMAIC, o objetivo é monitorar os resultados obtidos após a implementação das melhorias e garantir a sustentabilidade das mudanças realizadas. É importante criar mecanismos de controle e estabelecer métodos para garantir a consistência do processo ao longo do tempo. Algumas das ferramentas e técnicas comumente utilizadas nessa etapa incluem:

cartas de controle, Out of Control Action Plan (OCAP), Standard Operating Procedure (SOP), Poka Yoke.

A empresa em questão possui uma longa história no ramo automotivo, tendo sido fundada em 1951. Sua unidade industrial localizada em Minas Gerais é especializada na produção de cabines pintadas para diversas montadoras, tanto nacionais quanto internacionais. Neste projeto, foi aplicada a metodologia DMAIC, que será descrita nas seções seguintes. O cronograma do projeto é uma parte essencial de todas as fases do DMAIC e está representado na Figura 2, que apresenta a sequência de atividades planejadas. Neste artigo, serão descritas apenas as etapas de Definir e Medir do DMAIC, enquanto as demais etapas serão abordadas em trabalhos futuros.

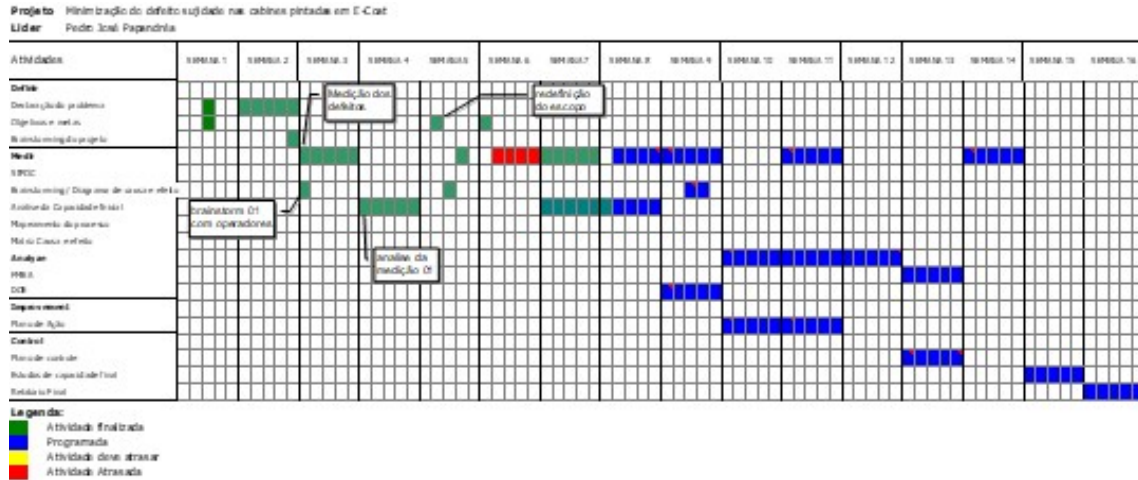


Figura 2 – Cronograma do Projeto

Nesta seção, descreve-se a fase inicial do projeto, que envolve a identificação dos principais problemas relacionados ao retrabalho no processo de pintura de E-Coat. Por meio de sessões de brainstorming, foram levantadas várias possíveis causas que poderiam estar contribuindo para o retrabalho.

Para organizar e visualizar essas causas, utilizou-se o diagrama de Ishikawa, também conhecido como diagrama de espinha de peixe ou diagrama de causa e efeito. Na Figura 3, denominada "Ishikawa do Retrabalho", é apresentado o detalhamento dessas causas e suas conexões com os possíveis geradores dentro do processo.

