

PROPOSTA PARA REALIZAR O CONTROLE EFICIENTE DO FLUXO LAMINAR DENTRO DAS CABINES DE PINTURA DE UMA INDÚSTRIA DO RAMO AUTOMOTIVO

Curso: Bacharelado em
Engenharia de Produção

Período: 6º

Orientadora:
Professora Me. Rosilda do Rocio do
Vale

Autores:
Giselen de Souza
Maria Eduarda Ferreira Rodrigues
Melyssa Caroline da Silva Bueno
Rafael Rodrigo Gonçalves
Tailaine Pereira da Silva
Vinícios Wilian da Silva dos Anjos

RESUMO

O presente trabalho é uma pesquisa de campo realizada no setor de pintura de uma empresa do ramo automotivo, tem como foco principal apresentar uma proposta para o controle eficiente do fluxo laminar dentro das cabines de pintura, a fim de projetar melhor qualidade nos processos por meio de inovações tecnológicas. No desenvolvimento da pesquisa foram utilizados métodos e técnicas que possibilitaram identificar as causas e propor uma solução para o problema. Por meio do gráfico de Pareto foram priorizadas três causas, a falta de controle do ambiente interno das cabines, a ausência de um controle quanto ao fechamento das portas e a falta de um sistema automatizado para o controle do fluxo de ar. Como proposta de solução foram sugeridos um sistema que realiza a coleta de dados automatizada transformando-os em dashboard, a aquisição de sensores barométricos para verificação da pressão do ar dentro das cabines, a instalação de sensores e a manutenção das portas das cabines. Os resultados deste estudo podem ser usados para auxiliar na tomada de decisão, com indicadores eficientes sendo coletados durante o processo.

Palavras-chave: 1 – Controle. 2 – Fluxo de ar. 3 – Sistema.

1. INTRODUÇÃO

A origem da Pesquisa Operacional (PO) é de décadas atrás, quando houve a tentativa de uma abordagem científica para a gestão das organizações, porém a atividade teve início nas ações militares nos primórdios da Segunda Guerra Mundial, tendo em vista a necessidade de alocar de forma eficiente os escassos recursos para as operações militares, foi solicitado a realização de pesquisas utilizando métodos mais eficientes com ferramentas como radares, contribuindo assim para a vitória (HILLIER E LIEBERMAN, 2013).

De acordo com Marins (2011) a PO nos dias atuais é essencial, pois sua forma lógica e eficiente contribui para identificar problemas, formular objetivos que possam chegar a melhor solução do problema, analisar limitações diante das restrições e avaliar alternativas, para que seja possível identificar a melhor solução para a tomada de decisão. Baseados na modernização, diversos *softwares* são desenvolvidos para a obtenção de soluções lógicas, com modelos matemáticos complexos, mas que visam solucionar o problema.

Conforme com Corrêa (2014) no contexto as empresas que concentram cada vez mais as suas competências essenciais, tornam-se cada vez mais dependentes dos seus fornecedores, não só para a produção e distribuição de bens, mas também para o desenvolvimento de novos produtos. Corrêa (2014) também diz que como vantagens nos anos 90 buscava-se tecnologias de alto nível e atualmente busca inserir fornecedores relevantes dentro dos processos para organizar o fluxo e reforçar o *lead time*.

A presente pesquisa se desenvolve no setor de pintura da empresa do ramo automotivo, onde o controle do fluxo laminar nas cabines de pintura é realizado manualmente somente no início do turno. Domingues (2020) diz que automatizar o processo proporciona melhor eficiência no processo, aumento de produtividade, melhoria no produto e a redução de custos.

2 MÃOS NA MASSA

Nesta etapa do trabalho é apresentando o contexto da empresa, os objetivos, a metodologia utilizada e a fundamentação teórica.

2.1 CONTEXTO DA SITUAÇÃO NA EMPRESA

As informações apresentadas neste tópico foram obtidas por meio da pesquisa no site da empresa e por meio da visita no dia 20 de abril de 2022 com o analista de processos do setor de pintura.

Foi fundada na Alemanha em 1937, com objetivo de atuar no setor automotivo. Atualmente o grupo se faz presente em 153 países, contam com 100 unidades fabris que estão presentes em 19 países europeus e 8 países nas Américas, Ásia e África. Em todas as suas unidades são mais de 550 mil colaboradores, que produzem diariamente 37.000 mil veículos.

Seus produtos variam de carros pequenos populares até os veículos de luxo. No setor de veículos comerciais, oferecem produtos a partir de *pick-ups*, ônibus e caminhões pesados e também atua em outras áreas de negócios com a fabricação de motores diesel de grandes aplicações marítimas e industriais.

A história da empresa no Brasil iniciou no dia 23 de março de 1953, em São Paulo, no armazém saindo as primeiras unidades com peças importadas da Alemanha com apenas 12 colaboradores.

A quarta fábrica no país, foi inaugurada em 18 de janeiro de 1999 em São José dos Pinhais – PR, atualmente a fábrica tem aproximadamente 2.600 colaboradores, divididos entre dois turnos e as equipes de apoio em horário administrativo.

A fábrica de São José dos Pinhais – PR, conta com alta tecnologia e processos automatizados, a unidade é pioneira no uso do robô colaborativo, que trabalha lado a lado com os funcionários na área de Montagem, tornando o processo produtivo ainda mais flexível e seguro. O setor de Armação conta com equipamentos de medição *in line* que acionam um sistema automático de parada da linha quando os parâmetros apresentam coordenadas fora do especificado.

Já no setor de Pintura, a tinta usada a base d'água garante excelente qualidade de superfície e menos impacto ao meio-ambiente, o uso do verniz de maior dureza (2K) traz brilho com maior proteção contra os raios UV. Nos últimos anos, a área foi preparada para produzir veículos com pintura em duas cores (*bi-tone*), com o objetivo de acompanhar as novas tendências de mercado.

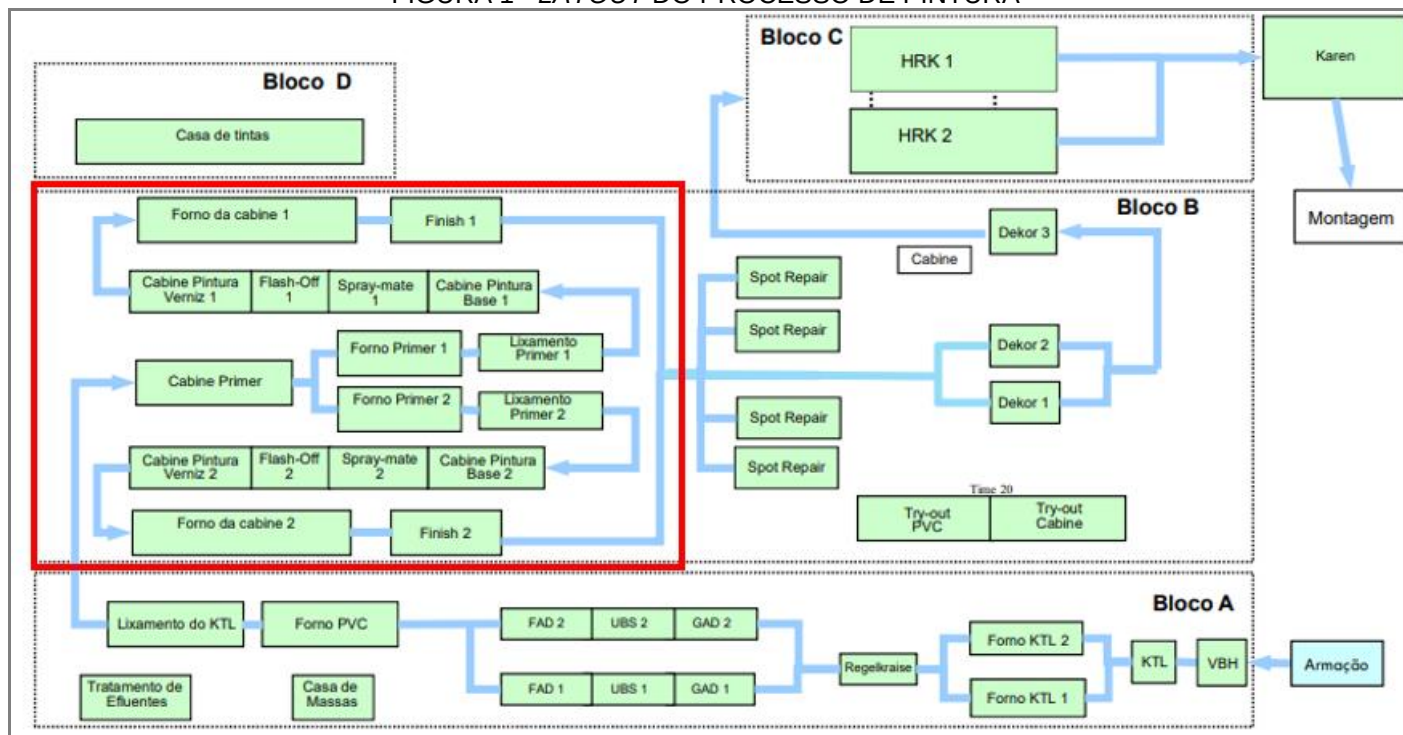
O setor de Pintura onde está sendo desenvolvido o trabalho, conta com uma área construída de 100 mil m² e é dividida em quatro blocos que são nomeados de bloco A, B, C e D.

Após as carrocerias serem produzidas no setor de armação, são enviadas ao setor de pintura no Bloco A, etapa onde é feito o pré-tratamento das carrocerias para a aplicação do *primer*, na sequência segue para o Bloco B.

No bloco B é feito a aplicação e o lixamento do *primer*, aplicação da tinta base e verniz, a inspeção e pequenos reparos, preparação para repintura (se necessário) e a montagem das partes coladas (frisos, emblemas e logos). No Bloco C é feito a aplicação de cera para preencher as cavidades e finalizando essa etapa a carroceria é enviada para o setor de montagem.

Na área destacada em vermelho na figura 1, dentro do Bloco B, encontra-se o problema alvo desse trabalho, onde foi constatado que a verificação do fluxo do ar das cabines de pintura existente neste setor, é feita de forma manual e apenas no início do turno.

FIGURA 1 - LAYOUT DO PROCESSO DE PINTURA



FONTE: EMPRESA (2022)

Nessa etapa do processo, as carrocerias passam pela *Cabine Primer* e seguem para fornos de cura que são denominados fornos 1 e 2. A partir desse ponto o bloco passa a se dividir em duas linhas que são denominadas 1 e 2, as quais realizam os mesmos processos, porém uma linha é automatizada e a outra é manual.

Saindo dos fornos, as carrocerias seguem para as Cabines 1 e 2 para lixamento do *primer*, depois para as Cabines de Pintura a Base de Verniz, essa pintura da proteção e aparência externa da carroceria, passando novamente pelos Fornos para cura e por final segue para o *Finish*, onde se realiza a inspeção final da carroceria e pequenos reparos.

