



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
DIRETORIA GERAL DO CAMPUS JOÃO PESSOA
DEPARTAMENTO DE ENSINO SUPERIOR
CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

FILIPE GOMES DE ARAÚJO

**PINTURA AUTOMOTIVA: EVOLUÇÃO, INOVAÇÃO E CONTROLE DE
QUALIDADE**

JOÃO PESSOA

2025

PINTURA AUTOMOTIVA: EVOLUÇÃO, INOVAÇÃO E CONTROLE DE QUALIDADE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, como requisito curricular obrigatório para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Severino Cesarino da Nobrega Neto

JOÃO PESSOA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – CIP Biblioteca Nilo
Peçanha – IFPB, *campus* João Pessoa

A663p

Araújo, Filipe Gomes de.

Pintura automotiva: evolução, inovação e controle de
qualidade / Filipe Gomes de Araújo. – 2025.
40 f. : il.

TCC (Graduação em Engenharia Mecânica) – Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB
/ Coordenação de Engenharia Mecânica

Orientador: Prof. Dr. Severino Cesarino da Nobrega Neto.

1. Pintura automotiva. 2. Inovações tecnológicas. 3.
Controle de qualidade. I. Título.

CDU 667:629.331

Bibliotecária responsável Josinete Nóbrega de Araújo – CRB 15/116



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA**

FOLHA DE APROVAÇÃO

FILIPPE GOMES DE ARAÚJO 201921140034

Pintura Automotiva: Evolução, Inovação e Controle de Qualidade

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Mecânica do Instituto Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Engenheiro Mecânico.

Trabalho aprovado pela banca examinadora em 20 de agosto de 2025.

BANCA EXAMINADORA:

(assinaturas eletrônicas via SUAP)

Dr. Severino Cesarino da Nóbrega Neto

IFPB (Orientador)

Dr. Jesus Marlinaldo de Medeiros

IFPB (Examinador)

Me. Michelline Nery Azevedo Lima

IFPB (Examinadora)

Documento assinado eletronicamente por:

- Severino Cesarino da Nobrega Neto, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 25/08/2025 09:44:31.
- Michelline Nery Azevedo Lima, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 25/08/2025 16:29:17.
- Jesus Marlinaldo de Medeiros, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 25/08/2025 23:17:33.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 19/08/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código 751328

Verificador: 099b72640d

Código de Autenticação:



Av. Primeiro de Maio, 720, Jaguaribe, JOÃO PESSOA / PB, CEP 58015-435

<http://ifpb.edu.br> - (83) 3612-1200

Dedico este trabalho aos meus pais, por todo o incentivo, amor e todos os sacrifícios feitos
que sempre me proporcionou a melhor educação e sempre foram minha maior fonte de
inspiração.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, por me dar forças e sabedoria, por estar sempre ao meu lado durante todo esse processo que foi desafiador para mim até agora, ao enfrentar diversos obstáculos e por sempre guiar meus passos até a conclusão desta incrível jornada.

Quero agradecer aos meus pais, Carlos José Mendes de Araújo e Rosilda Gomes de Araújo, por todo amor incondicional pelos sacrifícios que foram feitos para que eu pudesse trilhar este caminho e por sempre me apoiarem nas escolhas das minhas decisões importantes na minha vida. A eles, meu eterno amor e gratidão, pois tudo o que eu fizer ainda não será o suficiente para retribuir por tudo o que fizeram por mim. À minha irmã, Janaina, e à minha sobrinha, Maria Luiza, por todo amor e carinho.

À minha querida noiva, Asrielly, que sempre me dá todo amor e carinho do mundo, apoio e paciência. Agradeço por você ter estado presente nessa parte tão importante da minha vida e por me incentivar de diversas formas dar a melhor versão de mim mesmo em todas as condições. Te amo, fofuxa.

De forma especial e com imensa saudade, faço um agradecimento póstumo à minha querida avó, Dona Bina, à Tia Maria da Luz. Apesar de tê-las perdido recentemente, foram um dos pilares de apoio e que sempre me incentivaram em meus estudos. As suas memórias serão sempre uma inspiração para mim.

Agradeço aos meus sogros e cunhado por todo apoio e oração. E aos meus familiares, que também me deram apoio nessa jornada.

À minha cachorra, Eva, que tem sido meu apoio emocional e companheira incansável. A sua presença e carinho foram essenciais para mim, tornando esse desafio de cursar engenharia mecânica e enfrentar uma pandemia, muito mais leve.

Por fim, gostaria também de agradecer aos meus colegas da primeira turma de Engenharia Mecânica por todo companheirismo, pela solidariedade, bons momentos vividos e aprendizados compartilhados. Agradeço também a todos os meus professores, em especial ao meu orientador Severino Cesarino, e a instituição do IFPB que, com dedicação e excelência, me deram a oportunidade de fazer parte da história e me forneceram conhecimento necessário para a minha formação profissional.

Porque sou eu que conheço os planos que tenho para vocês', diz o Senhor, 'planos de fazê-los prosperar e não de causar dano, planos de dar a vocês esperança e um futuro. (Jeremias 29:11)

RESUMO

Este trabalho através de uma revisão bibliográfica, teve como objetivo descrever o processo de pintura, a sua evolução histórica, inovações tecnológicas e os métodos para o controle de qualidade. A metodologia utilizada permitiu aprofundar o conhecimento sobre o tema a partir de fontes relevantes. A literatura verificada demonstra uma evolução notável do processo, ao sair de métodos manuais para a adoção da automação por robôs e o uso de tintas à base de água, que tem contribuição para a redução de compostos orgânicos. Foram detalhadas as etapas cruciais para o processo de pintura, como a eletrodeposição, que é uma camada de proteção anticorrosiva, vedação e aplicação das camadas de base e verniz. Adicionalmente, foi apresentado as principais técnicas para o controle de qualidade, a partir de pesquisas feitas sobre os defeitos mais comuns. Por fim, foi evidenciada a crescente integração de inovações tecnológicas, como o uso de Inteligência Artificial (IA) e *Machine Learning*, para auxiliar na detecção de defeitos e otimização dos processos, além da importância de Indicadores-Chaves de Desempenho (*KPIs*), que auxiliam nas tomadas de decisões e na implementação de melhorias contínuas na qualidade da indústria automotiva.

Palavras-chave: Controle de qualidade; Inovações tecnológicas; KPI; Pintura automotiva.

ABSTRACT

This work, through a bibliographic review, aimed to describe the painting process, its historical evolution, technological innovations, and quality control methods. The methodology allowed for a deep understanding of the topic from relevant sources. The literature survey shows a remarkable evolution of the process, moving from manual methods to the adoption of robotic automation and the use of water-based paints, which contribute to the reduction of organic compounds. Crucial stages of the painting process were detailed, such as electrodeposition, which provides an anti-corrosion protection layer, sealing, and the application of basecoat and clearcoat layers. Additionally, the main quality control techniques were presented, based on research into the most common defects. Finally, the increasing integration of technological innovations, such as the use of *Artificial Intelligence (AI)* and *Machine Learning*, was highlighted to assist in defect detection and process optimization. The importance of *Key Performance Indicators (KPIs)* was also underscored, as they support decision-making and the implementation of continuous improvements in the quality of the automotive industry.

Key words: Quality control; Technological innovations; KPI; Automotive painting.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - fluxograma do processo de pré-tratamento e eletrodeposição, adaptado de DRUMOND, por SICHÍ (2021)	16
Figura 2 - Imagem da pintura por eletrodeposição da Volkswagen. Fonte: Coisas de agora (2012)	18
Figura 3 - vedação sendo aplicada de forma interna. Fonte: SICHÍ (2021)	19
Figura 4 - Processo de pintura na fábrica da Stellantis em Goiana/PE: a) Área de aplicação do base coat (tinta base); b) Área de aplicação do clear coat (verniz).....	20
Figura 5 - Camadas de pintura automotiva e exemplos de defeitos. Fonte: Dr. Brilho	21
Figura 6 - Defeito de pintura "olho de peixe". Fonte: Axalta, s.d	22
Figura 7 - Defeito casca de laranja. Fonte: Axalta, s.d.....	23
Figura 8 - Defeito de escorrido na pintura. Fonte: Axalta, s.d	23
Figura 9 - Defeito de descascado na pintura. Fonte: Axalta, s.d	24
Figura 10 - Defeito de bolhas na pintura. Fonte: Axalta, s.d.....	25
Figura 11 - Defeito de falta de brilho na pintura. Fonte: Axalta, s.d.....	25
Figura 12 - Inspeção sendo realizada após pintura da carroceria. Fonte: SICHÍ (2021)	26
Figura 13 - Medidor de espessura de camada, Elcometer 456. Fonte: Elcometer, s.d.....	27
Figura 14 - Tabela de classificação de aderência. Fonte: ABNT NBR 11003 (apud SICHÍ, 2021).....	28
Figura 15 - Sistema automatizado para inspeção de qualidade na pintura automotiva. Fonte: Autaza, 2022	29
Figura 16 - Painel de controle para análise de Mapa de Calor de Defeitos. Fonte: Imagem gerada por Gemini (2025)	33
Figura 17 - Painel de indicadores de defeitos em veículos: DRR. Fonte: Elaborado por inteligência artificial (ChatGPT-4o, 2025)	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BI	Business Intelligence
COVs	Compostos Orgânicos Voláteis
DRR	Defect per Repair Rate
ESG	Ambiental, Social e Governança
FTQ	First Time Quality
ISO	International Organization for Standardization
KPIs	Key Performance Indicators
KTL	Kathodische Tauchlackierung
NBR	Norma Brasileira Registrada
PVC	Policloreto de Vinila