Yshikawa retrabalho

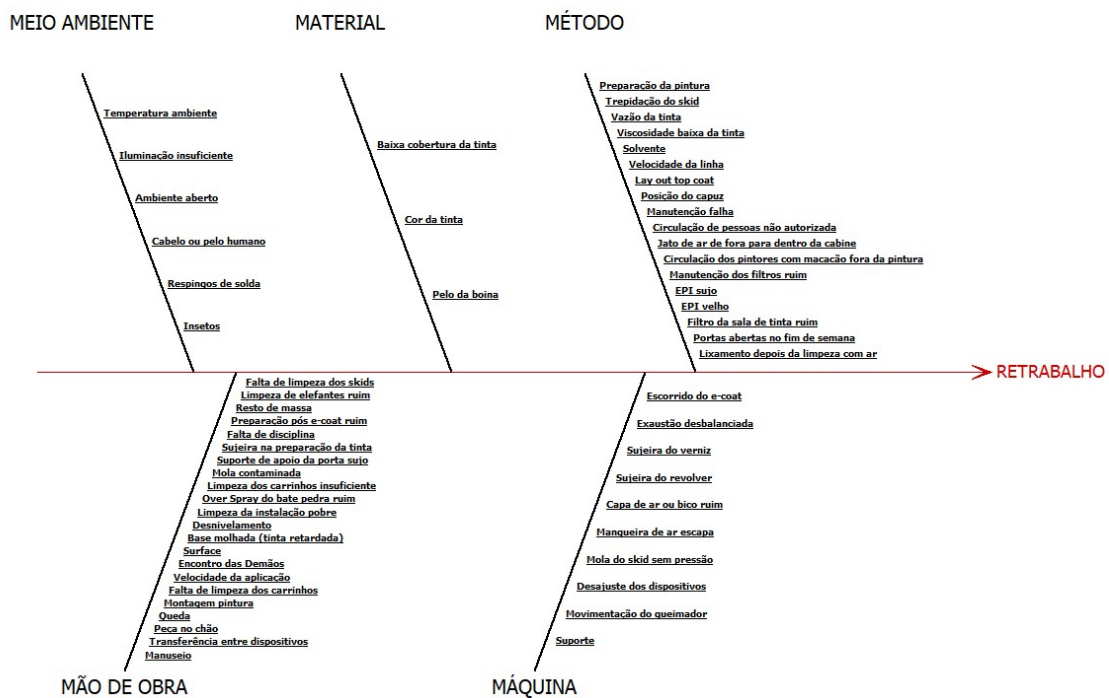


Figura 3 – Yshikawa do Retrabalho

Durante a etapa de medição preliminar, foram realizadas coletas de dados de defeitos no processo de pintura E-Coat em um período de cinco dias úteis, abrangendo os três turnos de funcionamento. Essa coleta de dados foi realizada fora dos parâmetros amostrais adotados pela empresa, visando obter uma visão abrangente e representativa do processo.

Os resultados dessa medição preliminar foram analisados e apresentados na Figura 4, que mostra a quantidade de defeitos por tipo de defeito. Com base nessa análise, foi possível inferir que o maior defeito e causa de retrabalho no setor de E-Coat é a sujeira ou sujidade, que se destaca como o problema mais recorrente no processo de pintura. Esse resultado será utilizado como base para as próximas etapas do projeto, visando encontrar soluções e melhorias para reduzir a ocorrência desse defeito.