A empresa vem buscando identificar pontos de melhoria no processo de pintura, onde atualmente o controle do fluxo de ar das cabines é realizado pelo mecânico do setor, de forma visual e preenchendo em um documento impresso os dados coletados, essa verificação é realizada apenas no início de cada turno. Desse modo por não ter outras verificações no decorrer do processo, podem ocorrer variações na pressurização da cabine de pintura, trazendo impurezas e possíveis variações na temperatura do ambiente. Diante disso e seguindo o método DMAIC, a primeira etapa que é **DEFINIR** buscou-se definir o problema abordado no setor que é o

controle manual do fluxo laminar nas cabines de pintura que é realizado somente no início do turno.

2.2 OBJETIVOS

Para este trabalho foram definidos quatro objetivos, sendo um geral e três específicos.



2.2.1 Objetivo Geral

Apresentar uma proposta para o controle eficiente do fluxo laminar dentro das cabines de pintura.

2.2.2 Objetivo Específicos

- a) Identificar as causas do problema;
- b) Buscar alternativas de solução para as causas priorizadas do problema;
- c) Elaborar um plano de ação para as causas priorizadas.

2.3 METODOLOGIA

Severino (2014) diz que a pesquisa de campo tem como objetivo levantar informações e configurar dados empíricos, com o propósito de compreender o significado dos fatos ocorridos. Para Kaufman (2013) a pesquisa de campo é o início para se fabricar um novo tipo de teoria, ligada aos dados e evoluindo a uma produção de ideias. As visitas a empresa foram realizadas em 20 de abril de 2022 e 19 de maio de 2022 a pesquisa de campo foi conduzida pelo analista de processos do setor de pintura.

Gil (2010) explica que pesquisa bibliográfica é criada com base em materiais já publicados. A vantagem em se obter pesquisa bibliográfica é o fato dela permitir ao pesquisador a cobertura ampla de uma gama de fenômenos. Segundo Mascarenhas (2018) o estudo bibliográfico tem muitas vantagens, pois oferece uma vasta quantidade de informações e no geral o pesquisador só precisa destinar um tempo para procurar o que precisa.

A pesquisa bibliográfica, nesse trabalho, foi utilizada para pesquisar e conceituar os temas abordados na fundamentação teórica, foram consultados seus métodos e controles, pesquisando livros na biblioteca virtual da Faculdade e artigos científicos publicados de forma *online* em revistas científicas e anais de congressos.

Para Cervo, Bervian e Silva (2007) a pesquisa documental é onde ocorre o desenvolvimento, a coleta e o registro de dados de forma ordenada em seus locais de origem. Os autores afirmam que é uma forma de investigação de documentos, com a finalidade de descrever e comparar algumas características para analisar o presente e o passado. A pesquisa documental, neste trabalho, foi utilizada no levantamento de dados, através do mapa do processo de pintura e *checklist* de verificação diária os quais foram fornecidos pela empresa.

A pesquisa da *internet* de acordo com Andrade (2010) assume um papel importante em localizar dados utilizando *sites* de busca, podendo estar em qualquer lugar do mundo e diferentes idiomas, permitindo se aprofundar no assunto em questão com base nos dados da busca. A pesquisa de *internet* foi utilizada neste trabalho para explorar conceitos sobre o tema abordado, bem como pesquisa de livros da biblioteca virtual, artigos científicos e conhecimento do histórico da empresa.

De acordo com Pádua (2004) a entrevista informal possibilita obter conhecimentos profundos do tema aplicado em questão, com objetivo de entender o cenário através dos dados coletados. Segundo Lakatos e Marconi (2019) a entrevista é importante, pois tem o propósito de averiguar informações permitindo compreender os fatos, determinar opiniões sobre o problema e aplicar um plano de ação. Neste trabalho a entrevista informal foi realizada durante as visitas na empresa que ocorreram nos dias 20/04/2022 e 19/05/2022, com o analista de processos do setor de pintura e com o mecânico de manutenção.

Para Fregoneze *et al* (2014) observação não participativa, é quando o observador não se revela e mantém a sua identidade preservada durante a pesquisa. A observação não participativa ocorre quando o pesquisador deliberadamente se mantém na posição de observador e espectador, evitando ou envolvendo-se com o objeto da observação (CERVO; BERVIAN; DA SILVA, 2007). A observação não participativa foi realizada nos dias 20/04/2022 e 19/05/2022, pelos integrantes da equipe durante as visitas, visto que nenhum integrante está ligado diretamente com a empresa, pois nenhum trabalha na empresa.

Para Lélis (2012) o gráfico de Pareto é baseado no princípio de 80/20, diz que 80% dos defeitos derivam de 20% das causas. Através de um diagrama que auxilia em visualizar e identificar as ocorrências de problemas e a frequência que ocorrem.

Segundo Custodio (2015) para se desenvolver o gráfico Pareto é necessário a coleta de dados utiliza uma lista de verificação na qual estão definidos os critérios de avaliação. Depois dos dados coletados, é necessário classificá-los de forma decrescente quanto a suas quantidades, calcular o percentual de participação individual de cada item e, posteriormente, calcular o percentual acumulado. Esses dados gerarão o diagrama de Pareto, permitindo uma visualização clara e de fácil interpretação.

Segundo Santos (2011) o gráfico de Pareto tem como objetivo mostrar de forma gráfica uma priorização de fatores que influenciam no processo de trabalho, produto ou serviço. Assim é possível identificar os processos que devem ser priorizados para uma tomada de decisão diante dos dados. Neste trabalho o gráfico de Pareto foi utilizado para classificar as causas por relevância e possibilitar a identificação das causas que mais impactam no processo.

Silva e Silva (2017) dizem que o *brainstorming* tem como objetivo levantar o maior número de ideias possíveis para encontrar a causa de um problema e correlacionar as ideias levantadas pelo grupo para conduzir a solução deste. Segundo Custodio (2015) *brainstorming* é quando as pessoas se reúnem a fim de buscar ideias inovadoras ou para resolver problemas, podendo ser estruturado, quando o grupo é organizado para que cada membro possa apresentar sua ideia ou não estruturado, onde os membros dão sugestões sobre o assunto conforme elas surgem.

Neste trabalho, foi aplicado o *brainstorming* durante a reunião *online* realizada dia 30 de março de 2022, com o padrinho da equipe que é o analista de processos do setor de pintura e em reuniões entre os membros da equipe de pesquisa realizadas semanalmente todas as quintas e sábados, para determinar o problema e identificar suas causas, bem como buscar alternativas de soluções.

Para Custodio (2015) o *benchmarking* é uma técnica de observação destinada a alcançar um desempenho superior por meio da implementação de boas práticas adequadas às condições do observador. Não deve ser considerado limitado à manufatura, pois se aplica a outras áreas funcionais e pode até ser desenvolvido em diferentes organizações e utilizado por todos na organização. Seus principais tipos são:

- a) *Benchmarking* interno - utilizando o próprio ambiente organizacional para observar e ajustar as melhores práticas;
- b) *Benchmarking* externo - compara as condições internas com a de outra organização (externa), o qual pode ser competitivo e não competitivo.

Para Lélis (2012) *benchmarking* é um procedimento sistemático para comparar os processos, serviços e produtos de uma organização em busca de entender como elas atuam. Ainda segundo o autor o *benchmarking* pode ser competitivo (com base em comparações com um concorrente direto), funcional (comparações entre as áreas de administração, atendimento, vendas da organização líder), ou interno (usando uma unidade da empresa com desempenho superior como referência para outras unidades).

Neste trabalho o *benchmarking* está sendo utilizado para a análise de melhores práticas que possam ser utilizadas na empresa no intuito de buscar um controle eficiente do fluxo laminar dentro das cabines de pintura da empresa.

Para Seleme e Stadler (2012) a utilização da ferramenta 5W2H permite que um processo a ser executado seja dividido em etapas, organizadas a partir de perguntas, com a finalidade de serem encontradas as falhas que impedem a finalização adequada do processo. Já Silva e Silva (2017) afirmam que a ferramenta 5W e 2H é utilizada para elaborar planos de ação e auxiliar na análise da eliminação de um desvio ou problema. Essa técnica é representada por perguntas feitas em inglês que iniciam com as letras W e H. A figura 2 indica a definição do método.

FIGURA 2 - ETAPAS PARA APLICAÇÃO DA FERRAMENTA 5W2H

Métodos dos 5W2H			
5W	What	O que?	Que ação será executada?
	Who	Quem?	Quem irá executar/participar da ação?
	Where	Onde?	Onde será executada a ação?
	When	Quando?	Quando a ação será executada?
	Why	Por quê?	Por que a ação será executada?
2H	How	Como?	Como será executada a ação?
	How much	Quanto custa?	Quanto custa para executar a ação?

FONTE: ADAPTADO DE MEIRA (2003).

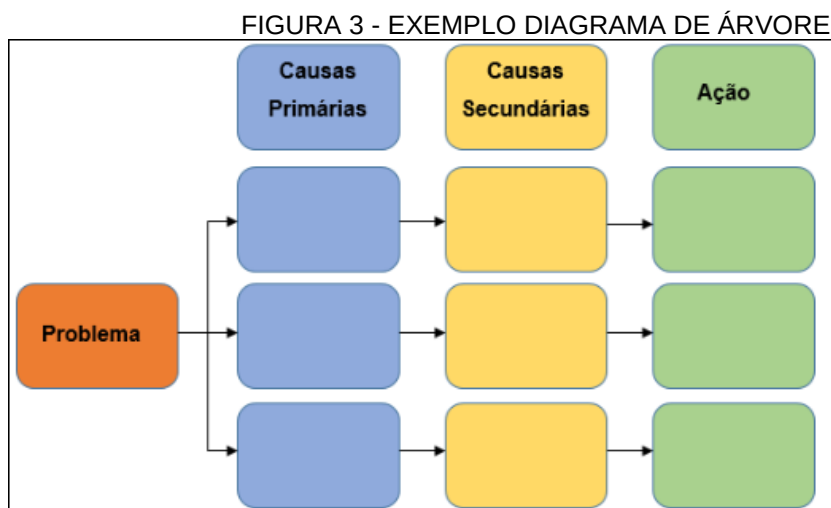
A ferramenta 5W2H, foi utilizada na elaboração da proposta para solucionar o problema do controle manual do fluxo laminar nas cabines de pintura que é realizado somente no início do turno.

Custodio (2015) afirma que o fluxograma é uma ferramenta gráfica para expressar a sequência de um processo, utilizando símbolos básicos para descrever as ações que compõem o processo. Através do fluxograma, o caminho lógico de um sistema pode ser verificado e sua eficácia pode ser facilmente analisada, sua pesquisa permite métodos de situações atuais e propostas para novas condições. Essa ferramenta foi utilizada neste estudo, para sequenciar o fluxo do processo nas cabines de pintura que é realizado somente no início do turno.

Segundo Gozi (2015) o diagrama em árvore, ou método do diagrama sistemático, procura os meios mais apropriados e eficientes de atingir objetivos. Gozi (2015) diz que os diagramas em árvore se dividem em dois tipos:

- Diagrama de constituinte-componente-análise divide o assunto principal em seus elementos básicos e relaciona-os aos objetivos e meios de atingir esses mesmos objetivos;
- Diagrama de plano desenvolvimento - demonstra de maneira sistemática os meios e os procedimentos necessários para implementar com sucesso determinado plano.

