

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MARCOS VINICIUS DE SOUZA PEDROSA

**ESTUDO PARA REDUÇÃO DO CONSUMO DE TINTA NO SETOR DE PINTURA
EM UMA FÁBRICA DE MANAUS**

MANAUS
2024

MARCOS VINÍCIUS DE SOUZA PEDROSA

**ESTUDO PARA REDUÇÃO DO CONSUMO DE TINTA NO SETOR DE PINTURA
EM UMA FÁBRICA DE MANAUS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção

Orientador: Prof. Dr. Francisco Assis Barros de Oliveira.

MANAUS
2024

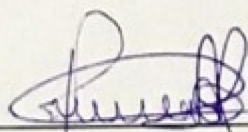
MARCOS VINÍCIUS DE SOUZA PEDROSA

**ESTUDO PARA REDUÇÃO DO CONSUMO DE TINTA NO SETOR DE PINTURA
EM UMA FÁBRICA DE MANAUS**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia de Produção da Universidade do Estado do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Data de aprovação: Manaus (AM), 09 de dezembro de 2024.

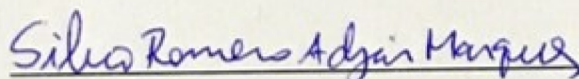
Banca examinadora:



Francisco Assis Barros de Oliveira, Prof., Dr.
Universidade do Estado do Amazonas



Nadja Polyana Felizola Cabete, Profa., Dra.
Universidade do Estado do Amazonas



Silvio Romero Adjar Marques, Prof., MSc.
Universidade do Estado do Amazonas

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me abençoar e guiar em todas as conquistas e vitórias que tem sido alcançada em minha vida.

A minha mãe Monica Amorim pela criação, orientação, amor, carinho, cuidado, torcida e incentivo para continuar nos momentos que pensei em desistir.

Ao meu padrasto Sidney Barbosa, que fez de tudo para eu cursar faculdade em outro estado e que sempre está ao meu lado.

Ao meu pai, que mesmo distante me incentiva a continuar e torce por mim.

A minha avó Ana Maria, que mesmo longe fisicamente não deixou de orar por mim e se preocupar comigo.

As minhas amigas Ana Beatriz, Tamires e Nicole pelo apoio, incentivo e lealdade indiscutíveis durante todos os momentos importantes da graduação.

Ao meu encarregado e chefe Matheus Abreu, por acreditar em mim, me ensinar, incentivar a crescer e aprender a cada novo desafio.

Ao professor Francisco Assis Barros de Oliveira e a professora Rejane Gomes Ferreira pela orientação, incentivo e ensinamentos.

A Escola Superior de tecnologia por disponibilizar a estrutura física e profissionais qualificados para a construção do meu conhecimento.

RESUMO

Na indústria de motocicletas, a pintura desempenha um papel importante, responsável por agregar valor ao produto final. O presente trabalho tem como objetivo principal analisar o processo de aplicação de tinta líquida em peças plásticas de motocicletas, com ênfase na identificação de fatores que contribuem para o elevado consumo de tinta e propor melhorias para reduzir esse desperdício. O estudo foi realizado em uma fábrica que realiza a pintura de peças plásticas da motocicleta, localizada em Manaus. A metodologia adotada foi um estudo de caso, que incluiu a coleta e análise de dados dos parâmetros de pintura, como viscosidade da tinta, temperatura da cabine, a pressão do ar nas pistolas e taxa de transferência da tinta para a peça. Os resultados indicaram que, embora os parâmetros de aplicação estejam dentro das especificações, a maior parte da tinta aplicada não adere na peça, devido ao uso de ar comprimido na atomização da tinta, que resulta em ineficiência na pulverização, o que leva ao desperdício de tinta. Para mitigar esse problema, o estudo sugere a implementação de uma tecnologia inovadora, o sistema Kromavis, que utiliza nitrogênio em vez de ar comprimido. A adoção dessa tecnologia foi analisada a partir de um *benchmarking* com fábricas referência em pintura plástica, como França, que já implementaram o sistema e observaram uma redução de até 40% no consumo de tinta. A utilização do Kromavis oferece vantagens como a redução do desperdício de tinta e a melhoria na qualidade da pintura, além de proporcionar uma maior precisão na aplicação da tinta. A análise de custo indicou que a implementação dessa tecnologia traz uma redução significativa no custo com tinta, com um retorno sobre o investimento em menos de um ano. Assim, o estudo conclui que a substituição do ar comprimido por nitrogênio é uma solução viável e eficiente para reduzir o consumo de tinta, otimizar o processo produtivo e minimizar impactos ambientais, ao mesmo tempo em que melhora a qualidade do acabamento das peças pintadas.

Palavras-chave: consumo de tinta; pintura; ar comprimido; tinta; kromavis.

ABSTRACT

In the motorcycle industry, painting plays an important role, responsible for enhancing the motorcycle's appearance and adding value to the final product. The main objective of this study is to analyze the process of liquid paint application on plastic motorcycle parts, with an emphasis on identifying factors that contribute to the high paint consumption and proposing improvements to reduce this waste. The study was conducted at a factory in Manaus that specializes in painting plastic motorcycle parts. The methodology used was a case study, which included the collection and analysis of painting parameters such as paint viscosity, booth temperature, and air pressure in the spray guns. The results indicated that, although the application parameters are within specifications, most of the applied paint does not adhere to the part, due to the use of compressed air in the paint atomization, which results in inefficiency in the spraying process and leads to paint waste. To address this issue, the study suggests implementing an innovative technology, the Kromavis system, which uses nitrogen instead of compressed air. The adoption of this technology was analyzed through benchmarking with factories in other countries, such as France, which have already implemented the system and observed a reduction of up to 40% in paint consumption. The use of Kromavis offers advantages such as reduced paint waste, improved paint quality, and greater precision in paint application. The cost analysis indicated that implementing this technology result in a significant reduction in paint costs, with a return on investment in less than a year. Thus, the study concludes that replacing compressed air with nitrogen is a viable and efficient solution to reduce paint consumption, optimize the production process, and minimize environmental impacts, while also improving the quality of the painted parts' finish.

Keywords: paint consumption; painting; compressed air; ink; Kromavis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Cortina de água da cabine de pintura	16
Figura 2 – Partes importantes de uma pistola convencional.	17
Figura 3 – Diferença de uma capa de ar com furos e sem.....	18
Figura 4 – Diferença da aplicação de camada de tinta por pistolas convencionais e por pistolas eletrostáticas.	19
Figura 5 – Sistema de ar comprimido.....	20
Figura 6 – Funcionamento do ar comprimido na pistola.....	20
Figura 7 – Reservatório com a tinta preparada e seus componentes	23
Figura 8 – Expositor com a cores utilizadas para análise	24
Figura 9 – Formulário com orientações para o teste de leque das pistolas	25
Figura 10 – Medição da viscosidade da tinta.	26
Figura 11 – Termo hidrômetro.....	27
Figura 12 – Medição da temperatura da sala de preparação de tinta	27
Figura 13 – Situações que podem ocorrer com uma abertura de leque irregular (dois primeiros exemplos) e com uma abertura regular	28
Figura 14 – Medição dos manômetros da pressão de entrada de ar nas pistolas	29
Figura 15 – Peças utilizadas no teste.....	30
Figura 16 – Pesagem da peça painel 1	30
Figura 17 - Evaporação dos gases no processo de estufa	31
Figura 18 – Da esquerda para direita: Forma metálica, folhas de alumínio com tinta na estufa do laboratório e pesagem da folha com a tinta	32
Figura 19 – Resultado do teste para verificar teor de sólidos na tinta vermelha	32
Figura 20 – Formulário para cálculo de nível de sólidos da tinta.....	33
Figura 21 – Formulário para encontrar a eficiência de transferência de tinta para a peça	34
Figura 22 – Teste da abertura do leque da pistola	36
Figura 23 – Avaliação benchmark realizado.....	38
Figura 24 - Equipamento Kromavis, que utiliza nitrogênio para pulverização	39
Figura 25 – Comportamento dos gases no ar comprimido e no kromavis	40
Figura 26 – Adequação necessária para estrutura do kromavis	40
Figura 27 – Separação das moléculas de nitrogênio das outras.....	41
Figura 28 – Impacto anual no custo	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultado das viscosidades das tintas coletadas.....	35
Tabela 2 – Resultado da temperatura da cabine na preparação de tinta.....	35
Tabela 3 – Resultado da pressão do ar de entrada nas pistolas.....	36
Tabela 4 – Resultado da eficiência de transferência da tinta	37
Tabela 5 – Redução de custo com tinta considerando três cenários possíveis	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	TEMA	10
1.2	PROBLEMA DE PESQUISA	11
1.3	OBJETIVOS.....	11
1.3.1	Objetivo geral.....	11
1.3.2	Objetivos específicos.....	11
1.4	METODOLOGIA DA PESQUISA REALIZADA.....	11
1.5	LIMITAÇÃO DO ESTUDO.....	12
1.6	ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	13
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1	TINTA.....	14
2.2	CABINE DE PINTURA.....	15
2.2.1	Cortina de água.....	16
2.3	PINTURA POR PISTOLA.....	17
2.4	SISTEMA DE AR COMPRIMIDO.....	19
2.5	BENCHMARKING.....	21
3	DESCRIÇÃO DO PROCESSO ATUAL	22
3.1	MÉTODO DE MENSURAÇÃO DA QUANTIDADE DE TINTA ADERIDA	29
4	RESULTADOS	35
5	CONCLUSÃO.....	44
	REFERÊNCIAS.....	45
	ANEXO A – FORMULÁRIO PARA CÁLCULO DE NÍVEL DE SÓLIDOS DA TINTA	46
	ANEXO B – FORMULÁRIO PARA CÁLCULO DE EFICIÊNCIA DE TRANSFERÊNCIA DE TINTA.....	47

1 INTRODUÇÃO

Em uma indústria de motocicletas, a pintura desempenha um papel vital, responsável pelo embelezamento da moto, agregando valor ao produto, visto que é o primeiro contato do cliente com a motocicleta. Além do valor estético, a pintura funciona como proteção anticorrosiva (Nunes; Lobo, 2014) em peças metálicas, como tanques e chassis.

Em peças plásticas, devido às suas características, a pintura não funciona como recurso de proteção anticorrosivo, porém, é realizada em etapas para melhorar a adesão e qualidade sobre o material. As etapas são: pré-tratamento, pintura e secagem na estufa.

O pré-tratamento é o primeiro passo a realizar e tem o objetivo de preparar o substrato para ser pintado, através da eliminação de qualquer tipo de contaminação, com o intuito de promover a adesão da tinta à peça.