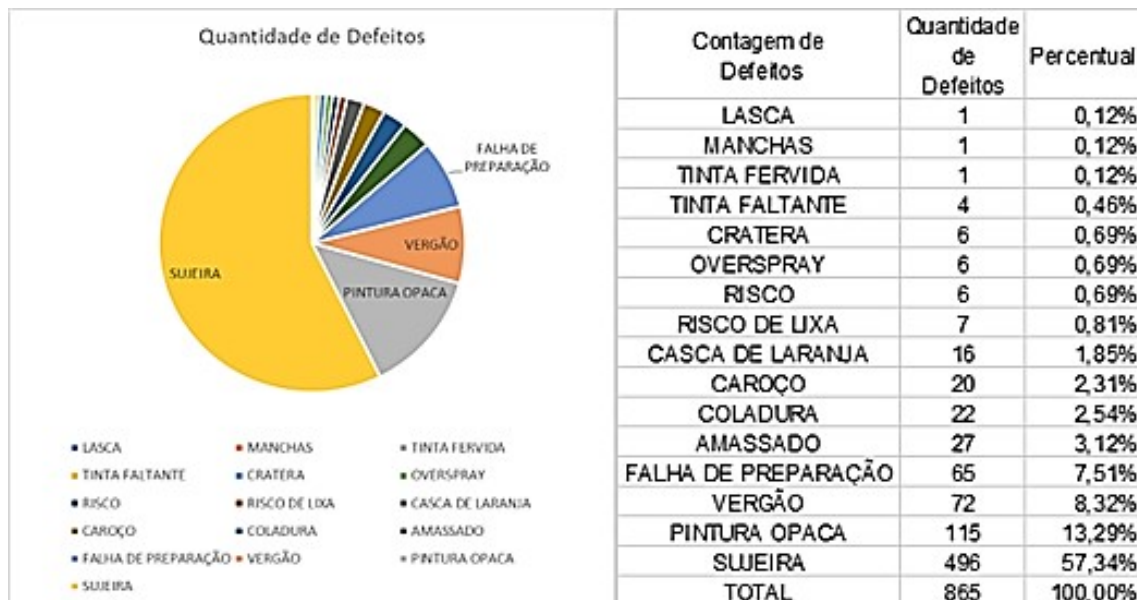


Figura 4 – Quantidade de defeitos medidos por tipo de defeito

A sujeira, também conhecida como sujidade, é um defeito caracterizado por pequenos pontos que se aderem à tinta durante o processo de pintura. Esses pontos formam pequenos nódulos que podem ser facilmente identificados a olho nu. Para possibilitar a visualização desse defeito por meio de uma câmera fotográfica, foi utilizada uma peça pintada com Primer Surface na cor prata, que proporciona um contraste adequado para a detecção da sujidade.

O defeito de sujidade é ilustrado na Figura 5, na qual é possível observar um ponto marcado no centro da imagem. Esse ponto representa a sujeira aderida à tinta, sendo um exemplo visual do defeito em questão. A identificação e análise detalhada dos defeitos, como a sujidade, auxiliam no entendimento das causas e na busca por soluções para reduzir ou eliminar esses problemas no processo de pintura.



Figura 5 – Exemplo do Defeito Sujidade

O objetivo do projeto foi minimizar o defeito alvo sujidade, uma vez que ele foi identificado como o principal problema, representando 57,34% de todas as ocorrências registradas. Para alcançar esse objetivo, é necessário realizar a definição do projeto,

que corresponde à etapa "Define" do DMAIC.

Na fase de definição, são estabelecidos os parâmetros e objetivos do projeto de melhoria, bem como a definição do escopo e dos critérios de sucesso. Nessa etapa, é fundamental identificar claramente o problema, o impacto que ele causa e os objetivos que se pretende alcançar com a implementação das melhorias.

A definição do projeto envolve a compreensão do processo atual, a identificação das partes interessadas e suas necessidades, a definição das metas e dos indicadores de desempenho, bem como a análise dos recursos disponíveis e das restrições existentes. Essa etapa inicial é fundamental para direcionar o projeto, estabelecendo as bases para as próximas fases do DMAIC.

A definição do projeto do defeito sujidade foi baseada no manual da qualidade da empresa, que descreve o defeito como a deposição de partículas acima ou abaixo das camadas de tinta aplicadas sobre a peça. A definição existente no manual contempla todas as ocorrências identificadas nas coletas de dados, portanto não foi necessário fazer alterações. No contexto do DMAIC, a etapa "Definir" pode ser expressa da seguinte forma para esse projeto:

Classificação do projeto: Expansível a outros produtos.