A figura 3 mostra um exemplo completo de um processo de análise e solução de problemas utilizando um diagrama em árvore.



FONTE: ADAPTADO DE GOZI (2015).

Nesse estudo o diagrama de árvore foi utilizado para classificar as causas identificadas no problema.

O ponto de partida do cronograma é a identificação das datas de início e fim de cada atividade que compõe o projeto e por sua representação gráfica (LACOMBE; HEILBOORN, 2003). Segundo Paes e Vilga (2016) com a sequência de atividades, recurso e duração pode-se estabelecer o cronograma, que é uma lista de atividades em ordem sequencial que mostra a dependência dos recursos e valores de cada atividade. O cronograma foi utilizado neste trabalho com objetivo de gerenciar as etapas do projeto, foi realizado o cronograma para assegurar que cada etapa seja entregue no prazo delimitado.

Segundo Werkema (2012) método DMAIC, cujas siglas são: *Define* (Definir), *Measure* (Medir), *Analyze* (Analisar), *Improve* (Melhorar), *Control* (Controlar), é um dos pilares para o desenvolvimento de projetos do programa Seis Sigma. Esse programa é uma estratégia gerencial que visa aumentar a lucratividade das empresas e com o objetivo de torná-las mais competitivas.

Para Werkema (2013) a variabilidade está em todos os processos de produção, com as ferramentas corretas de medição, fica nítido que há uma variação no produto, ou mesmo no processo realizado todos os dias e o método DMAIC é uma das formas de reduzir essa variabilidade. Este método consiste basicamente em cinco etapas que são detalhadas na figura 4.

FIGURA 4 - CINCO ETAPAS PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO DMAIC

Etapa	Definição	Ferramentas
Etapa D: Define (Definir)	Nessa etapa, é identificado o problema e definida a meta do projeto. Através da avaliação do histórico do problema e da apresentação de possíveis restrições e suposições, é formada a equipe de trabalho e definido o cronograma preliminar do projeto.	Análise econômica; Gráficos de Controle; Mapa de Raciocínio; Project Charter; SIPOC; VOC.
Etapa M: Measure (Medir)	Nessa etapa, o problema é refinado e focalizado. A equipe de projeto deve decidir entre coletar novos dados ou usar dados já existentes. Realiza-se a coleta de dados e com os dados obtidos, a equipe analisa estatisticamente o impacto das várias partes do problema e identifica os problemas prioritários.	Análise estatística; Brainstorming; Boxplot; Carta de controle; Coleta de dados; Diagrama de Dispersão; Diagrama de Ishikawa; Diagrama de Pareto; Histograma.
Etapa A: Analyze (Analisar)	Nessa etapa, é feita a análise do processo gerador de problema prioritário. A partir dos resultados da análise, são identificadas e organizadas as causas potenciais do problema prioritário.	Análise de regressão linear; Coeficiente de correlação; Diagrama de dispersão; Testes de hipótese; Diagrama de Ishikawa; Matriz de priorização; Diagrama de Pareto; FMEA; GUT; Boxplot.
Etapa I: Improve (Melhorar)	Nessa etapa, inicialmente são geradas ideias de soluções potenciais para a eliminação das causas fundamentais do problema. Faz-se a análise das ideias e soluções, avaliando e minimizando seus riscos. A partir de então, as soluções são testadas e analisadas, verificando a necessidade de ajustes ou melhorias para a implementação das soluções.	5W2H; Brainstorming; Diagrama de processo decisório; DOE; Poka-Yoke.
Etapa C: Control (Controlar)	Nessa etapa, inicialmente é feita uma avaliação do alcance da meta. Em caso satisfatório, a próxima ação é padronizar as alterações realizadas no processo em consequência das soluções adotadas e transmitir os novos padrões a todos os envolvidos no processo. Na sequência, define e implementa um plano para monitoramento da performance do processo e do alcance da meta.	Amostragem; Cartas de Controle; Folha de verificação; Gestão visual; Poka-Yoke; procedimento e padrão.

FONTE: ADAPTADO DE WERKEMA (2012).

O DMAIC foi utilizado no decorrer deste trabalho desde quando foi definido o problema, dando continuidade através dos dados coletados quando foram identificadas e priorizadas as causas, e propostas sugestões de melhoria para o problema por meio do plano de ação.

2.4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para o embasamento teórico desse trabalho, foram pesquisados temas relacionados à pesquisa operacional, pintura e automação, que são apresentados a seguir.

2.4.1 Pesquisa Operacional

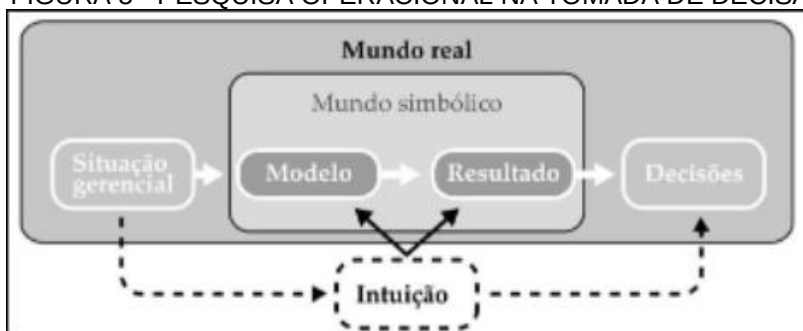
Segundo Loesch e Hein (2009) a pesquisa operacional como ciência estrutura processos, propondo diversas alternativas de ação, realizando a previsão e a comparação de valores, de

eficiência e de custos, a maioria das aplicações abrange as áreas de administração, produção, planejamento e organização.

Barbosa e Deckmann (2015) dizem que no desenvolvimento do problema tem como propósito de abordar mais afundo construindo alternativas viáveis no processo, a união dos dados e inovações tecnológicas disponíveis indicam resultados importantes na decisão do mundo real da organização, na figura 5 é possível observar como o ocorre processo de tomada de decisão na PO.

367

FIGURA 5 - PESQUISA OPERACIONAL NA TOMADA DE DECISÃO



FONTE: BARBOSA E DECKMANN (2015, P. 16).

De acordo com Lachtermacher (2007) aplicando o modelo da PO tem como encontrar a melhor solução definida nas condições de variáveis do problema, parâmetros do problema, restrições e a função objetiva, todas apresentadas em expressões matemáticas.

De acordo com Andrade (2000) são seis as fases de um estudo em Pesquisa Operacional: definição do problema, construção do modelo, solução do modelo, validação do modelo, implementação dos resultados e avaliação final. Essa sequência de passos não é rigorosa, mas indica as principais etapas que devem ser seguidas.

Na figura 6 é possível observar as fases de um estudo em pesquisa operacional.

FIGURA 6 - FASES DE UM ESTUDO EM PESQUISA OPERACIONAL



FONTE: LEDERMANN E KINALSKI (2012, P. 17).

As fases do estudo em pesquisa operacional definido por Ledermann e Kinalski (2012) são:

- a) Definição do problema: o problema começa a ser resolvido a partir da definição dos objetivos (maximização ou minimização de algo), determinar as variáveis de decisão, que devem estar relacionadas aos objetivos, restrições, limitações ou exigências existentes;
- b) Construção do modelo: o modelo a ser construído deve estar baseado na definição do problema;
- c) Solução do modelo: tem por objetivo encontrar uma solução para o modelo construído, dentro da pesquisa operacional algumas técnicas conhecidas são: Método Simplex, Análise de Sensibilidade, Dualidade, Simulação, entre outras;
- d) Validação do modelo: um sistema pode ser validado por meio da análise de dados passados do próprio sistema e da utilização desses dados para verificar se o sistema reproduziu o mesmo comportamento ou comportamento parecido;
- e) Implementação da solução: avaliadas as vantagens e a validade da solução obtida, esta deve ser convertida em regras operacionais. A implementação é uma etapa crítica do estudo;
- f) Avaliação final: a avaliação dos resultados é fundamental em qualquer etapa do processo. A avaliação final possibilita identificar pontos fracos e possíveis gargalos que devem ser corrigidos.

368

Para Ledermann e Kinalski (2012) a pesquisa operacional tem sido vista sob dois enfoques diferentes quanto à abordagem, mas coerentes e complementares na aplicação prática: o enfoque clássico e o enfoque atual. Ledermann e Kinalski (2012) definem a PO em enfoque clássico e enfoque atual:

- a) Enfoque clássico: deriva do conceito quantitativo da Pesquisa Operacional como as técnicas de modelagem a problemas de decisão e resolver os modelos obtidos por meio da utilização de métodos matemáticos e estatísticos, visando à obtenção de uma solução ótima, sob uma abordagem sistêmica;
- b) Enfoque atual: decorre de um conceito qualitativo da Pesquisa Operacional. A ênfase na construção de modelos leva a uma compreensão mais profunda do próprio problema, identificando melhor seus elementos internos, suas interações com o ambiente externo, as informações necessárias e os resultados possíveis de obter.

A pesquisa operacional teve impacto impressionante para melhorar a eficiência de inúmeras organizações pelo mundo, contribuiu significativamente para o aumento da produtividade econômica de diversos países (HILLIER e LIEBERMAN, 2013).

De acordo com Lachtermacher (2007) a *Management Sciences (MS)* é um campo de estudos que utiliza computadores, estatísticas e matemática a fim de resolver adversidades na

área dos negócios, sua subárea consiste na Pesquisa Operacional (PO) aplicada em modelagens matemáticas. Ainda segundo Lachtermacher (2007) a união da PO e o MS, consiste em exemplificar os processos identificando otimizar recursos, ter previsões e planejamento baseados em dados sendo capaz de obter informações essenciais.

Segundo Lisboa (2002) com o aumento da tecnologia em processamento e quantidade de memória dos computadores, ocorreu um grande progresso na pesquisa operacional, progresso visto também devido à grande utilização de microcomputadores, que se tornaram unidades isoladas dentro da empresa, isso faz com que os feitos para a pesquisa operacional sejam mais rápidos e multifuncionais.

369

2.4.1.1 Estabilização de Processos

Estabilidade dos processos é a capacidade de apresentar resultados ao longo do tempo que sejam racionais e, que a instabilidade é o resultado da variação dentro do processo (LIKER e MEIER, 2007).

Para Liker e Meier (2007) o principal objetivo da estabilidade é alcançar um nível sistemático de capacidade, isto é, a reiteração da produção em certa quantidade de produtos em um ciclo de tempo, empregando os mesmos recursos.

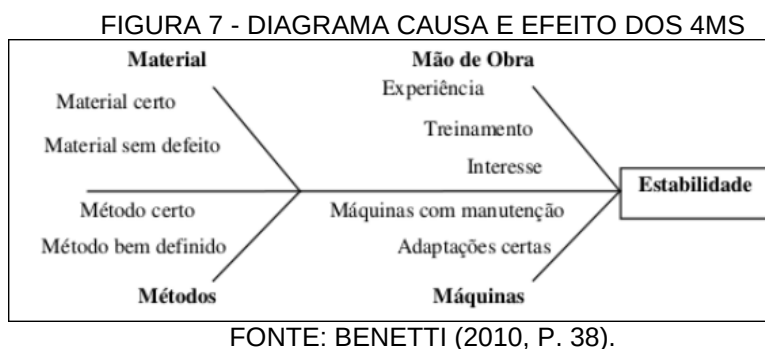
Conforme explica Smalley (2020) a estabilidade é a probabilidade geral e disponibilidade de recursos, como materiais, mão de obra, máquinas e métodos.