O processo de pintura refere-se ao processo no qual uma quantidade de tinta estipulada é “disparada” em direção à peça de modo a cobri-la totalmente. A secagem da tinta é a etapa no qual a peça passa pela estufa com o objetivo de garantir as propriedades físicas de dureza, flexibilidade, além da aparência, estabilidade de cor e resistência química.

No entanto, o processo de pintura consome quantidades significativas de tinta, decorrente de perdas que acontecem durante a aplicação de tinta na peça, levando o setor a ter custos elevados com esse material. O problema identificado representa um grande desafio para o setor, cujo principal insumo é a tinta.

Este trabalho tem como proposta realizar um estudo buscando identificar desvios no processo e trazer melhorias para o setor de pintura visando reduzir o consumo de tinta. Com isso, otimizará o processo produtivo e garantirá a qualidade do produto final.

1.1 TEMA

Estudo para redução do consumo de tinta no setor de pintura em uma fábrica de Manaus.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

No processo de pintura, necessita-se de mão de obra qualificada para realizar a atividade, visto que requer um conhecimento profundo do processo e sua interligação dos parâmetros, incluído a peça e a tinta. Na fábrica, para pintura de peças plásticas utilizam-se pistolas convencionais. O método convencional de pintura, *air spray*, baseia-se na atomização das partículas de tinta através da combinação desta com ar comprimido. Esta forma de pintar confere um bom revestimento do substrato, no entanto, apenas uma parte do que sai da pistola adere na peça, o restante gera *over spray*, que é o excesso de tinta que não atinge a superfície e se dispersa no ar, causando o desperdício de tinta. Dessa forma, quais fatores contribuem para o alto consumo de tinta em peças plásticas?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Analisar o processo de aplicação de tinta líquida em peças plásticas de motocicleta.

1.3.2 Objetivos específicos

- Avaliar os parâmetros do processo;
- Identificar os motivos que levam ao alto consumo de tinta;
- Propor soluções para o setor de pintura visando reduzir custo e consumo de tinta.

1.4 METODOLOGIA DA PESQUISA REALIZADA

Segundo Gil (2010), a escolha da metodologia deve estar alinhada aos objetivos da pesquisa e ao tipo de problema a ser investigado. As metodologias de pesquisa são essenciais para orientar a investigação acadêmica e incluem diversas abordagens, cada uma adequada a diferentes objetivos e contextos.

A pesquisa bibliográfica envolve a análise de obras já publicadas sobre o tema, enquanto a pesquisa documental examina documentos relevantes para a questão estudada. A pesquisa experimental busca estabelecer relações de causa e efeito em ambientes controlados, e a pesquisa *ex-post facto* analisa eventos já ocorridos, sem a manipulação de variáveis. O estudo de coorte acompanha grupos ao longo do tempo para observar desfechos específicos, enquanto o levantamento coleta dados de uma população para identificar padrões. O estudo de campo é realizado no ambiente natural dos sujeitos da pesquisa

Para Yin (2015), o estudo de caso é uma das maneiras de fazer pesquisa em todas as áreas. Experimentos, levantamentos, pesquisas históricas e análise de informações em arquivos são alguns exemplos de maneiras diferentes para a realização de uma pesquisa.

A escolha do método adequado para desenvolvimento de uma pesquisa depende do seu objetivo e das questões que o pesquisador pretende responder. Gil (2010) classifica a pesquisa, quanto ao objetivo, em três categorias básicas: exploratória, explicativa e descritiva. Pesquisas exploratórias visam compreender um fenômeno ainda pouco estudado ou aspectos específicos de uma teoria ampla. Pesquisas explicativas, visam identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos, explicando suas causas. E, por fim, a descritiva, descrever determinada população ou fenômeno.

A metodologia deste trabalho consiste em um estudo de caso, pois permite uma análise detalhada do processo de pintura, identificando os fatores que contribuem para o alto consumo de tinta e propondo soluções práticas.

A metodologia utilizada envolve a coleta de dados por meio de diversas fontes, como observações diretas, análise de documentos e testes em laboratório. Yin (2001) sugere que o uso de múltiplas fontes de evidência aumenta a validade do estudo e proporciona uma visão mais completa do problema investigado. A pesquisa é do tipo explicativa, pois busca identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos.

1.5 LIMITAÇÃO DO ESTUDO

O estudo foi realizado em uma fábrica do segmento de duas rodas localizada na cidade de Manaus, que utiliza a tinta líquida no seu processo para pintura de peças

plásticas com o uso de pistolas convencionais. Os dados coletados e as análises foram feitos no período de julho a outubro de 2024. Os resultados obtidos são exclusivos do mesmo, podendo ser aplicado a outras fábricas com as mesmas características no processo de pintura, observando suas particularidades.

1.6 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está distribuído em 5 capítulos. O primeiro capítulo contém a parte introdutória, onde é apresentado a introdução do trabalho, os objetivos e a metodologia utilizada na pesquisa.

O segundo capítulo é uma revisão da literatura das principais discussões sobre o tema que será abordado neste trabalho.

O terceiro capítulo apresenta uma explicação sobre o processo de pintura e apresenta os materiais e métodos utilizados nessa pesquisa.

O quarto capítulo mostra os resultados e sugestão de melhoria para o problema identificado.

O quinto capítulo mostra as conclusões sobre o trabalho feito.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Com o objetivo de aprofundar o conhecimento e expor ideias já existentes sobre o assunto serão fundamentados tópicos sobre o assunto abordado. Os temas abordados são: Tinta, Cabine de Pintura, Pintura por pistola e sistema de ar comprimido e *Benchmarking*.

2.1 TINTA

A tinta é um composto líquido que após a aplicação sobre uma superfície passa por um processo de cura, se tornando um filme sólido, aderente, fino, flexível e impermeável. São compostas por solventes, resinas, aditivos e pigmentos (Gnecco, 2003).

São divididas em tintas monocomponentes e bicomponentes. As monocomponentes já vem prontas nas latas, não sendo necessário adicionar outra substância em preparo para aplicação. É necessário realizar a homogeneização para que a tinta realize seu total desempenho, pois são constituídas de produtos em suspensão que através da gravidade se sedimentam, e formam duas fases distintas – a líquida superior é composta por solvente, resina e aditivos líquidos; a inferior é a sedimentação, composta pelo pigmento sedimentado, cargas e aditivos sólidos (Gnecco, 2003).

As tintas bicomponentes são fornecidas em duas embalagens, com conteúdo que devem ser misturados momentos antes do uso, para que as reações entre os componentes se processem. Deve-se prestar atenção porque com o tempo a tinta gelatiniza ou endurece, não sendo utilizável. Na fábrica, a pintura de peças plásticas utiliza tintas e vernizes poliuretânicos (PU) que necessitam da adição de um catalisador, logo são bicomponentes.

Como a propriedade física das peças de cada pintura são diferentes, a quantidade de tinta a ser preparada também varia. Nas pinturas metálicas, que utilizam tintas monocomponentes, as tintas são preparadas para o dia todo já que não possuem catalisador, mas as tintas bicomponentes devem ser preparadas gradualmente. As peças plásticas quando empregadas altas temperaturas tendem a se deformar, sendo necessária a adição de catalisador para acelerar o processo de

secagem na estufa. Já as peças metálicas suportam altas temperaturas nas estufas enquanto secam, não sendo necessária a adição de catalisadores.

Na cabine de pintura são aplicadas camadas de primer, base e verniz. O primer é aplicado primeiro, tem contato direto e afinidade com o substrato, possui pigmentos anticorrosivos em sua composição, confere uma camada protetora, mas não possui um acabamento tão bom à peça. Assim, adiciona-se a tinta (base) que quando aplicada sobre o substrato forma uma película opaca com características protetoras e decorativas, dando cor a peça. E em alguns lotes de peça também são aplicadas uma camada de verniz, que forma uma película sólida transparente com características protetoras – resistência – e decorativas – brilho.

No processo de Pintura, o processo de aplicação da tinta é realizado nas cabines de pintura.

2.2 CABINE DE PINTURA

A cabine de pintura é um ambiente controlado, onde ocorre o processo de pintura, no qual são aplicados os primers, bases e vernizes. Este espaço é vital para garantir a qualidade e a eficiência do processo, reduzindo perdas e melhorando a adesão da tinta às superfícies. ACCI (2021), a cabine de pintura contribui significativamente para a melhoria da qualidade do produto final, oferecendo um ambiente seguro. Isso possibilita que os pintores desempenhem suas atividades de acordo com as normas regulamentadoras, garantindo um trabalho mais eficiente e dentro dos padrões estabelecidos.

A cabine deve ser equipada com sistemas que asseguram condições ideais de temperatura, umidade e ventilação, fundamentais para o desempenho da tinta e a saúde do pintor. Outro aspecto essencial a ser considerado na cabine de pintura é a temperatura. A temperatura ideal dentro da cabine influencia diretamente a viscosidade da tinta, a taxa de evaporação dos solventes e a adesão da tinta ao substrato. Temperaturas excessivamente baixas ou altas podem resultar em problemas como embaçamento, rugosidade e baixa durabilidade da película. Assim, manter a temperatura em níveis apropriados é uma prática necessária para otimizar o processo e garantir a qualidade do acabamento final.

A casa de ar é responsável por fornecer um fluxo constante e filtrado de ar, essencial para a atomização correta da tinta nas pistolas de pintura. A qualidade do

ar é crítica, pois qualquer contaminação pode comprometer a adesão e o acabamento. Por outro lado, a sala de preparação de tinta deve ser um espaço controlado, onde as tintas são misturadas de acordo com especificações técnicas e sob condições adequadas de temperatura e umidade, evitando reações indesejadas que possam afetar a qualidade do produto final.

2.2.1 Cortina de água

Uma das partes mais importantes da cabine de pintura é a cortina d'água. A água de cabine é uma cortina de água (figura 1) que fica localizada nos fundos da cabine onde ocorre a aplicação de tinta. Essa cortina d'água tem o intuito de captar o *over spray* que é gerado de toda a tinta que não se adere à peça pintada. Essa tinta desperdiçada é lançada então para a cortina que circula constantemente. A água de cabine juntamente com as partículas de tinta circula, e essas partículas formam uma borra que fica concentrada.

Figura 1 – Cortina de água da cabine de pintura



Fonte: AUTOR (2024)

Esse processo não só minimiza o desperdício de tinta, mas também contribui para a segurança ambiental e a saúde ocupacional, reduzindo a exposição dos trabalhadores a partículas voláteis.