- Voz do cliente (processo interno): Alto índice de retrabalho no processo de pintura E-Coat nas cabines pintadas.
- Definição do defeito: Sujidade é o defeito caracterizado pela deposição de partículas na superfície pintada.
- Objetivo: Redução de 60,00% do retrabalho com sujidades no processo de pintura E-Coat.

A Figura 6 mostra o Gráfico de Pareto, que destaca os principais defeitos identificados até o momento do projeto e evidencia que o defeito sujidade é o mais frequente, seguido pelo defeito de pintura opaca. Essas informações são importantes para direcionar as ações de melhoria e priorizar os esforços na redução do defeito sujidade.

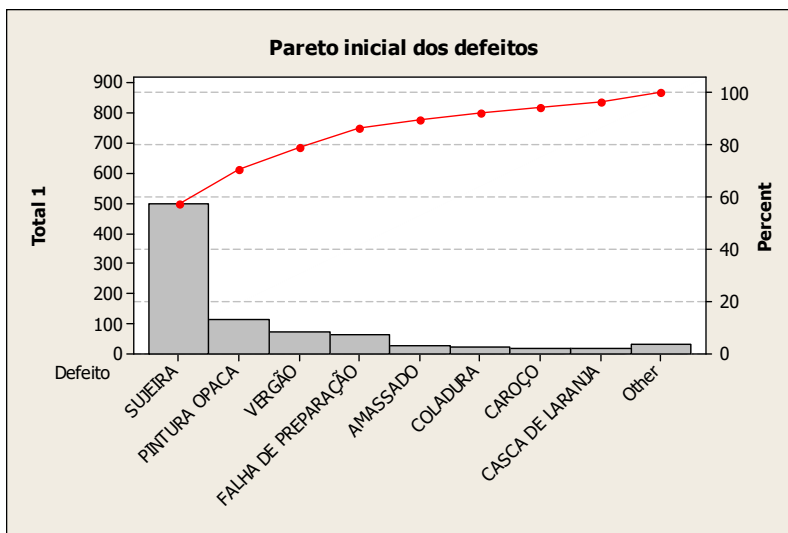
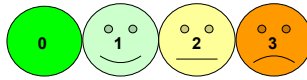


Figura 6 – Gráfico de Pareto com os Defeitos Principais

Para identificar as causas mais prováveis do defeito sujidade, utilizou-se novamente a metodologia de brainstorming. Nessa etapa, foram listadas todas as possíveis causas relatadas pelos especialistas no processo e pelos operadores das linhas de pintura. Foi utilizado o formulário das causas de sujidade, conforme apresentado na Figura 7.

Coloque para cada causa de retrabalho o quanto acha que pode acontecer de acordo com a pontuação abaixo

NUNCA CAUSA	0
PODE CAUSAR	1
CAUSA AS VEZES	2
SEMPRE CAUSA	3



PROBLEMAS QUE GERAM RETRABALHOS NO CAPUZ FORD CARGO					
Causas prováveis de AMASSADOS	NOTA	Causas prováveis de COLADURA	NOTA	Causas prováveis de SUJEIRA	NOTA
Preparação da pintura		Vazão da tinta		Ambiente aberto	
Manuseio		Viscosidade baixa da tinta		Limpeza da instalação pobre	
Suporte		Temperatura ambiente		Circulação de pessoas não autorizada	
Movimentação do queimador		Solvente		Jato de ar de fora para dentro da cabine	
Transferência entre dispositivos		Velocidade da aplicação		Over Spray do bate pedra ruim	
Peça no chão		Velocidade da linha		Lixamento depois da limpeza com ar	
Queda		Lay out top coat		Sujeira do revolver	
Trepidação do skid		Encontro das Demãos		Sujeira do verniz	
Desajuste dos dispositivos		Surface		Circulação dos pintores com macacão fora da pintura	
Montagem pintura		Base molhada (tinta retardada)		Limpeza dos carrinhos insuficiente	
Mola do skid sem pressão		Capa de ar ou bico ruim		Exaustão desbalanceada	
Falta de limpeza dos carrinhos		Baixa cobertura da tinta		Manutenção dos filtros ruim	
Mangueira de ar escapa		Cor da tinta		EPI sujo	
		Iluminação insuficiente		EPI velho	
		Posição do capuz		Mola contaminada	
		Desnivelamento		Suporte de apoio da porta sujo	
		Manutenção falha		Pelo da boina	
				Cabelo ou pelo humano	
				Sujeira na preparação da tinta	
				Filtro da sala de tinta ruim	
				Falta de disciplina	
				Portas abertas no fim de semana	
				Preparação pós e-coat ruim	
				Respingos de solda	
				Resto de massa	
				Limpeza de elefantes ruim	
				Escorrido do e-coat	
				Falta de limpeza dos skids	
				Insetos	