Smalley (2020) diz que ainda que visto a importância da estabilidade, não existem métodos para avaliá-la sob a perspectiva da mentalidade enxuta, o que resulta considerar a estabilidade em cada um dos 4M's (mão de obra, material, método e máquina), definido por Smalley (2020) como:

- a) Mão de obra: equipe qualificada, treinada e capaz de realizar as atividades;
- b) Máquinas: capacidade prevista, nível de demanda e as manutenções preventivas em dia;
- c) Materiais: gerenciamento da cadeia dos fornecedores, garantindo assim qualidade, entregas efetivas e confiabilidade, além, da redução de estoque dos insumos;

Métodos: padronização do processo produtivo.

A figura 7 apresenta o diagrama de causa e efeito dos 4Ms.



Segundo Kamada (2010) a estabilidade acontece quando a empresa consegue produzir conforme vem planejando, com um mínimo desperdício, sem afetar a confiabilidade e qualidade do produto, visando a demanda do cliente, utilizando os recursos necessários mão de obra, máquinas, materiais e métodos.

Kamada (2010) também acrescenta que para identificar um processo estável sugere-se a definição da expectativa de produção hora a hora e registrar a produção real, com isso é possível visualizar os deslizes entre o real e o planejado que representam a falta de estabilidade do processo.

2.4.1.2 Lean Manufacturing

O *Lean Manufacturing* foi desenvolvido no período pós Segunda Guerra Mundial pela Companhia Toyota Motor Company, após o Japão perder a guerra, o país apresentou um cenário insuficiente de recursos de matéria prima, impedindo a eficiência na produção em massa e problemas na demanda de mão-de-obra nas indústrias (OHNO, 1997).

Diante dessa situação de pós-guerra, existiu uma demanda de se criar um modelo gerencial, nascendo, assim, o Sistema Toyota de Produção ou Manufatura Enxuta (*Lean Manufacturing*), estruturado por Taiichi Ohno, vice-presidente da Toyota, os objetivos fundamentais deste novo sistema caracterizaram-se por qualidade e flexibilidade do processo, ampliando sua capacidade de produzir e competir no cenário internacional (RIANI, 2006).

Segundo Womack e Jones (1992) o *Lean Manufacturing* estava atrelado a melhoria contínua dos processos e com foco de meios e métodos necessários para promover essas melhorias. Com isto, pode-se dizer que esta filosofia tem como principal objetivo a eliminação de desperdícios e consequentemente unir as etapas que realmente acrescentam valor ao produto.

Para Franzini (2021) o *Lean Manufacturing* é focado no gerenciamento de resultados otimizados de produção com baixa utilização de recursos. O sistema Toyota elimina o tempo improdutivo na produção em massa, e ao mesmo tempo é capacitado para obter uma produção flexível, a qual alinha os pontos fortes de cada tipo de produção, sem absorver desperdícios com custos.

De acordo com Franzini (2021) um dos conceitos destacados no *Lean* é a melhoria contínua, conhecida como *Kaizen*, que é o ponto principal do sucesso de métodos japoneses na produção. Outro destaque na filosofia é o alto nível na qualidade em que se encontra o ambiente produtivo. Sendo assim, consiste a exigência de treinamento na manufatura com todos os colaboradores envolvidos, assegurando o nível de qualidade no processo como um todo (FRANZINI, 2021).

Para Bessant *et al* (2001) a melhoria contínua está relacionada à capacidade de resolução de problemas por meio de pequenos passos, alta frequência e ciclos curtos de mudança. Esses ciclos de mudança são causados pela alternância de momentos de ruptura e de controle no desempenho.

Para ser efetiva, a melhoria contínua precisa ser administrada como um processo estratégico com foco no longo prazo e os objetivos necessita ser claramente entendidos em termos das implicações (BESSANT *et al*, 2001).

O termo *Kaizen* tem origem japonesa (“*Kai*” mudança, melhorar e “*Zen*” bom, virtude), significa melhoria contínua sendo uma filosofia em que as iniciativas da organização estão alinhadas com os objetivos de negócio para impulsionar o crescimento e melhoria constante (PEREIRA, 2010).

Segundo Slack *et al* (2008) todas as atividades consideradas ótimas são passíveis de melhoria, incluindo ações ao nível de equipamentos ou processos. A melhoria contínua considera a diminuição da diferença entre o real e o desejado, ou ideal sendo, que a avaliação desta diferença deverá ser considerada como ponto de partida para a implementação de uma abordagem *Kaizen* dentro da organização.

O *Kaizen* é um dos pilares do *Lean*, o qual é um termo japonês que significa melhoria contínua, que procura eliminar desperdícios de forma contínua e gradual, com o intuito de aumentar a produtividade, sendo que a sua meta é a obtenção da perfeição (CRUZ, 2013).

Ainda segundo Cruz (2013) para a metodologia do *Kaizen* funcionar de forma efetiva é necessário que haja envolvimento e dedicação de todos os colaboradores da empresa. Essa técnica não que atua de forma independente, mas engloba todas as técnicas de melhoria e faz a ligação entre cada ferramenta para tirar o máximo aproveitamento do que cada uma oferece.

2.4.2 Processo de Pintura

Segundo Santos (2017) o primeiro uso da eletrodeposição para a aplicação de um revestimento orgânico em uma superfície metálica ocorreu na década de 1930, o processo era utilizado para aplicar látex em embalagens para alimentos (latas de ferro). Essa versão era

conhecida como *coil coating*, onde o revestimento era aplicado na lâmina do metal antes de sua conformação final como embalagem.

Ainda segundo Santos (2017) a indústria automotiva iniciou a introdução e a comercialização da pintura por eletro de posição, na década de 1960, motivada por fatores como: segurança (solventes perigosos com risco de incêndio); ambiental ocupacional (compromete o meio ambiente e a saúde dos profissionais que trabalhavam nas adjacências do tanque) e a qualidade (carrocerias com grande variação de camada e pontos de fervura e escorrimientos).

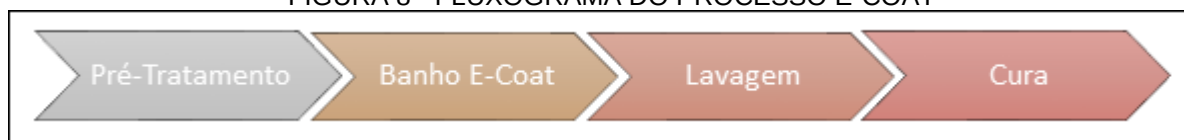
Para Vitor et al (2018) a pintura por eletrodeposição foi elaborada para garantir características anticorrosivas à uma peça de metal a seus principais usuários: a indústria automobilística, autopeças e ultimamente alguns eletrodomésticos. A eletrodeposição foi utilizada pela primeira vez, no início dos anos 60 na Ford, que inicialmente usava-se para pintar rodas e em seguida foi usado para pintar carros, pelo processo Anódico. No começo da década de 70 foi feito o processo Catódico, processo hoje que domina o mercado de pintura por eletrodeposição. A pintura por meio de eletrodeposição catódica tem denominações como: *E-coat*, *Elpo*, *Electrocoating*, *ETL*, *Electropaint* entre outros. No Brasil o termo mais popular é o de “KTL” que tem origem alemã “*Katho-dische Tauch Lackierung*” (Pintura Catódica por Imersão).

2.4.3 Processo da Pintura por Eletrodeposição

De acordo com Santos (2017) o *E-Coat* pode ser definido como um fundo de imersão aplicado sob a ação de uma corrente elétrica, onde a tinta emprega resinas com grupamentos químicos terminais que, sob indução elétrica, apresentarão carga elétrica positiva ou negativa, sendo atraídas pelo substrato a ser pintado e que deverá apresentar carga elétrica oposta à da tinta. Vitor et al (2018) dizem que o processo também é conhecido como banho KTL, trata-se de um revestimento anticorrosivo, aplicado através da imersão da peça a ser pintada em tanques especiais e passa por diversas etapas.

Segundo Vitor et al (2018) o banho de eletrodeposição é composto por aproximadamente 85% de água deionizada (isenta de íons) e 15% de sólidos de tinta. De acordo com Vitor et al (2018) as vantagens do processo de eletrodeposição são evidentes, além da alta proteção anticorrosiva, ele é resistente a exposição de diversos produtos químicos, tem bom desempenho quanto à aderência sobre metais sem pintura, ótimo no quesito aplicação em cavidades de difícil acesso, qualidade na cobertura e em revestimentos com baixas espessuras, que garantem uma superfície uniforme e faz o processo ter alta rentabilidade, considerando que aproximadamente 98% dos fluidos envolvidos são utilizados. Conforme a figura 8, o processo é dividido em 4 partes, sendo elas:

FIGURA 8 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO E-COAT



FONTE: ADAPTADO DE VITOR ET AL (2018).

Vitor *et al* (2018) explicam que na etapa do pré-tratamento o metal é limpo e fosfatizado para preparar a superfície e torná-la a mais limpa possível para o revestimento. Na sequência acontece a pintura e o revestimento de fato, parte do processo em que a pintura por eletrodeposição se inicia e o metal é imerso em tanques, conforme se pode observar na figura 9.

373

FIGURA 9- PINTURA POR IMERSÃO



FONTE: COISAS DE AGORA (2012).

Segundo Santos (2017) depois de pintada a peça é enxaguada para a remoção da tinta coagulada (*cream coat*) que não aderiu efetivamente ao substrato e depois segue para uma estufa, onde o filme passa por uma transformação química, para tintas, essa transformação recebe o nome de cura, a condição típica de cura é de 15 minutos a 175°C (temperatura-metal).

2.4.3.1 Cabines de Pintura

De acordo com Moreira (2018) as cabines de pintura automotiva são projetadas para que seja possível obter a melhor qualidade no processo de pintura e maior eficiência na reparação automotiva, evitando retoques de pintura e possíveis retrabalhos, com o aumento do número de carros no Brasil, bem como o índice de acidentes, houve também o aumento de pequenos e grandes reparos, com essa demanda é necessário cada vez mais eficiência e produtividade na reparação automotiva (MOREIRA, 2018).

Segundo informações das Instalações de pintura industrial ACCI (2018) a cabine de pintura proporciona uma maior qualidade do produto final, além disso, também gera um ambiente seguro para os pintores permitindo que os mesmos trabalhem dentro das normas

regulamentadoras, o tipo de cabine de pintura é próprio para cada tipo, sendo ela líquida ou a pó, tendo cada uma o seu projeto específico.