Para que o processo de pintura possa ser compreendido, se faz necessário o conhecimento sobre as pistolas utilizadas no processo.

2.3 PINTURA POR PISTOLA

Existem dois tipos de pistolas utilizadas no processo de aplicação de tinta: as pistolas eletrostáticas e as pistolas convencionais. As pistolas convencionais conferem o método mais tradicionalmente utilizado nos setores industriais, podendo ser com caneco de sucção ou tanque de pressão.

Nas pistolas convencionais com alimentação por sucção a tinta é puxada por sucção para a pistola, já com a alimentação por pressão a tinta é empurrada para a pistola devido à pressão no tanque. Os setores das pinturas utilizam as pistolas convencionais tanque de pressão.

Na fábrica são utilizadas as pistolas de pressão, visto que o tanque permite que seja preparado um volume grande de tinta, ligados por mangueiras que pesam menos comparados a pistola de caneco e permitem maior mobilidade das pistolas durante a pintura.

Figura 2 – Partes importantes de uma pistola convencional.

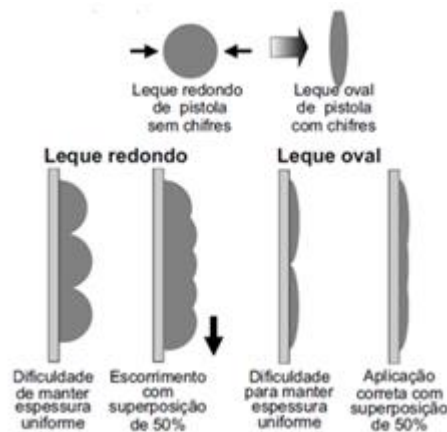


Fonte: Gnecco (2003)

Como pode ser observado na figura 2, as partes mais importantes da pistola são: o ajuste do leque; ajuste de fluido; o bico de fluido; capa de ar; agulha; defletor; guarnição; gatilho. Nessa pistola de ar comprimido a tinta forma um “spray” ao ser soprada por jatos de ar comprimido. A tinta é reduzida a gotas pequenas quando sai do bico da pistola, sendo levada pelo mesmo ar comprimido que a pulveriza até a superfície.

Por exemplo, a capa de ar possui furos que achatam o leque em um formato oval, que permite a obtenção de espessuras mais uniformes. A figura abaixo demonstra a diferença que os furos fazem, figura 3. Já o bico e a agulha funcionam juntos, formando uma espécie de válvula. Quando o pintor aciona o gatilho da pistola, a agulha é puxada, se afastando do bico e deixando passar a tinta. O diâmetro do bico define a quantidade de tinta pulverizada por minuto.

Figura 3 – Diferença de uma capa de ar com furos e sem.

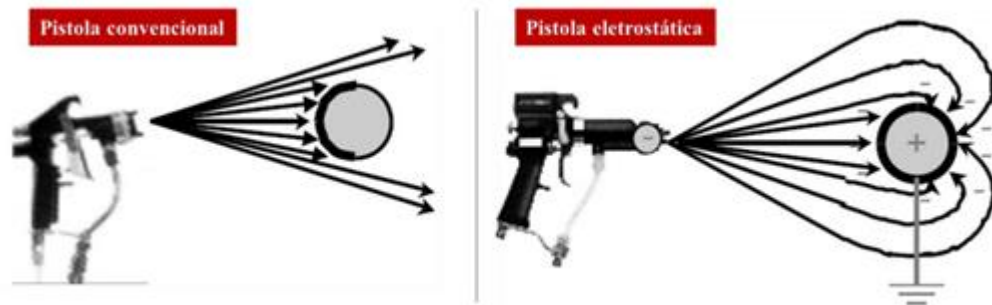


Fonte: Gnecco (2003)

O outro tipo de pistola utilizado é a pistola eletrostática, que envolve cargas eletrostáticas. A tinta é eletrizada na pistola, sendo projetada contra a peça que possui aterramento, logo, a peça está com carga de sinal contrário.

Na forma convencional a tinta é jogada e as partículas que não se aglutinam na peça são perdidas. Já na forma eletrostática a tinta por ser eletrizada é atraída pelo campo eletrostático que é criado, e as partículas que convencionalmente são perdidas, dessa forma são atraídas para a peça, rendendo um aproveitamento maior, figura 4.

Figura 4 – Diferença da aplicação de camada de tinta por pistolas convencionais e por pistolas eletrostáticas.



Fonte: GNECCO (2003)

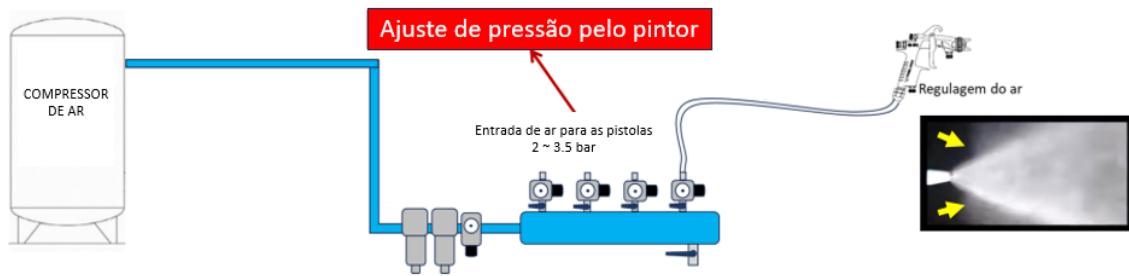
O sistema de pintura de peças plásticas trabalha em baixa pressão sem o uso da tecnologia eletrostática, e com isso necessita do uso de pistolas com ar assistido, ou seja, pistolas que necessitam de ar comprimido para a criação do leque de pintura.

2.4 SISTEMA DE AR COMPRIMIDO

O sistema de ar comprimido em cabine de pintura líquida é essencial para a aplicação uniforme da tinta. A estrutura básica desse sistema inclui um compressor de ar, uma rede de distribuição e reguladores de pressão. O compressor é responsável por gerar ar comprimido, que é posteriormente armazenado em um tanque, garantindo um fluxo contínuo durante a operação. A rede de ar, composta por tubulações e conexões, distribui o ar para os equipamentos de pulverização, como pistolas ou pulverizadores, permitindo que o ar comprimido alcance a cabine de pintura de maneira eficiente, conforme figura 5.

O funcionamento do sistema inicia-se com a captação do ar ambiente pelo compressor, que o comprime e o armazena. O ar comprimido é filtrado para remover impurezas e umidade, fatores que podem comprometer a qualidade da pintura. Após o tratamento, o ar é regulado para manter uma pressão ideal, que varia de acordo com o tipo de tinta e a técnica de pulverização utilizada. Essa regulação é crucial, pois uma pressão inadequada pode resultar em pulverização irregular, levando a um acabamento insatisfatório.

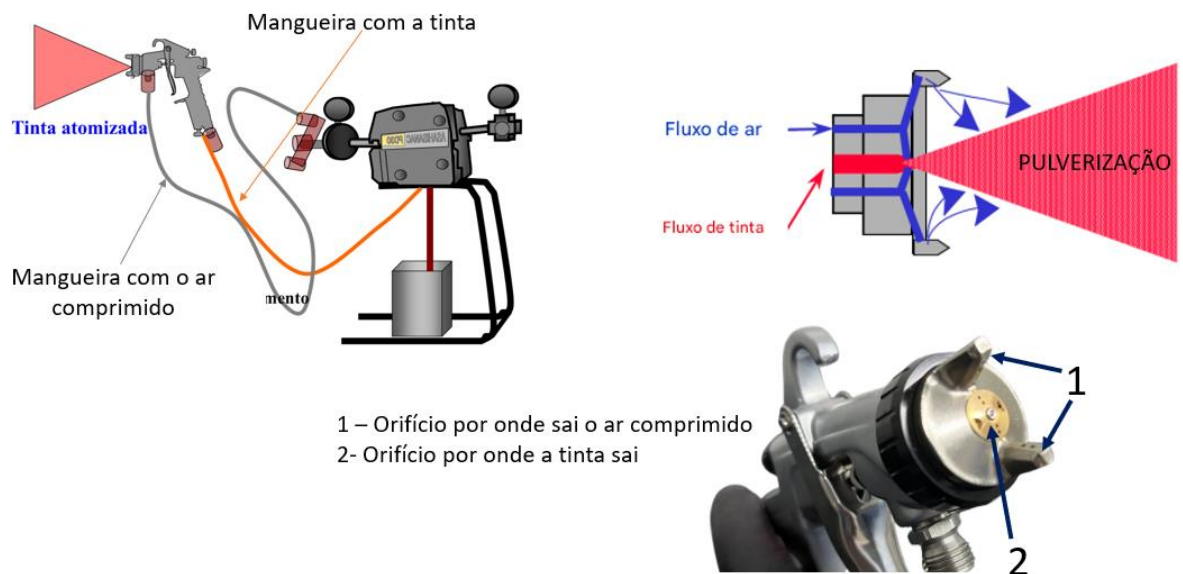
Figura 5 – Sistema de ar comprimido



Fonte: AUTOR (2024)

A aplicação do ar comprimido na pulverização é um fator determinante para a eficiência do processo de pintura. A tinta líquida é misturada com o ar comprimido, no qual a pressão do ar ajuda a atomizar a tinta, ou seja, a quebra da tinta em pequenas partículas que formam uma névoa, permitindo que a tinta seja aplicada de maneira uniforme na superfície da peça, conforme figura 6.

Figura 6 – Funcionamento do ar comprimido na pistola



Fonte: AUTOR (2024)

Pressões mais altas geram uma atomização mais fina, mas podem aumentar o desperdício de tinta, gerando o *over spray*, enquanto pressões mais baixas podem resultar em uma aplicação irregular ou mal distribuída. A qualidade da pulverização depende não apenas da pressão do ar, mas também do design do bico e da viscosidade da tinta, fatores que devem ser ajustados para otimizar o desempenho do sistema.

2.5 BENCHMARKING

Benchmarking é uma abordagem de gestão adotada por empresas para estabelecer posições de liderança, em seus produtos, processos e práticas organizacionais de conhecimento e como atingi-los. Essa prática é vista como uma ferramenta essencial para a melhoria do desempenho global da empresa, tanto no que se refere aos produtos oferecidos quanto aos processos envolvidos. Aplicado na busca do conhecimento e informação do mercado, sofrendo um processo de adequação às condições da organização.