SE ACHAR QUE FALTA ALGUMA CAUSA PROVÁVEL, POR FAVOR ESCREVA. USE O VERSO SE NECESSÁRIO - NÃO É PRECISO ASSINAR - DEVOLVER AO GUILHERME

Figura 7 – Formulário das Causas de Sujidade

Com base nas respostas dos especialistas, foi possível categorizar e criar o Diagrama de Ishikawa, apresentado na Figura 8, dividindo as causas em Material, Método, Mão de Obra, Medição, Meio Ambiente e Máquina.



Figura 8 – Yshikawa das Causas de Sujidade

A segunda etapa do DMAIC é a Medição, na qual o foco é a medição dos defeitos, com destaque para o defeito principal que é a sujidade, conforme definido e explicado nas seções anteriores. O cronograma do projeto apresentado na Figura 9 descreve as etapas de Definir e Medir, servindo como referência para as atividades desta fase do projeto. A primeira atividade consiste na elaboração da matriz SIPOC, que representa os elementos do processo, incluindo fornecedor, entrada, processo, saída e cliente).

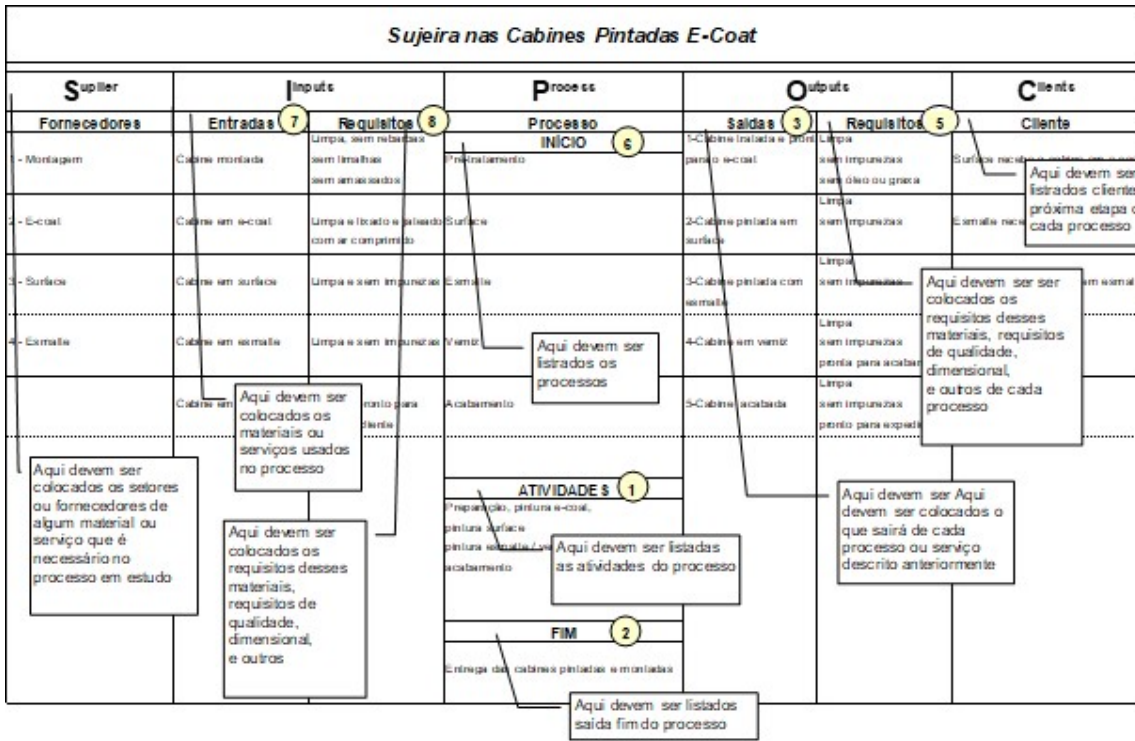
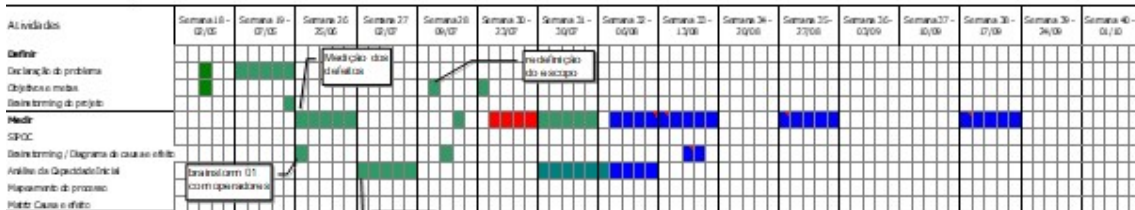