SUMÁRIO

Sumário

1	INTRODUÇÃO	12
2	METODOLOGIA	12
2.1	Objetivo Geral	13
2.2	Objetivos Específicos.....	13
3	DESENVOLVIMENTO	14
3.1	A EVOLUÇÃO DA PINTURA AUTOMOTIVA NA INDÚSTRIA.....	14
3.1.1	A era Ford T e a Pintura Manual	14
3.1.2	A Inovação da Década de 1920: A Pintura com Pistola.....	14
3.1.3	Período Pós-Guerra e a Explosão das Cores.....	14
3.1.4	Sustentabilidade e Tecnologia Moderna	15
3.1.5	O Futuro da Pintura e a indústria 4.0	15
3.2	Processo de Pintura.....	15
3.2.1	Pré-tratamento	16
3.2.2	Eletrodeposição (e-coat)	17
3.2.3	Vedação	18
3.2.4	Cabine de pintura.....	19
3.2.4.1	Base Coat e Clear Coat.....	20
3.2.4.2	Tintas à Base de Água e a Redução de COVs	21
3.3	Principais Defeitos de Pintura Automotiva e Análises Técnicas.....	22
3.3.1	Principais Defeitos Encontrados.....	22
3.3.2	Análises e Métodos de Verificação	25
3.4	As inovações e Tendências Tecnológicas no Processo de Pintura Automotiva.....	29
3.4.1	Automação e processos avançados	30
3.4.2	Aplicação de IA e Machine Learning	30
4	INDICADORES DE DESEMPENHO (KPIs) NO PROCESSO DE PINTURA AUTOMOTIVA E A FERRAMENTA DE ANÁLISE POWER BI.....	31
4.1	DRR (Defect per Repair Rate).....	31
4.2	FTQ (First Time Quality)	32
4.3	Integração com o Power BI para Análise e Tomada de Decisão	32
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
	REFERÊNCIAS	37

1. INTRODUÇÃO

A indústria automotiva é um dos pilares da engenharia moderna, pois é caracterizado por processos produtivos que contém alta complexidade, cuja qualidade final do produto é determinante para fazer parte de um mercado mais competitivo. Dentre os diversos processos que consiste na fabricação de um veículo, o processo de pintura se destaca como um dos mais complexos, pois ele é a parte visível do carro, sendo responsável por atrair esteticamente o cliente e também serve como camada de proteção para a superfície metálica da carroceria.

Ao longo de décadas, a pintura automotiva evoluiu de forma significativa, acompanhando sempre as transformações tecnológicas e exigências feitas pelo mercado. A necessidade de se obter uma maior eficiência, sustentabilidade e qualidade impulsionou no desenvolvimento de novas tecnologias, como robôs nas cabines de pintura com machine learning, um novo tipo de eletrodeposição e sistemas primerless e método 3-wet.

A partir do avanço tecnológico, as montadoras começaram a utilizar de indicadores de qualidade (FTQ, DRR), que são integrados em dashboards feitas no Power BI. Dessa forma, pode-se ser feito o acompanhamento de como está o processo, mapeamento de modos de falhas e tomar decisões de forma mais assertivas ao implementar técnicas de melhoria contínua.

2. METODOLOGIA

Este trabalho de conclusão de curso foi elaborado a partir de uma revisão bibliográfica, tendo uma abordagem qualitativa, a fim de analisar e sintetizar o conhecimento já existente sobre o processo de pintura automotiva. As fontes utilizadas foram selecionadas a partir da relevância e atualidade, dando prioridade no processo de pintura automotiva.

A maior motivação para realizar este trabalho de conclusão surge da vivência adquirida durante o período de estágio em uma montadora multinacional, sendo possível observar de perto as complexidades e tecnologias que ocorrem durante o processo de pintura.

Portanto, o presente trabalho tem como o objetivo principal descrever e analisar o processo de pintura automotiva, tendo foco na sua evolução histórica, inovações tecnológicas e no controle de qualidade que moldam a indústria moderna.

2.1 Objetivo Geral

O objetivo principal desse trabalho é fornecer uma base teórica para discussões subsequentes, permitindo a correlação entre os conceitos acadêmicos e as práticas vivenciadas na indústria.

As pesquisas foram realizadas em bases de dados eletrônicos, como Scielo, Google acadêmico e Repositórios de TCCs de instituições de ensino superior. As palavras chaves utilizadas na busca foram: “pintura automotiva”, “processo de pintura”, “controle de qualidade automotiva”, “defeitos de pintura”, “inovações tecnológicas na indústria automotiva”, “KPIs de pintura”, “dashboards de Power BI”.

A partir da coleta de materiais julgados como relevantes, foi obtido uma análise de forma crítica do conteúdo, buscando fazer a identificação dos principais conceitos, a evolução tecnológica do processo de pintura e metodologias de controle de qualidade que são aplicadas na indústria.

Dessa forma, o presente trabalho faz uma revisão de forma sistemática da literatura, apresentando um cenário completo e com o modelo atual do processo de pintura automotiva, com foco na evolução histórica, desafios de qualidade e nas novas tendências de inovação.

2.2 Objetivos Específicos

Para que esse objetivo seja atingido, o trabalho está estruturado da seguinte forma:

- Uma retrospectiva histórica da pintura automotiva, contextualizando a sua evolução desde os métodos artesanais até a tecnologia atual.
- Em seguida, será detalhado todo o processo de pintura, desde etapas de pré-tratamento e eletrodeposição, até a cabine de pintura onde são feitas as aplicações de camadas de cor e verniz.
- Posteriormente, serão apresentados os principais defeitos encontrados na pintura, quais são as suas causas e métodos de análise e controle de qualidade aplicados para garantir a excelência do produto.

Por último, serão exploradas as inovações tecnológicas, como a robótica e machine learning, o papel dos KPIs (Key Performance Indicators) na melhoria contínua e tomada de decisão.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 A EVOLUÇÃO DA PINTURA AUTOMOTIVA NA INDÚSTRIA

A história da pintura automotiva vem acompanhada de uma jornada cheia de inovação e que andou lado a lado com a evolução da própria indústria. Tendo começado a partir de um processo artesanal e que demorava para ser feito, transformou-se em uma etapa que utiliza muita tecnologia, que é fundamental para a entrega da qualidade, durabilidade e estética dos veículos.

3.1.1 A era Ford T e a Pintura Manual

Bem no início do século XX, os primeiros automóveis começaram a ser produzidos, mas tendo um processo lento de pintura. Os veículos eram pintados manualmente, os operadores utilizavam pincéis e rolos para fazer a aplicação da tinta que era à base de óleo e podia levar semanas para secar (Quatro Rodas, 2021; Databox Sistemas, 2023). Henry Ford, ao otimizar a produção em massa do seu icônico Modelo T, gerou uma popularização na cor preta. O motivo para ter feito essa escolha não foi estética, mas prática, pois o esmalte preto que era à base de óleo de linhaça secava mais rápido, acelerando o ritmo da linha de montagem e permitindo a concretização da produção em massa.

3.1.2 A Inovação da Década de 1920: A Pintura com Pistola

As tintas à base de óleo por ter um longo período para a sua secagem, representava um gargalo na produção e isso gerou uma motivação para o desenvolvimento da primeira tinta moderna, a Duco. Desenvolvida pela DuPont, essa tinta era uma laca de nitrocelulose com baixa viscosidade, tendo uma secagem mais rápida e sendo ideal para a aplicação com pistolas de pulverização (Quatro Rodas, 2021). Essa inovação permitiu aplicações mais uniformes nos carros e em uma duração de tempo menor, abrindo caminho para uma gama maior de cores e acabamentos.