Trata-se de um instrumento estratégico crucial para empresas que almejam ser referência e líder de mercado, pois irá avaliar e analisar as melhores práticas do mesmo ramo de negócios ou de outros, capaz de identificar e ganhar vantagens competitivas necessárias para a permanência no mercado e a estabilização do processo. A estabilização do processo é a busca constante de empresas que querem se manter competitivas no mercado, entre as formas de buscar a estabilização do processo estão as ferramentas de qualidades que atuam como fortes (PIEROZAN, 2001).

Conforme Cristia (2006, p. 4), “em 1979, o termo ‘*Benchmarking*’ aparece pela primeira vez, quando a empresa Xerox começou a questionar seu modelo de gestão”. Este questionamento veio da necessidade da Xerox em compreender seus custos de produção.

Na visão de Maximiano (2000, p. 221):

a utilização do *benchmarking* começa pela definição de como serão pesquisadas as melhores práticas. Os procedimentos básicos iniciais consistem em selecionar o produto ou o processo a ser comparado e o marco de referência (com quem iremos comparar-nos?)

Com o objetivo de construir um modelo genérico de benchmarking que pudesse ser aplicado a qualquer projeto por qualquer tipo de organização, Spendolini (1993) propõe um modelo de *benchmarking* em cinco etapas sendo cada um definindo um conjunto exclusivo de atividades e classificado numa sequência lógica.

Ele propõe cinco etapas principais para a implementação eficaz do benchmarking:

1. **Planejamento:** Nessa fase, a organização deve definir os objetivos do benchmarking, identificar as áreas e processos a serem analisados e selecionar as empresas ou práticas a serem comparadas.
2. **Coleta de Dados:** Envolve a busca ativa e a coleta de informações sobre as melhores práticas e desempenhos de outras empresas, seja por meio de visitas, entrevistas, pesquisa de mercado ou análise de relatórios.
3. **Análise:** Após a coleta de dados, a organização deve realizar uma análise para identificar as lacunas de desempenho entre sua operação e as melhores práticas. Isso inclui a comparação de processos, resultados e estratégias adotadas pelas empresas de referência.
4. **Integração:** Nesta etapa, as informações obtidas são usadas para formular estratégias de melhoria, adaptando as melhores práticas ao contexto da organização. O objetivo é integrar essas práticas aos processos internos para aumentar a eficiência e o desempenho.
5. **Ação:** A última etapa consiste na implementação das mudanças baseadas nas melhores práticas identificadas. A organização deve monitorar os resultados e garantir que as melhorias propostas sejam efetivamente incorporadas aos processos cotidianos. Além disso, é importante fazer ajustes conforme necessário, à medida que o *benchmarking* se torna um processo contínuo de evolução.

3 DESCRIÇÃO DO PROCESSO ATUAL

O processo de pintura de peças plásticas inicia-se com a preparação da tinta, no qual o operador responsável verifica qual a peça, modelo, cor e quantidade que foi carregada para ser pintada. A tinta preparada é cuidadosamente misturada e ajustada de acordo com as especificações do fabricante (disposta na sala de preparação de tinta, no campo de visão do preparador) garantindo a viscosidade ideal para a aplicação. Após essa etapa, a tinta é transferida para um reservatório onde o pescador puxa essa tinta da lata para a pistola de pintura através de uma mangueira, figura 7.

Figura 7 – Reservatório com a tinta preparada e seus componentes



- 1 Pescador que puxa a tinta para a pistola;
- 2 Agitador que fica agitando a tinta e a mantém homogênea;
- 3 Tubos de ar comprimido;
- 4 Mangueira que leva a tinta para a pistola;
- 5 Mangueira que leva o ar comprimido para a pistola.

Fonte: AUTOR (2024)

A pistola convencional que é utilizada, no método *air spray*, atomiza a tinta ao misturá-la com o ar comprimido, criando uma névoa fina de partículas que são projetadas sobre a superfície da peça.

Para investigar os fatores que influenciam o alto consumo de tinta, foi realizado testes e coletas de dados do processo afim de verificar se os parâmetros que influenciam o consumo de tinta estão dentro do padrão especificado.

A metodologia utilizada para coleta envolveu a análise dos parâmetros mais importantes e/ou que influenciam no consumo de tinta: Viscosidade da tinta, temperatura da cabine, pressão do ar comprimido na entrada das pistolas, abertura do leque da pistola e a eficiência de transferência da tinta que adere na peça.

As coletas de dados e testes foram feitas da seguinte maneira:

- Dados foram coletados diariamente, durante 1 semana;
- Pegou para amostra as 4 tintas que mais são utilizadas (Preto pigmentado, azul, vermelho e branco), conforme figura 8.

Figura 8 – Expositor com a cores utilizadas para análise



Fonte: AUTOR (2024)

- A viscosidade e a temperatura da cabine, foram coletados no momento da preparação da tinta, o qual foi registrado diariamente 3 medições em cada uma das 4 cores.
- Durante o processo de pintura foi analisado os parâmetros de pressão de entrada de ar comprimido nas pistolas e teste do leque, conforme orientação do formulário ilustrado na figura 9;

Figura 9 – Formulário com orientações para o teste de leque das pistolas

TESTE DE ABERTURA DE LEQUE – PISTOLA DE ALTA E BAIXA PRESSÃO

DATA: MÊS _____ DIA _____ HORÁRIO: _____ LOCAL: PRIMER BASE VERNIZ PINTOR: 1 2 3 4 1 2 3 4 1 2 3 4	INSTRUÇÕES: 1) Posicionar a pistola no suporte, conforme Princípio de Pintura nº 13 (DISTÂNCIA DA PISTOLA DEVE SER DE 100 a 200 mm); 2) Ajustar o tamanho do leque, direcionar a pistola para o centro da ELIPSE, apertar o gatilho por até 1seg; 3) Checar resultado conforme Princípio de Pintura nº 14 (Abertura de Leque de 100 a 200 mm). OBS.: SOMENTE UTILIZAR A PISTOLA EM PROCESSO APÓS APRESENTAR RESULTADO CONFORME PRINCÍPIOS DE PINTURA Nº 13 E Nº 14 CITADOS ACIMA.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: 8px;"> <thead> <tr> <th>Problemas</th> <th>Causas</th> <th>Soluções</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Falhas spray</td> <td>Insuficiência de vazão de fluido</td> <td>Abrir vazão ou ajustar velocidade</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Falta de fluido no bico ou falta de bombeamento</td> <td>Apertar bico ou trocar o bico e agulha</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Suporta e não sai, verticela e longo traço pontua</td> <td>Limpar</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Condições inadequadas de trabalho</td> <td>Apertar ou trocar condições</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Cabo de sucção muito próximo da câmara da pistola</td> <td>Apertar</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Agulha flexível, sem lubrificação ou impregnada</td> <td>Apertar, lubrificar ou trocar as peças conforme o caso</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Deflexão do cabo de ar parcialmente obstruído</td> <td>Limpar com água quente dia de pistola ou substituir em severos problemas</td> </tr> <tr> <td>Leque deformado 1</td> <td>Dados nos artifícios do bico e da tampa de ar</td> <td>Trocar partes danificadas</td> </tr> <tr> <td>Leque deformado 2</td> <td>Formação do leque no posterior do artilho do bico ou bico parcialmente obstruído</td> <td>Retornar condições. Nunca use artilhos ou substituir partes</td> </tr> <tr> <td>Leque deformado 3</td> <td>Ar de compressão muito forte</td> <td>Reduzir pressão de ar ou agulha e bico</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Vazão baixa</td> <td>Regular o uso do fluido</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Pressão insuficiente no fluido</td> <td>Aumentar pressão de fluido</td> </tr> <tr> <td>Leque deformado 4</td> <td>Baixa pressão de ar de assistência</td> <td>Aumentar a pressão de ar ou ajustar o leque</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Fluido muito viscoso</td> <td>Regular viscosidade do fluido</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Muito pouco fluido</td> <td>Apertar viscosidade do fluido</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Última camada aplicada muito molhada</td> <td>Aplicar mais seca + passada (f + ventosidade)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Muito pouco de ar</td> <td>Usar menor pressão de ar ou assistência</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Pressão de insuflamento</td> <td>Aumentar pressão de ar</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Fluido muito denso</td> <td>Limpar/trocar peças de ar</td> </tr> </tbody> </table>	Problemas	Causas	Soluções	Falhas spray	Insuficiência de vazão de fluido	Abrir vazão ou ajustar velocidade		Falta de fluido no bico ou falta de bombeamento	Apertar bico ou trocar o bico e agulha		Suporta e não sai, verticela e longo traço pontua	Limpar		Condições inadequadas de trabalho	Apertar ou trocar condições		Cabo de sucção muito próximo da câmara da pistola	Apertar		Agulha flexível, sem lubrificação ou impregnada	Apertar, lubrificar ou trocar as peças conforme o caso		Deflexão do cabo de ar parcialmente obstruído	Limpar com água quente dia de pistola ou substituir em severos problemas	Leque deformado 1	Dados nos artifícios do bico e da tampa de ar	Trocar partes danificadas	Leque deformado 2	Formação do leque no posterior do artilho do bico ou bico parcialmente obstruído	Retornar condições. Nunca use artilhos ou substituir partes	Leque deformado 3	Ar de compressão muito forte	Reduzir pressão de ar ou agulha e bico		Vazão baixa	Regular o uso do fluido		Pressão insuficiente no fluido	Aumentar pressão de fluido	Leque deformado 4	Baixa pressão de ar de assistência	Aumentar a pressão de ar ou ajustar o leque		Fluido muito viscoso	Regular viscosidade do fluido		Muito pouco fluido	Apertar viscosidade do fluido		Última camada aplicada muito molhada	Aplicar mais seca + passada (f + ventosidade)		Muito pouco de ar	Usar menor pressão de ar ou assistência		Pressão de insuflamento	Aumentar pressão de ar		Fluido muito denso	Limpar/trocar peças de ar
Problemas	Causas	Soluções																																																												
Falhas spray	Insuficiência de vazão de fluido	Abrir vazão ou ajustar velocidade																																																												
	Falta de fluido no bico ou falta de bombeamento	Apertar bico ou trocar o bico e agulha																																																												
	Suporta e não sai, verticela e longo traço pontua	Limpar																																																												
	Condições inadequadas de trabalho	Apertar ou trocar condições																																																												
	Cabo de sucção muito próximo da câmara da pistola	Apertar																																																												
	Agulha flexível, sem lubrificação ou impregnada	Apertar, lubrificar ou trocar as peças conforme o caso																																																												
	Deflexão do cabo de ar parcialmente obstruído	Limpar com água quente dia de pistola ou substituir em severos problemas																																																												
Leque deformado 1	Dados nos artifícios do bico e da tampa de ar	Trocar partes danificadas																																																												
Leque deformado 2	Formação do leque no posterior do artilho do bico ou bico parcialmente obstruído	Retornar condições. Nunca use artilhos ou substituir partes																																																												
Leque deformado 3	Ar de compressão muito forte	Reduzir pressão de ar ou agulha e bico																																																												
	Vazão baixa	Regular o uso do fluido																																																												
	Pressão insuficiente no fluido	Aumentar pressão de fluido																																																												
Leque deformado 4	Baixa pressão de ar de assistência	Aumentar a pressão de ar ou ajustar o leque																																																												
	Fluido muito viscoso	Regular viscosidade do fluido																																																												
	Muito pouco fluido	Apertar viscosidade do fluido																																																												
	Última camada aplicada muito molhada	Aplicar mais seca + passada (f + ventosidade)																																																												
	Muito pouco de ar	Usar menor pressão de ar ou assistência																																																												
	Pressão de insuflamento	Aumentar pressão de ar																																																												
	Fluido muito denso	Limpar/trocar peças de ar																																																												

PINTAR DENTRO DA ELIPSE

Fonte: AUTOR (2024)

- O teste do leque foi realizado uma vez por dia, sempre antes de pintar a primeira peça do dia. Para a pressão do ar, foi feito a coleta diariamente 4 vezes: 7h, 9:10h, 13h e 15:30h, no retorno das pausas programadas.