2.4.3.2 Cabine de Fluxo Semi - Horizontal (Semi - *Downdraft*)

Segundo Máximo (2012) a cabine de fluxo semi-horizontal é um sistema que combina as principais características dos sistemas *crossdraft* e *downdraft*, para que possa obter um melhor resultado a cabine de pintura deve estar levemente pressurizada. Máximo (2012) diz que nesse sistema o ar deve entrar pelo teto da cabine por um ventilador de admissão, com sua exaustão na horizontal, isso provoca uma leve turbulência no seu interior, colaborando para uma melhor evaporação do solvente e com isso melhores tempo na parte de secagem, Porém um ponto negativo desse formato de cabine é a necessidade de se manter uma estabilidade do ar no seu interior, mantendo a turbulência controlada, como o fluxo não é uniforme, se a turbulência for muito excessiva pode ocorrer a movimentação de poeiras que estejam no interior da cabine, causando resultados ruins na pintura.

Para GFS *Air Replacement Systems* (2014) o controle dos sistemas *crossdraft* e *downdraft* são feitos a partir do recurso de *Air Replacement Plants*, ou ARP, este sistema substitui o ar contaminado por ar fresco, mantendo a temperatura dentro da cabine também como a umidade do ar, bem como evitar a entrada de partículas contaminantes, que possam causar algum defeito na pintura e afetar sua qualidade.

2.4.3.3 Insuflação e Exaustão

De acordo com Ross e Ignácio (2015) o ar insuflado tem a função de carregar as partículas em excesso liberadas no processo de pintura, a partir disso o ar sugado pelo sistema de exaustão é direcionado para o lavador de ar, onde fica uma cortina de água que faz a absorção da tinta e o ar é liberado pelo labirinto de exaustão, existe também um dente de serra que tem a função de regular o fluxo de ar e impedir a entrada de borra de tinta no lavador.

De acordo com Erzinger (2008) para garantir que o sistema seja eficiente, deve ser seguido vários fatores importantes, como manter o nível de água no poço entre os limites especificados de 380mm a 400mm em relação ao solo, se o nível estiver baixo o lavador de ar pode não funcionar e acabar permitindo a entrada de partículas de tintas no labirinto de exaustão.

2.4.4 Automação

De acordo com Rosário (2009) a primeiras formas de automação iniciaram nas indústrias de processo, por meio do desenvolvimento de equipamentos de controle e de medição elétrica e pneumática. Porém, a palavra automação ganhou relevância com o surgimento da máquina de comando na década de 50, criadas com capacidade para realizar certas operações programadas sem a intervenção direta de um operador, essa máquina possibilitou mudanças profundas na produção industrial (ROSÁRIO, 2009).

Fernandes *et al* (2018) afirmam a capacidade para realizar certas operações programadas sem a intervenção direta de um operador, ocorre, pois, processos de produção automatizado são constituídos por uma infraestrutura composta por máquinas, equipamentos, sistemas de informação e recursos humanos que operam de forma coordenada, realizando as várias fases de conversão de matérias-primas em produtos acabados.

Para Rosário (2009) os conceitos de automação é o conjunto de técnicas que constroem sistemas ativos capazes de atuar com uma eficiência ótima pelo uso de informações recebidas. Com base nas informações recebidas, o sistema calcula a ação corretiva mais apropriada que tende a aumentar a eficiência de um determinado processo.

Ainda na perspectiva de Rosário (2009) a figura 10 mostra os cinco conceitos dos elementos-chaves descritos como um pentágono da automação: Modelagem de Sistemas, Atuadores e Sensores, Sinais e Sistemas, Sistemas Lógicos, Computadores e Redes de Comunicação e finalmente *Software* e Sistemas de aquisição de dados.



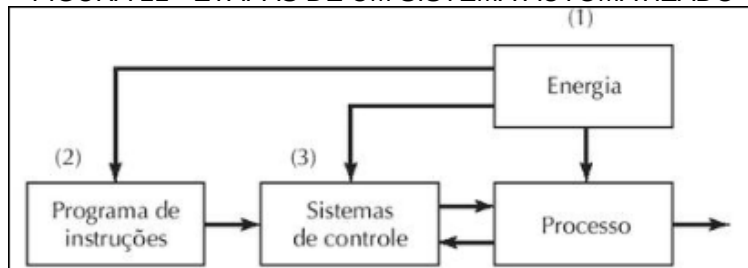
FONTE: ROSÁRIO (2009. P. 24).

Para Groover (2011) um sistema automatizado é composto por três elementos básicos que são:

- Energia para concluir os processos e operar o sistema;
- Programa de instruções que direcione os processos;
- Sistema de controle que execute as instruções.

A relação entre esses três elementos está ilustrada na figura 11 a seguir:

FIGURA 11 - ETAPAS DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO



FONTE: GROOVER (2011. P. 58).

Sob o aspecto funcional, os sistemas de automação industrial podem ser divididos de acordo com uma organização com seus vários níveis, que executam funções específicas no processo produtivo e, por conseguinte, estão associados a diferentes elementos e os níveis também apresentam diferentes requisitos tecnológicos (ROSÁRIO, 2009).

Segundo Groover (2011) uma das principais razões para a automatização de uma operação de produção é a remoção de trabalhadores de ambientes de trabalho perigosos. Ainda segundo Groover (2011) é importante que o sistema automatizado seja projetado para operar com segurança quando o trabalhador estiver em atendimento, sendo necessário um sistema automatizado, o monitoramento da segurança envolve o uso de sensores para rastrear a operação do sistema e identificar condições e eventos arriscados ou potencialmente arriscados.

2.4.4.1 Manutenção e Diagnósticos de Reparação

Com a evolução tecnológica, o sistema de comunicação através das redes de comunicação de dados permitiu tal controle, uma vez que ela é utilizada como plataforma pelos sistemas supervisórios para a transferência de informações (ROSÁRIO, 2009).

De acordo com Groover (2011) às funções avançadas de automação além de executar os programas dos ciclos de trabalho, um sistema automatizado pode ser capaz de executar funções avançadas não específicas de uma unidade de trabalho. As funções preocupam-se com a melhoria da segurança e do desempenho do equipamento, sendo que as funções avançadas de automação incluem: monitoramento da segurança, manutenção e diagnósticos de reparação e detecção de erros e recuperação.

Para Rosário (2009) fatores relacionados com a disponibilidade e a segurança da informação assumem elevada relevância, tornando-se necessária a garantia de que a informação estará disponível e segura, quando necessária, independentemente da localização geográfica.

Groover (2011) afirma que a manutenção e diagnósticos de reparação referem-se às capacidades de um sistema automatizado auxiliar na identificação da fonte de maus funcionamentos potenciais ou reais do sistema. Existem três modos de operação comum nos

subsistemas modernos de manutenção e diagnósticos de reparação, a decodificação, na ótica de (GROOVER, 2011) os quais são apresentados a seguir.

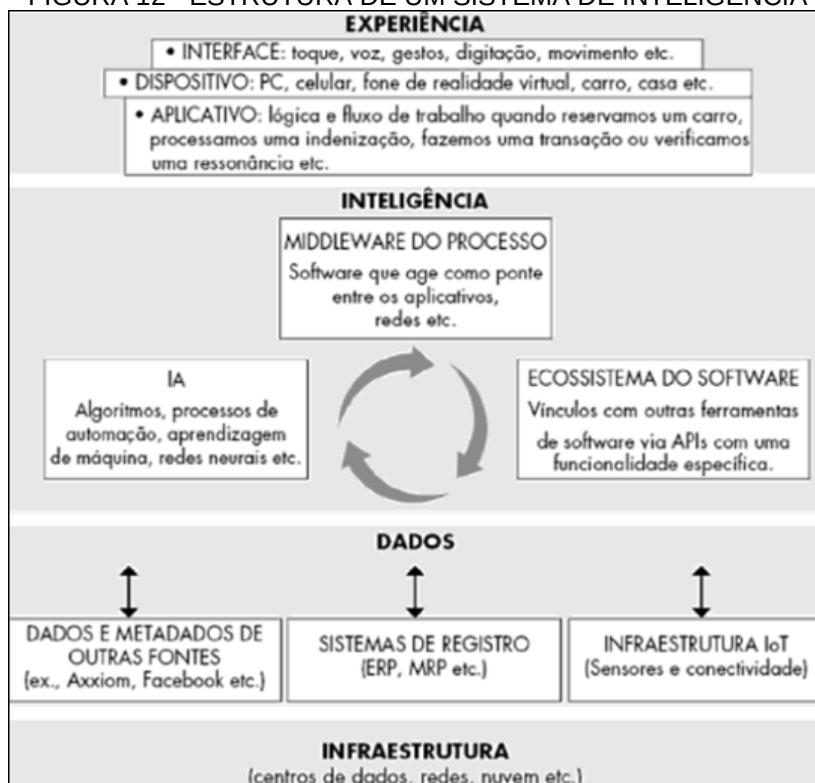
- a) Monitoramento de status: o sistema de diagnóstico, monitora e registra o status e os parâmetros do sistema do sensor durante a operação normal. Quando solicitado, o subsistema de diagnóstico pode listar qualquer um desses valores e fornecer uma explicação do estado atual, talvez um aviso de uma falha iminente;
- b) Diagnóstico de falhas: é utilizado quando existe um mau funcionamento ou falha. Sua finalidade é interpretar o valor atual da variável monitorada e analisar o valor registrado antes da falha para encontrar sua causa;
- c) Procedimentos de reparo: o subsistema recomenda à equipe de manutenção os passos que devem ser tomados para realizar os reparos. Às vezes, o método de formulação de recomendações é baseado no uso de sistemas especialistas, nos quais o julgamento coletivo de muitos especialistas em manutenção é reunido e integrado a um programa de computador usando técnicas de inteligência artificial.

Segundo Rosário (2009) com a evolução tecnológica, os computadores passaram a assumir um papel de gestão na aquisição e no tratamento de dados, permitindo a sua visualização em períodos curtos de tempo e ainda permitindo a geração de funções de controle complexas.

2.4.5 Sistema de inteligência

Frank, Roehrig e Pring (2018) o sistema de inteligência combinado com *software*, *hardware*, dados e entrada humana, são atributos importantes para o sistema que obtém combinações de algoritmos, códigos, servidores, dispositivos móveis, conectividade, contextualizado em tempo real e etc. Na figura 12 é possível ver a anatomia de um sistema de inteligência e seus diversos componentes.

FIGURA 12 - ESTRUTURA DE UM SISTEMA DE INTELIGÊNCIA



FONTE: FRANK, ROEHRIG E PRING (2018).

Segundo Pressan e Maxim (2021), o *software* é uma aplicação criada de regras de elementos com sistemas lógicos que quando executados seu processamento fornece funções e desempenho desejados a estrutura de informações lançada.

A *Twilio* que faz parte de um grupo do ecossistema de *software* permitindo conectar por interfaces de *Application Programming* (API). A plataforma permite facilitar desenvolvedores a criarem soluções integradas com voz, mensagens de texto, vídeo, notificações e facilidades de comunicação em geral (SILVA, 2019).

O *Tinkercad* é um *software* de modelagem 3D, desenvolvido pela Autodesk, é um programa gratuito e uma ótima ferramenta de aprendizagem. Esse *software* permite a modelagem virtual e de como é realizado na prática, também é possível simular o funcionamento do Arduino, permitindo realizar conexões com os demais eletrônicos. (CRUZ, 2022).