3.1.3 Período Pós-Guerra e a Explosão das Cores

Após a recuperação econômica e o crescimento da importância do design automotivo, as décadas de 1950 e 1960 marcaram a explosão de cores e o uso de tintas acrílicas e poliuretânicas, que forneciam uma maior resistência e brilho (Indústria AS, 2025). Foi nesse

momento que surgiram as tintas metálicas e perolizadas, que incorporava um efeito cintilante e luxuoso aos carros, refletindo o otimismo e a cultura daquela época (InstaCarro.com, 2022).

3.1.4 Sustentabilidade e Tecnologia Moderna

Já na década de 1990, a indústria automotiva começou a enfrentar novas exigências ambientais. O objetivo da redução de Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) levou à transição para tintas feitas à base de água, que são muito mais sustentáveis (Indústria SA, 2025). Nos dias de hoje, o processo de pintura é considerado um “estado da arte na indústria de automóvel” (Matos, 2019), tendo um controle de qualidade cada vez mais rigoroso para garantir a durabilidade da pintura e um excelente acabamento.

3.1.5 O Futuro da Pintura e a indústria 4.0

Atualmente o processo de pintura é extremamente automatizado, utilizando robôs para fazer uma aplicação mais precisa das camadas. O futuro aponta para práticas Ambientais, Sociais e de Governança (ESG), o uso de AI para auxiliar na detecção de defeitos e desenvolvimento de novas tintas eletrocromicas, que mudam de cor, além de materiais autorregenerativos. (Indústria SA, 2025).

Antes da indústria 4.0, a pintura era considerada um dos principais pontos de gargalo quando se falava em qualidade e eficiência na produção, porém com a revolução industrial buscou criar fábricas inteligentes, com máquinas e sistemas que se comunicam em tempo real. O conceito de *Smart Manufacturing*, ou Manufatura Inteligente, abordado por Melazzo (2022), é a base da Indústria 4.0, através da integração de sensores e tecnologias de ponta usados no processo de pintura. A automação e o controle do processo são a materialização desse tipo de indústria inteligente, que busca pela excelência operacional e uma produção com zero defeitos.

3.2 Processo de Pintura

Esta seção falará dos detalhes do processo de pintura automotiva, que é uma sequência de etapas rigorosas e interdependentes. A qualidade final do produto depende que a execução de cada processo seja precisa, para poder garantir as devidas proteções no final.

Através da figura 1 é possível verificar como é o funcionamento do processo de pré-tratamento, que vai do desengraxante passando pela ativação e fosfatização para finalizar no enxágue de água desmineralizada até chegar no processo de eletrodeposição, onde é adicionado uma camada de cataforese para fazer a proteção contra corrosão na carroceria.



Figura 1 - fluxograma do processo de pré-tratamento e eletrodeposição, adaptado de DRUMOND, por SICHÍ (2021)

3.2.1 Pré-tratamento

O pré-tratamento é a primeira fase e a mais crítica no processo de pintura, pois é nele que se prepara a superfície metálica da carroceria para que seja possível receber as camadas dos revestimentos posteriores. Tem como principal função fazer a remoção de impurezas vindas dos processos anteriores (prensas e funilaria), além de criar uma superfície quimicamente capaz de ajudar na adesão da tinta. Se o pré-tratamento for deficiente, pode gerar defeitos graves, como bolhas, corrosão e deslocamento (SICHÍ, 2021).

O processo é geralmente composto pelas seguintes etapas de banhos:

- **Desengraxe:** tem como função principal fazer a remoção de resíduos orgânicos como óleos, graxas e outras sujeiras vindas na superfície;
- **Enxágue com água industrial:** é o processo que vem logo em sequência e serve para remover os resíduos do desengraxante que ainda ficaram presentes na superfície utilizando de água industrial.
- **Ativação:** tem como objetivo preparar a parte metálica da carroceria para receber a fosfatização. Essa etapa aplica uma solução que contém cristais finos de titânio ou zircônio, atuando como núcleos de crescimento para uma formação homogênea da camada fosfática.
- **Fosfatização:** etapa fundamental, onde é formada uma camada de fosfato sobre o substrato metálico. Essa camada melhora a adesão da tinta e atua como a primeira barreira contra a corrosão, aumentando a durabilidade do revestimento final (Antocon, 2024; Pentanova, 2024).
- **Enxágue final:** é realizado com uma água desmineralizada, que remove qualquer resíduo mineral para que possa prejudicar a próxima etapa, a eletrodeposição.

3.2.2 Eletrodeposição (e-coat)

Após a etapa de pré-tratamento, a carroceria segue para o banho de eletrodeposição, que também é conhecido como Cataforese ou KTL (Kathodische Tauchlackierung). A tese de Matos (2019) tem um foco maior neste processo, descrevendo-o com riqueza de detalhes como esse método de pintura feito por imersão é aplicado através de uma corrente elétrica. Nesse sistema, a carroceria acaba atuando como cátodo (polo negativo), atraindo as partículas de tinta com carga positiva para si, para que elas possam ser depositadas de forma uniforme na superfície. Esse processo é mostrado na figura 2, demonstrando como ele ocorre.

A adesão pela cataforese se deve a uma série de vantagens que fazem dessa etapa ser insubstituível no processo de pintura automotiva atual:

- **Proteção Anticorrosiva superior:** O e-coat fornece a primeira e mais importante camada de proteção contra a corrosão, podendo atingir áreas de difícil acesso e garantindo 100% de cobertura numa superfície metálica, até mesmo em locais com solda e cantos internos (Pramer, 2024). Essa proteção dá a base para a durabilidade de toda a pintura.
- **Uniformidade e Nivelamento:** Matos (2019) destaca que o processo eletroquímico dá a garantia na espessura da camada controlada e a deixa uniforme em toda a carroceria, sendo um pré-requisito essencial para as camadas de tintas que virão de forma subsequentes.
- **Eficiência e Sustentabilidade:** na mesma tese também é mencionada a importância do controle e análises dos banhos de cataforese para minimizar as aparições de anomalias. Dessa forma, a tinta não depositada é recuperada através de membranas de ultrafiltração, que é um sistema de reciclagem que otimiza o uso de materiais, reduz o desperdício e contribui com a sustentabilidade ambiental (Separations, 2025).

A inovação da eletrodeposição revolucionou a pintura automotiva, sendo a tinta que dá alta qualidade e a resistência para os veículos atuais.



Figura 2 - Imagem da pintura por eletrodeposição da Volkswagen. Fonte: Coisas de agora (2012).

3.2.3 Vedação

Após a carroceria passar por uma análise rigorosa de inspeção feita no final do processo anterior, ela é encaminhada para a vedação, como poder ser visto na figura 3. Essa vedação é um processo crucial no momento da produção automotiva, pois é nele que garante a proteção da carroceria contra intempéries, corrosão em locais inacessíveis e o controle de ruídos dentro da carroceria, além de contribuir para a rigidez estrutural (Dürr, 2025; Henkel Adhesives, 2025).

A proteção contra corrosão, isolamento acústico e prevenção de infiltrações são as principais funções da vedação. Na proteção contra a corrosão utiliza vedantes especiais em todas as junções das chapas metálicas e em pontos de soldas, prevenindo que a água e umidade infiltrem e causem ferrugem (Dürr, 2025). A aplicação desses vedantes também ajuda a minimizar a entrada de ruídos externos e vibrações para dentro da carroceria, proporcionando um melhor conforto para quem está dentro. Além de garantir a vedação de todas as junções para que não tenha infiltração de água, também evita que entre poeira no interior do veículo.

Na indústria moderna, esse processo tem partes robotizadas e partes manuais, onde os robôs aplicam os vedantes em locais de difícil acesso para o ser humano, eliminando condições

ergonômicas desfavoráveis e garantindo um acabamento de alta qualidade e uniforme. Os materiais mais comuns que são utilizados nesta etapa incluem selantes de poliuretano e PVC (Policloreto de Vinila), que são aplicados em áreas como teto, interior do veículo, soleiras caixa de rodas, cordões de soldas, criando uma barreira protetora eficaz (Dürr, 2025; Sika Brasil, 2025).



Figura 3 – vedação sendo aplicada de forma interna. Fonte: SICHI (2021)

3.2.4 Cabine de pintura

A próxima etapa após a vedação é a Cabine de Pintura, como pode ser visto na figura 4, é um local que contém um ambiente rigorosamente controlado em termos de temperatura, umidade e pureza do ar. Esse processo tem o objetivo de alcançar um acabamento impecável, livre de contaminantes e com máxima durabilidade.