Iniciou-se fazendo a medição da viscosidade da tinta na preparação, que é um processo importante para garantir que a tinta tenha a consistência adequada para a aplicação eficiente durante a pintura. Para medir a viscosidade da tinta, utilizou-se um viscosímetro (Copo Ford), que é um instrumento projetado para avaliar essa característica de maneira precisa, figura 10.

Figura 10 – Medição da viscosidade da tinta.



Fonte: AUTOR (2024)

A tinta foi primeiro misturada de maneira homogênea para garantir que não haja sedimentos ou bolhas de ar, logo após, o viscosímetro foi preenchido com a tinta até a marca indicada. O copo Ford tem uma abertura na parte inferior. Após o copo ser preenchido, o tempo necessário para a tinta fluir através dessa abertura é cronometrado. Esse tempo de escoamento é medido em segundos, indicando a viscosidade da tinta. Para cada tinta, existe uma viscosidade padrão, determinada pelo fornecedor, disponível da tabela de preparação.

Ainda na preparação, foi feita a medição da temperatura da cabine de pintura, utilizando um termo hidrômetro, figura 11, instrumento de medição de temperatura e umidade.

Figura 11 – Termo hidrômetro



Fonte: AUTOR (2024)

A temperatura é um parâmetro crítico, pois afeta a secagem e a aderência da tinta. Temperaturas muito altas ou baixas podem comprometer a qualidade da aplicação e aumentar o consumo de tinta. O termo hidrômetro foi colocado na área de preparação de tinta, figura 12.

Figura 12 – Medição da temperatura da sala de preparação de tinta

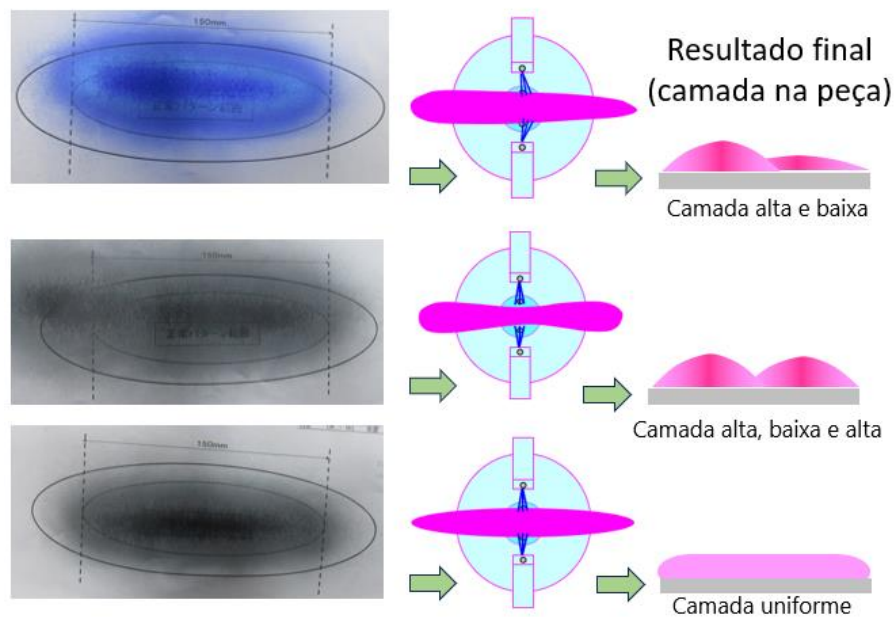


Fonte: AUTOR (2024)

Antes de começar o processo de pintura das peças, foi feito o teste de leque das pistolas. A principal função do leque é controlar a distribuição da tinta na superfície a ser pintada, proporcionando uma pulverização uniforme e ajustada às

características da peça e do processo. O ângulo do leque influencia diretamente a quantidade de tinta aplicada, o padrão de cobertura e a qualidade do acabamento. Quando o leque é ajustado adequadamente, ele permite uma distribuição mais eficiente da tinta, evitando áreas com excesso ou falta de cobertura, o que pode resultar em desperdício ou falhas na pintura, conforme figura 13.

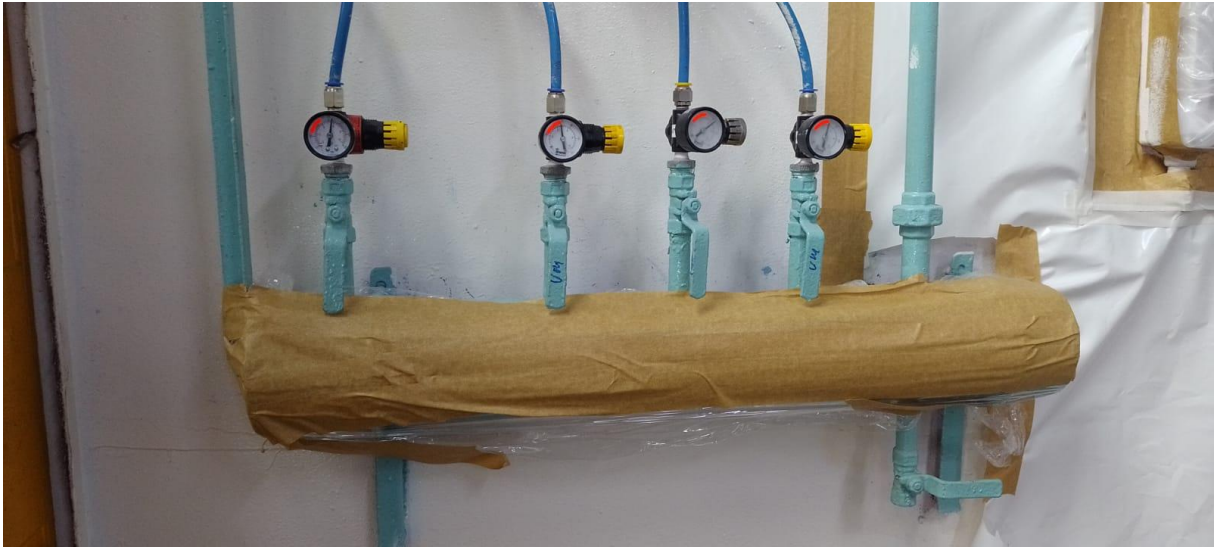
Figura 13 – Situações que podem ocorrer com uma abertura de leque irregular (dois primeiros exemplos) e com uma abertura regular



Fonte: AUTOR (2024)

Durante o processo de aplicação de tinta, coletou-se a pressão do ar, que vem do compressor pelo sistema de ar comprimido, monitorado por meio dos manômetros acoplados ao sistema, que leva esse ar comprimido para as pistolas, figura 14.

Figura 14 – Medição dos manômetros da pressão de entrada de ar nas pistolas



Fonte: AUTOR (2024)

A pressão do ar influencia diretamente a atomização da tinta e o controle do *over spray*. Pressões de ar muito altas podem aumentar a dispersão de tinta no ambiente, enquanto pressões muito baixas podem resultar em uma aplicação inadequada, com cobertura incompleta nas peças.

3.1 MÉTODO DE MENSURAÇÃO DA QUANTIDADE DE TINTA ADERIDA

Para a medição do consumo de tinta que aderiu na peça é preciso considerar a quantidade de tinta preparada e a fração que é perdida durante o processo. Dessa maneira, foi necessário calcular o percentual de perda.

O método feito para mensuração da quantidade de tinta aderida foi separado em três etapas. A primeira etapa buscou calcular a quantidade de tinta utilizada. O material utilizado nessa etapa incluiu uma balança, no qual as latas de tinta foram pesadas em dois momentos: a pesagem da lata de tinta preparada para pintar o lote de peças e a pesagem da lata de tinta após finalizar a pintura das peças. As tintas pesadas foram da cor preto pigmentado, azul, vermelho e branco. O resultado da diferença entre o peso da tinta preparada e o peso da tinta após o consumo, dividido pela quantidade de peças pintadas foi atribuído como variável **X**, que representa a quantidade de tinta utilizada.

$$X \text{ (qtd tinta utilizada)} = \frac{\textit{Tinta preparada (kg)} - \textit{Tinta após a pintura (kg)}}{\textit{Quantidade de peças pintadas}}$$

Na segunda etapa, buscou-se calcular o peso da camada de tinta aderida à peça. Os materiais utilizados nessa etapa incluíram uma balança digital e 4 peças plásticas: Paralama, Painel 1, Tampa do tanque e Tomada de ar, conforme figura 15.

Figura 15 – Peças utilizadas no teste



Fonte: AUTOR (2024)

Iniciou-se fazendo a pesagem das peças moldadas, ou seja, antes da aplicação de tinta e a pesagem dessas peças pintadas, figura 16.