2.4.5.1 Hardware

O Arduino é uma plataforma eletrônica de computação física aberta, com uma base em placa simples de entradas/saídas (*input/output* - I/O), assim como em um ambiente de desenvolvimento que implementa esta linguagem *Processing*. O Arduino pode ser utilizado para desenvolver objetos interativos independentes, ou conectado a *softwares* de seu computador (BANZI, 2012).

Para McRoberts (2010) Arduino é um sistema embarcado, ou seja, que pode interagir com seu ambiente por *hardware* e *software* incorporados a um dispositivo com um objetivo pré-definido. Trata-se de um projeto de código livre que pode ser “clonado” tanto em *software* (que utiliza linguagem de programação em C/C++) quanto em *hardware*.

O Arduino, assim como um CLP (controlador lógico programável), controla sistemas industriais. A plataforma tem como principal finalidade facilitar, a nível doméstico, comercial ou móvel, a automação e controle nestes ambientes (MONK, 2013).

O Arduino Uno é a última geração de uma serie mais popular de placas Arduino. A série inclui o Diecimila (10.000 em italiano) e o Duemilanove (2009 em italiano). A diferença mais significativa entre o Uno e as placas anteriores é que o Uno usa um chip USB diferente. Isso não afeta o modo de usar a placa, mas facilita a instalação do *software* e permite velocidades de comunicação mais elevadas com o computador (MONK, 2013). A seguir na figura 13 mostra uma placa de Arduino Uno.

FIGURA 13 - PLACA DE ARDUINO UNO



FONTE: GOOGLE IMAGENS (2022)

Segundo Ciriaco (2015) *Raspberry Pi* é um computador de baixo custo e com o tamanho de um cartão de crédito, com função básica de oferecer uma alternativa barata, prática e acessível para que todos possam explorar as capacidades da computação. O autor afirma que o *Raspberry Pi* é um computador como outro qualquer e por isso pode servir para navegação na *internet*, reprodução de conteúdo multimídia, criação de conteúdo em forma de texto, planilhas e imagens e, também para jogos.

Para Góis (2022) o *Raspberry Pi* são minicomputadores com código aberto e baixo custo, utilizados para o ensino de programação, robótica, construção de projetos de *hardware* e *software*, automação residencial e até aplicações industriais. O autor explica que, apesar de ser menor que um cartão de crédito, pode conter mais de uma CPU com um poder de processamento próximo a um computador pessoal.

Segundo Bertoleti (2019) o ESP32 é um SoC (combo *chip*) que oferece conectividade (*WiFi* e *Bluetooth*), pode ser computacional, suporte a comunicações diversas, suporte à operação *Low-Power* e blocos de *hardware* dedicado à segurança de um chip.

2.4.6 Sensores

Pode se definir a palavra sensor como “aquilo que sente”, na eletrônica, os sensores são conhecidos como qualquer componente ou circuito elétrico realize a análise de um determinado ambiente, podendo ser algo como temperatura até mesmo luminosidade, também uma medida mais complexa como as rotações de um motor (PATSKO, 2006).

Um sensor muitas vezes não tem características elétricas para ser utilizado em um sistema de controle, geralmente o sinal de saída deve ser manipulado antes da sua leitura no sistema de controle, normalmente isso é realizado por uma interface para produção de um sinal que possa ser lido pelo controlador (WENDLING, 2010).

Esses sensores podem revelar qualquer valor no seu sinal de saída ao longo do tempo, de forma que esse sinal esteja dentro de sua faixa de operação, dessa forma as variáveis são medidas por elementos sensíveis com circuitos elétricos digitais (WENDLING, 2010).

É um tipo de sensor que pode assumir apenas dois valores no seu sinal de saída, que podem ser interpretados como zero ou um, não existem grandezas físicas que ocupem esse valor, mas eles são apresentados no sistema de controle após sua conversão por um circuito elétrico (normalmente um comparador), é utilizado para detecção de passagem de objetos e determinação de distância e velocidade (WENDLING, 2010).

Barômetro é um sensor científico, que utiliza como unidade básica a medida *hectopascal* (hPa) ou o milibar (mb), sendo considerado um sensor meteorológico que tem como objetivo medir a pressão do ar atmosférico, ou seja, medir a força praticada pela atmosfera em um certo ponto, em outras palavras, medir a força realizada pelas moléculas de ar sobre uma determinada área (PEREIRA, 2019).

3 VIVENCIANDO A INDÚSTRIA

Nesta etapa do trabalho são apresentados e analisados os dados e informações coletadas na empresa, os quais justificam a existência do problema e a importância de solucioná-lo, bem como são identificadas as causas e priorizadas.

3.1 JUSTIFICATIVA

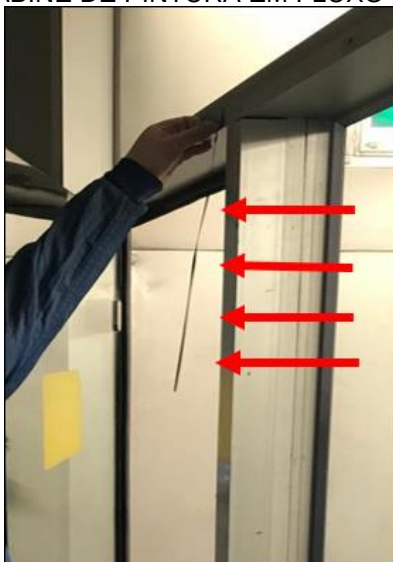
Por meio da pesquisa de campo realizada em visita na empresa nos dias 20/04/2022 e 19/05/2022, a equipe foi acompanhada pelo analista do setor de pintura o qual é o padrinho da equipe de pesquisa, e por meio da análise em documentos fornecidos pela empresa, dando continuidade e seguindo o método DMAIC a primeira etapa que é **DEFINIR** a qual foi dado início quando foi definido o problema e os passos a serem seguidos para as outras etapas, identificando que o controle de fluxo laminar nas cabines de pintura é feito manualmente e apenas no início do turno de trabalho.

Dando continuidade na etapa DEFINIR, aborda-se informações relevantes do setor de pintura que justificam a realização do estudo. No setor de pintura as carrocerias passam pelas cabines para aplicação da base (cor) e verniz, para a proteção e aparência externa do veículo, a temperatura do local deve ser mantida a 23° como variação de $\pm 3^\circ$ e umidade a 65° com variação de $\pm 5^\circ$. Sendo o controle e regulagem do fluxo de ar realizado por um operador da área de manutenção de forma totalmente manual, utilizando uma fita que é fixada na saída da cabine, com a finalidade de identificar a direção do fluxo do ar.

Sendo que o fluxo de ar negativo possibilita a entrada de contaminantes na cabine, enquanto o fluxo de ar positivo pode gerar uma turbulência dentro da cabine e as partículas de tintas podem se espalhar e não ter uma total aplicação na carroceria. Já o fluxo de ar neutro é o ideal, pois o ar não sofre pressão de nenhum dos lados e com isso é direcionado apenas para baixo, não interferindo na aplicação do verniz.

Na figura 14, a fita está sendo impulsionada para fora da cabine, entende-se um fluxo positivo, pois a pressão de ar corrente na parte interna é superior ao ar de fora, indicada por setas vermelhas.

FIGURA 141 - CABINE DE PINTURA EM FLUXO DE AR POSITIVO



FONTE: EMPRESA, ADAPTADO PELOS AUTORES (2022).

Quando o fluxo se encontra estável a fita permanece em uma posição reta, onde o ar não sofre nenhuma pressão de ambos os lados sendo o fluxo ideal para a calibração correta da pressão apresentada na figura 15 indicada por setas vermelhas.

FIGURA 15 - CABINE DE PINTURA COM FLUXO DE AR NEUTRO



FONTE: EMPRESA, ADAPTADO PELOS AUTORES (2022).

No momento em que o fluxo de ar se encontra negativo, a fita é levada para o lado interno da cabine, conforme indicado na figura 16, indicando que a pressão do ar está menor que o lado de fora, desta forma pode entrar possíveis poluentes.

FIGURA 16 - CABINE DE PINTURA EM FLUXO DE AR NEGATIVO



FONTE: EMPRESA, ADAPTADO PELOS AUTORES (2022).

Aqui se dá início à segunda etapa do DMAIC que é **MEDIR**, quando buscou-se medir do problema, com a finalidade de levantar os dados da situação atual do setor, onde além do controle ser realizado de forma manual e visual, as informações observadas são preenchidas em

folha de papel para controle interno, onde se preenche na mesma folha todos os dias da semana, sinalizando se está OK ou NOK, conforme é possível visualizar na figura 17.

FIGURA 17 - CONTROLE MANUAL DO FLUXO DE AR DA CABINE PRIMER

OM 7560735 Ano: 2022 Semana 03 Cabine PRIMER

Divisão entre zonas → 1 2 3 4 5 6 7 8

LAYOUT CABINE

Túnel Lixamento KTL → ZONE de contação ZONE Manual BC ZONE Automática "ESTA FUA" ZONE de verificação ZONE de Contação

Segunda área de inspeção Terceira área de inspeção Primeira área de inspeção

Secador FULT1 Secador FULT2

Sentido fluxo de ar nas portas Primer

Dias	CABINE		
	POSITIVO	NEUTRO	NEGATIVO
Segunda			
Terça	X		
Quarta	X		
Quinta	X		
Sexta	X		

Pressão bombas cascata Primer em Bar

Dias	PRIMER		
	210-B110-M11	210-B110-M21	210-B110-M31
Segunda			
Terça	0,7	0,7	0,6
Quarta	0,7	0,7	0,6
Quinta	0,7	0,7	0,6
Sexta	0,7	0,7	0,6

Sentido fluxo de ar entre zonas

ZONA (OBS: Se NOK, indicar o sentido do fluxo de ar). A seta ↓ indica o sentido correto do fluxo do ar

Dias	1		2		3		4		5		6		7		8	
	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK
Segunda																
Terça	X		X		X		X		X		X		X		X	
Quarta	X		X		X		X		X		X		X		X	
Quinta	X		X		X		X		X		X		X		X	
Sexta	X		X		X		X		X		X		X		X	

Parâmetros de insuflamento e exaustão Primer

Dias	Insuflamento - 210-V16		Exaustão - 210-V41	
	%	Hz	%	Hz
Segunda	100	60	92	40
Terça	100	60	92	40
Quarta	100	60	92	40
Quinta	100	60	92	40
Sexta	100	60	92	40

Parâmetros Túnel e Lixamento KTL

Dias	UBS2 em Hz	
	Ventilador Insuflamento 140-V25	Ventilador Exaustão 140-A36
Segunda		
Terça	58	60
Quarta	58	60
Quinta	58	60
Sexta	58	60

Legenda: ↓ Indicação do sentido correto do fluxo de ar entre zonas (Referência)
S Sem produção

Orientações: Pressão Referência das bombas de cascata: 0,9 Bar
Sentido do fluxo de ar nas portas do Primer deve ser levemente positivo (Para fora da cabine)
Sentido do fluxo de ar no lixamento do KTL deve ser levemente negativo (Para dentro da cabine)

FONTE: ADAPTADO PELOS AUTORES, DE EMPRESA (2022).