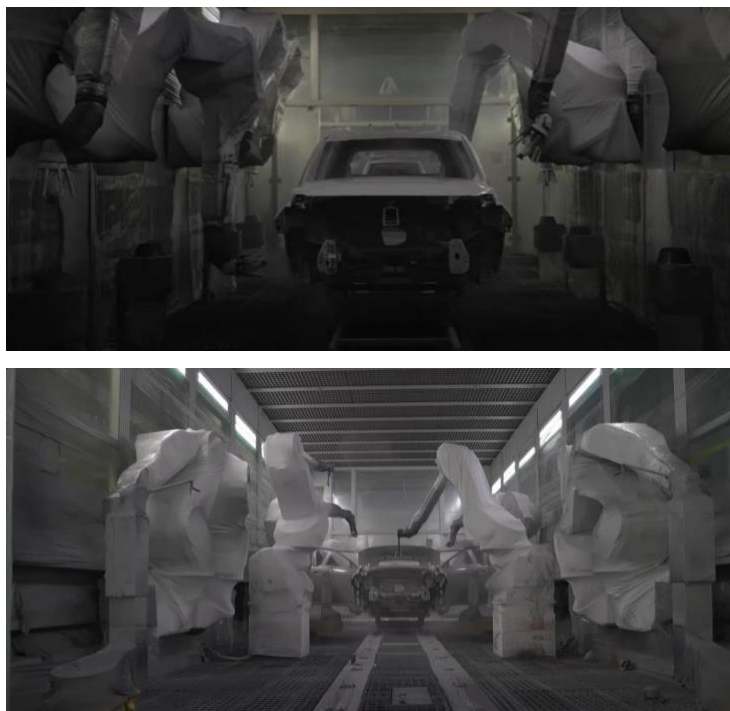


Figura 4 - Processo de pintura na fábrica da Stellantis em Goiana/PE: a) Área de aplicação do base coat (tinta base); b) Área de aplicação do clear coat (verniz).

3.2.4.1 Base Coat e Clear Coat

Na cabine a pintura de um veículo é composta por duas camadas principais:

- 3.2.4.1.1 Base coat (tinta base): é nesta camada que se tem a definição da cor e a estética do veículo. A tinta base contém os pigmentos que são responsáveis pela tonalidade, e em casos de cores metálicas e perolizadas, as partículas que dão o efeito visual. É aplicada pelos robôs, conforme mostrado nas figuras 4 a e b, servindo da mesma forma para a aplicação do verniz.
- 3.2.4.1.2 Clear coat (verniz): após a aplicação da base, e sem a necessidade de lixamento, é aplicado o verniz. Está é uma camada transparente, que dá o brilho e profundidade para a pintura. É o clear coat que protege o base coat da exposição de raios UV, arranhões, produtos químicos, péssimas condições climáticas e é crucial para a longevidade da pintura (Colourtone Ltd, 2023).

Sendo assim, como pode ser visto pela figura 5, as camadas de tinta base e do clear coat ficam acima de todas as outras camadas que já foram aplicadas, sendo elas responsáveis pela cor e brilho.

CAMADAS DE PINTURA AUTOMOTIVA

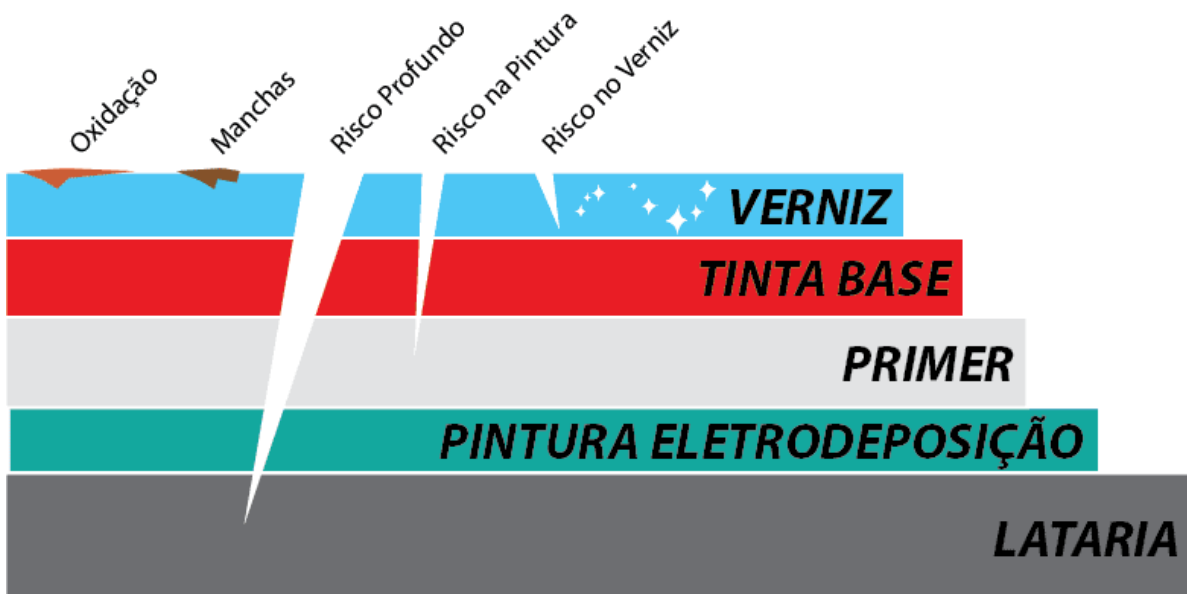


Figura 5 - Camadas de pintura automotiva e exemplos de defeitos. Fonte: Dr. Brilho.

3.2.4.2 Tintas à Base de Água e a Redução de COVs

Tradicionalmente o processo de pintura automotiva utilizava tintas à base de solvente, que liberam Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) na atmosfera. Esses compostos são prejudiciais à saúde humana e também ao meio ambiente, pois contribui de forma significativa para a poluição do ar e a formação da camada de ozônio em nível solo (Cummins, 2024; Globalcolor, 2024).

Em resposta a essa preocupação e com o surgimento de regulamentações ambientais mais rigorosas, a indústria automotiva passou a utilizar tintas à base de água. Essa tecnologia, também chamada de tinta hidrossolúvel, substitui a maior parte de solvente orgânico pela água. Essa mudança representa um avanço significativo, pois reduz as emissões de COVs em até 75%, tornando o processo de pintura bem mais sustentável e seguro para os trabalhadores. (BMW, 2006; Master 2020).

3.2.4.3 Aplicação do Primer e a Evolução para a Tecnologia Primerless (3 wet)

A aplicação do primer era uma etapa que demandava muito tempo e esforço. Porém, a tecnologia do primer evoluiu junto com a indústria automotiva, surgindo a tecnologia primerless ou 3 wet, que nada mais é do que um processo inovador que otimiza o tempo e o

consumo de material. Nessa tecnologia, o “primer” é aplicado “úmido sobre úmido”, sem a necessidade de se fazer lixamento entre os processos. É utilizado um material especial, que é aplicado sobre a camada de cataforese e, logo em seguida, recebe a tinta base (base coat), passa por uma estufa para eliminar líquidos indesejados e o verniz (clear coat) tudo em sequência, sendo aplicado o verniz ainda na tinta molhada. Esse método economiza tempo de processo, sendo muito mais rápido, reduz o desperdício de material e retrabalhos, oferecendo um acabamento excelente (Chinen et al, 2023).

3.3 Principais Defeitos de Pintura Automotiva e Análises Técnicas

A qualidade da pintura automotiva é crucial para a estética e proteção da carroceria, mas infelizmente diversos defeitos podem comprometer o acabamento (Matos, 2019). A identificação e análise dessas falhas são essenciais para a melhoria contínua da qualidade no processo de pintura (Trevizan, 2013).

3.3.1 Principais Defeitos Encontrados

Existem várias falhas que podem aparecer durante a preparação da superfície, na aplicação da tinta ou no processo de cura. A detecção desses defeitos é um ponto central em trabalhos acadêmicos que buscam melhorias no processo de pintura (Tito, 2022; Casasolla, 2021).

- Olho de peixe (Crateras): como mostrado na figura 6, olho de peixe são pequenas crateras circulares que são formadas quando a tinta é aplicada sobre uma superfície que foi contaminada com substâncias como óleo ou silicone (Pentanova, 2024; Casasolla, 2021).