Figura 16 – Pesagem da peça painel 1

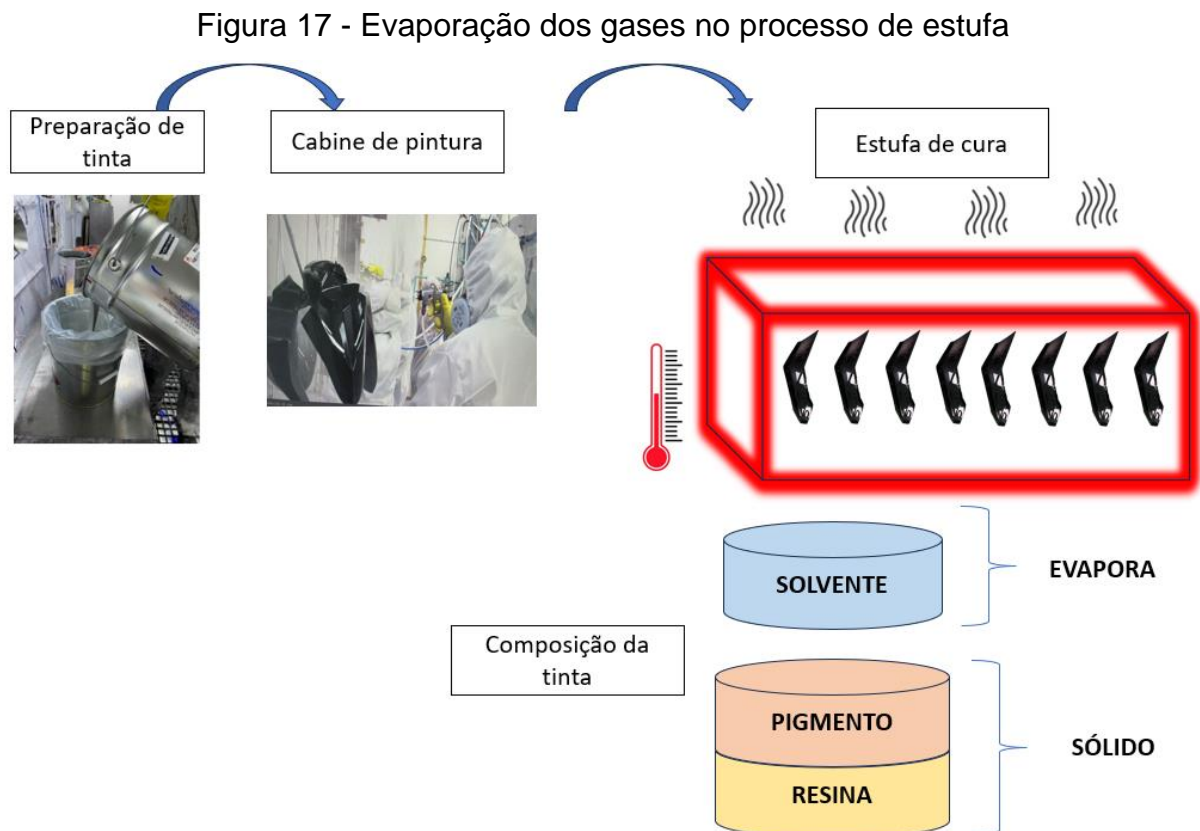


Fonte: AUTOR (2024)

O resultado da diferença entre o peso da peça pintada e o peso da peça moldada foi atribuído como variável Y , que representa o peso da camada de tinta aderida na peça.

$$Y (\text{peso camada de tinta aderido}) = \text{Peça pintada (g)} - \text{peça moldada (g)}$$

Por fim, na última etapa, buscou-se encontrar o teor de sólidos na tinta após o processo de estufa, uma fase importante do processo de pintura para garantir que a tinta adquira resistência e aderência na peça. Na estufa de cura, como ilustrado na figura 17, ocorre uma evaporação do solvente, ficando apenas sólidos como o pigmento e a resina, gerando uma pequena taxa de perda da quantidade de tinta aplicada na peça.



Fonte: AUTOR (2024)

Nesta última etapa, para descobrir o teor de sólidos nas 4 tintas utilizadas neste estudo, foi utilizado como material: Balança analítica, forma metálica (Diâmetro = 75 ± 5 mm e altura = 5 mm), estufa de laboratório e folha de alumínio.

O primeiro passo consistiu em forrar a folha de alumínio utilizando a forma metálica, para esse adquirir a forma circular. Logos após, foi feito a pesagem da folha de alumínio utilizada. Depois foi colhido $2 \pm 0,2$ g das tintas preparadas neste estudo e adicionado na folha de alumínio. Após a adição, foi realizado a pesagem da folha de alumínio com a tinta. Logo em seguida, as formas de alumínio com as tintas foram

colocadas na estufa do laboratório químico a temperatura semelhante à da estufa de cura, durante 10~15 minutos, simulando as condições do processo na estufa de secagem. A figura 18 demonstra as etapas realizadas.

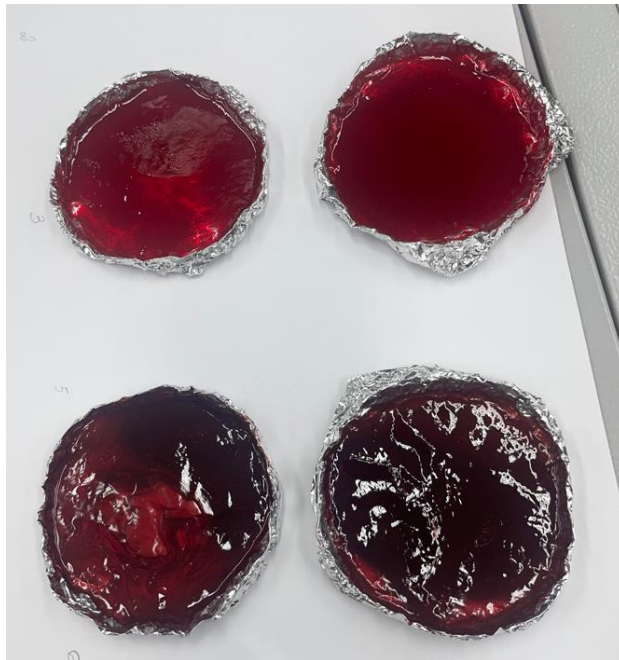
Figura 18 – Da esquerda para direita: Forma metálica, folhas de alumínio com tinta na estufa do laboratório e pesagem da folha com a tinta



Fonte: AUTOR (2024)

Após o tempo na estufa, retirou-se a folha de alumínio e mediu para verificar o seu peso apenas com os sólidos presentes na tinta, Figura 19.

Figura 19 – Resultado do teste para verificar teor de sólidos na tinta vermelha



Fonte: AUTOR (2024)

4 RESULTADOS

Após a coleta e análise dos dados dos parâmetros do processo de pintura durante o mês de outubro, verificou-se que a viscosidade das tintas utilizadas nas quatro cores estava dentro do intervalo especificado pelo fornecedor, tabela 1.

Tabela 1 – Resultado das viscosidades das tintas coletadas

Tinta	Viscosidade	Coletado min	Coletado Max	Média
Preto Pigmentado	17"~ 19"	18"	19"	18,2"
Azul	17"~ 19"	17"	19"	17,2"
Vermelho	17"~ 19"	17"	19"	17,2"
Branca	15"~ 17"	15"	17"	16,3"

Fonte: AUTOR (2024)

Os tempos de escoamento das tintas se encontraram dentro dos valores recomendados, assegurando que a tinta tivesse a consistência ideal para uma aplicação eficaz.

Além disso, os dados em relação a temperatura da cabine na preparação de tinta mostraram que a temperatura estava estável e dentro da faixa recomendada para o processo, tabela 2. As medições indicaram que a temperatura não variou significativamente, o que é importante para garantir a aderência e a secagem adequada da tinta, evitando desperdícios ou defeitos no acabamento.

Tabela 2 – Resultado da temperatura da cabine na preparação de tinta

Tinta	Temperatura	Coletado min	Coletado Max	Média
Preto Pigmentado	29°C ~ 32°C	29,9°C	32°C	31°C
Azul	29°C ~ 32°C	30°C	32°C	31,4°C
Vermelho	29°C ~ 32°C	30°C	32°C	30,8°C
Branco	29°C ~ 32°C	29,4°C	32°C	31,4°C

Fonte: AUTOR (2024)

Em relação a pressão do ar nas pistolas, os dados levantados na tabela 3 também demonstraram que durante a aplicação de tinta, a pressão do ar se

encontrava dentro dos parâmetros especificados, conforme medido pelos manômetros.

Tabela 3 – Resultado da pressão do ar de entrada nas pistolas

Tinta	Pressão do ar	Coletado min	Coletado Max	Média
Preto Pigmentado	4 ~ 6 bar	4 bar	4,5 bar	4,45 bar
Azul	4 ~ 6 bar	4 bar	4,5 bar	4,25 bar
Vermelho	4 ~ 6 bar	4 bar	4,5 bar	4,25 bar
Branco	4 ~ 6 bar	4,5 bar	4,5 bar	4,5 bar

Fonte: AUTOR (2024)

O resultado do teste de leque demonstrou que a abertura do leque das pistolas está dentro da faixa especificada entre 100 a 200 mm, ilustrada na figura 22, no qual a área pintada do teste ficou dentro da elipse. Isso indica que a distribuição do *spray* de tinta é adequada para o processo de pintura, cobrindo a área da peça.

Figura 22 – Teste da abertura do leque da pistola



Fonte: AUTOR (2024)

Analisando os testes feitos no laboratório para verificar a eficiência de transferência da tinta para a peça nas 4 principais tintas da fábrica, verificou-se através dos resultados dos testes que na peça do painel 1, de toda a tinta preto pigmentado que é pulverizada pela pistola, apenas **9%** efetivamente se adere à superfície da peça, conforme mostrado na tabela 4. O restante é perdido no ambiente, *over spray*. A

mesma eficiência de transferência se mostra baixa no restante de peças e tintas analisadas para este estudo.

Tabela 4 – Resultado da eficiência de transferência da tinta

Tinta	Peça	Eficiência de transferência
Preto Pigmentado	Painel 1	9,0%
Azul	Paralama	16,4%
Vermelho	Tampa do tanque	14,7%
Branco	Tomada de ar	22,1%

Fonte: AUTOR (2024)

Esse resultado revela que apesar dos parâmetros do processo estarem dentro do conforme, a maior parte da tinta pulverizada que sai da pistola não adere na peça. Esse resultado revela uma ineficiência na pulverização e aderência da tinta na peça. O ar comprimido utilizado no processo de atomização da tinta se mostra ineficiente, resultando em uma distribuição inadequada da névoa de tinta, o que faz com que uma parte significativa da tinta se disperse no ambiente sem aderir à superfície da peça.