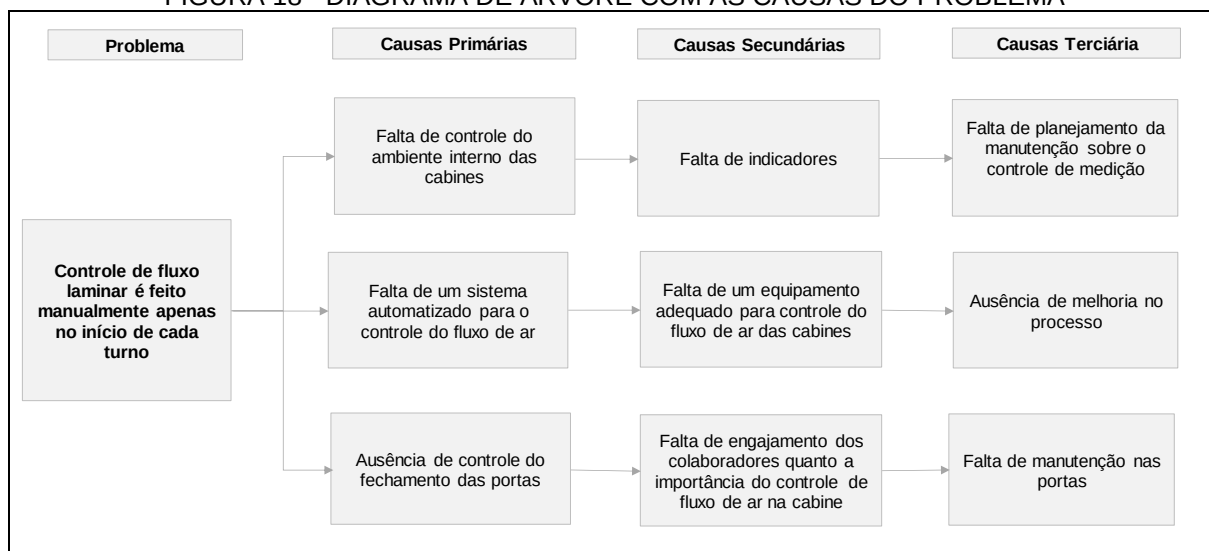
É possível observar que o processo aparenta ser simples por ser manual, porém não gera indicadores para possibilitarem um melhor controle quanto as possíveis variações na aplicação do verniz.

Outro ponto grave no processo é que os operadores não conseguem observar se a pressão da cabine sofreu alteração no decorrer do turno, já que é feita a calibração apenas no início do turno e não é verificado novamente durante o processo.

3.2 CAUSAS DO PROBLEMA

A partir das informações obtidas por meio da pesquisa de campo, do *brainstorming* realizado entre a equipe e através da análise dos dados coletados na empresa, na terceira etapa do DMAIC que é **ANALISAR**, foi possível realizar uma análise na qual foram encontradas 9 possíveis causas do problema, sendo apresentadas na figura 18, por meio do Diagrama de árvore.

FIGURA 18 - DIAGRAMA DE ÁRVORE COM AS CAUSAS DO PROBLEMA



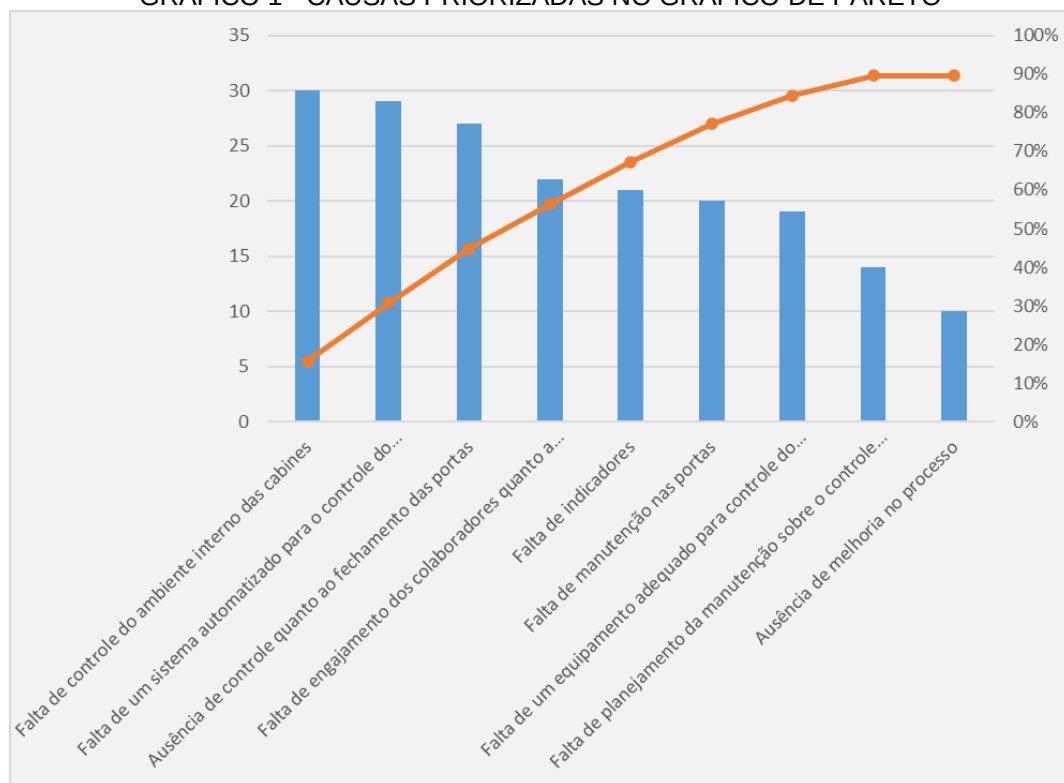
FONTE: AUTORES (2022).

Através do diagrama de árvore foi possível visualizar as 9 principais causas que influenciam para a ocorrência do problema e categorizá-las de acordo com a sequência de incidência, as principais causas serão priorizadas a seguir no tópico 3.3.

3.3 CAUSAS PRIORIZADAS

Conforme observado e estudado sobre o processo de pintura nas cabines, foi possível identificar as possíveis causas do problema encontrado. A ferramenta utilizada para auxiliar na visualização e identificação das causas é o diagrama de Pareto, no gráfico 1 pode se observar a utilização da ferramenta, no qual as causas são ordenadas do maior para menor, que tem como principal objetivo representar de forma gráfica quais causas ocorrem com maior frequência, quais devem ser priorizadas e estudadas mais profundamente.

GRÁFICO 1 - CAUSAS PRIORIZADAS NO GRÁFICO DE PARETO



FONTE: AUTORES (2022).

As 9 causas apresentadas no gráfico de Pareto contribuem diretamente para a ocorrência do problema. Foram analisadas as causas e selecionada 3 como sendo as que mais geram impacto sobre o problema, devido ao grau de incidência que ocorrem, as quais são descritas a seguir.

A causa da **falta de controle do ambiente interno das cabines** ocorre devido a não existir um controle eficiente durante o período de trabalho, referente a insuflação e a exaustão dentro das cabines, que podem sofrer variações devido a abertura das portas do setor e também a variação de temperatura do ar que circula dentro da cabine.

A causa da **falta de um sistema automatizado para o controle do fluxo de ar**, o processo é realizado manualmente pelo operador da manutenção uma única vez no início do turno de trabalho, a temperatura e a umidade do ar sofrem variação com a temperatura externa das cabines e para saber como está a pressão da cabine o operador precisa estar fisicamente no local para fazer a verificação. A empresa possui um sistema onde são colocados os parâmetros de temperatura e umidade, porém não existe nenhuma ligação com a pressão das cabines.

A causa da **ausência de controle quanto ao fechamento das portas**, ocorre devido às portas de acesso a cabine de pintura não terem nenhum sensor que emitem alertas ao estarem abertas. Durante o período de trabalho, as portas são abertas para entrada e saída dos colaboradores em vários momentos durante o turno, já que por estarem expostos a produtos químicos os mesmos não podem ficar dentro das cabines mais que uma hora e meia. Com isso a frequência

de abertura das portas pode alterar o fluxo de ar e a temperatura das cabines, o que impacta diretamente na qualidade da pintura das carrocerias.

4 TROCANDO IDEIAS

Nessa etapa do trabalho são apresentadas alternativas de solução e o plano de ação para solucionar o problema identificado.

386

4.1 ALTERNATIVAS DE SOLUÇÃO

Após toda análise realizada na etapa anterior, a quarta etapa do DMAIC que é **MELHORAR** na qual buscam-se alternativas de solução para as principais causas que contribuem para o problema do fluxo de ar nas cabines no setor de pintura da empresa, por isso, foi realizado um *brainstorming* entre a equipe de pesquisa, o padrinho Emerson da empresa e os alunos do 8º período do curso de BSI os quais foram designados a dar suporte tecnológico nas alternativas de soluções.

A proposta de solução para a causa **falta de controle do ambiente interno das cabines** consiste no desenvolvimento de sistema semelhante a um *dashboard* para o setor de manutenção, possibilitando a visualização dos dados coletados no dia a dia no ambiente interno das cabines, transmitidos em tempo real para a equipe de manutenção e aos colaboradores do setor de pintura as condições do processo, este monitoramento permite obter indicadores das ocorrências registradas.

Para solucionar a causa **falta de um sistema automatizado para o controle de fluxo de ar**, sugere-se que seja instalado um dispositivo juntamente com um sistema, que baseado em um sensor barométrico irá medir a pressão do ar para identificar quando a cabine estiver desbalizada, o dispositivo enviará um alerta ao responsável para que possa ser verificado o fluxo laminar na cabine de pintura.

Para solucionar a causa **ausência de controle no fechamento das portas**, sugere-se a instalação de sensores nas portas para que indiquem se estão abertas ou fechadas, esses sensores podem ser sonoros ou visuais, tendo a possibilidade de enviar alertas via *e-mail* a um responsável do setor para que a mesma seja verificada. Além da realização de manutenções preventivas nas portas para assegurar bom funcionamento das vedações e dos dispositivos de fechamento automáticos das portas.

4.2 PLANO DE AÇÃO

Para elaborar a proposta de solução para as três causas priorizadas no diagrama de árvore, utilizou-se a ferramenta 5W2H. O plano de ação para solucionar a causa relacionada a **falta de controle do ambiente interno das cabines** é apresentado no quadro 1.

QUADRO 1 - PLANO DE AÇÃO PARA SOLUCIONAR A FALTA DE CONTROLE DO AMBIENTE INTERNO DAS CABINES

WHAT (O QUE)?	WHY (PORQUE)?	WHERE (ONDE)?	WHO (QUEM)?	(QUANDO)?	HOW (COMO)?	HOW MUCH (QUANTO)?
Definir a finalidade específica para criação do <i>dashboard</i>	Para que fique claro quais informações evidenciar para um controle prático	Setor TI	Analista do TI	04/07/2022 a 15/07/2022	Analisando o processo	8 horas
Elaborar um esboço do <i>dashboard</i>	Para verificar se a disposição dos dados e a seleção de cores está correta	Setor TI	Analista do TI	18/07/2022 a 29/07/2022	Estudando o processo e as informações	16 horas
Criar um <i>layout</i>	Para obter um <i>designer</i> que ajude na interpretação	Setor TI	Analista do TI	01/08/2022 a 12/08/2022	Utilizando por exemplo o Excel como apoio	8 horas
Escolher um software	Para estabelecer qual <i>software</i> mais adequado	Setor TI	Analista do TI	15/08/2022 a 26/08/2022	Realizando pesquisas de ferramentas e <i>softwares</i> para criação do <i>dashboard</i>	5 horas
Escolher o local para instalação	Para ficar em um local de fácil visualização de todos	Setor manutenção	Mecânico	29/08/2022 a 09/09/2022	Permitindo o monitoramento contínuo	4 horas
Implantar o <i>dashboard</i>	Para monitorar as condições do processo	Setor manutenção	Analista do TI	12/09/2022 a 23/09/2022	Realizando a instalação e implantação do projeto	5 horas

FONTE: AUTORES (2022).