Figura 6 - Defeito de pintura "olho de peixe". Fonte: Axalta, s.d.

- Casca de laranja: textura ondulada na superfície que se assemelha à casca de uma laranja, sendo mostrada na figura 7 um exemplo desse defeito. Tem como causa principal a aplicação inadequada da tinta, como viscosidade incorreta, pressão de ar muito alta ou distância errada de aplicação. (Protelim, 2024; WEG, 2024).



Figura 7 - Defeito casca de laranja. Fonte: Axalta, s.d.

- Escorrido: de acordo como mostrado na figura 8, esse defeito ocorre quando há um excesso de tinta na aplicação, não tendo tempo suficiente para a superfície aderir e acabar escorrendo. Este problema está relacionado com a viscosidade da tinta ou a velocidade de aplicação



Figura 8 - Defeito de escorrido na pintura. Fonte: Axalta, s.d.

- Embaçamento (Blushing): a pintura aparenta ter um aspecto opaco e esbranquiçado. Esse efeito é provocado pela umidade alta durante a aplicação ou secagem, fazendo com que a umidade condense e fique presa na camada de tinta (Laudó, 2022).
- Descascamento: é a perda da adesão entre as camadas de tinta. A partir da figura 9 pode ser visto como ocorre o descascamento, que geralmente é causado por uma preparação que foi feita de forma inadequada da superfície. (Bema Tintas, 2023; Centauro Auto Parts, 2024).



Figura 9 - Defeito de descascado na pintura. Fonte: Axalta, s.d.

- Bolhas: pequenas bolhas de ar, como pode ser visto na figura 10, que surgem através de partículas de poeira ou umidade retida durante a secagem (Duvon, 2024).

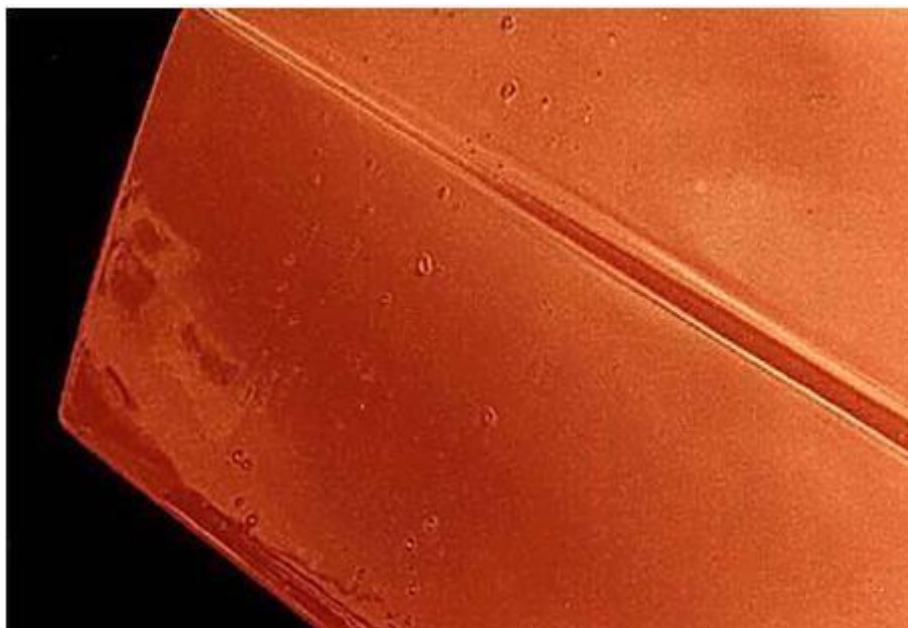


Figura 10 - Defeito de bolhas na pintura. Fonte: Axalta, s.d.

- Manchas e falta de brilho: a figura 11 mostra o defeito por mancha, que é causado por uma incompatibilidade de produtos, falha na preparação, ou pela aplicação da tensão inadequada no processo de cataforese.



Figura 11 - Defeito de falta de brilho na pintura. Fonte: Axalta, s.d.

3.3.2 Análises e Métodos de Verificação

A identificação de forma precisa dos defeitos é o primeiro passo para fazer correção, sendo fundamental o uso de metodologias e protocolos para a avaliação (Pedroso, 2018).

A inspeção visual, onde é mostrado na figura 12, é uma análise inicial e fundamental, sendo realizada por profissionais treinados. Para ser feita a inspeção é necessário ter um local bem iluminado que permite a avaliação da uniformidade da cor, textura e se há presença de sujidades. Esses profissionais também usam instrumentos como microscópios, lanternas e medidores de espessura para que os testes feitos possam ser mais assertivos. (Protelim, 2024).



Figura 12 - Inspeção sendo realizada após pintura da carroceria. Fonte: SICHI (2021)

Na medição de espessura, que utiliza de medidores eletrônicos de camada como mostrado na figura 13, determina a espessura na qual foi depositada a camada de tinta e se está dentro das especificações de cada montadora. Normas como a ABNT NBR 15311 e a ISO 2808 estabelecem como deve ser realizadas essas medições de espessura para garantir que se tenha um padrão no momento da medição (Ribeiro, 2023).



Figura 13 - Medidor de espessura de camada, Elcometer 456. Fonte: Elcometer, s.d.

Para realizar o teste de aderência, é comumente usados o corte por grade, representado pela figura 14 que está de acordo com a norma ABNT NBR 11003, para avaliar como se encontra a adesão entre as camadas de tinta. É feito a aplicação de uma fita adesiva especial para verificar se a tinta solta (Protelim, 2024). A aderência é um dos fatores críticos na qualidade de pintura (Alves, 2024), pois é a partir dele que é verificado se a falha de descascamento ocorrerá ou não. Esse tipo de teste é realizado quando há a identificação no processo que possa comprometê-lo e gerar crises a partir do descascamento.

A figura 14 mostra a classificação dos graus de aderência, onde o GR_0 sendo o ideal, pois é onde não ocorre nenhum tipo de descascamento da tinta e o GR_4 demonstra que a película de tinta onde foi feito o teste descascou e irá gerar retrabalho na carroceria, pois não foi aprovada no teste.

Tabela 2. Classificação do grau de aderência conforme. Fonte: [35]

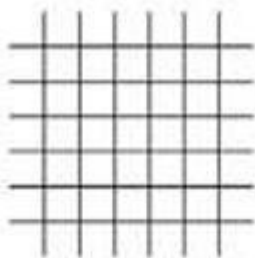
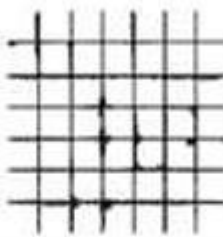
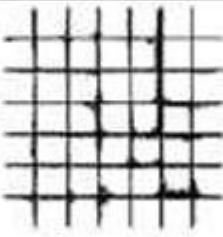
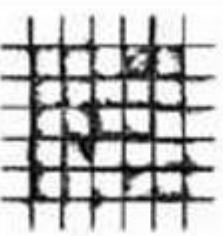
Código	Figura
GR ₀ Nenhuma área da película destacada	
GR ₁ Área da película destacada, cerca de 5% da área quadriculada	
GR ₂ Área da película destacada, cerca de 15% da área quadriculada	
GR ₃ Área da película destacada, cerca de 35% da área quadriculada	
GR ₄ Área da película destacada, cerca de 65% da área quadriculada	

Figura 14 - Tabela de classificação de aderência. Fonte: ABNT NBR 11003 (apud SICHÍ, 2021).

Em casos de falhas mais complexas, as análises químicas são realizadas para determinar a composição da tinta ou dos contaminantes que estão presentes. A utilização de controles de registros é considerada uma ferramenta estatística que serve para monitorar a variação dos

controles dos banhos de pintura e pode auxiliar no entendimento para identificar as anomalias (Matos, 2019, p.119).

Existem algumas ferramentas de qualidade que permitem fazer uma análise mais crítica e temporal dos defeitos. O gráfico de Pareto permite dar prioridade aos defeitos mais recorrentes, pois o seu gráfico de controle pode avaliar as variações que ocorreram durante o processo. (Silva, 2024; Trevizan, 2013).

Atualmente está começando a ser empregado para a análise e detecção de falhas a utilização de *Artificial Intelligence* (AI) e o *Machine Learning* (aprendizado de máquina), pois com eles garante uma precisão maior da identificação e tem mais consistência no momento de realizar a inspeção (Solomon, 2024). O sistema automatizado, apresentado na figura 15, utiliza a tecnologia de visão computacional para identificar os defeitos na superfície da pintura do veículo, substituindo ou complementando a inspeção feita de forma manual.