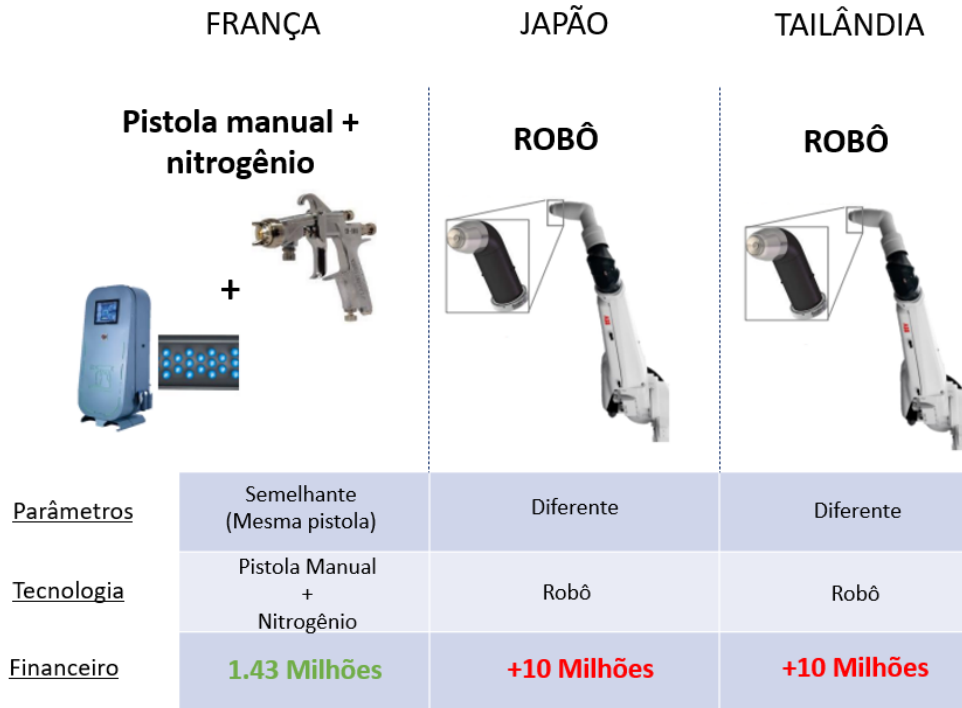
Esse desperdício é uma das principais causas do aumento do consumo de tinta, já que o ar comprimido, não favorece a formação da névoa ideal para uma aplicação precisa e controlada, mesmo os parâmetros do processo estando todos dentro do especificado, conforme coleta dos dados apresentados.

Para investigar alternativas para substituição do sistema de ar comprimido para pulverização e buscar uma solução mais eficiente, foi realizado *benchmarking* com as fábricas referência em pintura de peças plásticas: França, Japão e Tailândia.

Foi verificado o que essas fábricas possuem de tecnologia no seu processo de pintura. Buscou-se identificar quais tecnologias empregadas sejam possíveis de adequar no nosso processo atual sem comprometer a estrutura já existente e/ou demande um custo elevado de aquisição. Dentre as listadas, a França se destacou, conforme análise de viabilidade mostrado na figura 23. No Japão e Tailândia, utilizam-se robôs nas cabines de pintura, apesar de tornar a eficiência de transferência de tinta bem maior, porém, representa um investimento alto, mais de 10 milhões para aquisição de robôs e mais as adequações que devem ser necessárias para ajustar todo a estrutura atual para receber robôs. No cenário atual da empresa, onde o fluxo de produção está bem elevado e sem viabilidade para parar para instalação de novas

estruturas, essa tecnologia do Japão e Tailândia se mostrou um ponto a se considerar para o futuro.

Figura 23 – Avaliação *benchmark* realizado



Fonte: AUTOR (2024)

A tecnologia de pintura utilizada na França se mostrou mais vantajosa, pois utiliza-se pistolas convencionais que já utilizamos e do mesmo fornecedor, e principalmente, devido a substituição do ar comprimido pelo nitrogênio. Essa tecnologia de nitrogênio, adota o equipamento do Kromavis para funcionar, figura 24, e demonstrou uma redução de 40% no consumo de tinta em comparação com o processo tradicional de ar comprimido após sua substituição. Além disso, para instalação do gerador de nitrogênio, não é necessária alteração de layout, aquisição de novas máquinas e ajuste de todos os parâmetros do processo atual.

Figura 24 - Equipamento Kromavis, que utiliza nitrogênio para pulverização

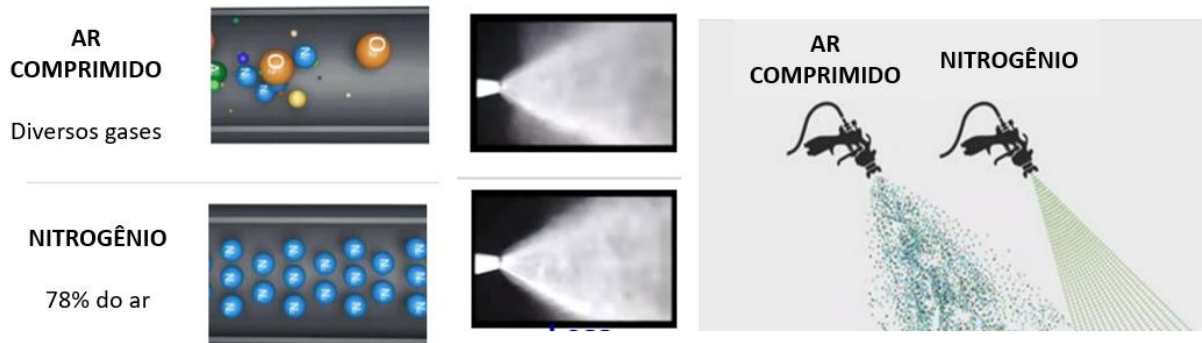


Fonte: AUTOR (2024)

A principal vantagem do Kromavis em relação ao uso de ar comprimido está no uso do nitrogênio como gás para a pulverização. Além disso, o nitrogênio proporciona uma atomização mais controlada, resultando em uma distribuição mais eficiente da tinta na peça, com menos dispersão e, conseqüentemente, menor *over spray*.

No sistema de ar comprimido, o compressor, que é responsável por captar o ar e pressurizar, acaba tendo em sua composição, várias moléculas dos gases captados na atmosfera, em grande maioria o nitrogênio (78%) e oxigênio (21%), além de outros gases menores. Essa combinação de gases com diferentes massas e velocidades, acabam se colidindo, gerando a névoa ou *over spray*. Diferente do ar comprimido, com a utilização do nitrogênio, as moléculas se movimentam uniformemente, devido ter apenas nitrogênio, figura 25.

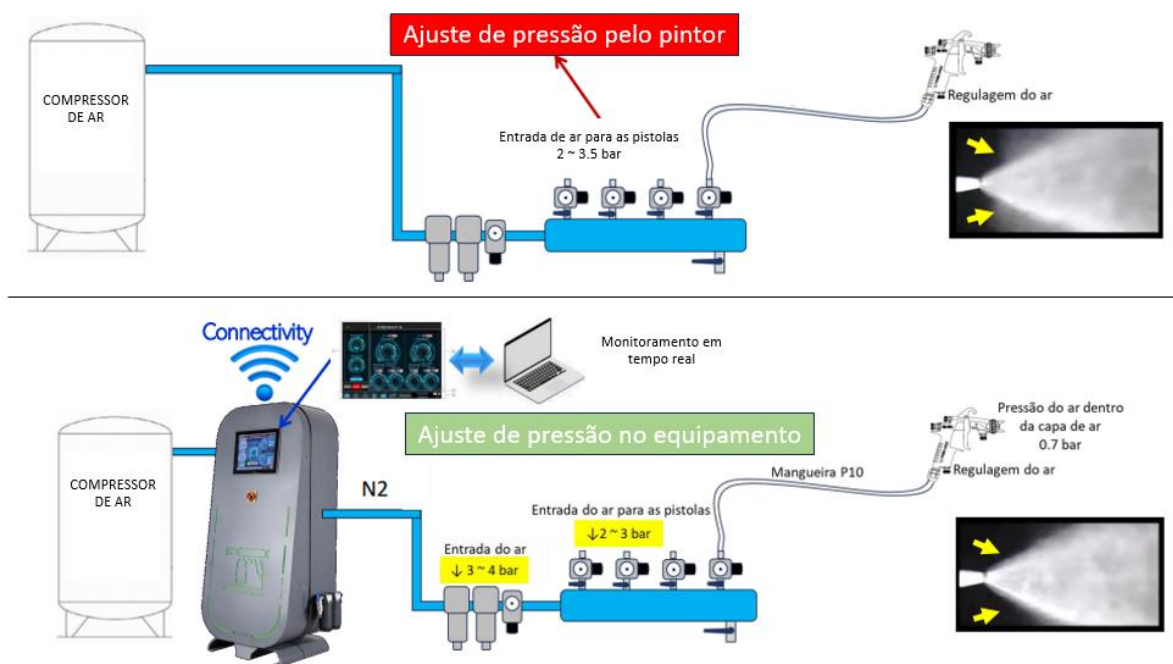
Figura 25 – Comportamento dos gases no ar comprimido e no kromavis



Fonte: AUTOR (2024)

A instalação do equipamento do Kromavis, se dá mantendo toda a estrutura atual, inclusive o sistema de ar comprimido. A principal alteração na estrutura é a adição de um módulo de controle de pressão para gerenciar a distribuição do nitrogênio e ar comprimido, além de poder monitorar em tempo real os parâmetros que estão sendo processados no kromavis. A figura 26 demonstra na parte de cima o sistema atual, com a utilização de ar comprimido e logo abaixo o sistema de pulverização com a adição do kromavis.