Figura 9 – Cronograma do Projeto (Definir+Medir)

CONCLUSÕES

Neste estudo, foi abordado o processo de pintura automotiva de Eletroforese, também conhecido como E-coat, e a aplicação das metodologias seis sigma e DMAIC Definir e Medir para a melhoria contínua do processo. Ele é um processo fundamental na indústria automotiva, pois proporciona proteção anticorrosiva às peças metálicas por meio da aplicação de uma camada de tinta. Através da imersão da peça em um tanque contendo tinta carregada eletricamente, as partículas de tinta são atraídas para a superfície da peça, formando um revestimento uniforme. Após a aplicação, a peça passa por um processo de cura para fixar o revestimento. Esse método oferece proteção contra corrosão e uma aparência estética atraente.

A implementação do Seis sigma, aliada a uma base de dados confiáveis, é crucial para promover melhorias contínuas no processo de pintura. O Seis sigma é uma metodologia amplamente utilizada para aprimorar processos de negócio, reduzir custos, melhorar produtos e processos, satisfazer os clientes e fortalecer a marca. O DMAIC, uma etapa do Seis sigma, fornece uma estrutura orientada a resultados para resolver problemas e buscar a melhoria contínua.

Através da aplicação do DMAIC, foi possível identificar o defeito de sujidade como o principal problema no processo de pintura de E-coat. O uso de ferramentas como diagrama de Ishikawa, coleta de dados e análise estatística permitiu identificar as causas raízes da sujidade e propor ações de melhoria para reduzir sua ocorrência.

Por meio do estudo de caso realizado em uma empresa de pintura automotiva, foi possível constatar que a sujidade é um desafio constante, representando um alto número de rejeições e retrabalhos. Através da implementação das melhorias propostas no projeto DMAIC, espera-se reduzir significativamente o defeito de sujidade e melhorar a qualidade do processo de pintura de E-coat.

Em resumo, a combinação do processo de Eletroforese, a aplicação do Seis sigma e a utilização do DMAIC oferecem uma abordagem estruturada e eficiente para aprimorar a qualidade do processo de pintura automotiva. A melhoria contínua nesse

processo é essencial para atender aos requisitos de qualidade da indústria automotiva e garantir a satisfação dos clientes.