Figura 15 - Sistema automatizado para inspeção de qualidade na pintura automotiva. Fonte: Autaza, 2022.

3.4 As inovações e Tendências Tecnológicas no Processo de Pintura Automotiva

A indústria automotiva vem acompanhando o avanço tecnológico e com isso, o processo de pintura vem buscando não apenas melhorias na parte estética, mas também eficiência, sustentabilidade e melhorar na precisão na detecção de falhas. A inspeção manual se torna um processo um pouco ineficiente em certos momentos, pois existe a fadiga e distração que pode ocorrer em humanos, levando à crescente demanda por sistemas de detecção de falhas automatizados (Solomon, 2024). Sendo assim as novas tecnologias que já utilizam de robôs com IA e machine learning, surgem como soluções para melhorar o controle de qualidade e o processo produtivo.

3.4.1 Automação e processos avançados

A automação realizada por meio de robôs já é amplamente utilizada nas etapas de solda e pintura, contendo sensores para fazer a identificação das carrocerias para que se tenha um trabalho mais preciso (Sichi, 2021). Além da robotização, o processo de cataforese é considerado um estado da arte para realizar o tratamento das superfícies metálicas (Matos, 2019). Este tipo de pintura por eletrodeposição catódica garante que a camada seja uniforme e tenha alta durabilidade, sendo a base para uma proteção anticorrosiva para os veículos (Matos, 2019; Reis, 2008).

3.4.2 Aplicação de IA e Machine Learning

A inspeção visual feita por humanos, apesar do treinamento, é naturalmente subjetiva e propenso a falhas por motivo da fadiga humana, que compromete a consistência do controle de qualidade. Ao substituir esse método por sistemas automatizados que utilizam visão computacional equipados com Inteligência Artificial (IA), refletem avanços mais importantes que garantem a qualidade na pintura automotiva (Pereira, 2022; Akhtar et al., 2019).

O cerne dessa tecnologia está no treinamento do modelo de IA, por meio de milhares de imagens de superfícies das carrocerias pintadas, tanto perfeitas quanto com defeitos (como casca de laranja, escorridos, com partículas de poeira e texturas irregulares), são usadas para fazer o treinamento dos algoritmos identificam, classificam e registram as falhas automaticamente (Solomon, 2024). Por causa dessa capacidade de aprendizado, é eliminada a inspeção feita por humanos e garante, assim, um padrão de qualidade elevado em toda a produção.

Indo além da detecção, essas tecnologias de ponta utilizam análise preditiva e *Machine Learning* para a prevenção proativa de defeitos (Tito, 2022; Casasolla, 2021). Os algoritmos usados para o aprendizado de máquina são capazes de processar grandes volumes de dados históricos, resultantes de sensores instalados em todo o processo para fazer o registro de temperatura e pH dos banhos, umidade do ar, velocidade da esteira e viscosidade da tinta. Esse tipo de análise permite que seja feita a identificação de padrões que estão ocultos e que levam à ocorrência de anomalias (Matos, 2019, p. 102).

Com a mudança de forma estratégica do controle de qualidade reativo para um sistema proativo e preditivo, se torna crucial para identificar e corrigir contratempos antes que se tornem um gargalo na produção em larga escala. O uso dessas ferramentas para a coleta e análise de

dados, é um passo fundamental para o avanço da melhoria contínua da qualidade no setor automotivo (Alves, 2024).

4 INDICADORES DE DESEMPENHO (KPIs) NO PROCESSO DE PINTURA AUTOMOTIVA E A FERRAMENTA DE ANÁLISE POWER BI

O controle de qualidade e a busca pela eficiência nas indústrias são impulsionados pelo monitoramento de Indicadores-Chave de Desempenho, mais conhecidos como *KPIs* (*Key Performance Indicators*). Esses indicadores retratam mais do que simples métricas, de acordo com Lopes (2015), eles são estratégicos para fornecerem informações cruciais nas tomadas de decisão em todos os níveis da produção. No setor da pintura automotiva, o monitoramento rigoroso desses *KPIs* permite que a gestão entenda a eficiência e a eficácia do processo em tempo real, agindo de forma proativa para corrigir os defeitos reportado pela produção.

Dois indicadores fundamentais para o processo de pintura são: *DRR*, que quantifica a taxa de retrabalho feita na carroceria e o *FTQ* quantifica a porcentagem de veículos que passaram por todos os processos da pintura e de inspeção sem que tenha tido a necessidade de qualquer tipo de retrabalho na carroceria.

4.1 DRR (Defect per Repair Rate)

O DRR, ou Taxa de Retrabalho por Defeito, é uma medida que quantifica a proporção de carrocerias que precisam ser retrabalhadas em relação ao total de carrocerias que foram produzidas em um determinado período. O retrabalho é o processo de repetição de uma tarefa que já havia sido realizada, sendo um dos principais vilões da produção e da qualidade (Nomus, 2024). O monitoramento do DRR permite realizar a identificação dos problemas mais recorrentes e buscar pelas suas causas-raiz, orientando uma equipe a concentrar esforços onde são mais necessários (Silva, 2024).

A influência do DRR no processo na prática:

- **Aumento de Custos:** cada carroceria retrabalhada consome tempo, mão de obra e materiais adicionais, como tintas, lixas e etc, elevando os custos de produção (Nomus, 2024).

- Perda Produtiva: o retrabalho interrompe o fluxo de produção considerado ideal, causando atraso e impactando no cronograma da linha (Nomus, 2024).
- Qualidade e Reputação: um valor alto no DRR pode indicar que está ocorrendo falhas crônicas no processo, comprometendo a qualidade final do produto e até mesmo a reputação da marca caso chegue ao cliente. O desenvolvimento de metodologias e protocolos de avaliação auxiliam para minimizar anomalias no acabamento, garantindo uma melhoria significativa na qualidade.

4.2 FTQ (*First Time Quality*)

O FTQ, ou Qualidade na Primeira Vez, é um indicador que mede a porcentagem de carrocerias que passam por todas as etapas do processo de pintura sem que tenha a necessidade de ser feito qualquer tipo de retrabalho. É um KPI direto da eficiência e robustez do processo. A busca pelo valor alto do FTQ é um objetivo contínuo nas indústrias, pois é a partir daí que demonstra a capacidade do processo em produzir uma carroceria com a qualidade esperada logo na primeira passagem.

A importância na prática do FTQ:

- Eficiência Produtiva: um valor elevado significa que a linha de produção tem o seu funcionamento de forma eficiente, com menos interrupções e desvios. O uso de metodologias e protocolos para a avaliação da influência de impurezas depositadas no substrato é um exemplo prático de como a indústria busca sempre aumentar o FTQ ao prevenir falhas desde as etapas iniciais.
- Otimização de Recursos: redução de retrabalho economiza materiais, energia e horas de trabalho. A aplicação de ferramentas de controle e planejamento da qualidade resulta em uma redução significativa na incidência de defeitos, como a redução de 66,6% mencionada por Trevizan (2013).
- Competitividade: as indústrias que tem o FTQ alto, tendem a ter custos de produção mais baixos e uma capacidade maior de atender às demandas do mercado com maior agilidade, o que as torna mais competitivas.

4.3 Integração com o Power BI para Análise e Tomada de Decisão

O monitoramento de KPIs são amplamente aprimorados com o uso de ferramentas de *Business Intelligence* (BI). Essa plataforma facilita a visualização e promove uma cultura de tomada de decisões orientadas por dados em toda a organização.

Entretanto, apenas a coleta de dados brutos não garante a melhoria, é a partir da sua transformação em informações que estimula a busca pela excelência operacional. Conforme estudos realizados por Dias (2024) e por Ribeiro (2023), o BI reúne-se através de metodologias, processos e tecnologias que auxilia na coleta, no armazenamento, processamento e análise de dados para que sejam transformados em informações úteis.

Os principais benefícios do Power BI para o controle de qualidade:

- **Visualização Clara e Interativa:** no lugar das análises serem feitas através de planilhas complexas, gestores e operadores podem visualizar os dados dos KPIs em dashboards (painéis) intuitivos. Podem ser usados para monitorar gráficos de tendência, mapas de calor, como mostrado na figura 16 e gráficos comparativos, como na figura 17, que mostram o desempenho atual em relação a metas que foram estabelecidas (Ribeiro, 2023).



Figura 16 - Painel de controle para análise de Mapa de Calor de Defeitos. Fonte: Imagem gerada por Gemini (2025).