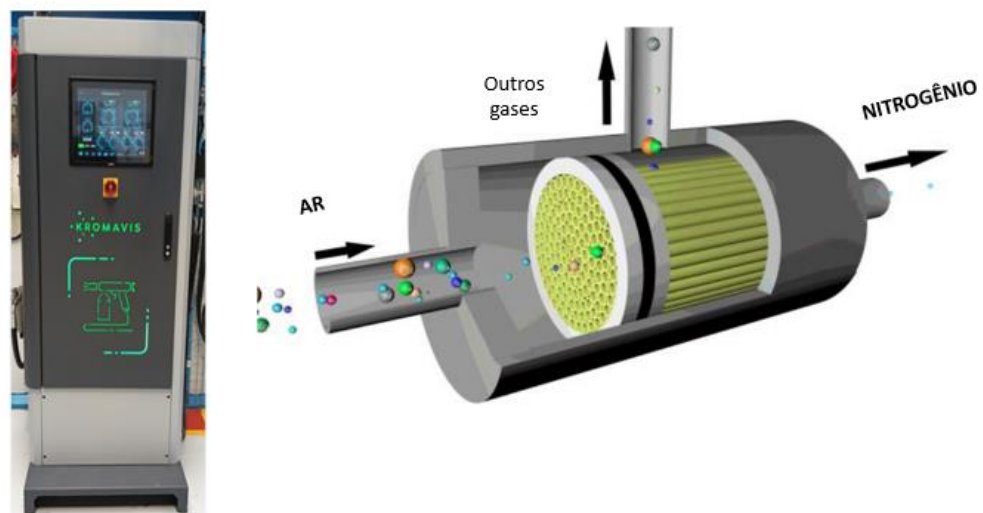
Figura 26 – Adequação necessária para estrutura do kromavis



Fonte: AUTOR (2024)

Como mencionado anteriormente, o sistema de ar comprimido deve ser mantido, porém, com o kromavis, ocorrerá a separação das moléculas dos gases do ar por meio de uma membrana de separação que distingue o ar comprimido do nitrogênio. O ar comprimido, que contém uma mistura de gases, passa por um processo de filtragem e é separado. O nitrogênio é separado e direcionado diretamente para as pistolas pistola, ilustrado na figura 27.

Figura 27 – Separação das moléculas de nitrogênio das outras



Fonte: AUTOR (2024)

A adoção dessa tecnologia reduz não apenas o desperdício de tinta, mas também melhora a qualidade do acabamento, já que o controle sobre a quantidade de tinta aplicada é muito mais preciso. Outra vantagem importante do sistema Kromavis é a redução de custos operacionais a longo prazo, uma vez que a utilização de nitrogênio pode diminuir significativamente o consumo de tinta e melhorar a eficiência do processo de pintura. Essas vantagens demonstram que a substituição do ar comprimido por nitrogênio poderia ser uma solução eficaz para resolver o problema do desperdício de tinta e otimizar o processo de pintura na fábrica.

Fazendo uma projeção do custo com tinta para o próximo ano, com base no plano de produção, verificou-se três cenários de redução de custo, com a implementação do nitrogênio no processo de pintura: redução de 40% no consumo de tinta (a mesma redução do consumo de pintura na fábrica da França), uma redução de 30% e uma de 20%, ilustrado na tabela 5.

Tabela 5 – Redução de custo com tinta considerando três cenários possíveis

Modelo	Custo com pintura 2025	Custo líquido -20%	Custo líquido -30%	Custo líquido -40%
Modelo 1	R\$ 83.409,97	R\$ 66.727,98	R\$ 58.386,98	R\$ 50.045,98
Modelo 2	R\$ 678.159,36	R\$ 542.527,49	R\$ 474.711,55	R\$ 406.895,62
Modelo 3	R\$ 1.398.739,02	R\$ 1.118.991,22	R\$ 979.117,31	R\$ 839.243,41
Modelo 4	R\$ 917.959,91	R\$ 734.367,93	R\$ 642.571,94	R\$ 550.775,95
Modelo 5	R\$ 2.060.955,91	R\$ 1.648.764,73	R\$ 1.442.669,14	R\$ 1.236.573,55
Modelo 6	R\$ 491.137,80	R\$ 392.910,24	R\$ 343.796,46	R\$ 294.682,68
Modelo 7	R\$ 151.040,56	R\$ 120.832,45	R\$ 105.728,39	R\$ 90.624,34
Modelo 8	R\$ 902.523,98	R\$ 722.019,18	R\$ 631.766,79	R\$ 541.514,39
Modelo 9	R\$ 149.170,35	R\$ 119.336,28	R\$ 104.419,25	R\$ 89.502,21
Modelo 10	R\$ 659.564,92	R\$ 527.651,94	R\$ 461.695,44	R\$ 395.738,95
Modelo 11	R\$ 1.259.543,08	R\$ 1.007.634,46	R\$ 881.680,16	R\$ 755.725,85
Modelo 12	R\$ 95.893,02	R\$ 76.714,42	R\$ 67.125,11	R\$ 57.535,81
	R\$ 8.848.097,88	R\$ 7.078.478,30	R\$ 6.193.668,52	R\$ 5.308.858,73
		-R\$ 1.769.619,58	-R\$ 2.654.429,36	-R\$ 3.539.239,15

Fonte: AUTOR (2024)

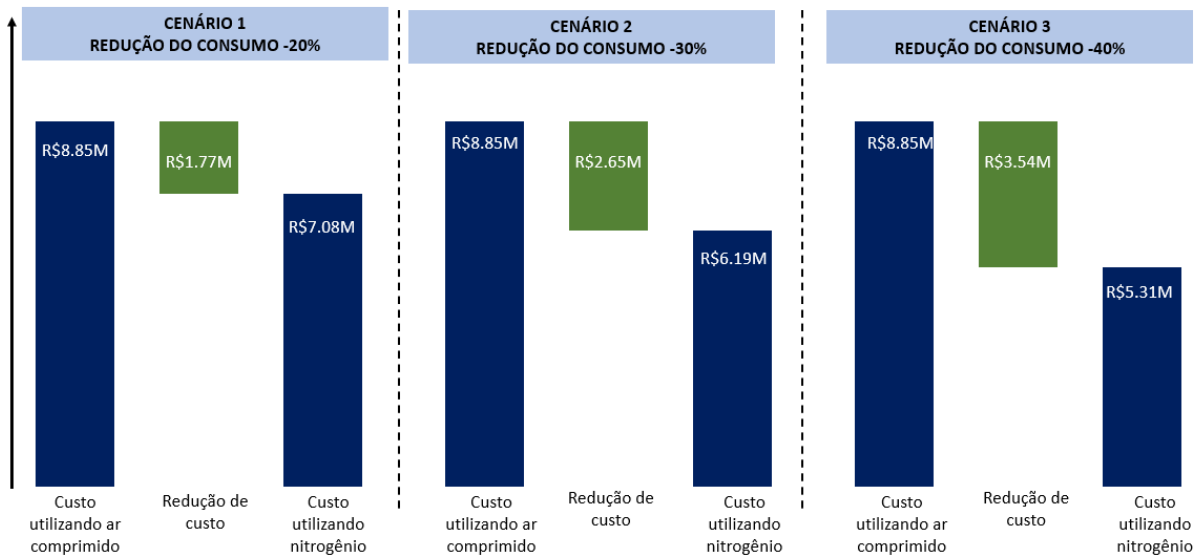
Dessa forma, considerando o mesmo cenário da redução de consumo de tinta da fábrica da França, de 40%, com a implementação do nitrogênio, obteremos uma redução de R\$3.539.239,15 com custo de tinta.

O investimento necessário para implementação do nitrogênio no processo de pintura é descrito abaixo:

- Ativo: R\$1.43M (aquisição do equipamento)
- Despesa: R\$0.03M (por ano)

A figura 28 mostra o custo com tinta nos três cenários de visualização de redução do consumo.

Figura 28 – Impacto anual no custo



Fonte: AUTOR (2024)

A redução de custos devido a redução do consumo de tinta, com a implementação do kromavis é suficiente para pagar o investimento em menos de 1 ano, nos três cenários.

5 CONCLUSÃO

Como exposto, é de suma importância otimizar o processo produtivo, buscando sempre soluções para reduzir custo, no caso deste trabalho, reduzir custos devido ao alto consumo de tinta, um problema comum em um setor de pintura. A pesquisa revelou que, apesar de os parâmetros de aplicação da tinta estarem dentro das especificações estabelecidas, o uso de ar comprimido na atomização resulta em ineficiência na pulverização, contribuindo diretamente para o desperdício de tinta.

A implementação da tecnologia Kromavis, que substitui o ar comprimido por nitrogênio, surge como uma solução promissora para melhorar a eficiência do processo de pintura. O estudo revelou que a utilização do nitrogênio melhora a atomização da tinta, proporcionando uma pulverização mais precisa e reduzindo as perdas de material. Ao adotar esse sistema, a fábrica pode alcançar uma redução de até 40% no consumo de tinta, como observado em benchmarks realizado com uma fábrica de pintura na França. Isso demonstra o potencial do nitrogênio em otimizar os processos de pintura, trazendo benefícios tanto econômicos quanto ambientais.

Do ponto de vista econômico, a análise de custo realizada no estudo indicou que o retorno sobre o investimento seria alcançado em menos de um ano, o que evidencia a viabilidade financeira dessa tecnologia. Além disso, a redução no desperdício de tinta contribui diretamente para uma maior sustentabilidade, alinhando a empresa a práticas mais ecológicas e responsáveis, o que é cada vez mais valorizado no mercado global.

Em termos de considerações finais, este estudo conclui que a adoção do sistema Kromavis é uma solução eficiente e viável para otimizar o processo de pintura industrial que utiliza pistolas convencionais em seu processo. Ao substituir o ar comprimido por nitrogênio, a empresa não apenas reduz custos e desperdícios, mas também melhora a qualidade do acabamento. Assim, recomenda-se a adoção desta tecnologia como um passo estratégico para aprimorar a produção e o desempenho da indústria no longo prazo.

REFERÊNCIAS

- ACCI INSTALAÇÕES DE PINTURA INDUSTRIAL. **Cabine de pintura automotiva**. São Paulo, SP. 2021. Disponível em:< <http://accindustrial.com.br/cabine-pintura-automotiva>>. Acesso em: 18 nov. 2024.
- CRISTIA, A. C. **El benchmarking como herramienta de evaluación**. Ciudad de La Habana: Acimed, 2006.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas. 2010. 173 p.
- GNECCO, C.; MARIANO R.; FERNANDES, F. **Tratamento de superfície e pintura**. Rio de Janeiro: IBS/SBCA, 2003. 94 p.
- Grupo Arpiaspersul. **Uso de nitrogênio na pintura industrial - Nitrowise Kromavis**. 2024. 1 vídeo (1:27 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=cRpcvEkkaxo>. Acesso em: 7 out. 2024.
- MAXIMIANO, A. C. **Introdução à Administração**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2000. 221 p.
- NUNES, L. P.; LOBO, A.C.O. **Pintura industrial na proteção anticorrosiva**. 5. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2014. 456 p.
- PIEROZAN, L. **Estabilização de Processos**: Um estudo de caso no setor de pintura automotiva. 2001. 121 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001. Disponível em: <<http://lume.ufrgs.br/handle/10183/1894>>. Acesso em: 18 nov. 2024.
- SPENDOLINI, M. J. **Benchmarking**. São Paulo: Ed. Makron Books, 1993. 226 p.
- YIN, R. K. **Estudo de Caso**: Planejamento e Métodos. 5. Ed. Porto Alegre: Bookman. 2015. 289 p.