REFERÊNCIAS

- AKAFUAH, Nelson K. et al. Evolution of the automotive body coating process – A review. **Coatings**, v. 6, n. 2, p. 24, 2016.
- ADAMS, Cary; GUPTA, Praveen; WILSON, Charlie. **Six sigma deployment**. Routledge, 2007.
- AVISON, David E. et al. Action research. **Communications of the ACM**, v. 42, n. 1, p. 94-97, 1999.
- BAÑUELAS, Ricardo; ANTONY, Jiu. **Design for six sigma**. IEE Manufacturing Engineering, v. 81, nº 1, 2002.
- BANUELAS, Ricardo; ANTONY, Jiju. Six sigma or design for six sigma? **The TQM magazine**, v. 16, nº 4, 2004.
- EGÊA, Renan Barranqueiro; PRIMOLINI, Alexandre; DA MAIA, Bruno Inácio. Development of friction coefficient controller for E-coat (KTL). **Development**, v. 2018, p. 36-0200, 2018.
- FERNANDES, Juliana; LEPIKSON, Herman; LEITE, Cristiane. **Dirt in Automotive Painting: An approach Suported by Cyber-Physical Systems for process automation**. VI Simpósio Internacional de Inovação e tecnologia, v. 7, 2020.
- GEFFEN, Charlette A.; ROTHENBERG, Sandra. Suppliers and environmental innovation: the automotive paint process. **International Journal of Operations & Production Management**, 2000.
- HAMZAH, Wan Aazmi Wan et al. Automotive Paint Production Line Blistering Improvement and Approach. **Journal of Applied Engineering Design and Simulation**, v. 2, n. 1, p. 19-28, 2022.
- KIM, Byung R. VOC emissions from automotive painting and their control: A review. **Environmental engineering research**, v. 16, n. 1, p. 1-9, 2011.
- KOTHARI, Chakravanti Rajagopalachari. **Research methodology: Methods and Techniques**. 2ª ed. New Age International Publishers, 2004.
- LYNCH, Donald P.; BERTOLINO, Suzanne; CLOUTIER, Elaine. How to scope DMAIC projects. **Quality progress**, v. 36, n. 1, p. 37-41, 2003.
- NETO, Cosmo Marcelino de Melo et al. Processo de pintura e revestimento superficial E-COAT. **Revista Pesquisa e Ação**, v. 4, n. 1, p. 101-105, 2018.
- PANDE, Peter S.; NEUMAN, Robert P.; CAVANAGH, Roland R. The six sigma way. **Das Summa Summarum des Management**. Gabler, 2007. p. 299-308.
- PEDRO, Júlia Santos et al. Preliminary Study of the optimization of the E-coat pretreatment process in a automotive painting plant. **Brazilian Journal of Production Engineering-BJPE**, v. 5, n. 2, p. 120-129, 2019.
- PFEIFER, T.; REISSIGER, W.; CANALES, C. Integrating six sigma with quality management systems. **The TQM Magazine**, v. 16, n. 4, 2004.
- ROUSSEEUW, Peter J.; CROUX, Christophe. Alternatives to the median absolute deviation. **Journal of the American Statistical association**, v. 88, n. 424, p. 1273-1283, 1993.
- SALIHOGU, Guray; SALIHOGU, Nezh Kamil. A review on paint sludge from automotive industries: Generation, characteristics and management. **Journal of environmental management**, v. 169, p. 223-235, 2016.
- SANTOS, Aline Benittes dos. Influência do pré-tratamento mecânico de jateamento na aderência e na resistência anticorrosiva de um processo de pintura E-coat e top-coat. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade de Caxias do Sul, 2020.
- SILVA, Luis Fernando Junqueira. **Utilização do Método KTL em Pinturas Industriais**. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 2012.
- SOKOVIC, Mirko; PAVLETIC, Dusko; PIPAN, K. Kern. Quality improvement methodologies – PDCA cycle, RADAR matrix, DMAIC and DFSS. **Journal of achievements in materials and manufacturing engineering**, v. 43, n. 1, p. 476-483, 2010.
- TRUSCOTT, William. **Six Sigma**. Routledge, 2003.