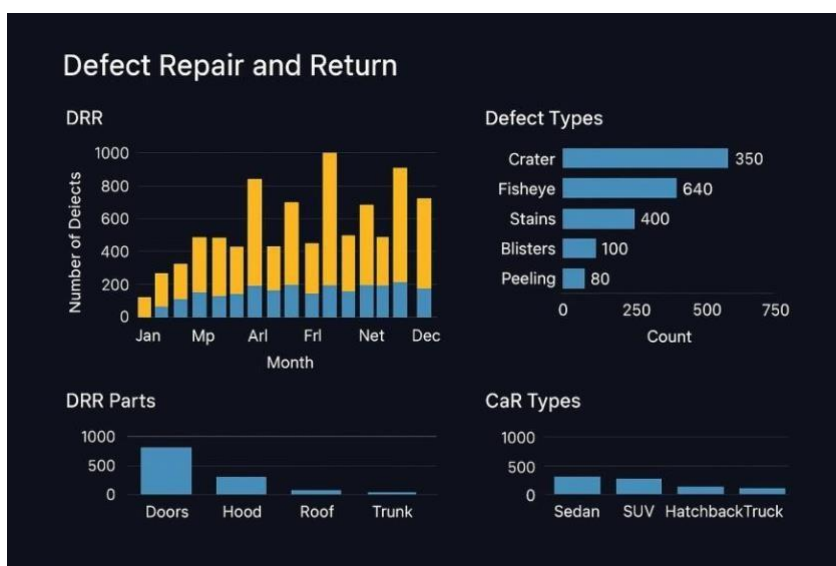


Figura 17 - Painel de indicadores de defeitos em veículos: DRR. Fonte: Elaborado por inteligência artificial (ChatGPT-4o, 2025).

- **Análise detalhada:** o Power BI transforma os dados em uma narrativa visual, que mostra como desempenho do processo através do surgimento de defeitos, a ferramenta permite analisar os dados para buscar entendimento das causas dos problemas. Se o indicador que foi feito para monitorar os defeitos aumentar, é possível fazer uma análise que identifique qual o tipo de defeito que foram gerados por turnos, modelo de carroceria, peça, cor ou qualquer outra variável. Essa análise permite que a equipe possa identificar com maior precisão e possam agir de forma proativa para corrigir o problema.
- **Monitoramento em Tempo Real e Alertas:** o Power BI pode ser configurado para atualizar os dados de forma automática, permitindo que as equipes possam monitorar a performance da produção. Alertas podem ser criados para notificar os responsáveis quando um indicador atingir um limite considerado crítico, facilitando a intervenção imediata e evitando que o problema se agrave.
- **Autonomia e Colaboração:** essa ferramenta promove autonomia, dando permissão para que os usuários criem e personalizem dashboards para atender às suas necessidades específicas.

A integração dessas ferramentas são fundamentais para que as indústrias possam superar a gestão reativa, adotando uma abordagem mais proativa e preditiva. Ao usar esses dados de qualidade para compreender e transformar em informações visuais e estratégicas, a indústria

fortalece a cultura de melhoria contínua e garante que o processo esteja alinhado sempre com os padrões mais altos de eficiência e excelência.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente Trabalho de Conclusão de Curso, com o título “Pintura Automotiva: Evolução, Inovação e Controle de Qualidade”, teve o seu objetivo principal alcançado ao descrever e estruturar, por meio de uma revisão bibliográfica, a evolução histórica que ocorreu no processo de pintura na indústria automotiva. Este estudo buscou apresentar uma perspectiva completa das transformações tecnológicas do setor, desde a era manual até a integração com as mais recentes tecnologias digitais.

A revisão bibliográfica permitiu destacar de forma significativa a transição da indústria para processos mais sustentáveis e eficientes. Os estudos demonstraram que a utilização de tecnologias como a eletrodeposição (cataforese), robótica e o uso de Inteligência Artificial e o *Machine Learning* para o controle de qualidade, estão estruturadas com as tendências globais na produção, que visam diminuir a ocorrência de defeitos, reduzir qualquer tipo de retrabalho e aumentar a eficiência. Além disso, a partir de métodos que analisam e verificam os *KPIs* juntamente com ferramentas de *Business Intelligence* reforçam a mudança de uma gestão que antes era reativa para um método preditivo, reforçando o que a literatura mostra ao dar a devida importância na tomada de decisão ao se basear em dados.

Por se tratar de uma revisão bibliográfica, é importante reconhecer que o trabalho tem suas limitações metodológicas. A principal delas está na ausência de análise de dados experimentais ou um estudo de caso prático. Sendo assim, esse estudo não pôde mostrar dados utilizados e mensurar qual foi o efeito direto na implementação dessas tecnologias referidas no trabalho na indústria, tendo como base de forma exclusiva na interpretação das informações existentes na literatura.

Independentemente das limitações, as colaborações que foram feitas neste trabalho se tornam relevantes para a área. O estudo realizado para ser feito um material teórico foi coeso no que ele representa, fornecendo uma visão clara sobre como se desenvolveu o processo de pintura automotiva e as inovações que impulsionaram essa indústria. Ao descrever o papel da tecnologia para o processo e para a gestão de qualidade, o trabalho fornece um suporte sólido para futuros estudos. Portanto, sugere-se que estudos futuros possam ressaltar a aplicação prática dos conceitos que foram mostrados, investigando novos desafios e quais são os benefícios quantitativos dessas inovações em um contexto industrial.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 11003: **Tintas – Determinação de aderência**. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT. NBR 15311: **Requisitos para sistemas de pintura de veículos automotivos e seus componentes**. Rio de Janeiro, 2018.

A inspeção de pintura automotiva é essencial para detectar pequenos danos. Protelim, 29 mai. 2024. Disponível em: <<https://protelim.com.br/inspecao-pintura-automotiva/>>. Acesso em: 11 ago. 2025.

AKHTAR, Sohail et al. **An Efficient Automotive Paint Defect Detection System**. Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal, Guelph, v. 4, n. 3, p. 171-182, 2019.

ALVES, Y. B. **Desenvolvimento de um aplicativo para melhoria do processo de coleta e análise de dados em uma indústria automotiva**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção Mecânica) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2024.

AUTAZA. **Autaza Paint – Automatizando o setor de qualidade da Indústria Automotiva**. YouTube, 7 ago. 2023. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=IRuzhwZrSml>>. Acesso em: 7 jul. 2025.

AUTO PLAY. **Visita na Fábrica da Stellantis em Goiana/PE - Auto Play e Pajuçara Auto**. YouTube, 12 abri. 2025. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=DxjQwIQauGg>>. Acesso em: 23 mai. 2025..

AXALTA. **Paint Defects Troubleshooting Manual**. Axalta, 2024. Disponível em: <https://www.axalta.com/liquidindustrial_us/en_US/general-industrial/paint-defects-troubleshooting-manal.html>. Acesso em: 5 jun. 2025.

BLACK, F. **Fabricação das tintas automotivas é tão complexa quanto a pintura**. Quatro Rodas, 02 abr. 20214 Disponível em: <<https://quatrorodas.abril.com.br/auto-servico/fabricacao-das-tintas-automotivas-e-tao-complexa-quanto-a-pintura/>>. Acesso em: 11 ago. 2025.

BMW e BASF comemoram 1 ano de tecnologia de pintura à base d'água no Brasil. BMW, [S. l.], 2006. Disponível em: <<https://www.press.bmwgroup.com/brazil/article/detail/T0066828PT/bmw-e-basf-%20comemoram-1-ano-de-tecnologia-de-pintura-%C3%A0-base-d-%C3%A1gua-no-%20brasil?language=pt>>. Acesso em: 14 mai. 2025.

CASASOLLA, J. R. **Técnicas de ciência de dados aplicadas à detecção de padrões de falha em processos de pintura automotiva**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Ciência de Dados) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2021.

Cataforese. Pramer, 29 nov. 2020. Disponível em: <<https://www.pramer.com.br/cataforese/>>. Acesso em: 12 ago. 2025.

CHATGPT-4o. **Painel de indicadores de defeitos em veículos: DRR**. [S. l.]: OpenAI, 2025. Imagem gerada por inteligência artificial.

CHINEN, R. et al. Aplicação da tecnologia Honda 3-Wet Primer-less na pintura de carrocerias

para redução de emissões (CO₂ e VOC). **Blucher Engineering Proceedings**, p. 408–413, 1 set. 2023.

COISAS DE AGORA. **Volkswagen inaugura nova área de pintura**. YouTube, 12 nov. 2012. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=K5jgaZl2oVM>>. Acesso em: 11 jun. 2025.

Defeitos-em-pintura-automotiva. Laudo, [S. l.], 2022. Disponível em: <<http://www.grupolaudo.com.br/site/imgs/Defeitos-em-pintura-automotiva.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2025.

Defeitos de pintura. WEG, [S. l.], 2024. Disponível em: <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h71/h33/WEG-tintas-defeitos-de-pintura-50049597-catalogo-pt.pdf>>. Acesso em: 1 jun. 2025.

Deteção de defeitos na pintura de carros usando IA. Solomon. Disponível em: <<https://www.solomon-3d.com/pt/case-studies/solvision/car-paint-defect-detection-ai/>>. Acesso em: 12 ago. 2025.

DIAS, Pablo Carvalho. **Business Intelligence (BI) como ferramenta para gestão estratégica nas empresas: um estudo em empresas de grande porte com atuação em São Luís**. 2024. 27 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Administração) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2024.

DUVONBLOG. **Saiba como evitar os principais defeitos em tintas automotivas com as soluções da Duvon**. Duvon. Disponível em: <<https://www.duvon.com.br/post/saiba-como-evitar-os-principais-defeitos-em-tintas-automotivas-com-as-solu%C3%A7%C3%B5es-da-duvon>>. Acesso em: 10 jul. 2025.

Fabricação de Automóveis. Henkel Adhesives. Disponível em: <<https://www.henkel-adhesives.com/br/pt/setores-industriais/industria-do-automovel-e-de-transportes/fabricacao-de-automoveis.html>>. Acesso em: 12 jun. 2025.

Elcometer 456 Coating Thickness Gauge - Separate. Elcometer. Disponível em: <www.elcometer.com/en/elcometer-456-separate-coating-thickness-gauge.html>. Acesso em: 8 jul. 2025.

Entendendo as emissões de VOC: importância da redução e do progresso da Cummins. Cummins Inc. Disponível em: <<https://www.cummins.com/pt/news/2024/09/20/understanding-voc-emissions-importance-reduction-and-cummins-progress>>. Acesso em: 12 jun. 2025.

EQUIPE DR. BRILHO. **Quais são as Camadas da Pintura de um Carro?** | Dr. Brilho, 2024. Disponível em: <<https://www.drbrilho.com.br/blog/quais-sao-as-camadas-da-pintura-de-um-carro/>>. Acesso em: 11 jun. 2025.

GEMINI. **Painel de controle para análise de Mapa de Calor de Defeitos**. [S. l.]: Google Gemini, 2025. Imagem gerada por inteligência artificial.

Guidance for using Basecoat and Clear Lacquer. Colourtone Ltd., [S. l.], [S. n.]. Disponível em: <https://colourtone.com/wp-content/uploads/2023/11/colourtone_basecoat_guide.pdf?srsltid=AfmBOop0_rP2tldnrnQz1j_kU3m0N701y_HE1bQx4cMJ2tUsYaSEBzU7>. Acesso em: 7 jul. 2025.

HERNANDES, Dalmo. **“Seu Ford Modelo T pode ter qualquer cor, desde que seja preto”. Será mesmo?**. Flatout!, 28 fev. 2019. Disponível em: <<https://flatout.com.br/seu-ford-modelo-t-pode-ter-qualquer-cor-desde-que-seja-preto-sera-mesmo/>>. Acesso em: 11 jul. 2025.

ISO. 2808: **Paints and varnishes — Determination of film thickness**. Geneva, 2019.

LEÃO, T. **Retrabalho: entenda o que é e como evitar**. Nomus, 17 abri. 2024. Disponível em: <<https://www.nomus.com.br/blog-industrial/retrabalho/>>. Acesso em: 26 jul. 2025.

LOPES, João Filipe Gonçalves. **Aplicação de Princípios Lean Thinking numa Empresa do Setor Automóvel: a importância dos KPI**. 2015. 87 f. Relatório de Projecto (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) – Universidade de Aveiro, Aveiro, 2015.

MASTER. **Pintura a base de água**. Master, 2020. Disponível em: <<https://www.commaster.com.br/artigo-pintura-base-agua/>>. Acesso em: 15 mai. 2025.

MATOS, Tânia Pinheiro de. **Tratamento de superfícies metálicas por cataforese**. 2019. Tese (Mestrado em Química - Controlo de Qualidade e Ambiente) - Universidade de Coimbra, Coimbra, 2019.

MARSHAL. **Evolução da Pintura Automotiva: 60 anos de inovação e sustentabilidade**. Indústria SA, 25 jul 2025. Disponível em: <<https://industriasa.com.br/evolucao-da-pintura-automotiva-60-anos-de-inovacao-e-sustentabilidade/>>. Acesso em: 10 ago. 2025.

NACCARI, F. **A história da pintura automotiva**. Instacarro.com, 09 fev. 2022. Disponível em: <<https://www.instacarro.com/blog/mercado-automotivo/a-historia-da-pintura-automotiva>>. Acesso em: 26 jul. 2025.

No princípio os carros eram pintados à mão. DataboxSistemas, [S. l.], 2023. Disponível em: <<https://databoxsistemas.com.br/no-principio-os-carros-eram-pintados-a-mao/>>. Acesso em: 3 jul. 2025.

PEDROSO, Caroline Martins. **Análise das causas raízes de falhas no processo de pintura de peças plásticas e proposta de um plano de ação para reduzir seus efeitos indesejados**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

PENTANOVA. **Defeitos em processos de pintura automotiva e industrial**. Pentanova. Disponível em: <<https://pentanova.com.br/processos-de-pintura-automotiva/>>. Acesso em: 12 ago. 2025.

Principais Defeitos de Pintura. Bema Tintas. Disponível em: <<https://bematintas.com.br/principais-defeitos-de-pintura/>>. Acesso em: 7 jul. 2025.

Processo de fosfato: por que ele é crucial para a aderência de tintas em metais?. Antocon Galvanoplastia. Disponível em: <<https://www.antocon.com.br/blog/fosfatizacao-seca/processo-de-fosfato-por-que-ele-e-crucial-para-a-aderencia-de-tintas-em-metais/>>. Acesso em: 12 jul. 2025.

Processo de pintura KTL ou cataforese. Art Coating. Disponível em: <<https://www.artcoating.com.br/processo-de-pintura-ctl-ou-cataforese>>. Acesso em: 10 jun. 2025.

Processo de Vedação. Dürr, 2024. Disponível em: <<https://www.durr.com/pt/produtos/tecnologia-de-vedacao-e-colagem/processo-de-vedacao>>. Acesso em: 3 jul. 2025.

REIS, C. S. J. **Optimização de Processos de Pintura Anticorrosiva por Electrodeposição Cataforética na Indústria Automóvel**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2008.

RIBEIRO, M. F. B. G. de F. **Os Sistemas de Business Intelligence nas Organizações: Construção de um Dashboard em Power BI**. 2023. Relatório de Estágio (Mestrado em Gestão) - Universidade de Coimbra, Coimbra, 2023.

Saiba o que é tinta de baixo VOC e conheça os benefícios do produto. Globalcolor, 2024. Disponível em: <<https://www.globalcolor.com.br/tinta-de-baixo-voc/>>. Acesso em: 12 jun. 2025.

SICHI, Andriel. **Desenvolvimento de metodologia e protocolo para avaliação da influência das impurezas depositadas na camada do substrato em pintura automotiva**. 2021. Dissertação (Mestrado em Materiais) - Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2021.

SILVA, A. K. **Controle do índice de retrabalho: estudo de caso em uma empresa do ramo automotivo**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - [Instituição não identificada], 2024.

Sistemas de Ultrafiltração. Separations. Disponível em: <<https://separations.com.br/sistemas-de-ultrafiltracao/>>. Acesso em: 16 jun. 2025.

TITO, A. L. L. **Melhorias ao processo de pintura automotiva por meio de técnicas de machine learning**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Ciência de Dados) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2022.

TREVIZAN, João Pedro Gonçalves. **Melhoria contínua da qualidade no processo de pintura automotiva**. 2013. Artigo (Trabalho de Diplomação) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

Vedação de Carroceria. Sika Brasil. Disponível em: <<https://bra.sika.com/pt/industry/automotive-aftermarket/vedacao-de-carroceria.html>>. Acesso em: 12 ago. 2025.

WEBCOAG. **Erros mais comuns na pintura automotiva e como evitá-los**. Centauro Auto Parts, 11 abr. 2025. Disponível em: <<https://www.centauroautoparts.com.br/blog/erros-mais-comuns-na-pintura-automotiva-e-como-evita-los/>>. Acesso em: 7 jul. 2025.