Sugere-se o desenvolvimento e implantação de um sistema que siga o padrão de *dashboard* para o setor de manutenção, que possibilite visualizar os dados coletados diariamente, sendo possível obter informações das condições do processo, além de indicadores para tomada de decisão.

Para elaboração do *dashboard* é necessário primeiramente definir o principal objetivo das informações que deseja coletar, para que fique clara a visualização, após isso criar um esboço do projeto e definir o *layout* mais adequado para o setor.

Também é necessário escolher o *software* adequado para o tipo de informação que deseja encontrar, no mercado existem vários tipos de ferramentas e *softwares* como, por exemplo, *Power BI*, *Cyfe*, *Google Data Studio* entre outros.

Para a implantação do *dashboard* serão necessárias 46 horas, durante o período de 04/07/2022 a 23/09/2022.

Para solucionar a causa **falta de um sistema automatizado para o controle de fluxo de ar** é descrito no quadro 2.

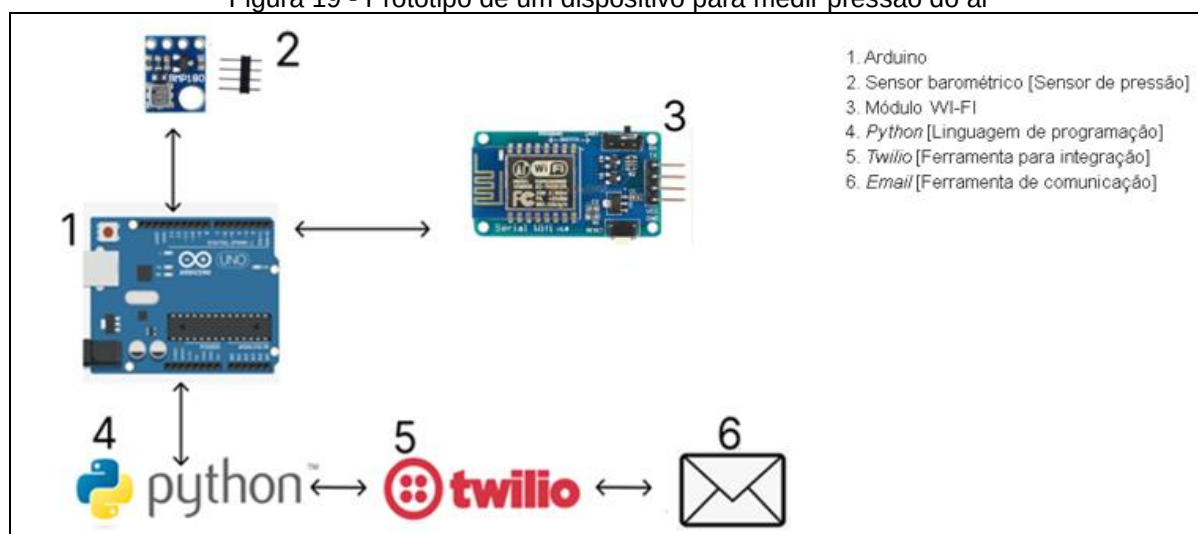
QUADRO 2 - PLANO DE AÇÃO PARA SOLUCIONAR A FALTA DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO PARA O CONTROLE DE FLUXO DE AR

WHAT (O QUE)?	WHY (PORQUE)?	WHERE (ONDE)?	WHO (QUEM)?	QUANDO?	HOW (COMO)?	HOW MUCH (QUANTO)?
Elaborar um protótipo	Para identificar se a proposta será viável	Faculdade da Indústria IEL	Alunos do 8º período de BSI	05/05/2022 a 19/05/2022	Elaborando um protótipo para pré-visualização do dispositivo	Sem custo
Desenvolver um dispositivo para medir a pressão do ar	Para que se tenha um acompanhamento automatizado do fluxo de ar	Faculdade da Indústria IEL	Alunos do 8º período de BSI	05/05/2022 a 19/05/2022	Propondo um dispositivo com os componentes e sistemas necessários	Entre R\$3.000,00 e R\$5.000,00
Implantar o dispositivo para medir a pressão do ar	Para obter o melhor desempenho do fluxo de ar	Cabines de pintura	Responsável pela manutenção do setor de pintura	18/07/2022 a 19/07/2022	Realizando a instalação do dispositivos em pontos estratégicos da cabine de pintura	35 horas
Instalar o sensor para medir a pressão do ar	Para identificar quando a cabine estiver desbalizada	Em pontos estratégicos da cabine de pintura	Responsável pela manutenção do setor de pintura	15/08/2022 a 26/08/2022	Instalando sensores que identifiquem quando a cabine estiver desbalizada	40 horas
Integrar sistema para que envie alertas sobre a desbalização	Para alertar a desbalização da cabine de pintura	No setor de manutenção	Responsável pela manutenção do setor de pintura e responsável pela TI	29/08/2022 a 09/09/2022	Programando o sistema para que envie um alerta para o responsável pela manutenção	40 horas

FONTE: AUTORES (2022).

O dispositivo para medir pressão do ar proposto pelos alunos Julia Garcia da Costa e Vinicius Henrique Rodrigues do 8º período de BSI custará entre R\$3.000,00 e R\$5.000,00 o qual foi desenvolvido para atender as necessidades da empresa. A figura 19 demonstra como seria a ligação entre os dispositivos mencionados.

Figura 19 - Protótipo de um dispositivo para medir pressão do ar



Fonte: Julia Garcia da Costa e Vinicius Henrique Rodrigues, alunos do 8º período de BSI (2022).

O protótipo é composto por uma plataforma de prototipagem em Arduino, ligada a um sensor barométrico (Sensor de pressão) e a um módulo de rede Wi-Fi, para a programação foi utilizada a Linguagem Python, integrada pelo sistema Twilio, podendo enviar uma notificação de alerta via e-mail toda vez que ocorrer alguma alteração na cabine. Foi utilizada a Linguagem Python por ser de fácil aprendizagem, possuir uma escrita simples e por ser muito usada em automações. É uma linguagem que tem facilidade de se comunicar pelo sistema Twilio, que é uma plataforma que facilita a criação de soluções integradas.

Para a implantação desse processo serão necessárias 80 horas, durante o período de 15/08/2022 a 09/09/2022.

O plano de ação para solucionar a causa **ausência de controle no fechamento das portas** é apresentado no quadro 3.

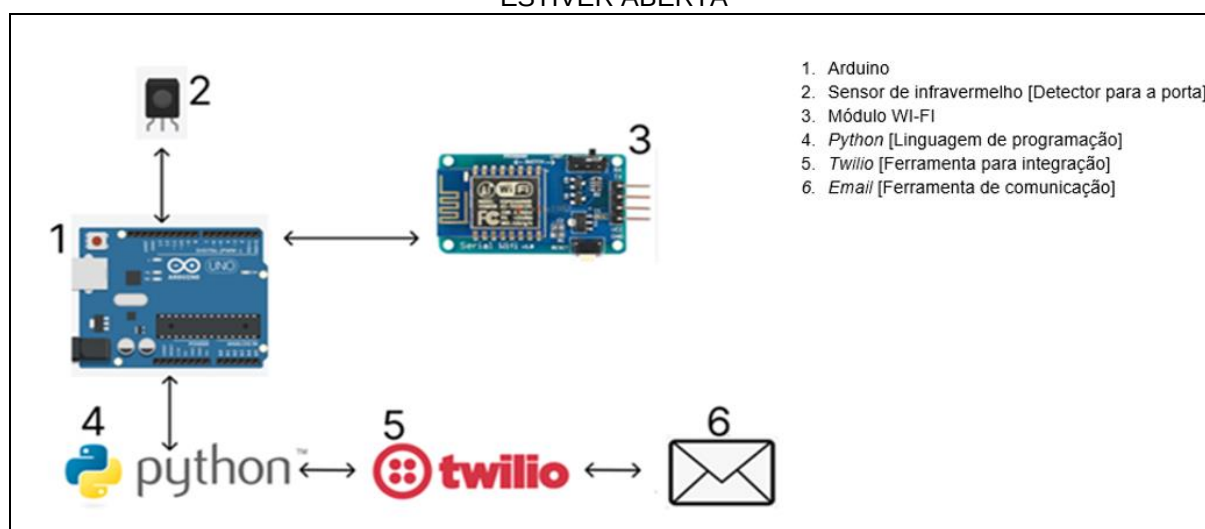
QUADRO 3 - PLANO DE AÇÃO PARA SOLUCIONAR A CAUSA AUSÊNCIA DE CONTROLE NO FECHAMENTO DAS PORTAS

WHAT (O QUE)?	WHY (PORQUE)?	WHERE (ONDE)?	WHO (QUEM)?	QUANDO?	HOW (COMO)?	HOW MUCH (QUANTO)?
Elaborar um protótipo	Para identificar se a proposta será viável	Faculdade da Indústria IEL	Alunos do 8º período de BSI	05/05/2022 a 19/05/2022	Elaborando um protótipo para pré-visualização do dispositivo	Sem custo
Desenvolver um dispositivo que identifique quando as portas das cabines estiverem abertas	Para identificar quando as portas estiverem abertas	Faculdade da Indústria IEL	Alunos do 8º período de BSI	05/05/2022 a 19/05/2022	Desenvolvendo um dispositivo com os componentes e sistemas necessários	Entre R\$3.000,00 e R\$5.000,00
Realizar manutenção das portas	Para melhorar a vedação e fechamento das portas	Setor de Pintura	Mecânico do setor	29/08/2022 a 09/09/2022	Realizando a verificação e substituição dos mecanismos de fechamento das portas	32 horas
Instalar os sensores	Para identificar quando as portas estiverem abertas	Setor de Pintura	Mecânico do setor	12/09/2022 a 23/09/2022	Instalando os sensores em todas as portas das cabines	48 horas

FONTE: AUTORES (2022).

Sugere-se implantar um dispositivo que identifique quando a porta das cabines estiver aberta, o mesmo foi desenvolvido pelos alunos Julia Garcia da Costa e Vinicius Henrique Rodrigues alunos do 8º período de BSI com um custo entre R\$3.000,00 e R\$5.000,00, o mesmo foi desenvolvido para atender as necessidades da empresa, e consiste em uma plataforma de prototipagem em Arduino ligada a um sensor de infravermelho e a um módulo de rede Wi-Fi, para a programação foi utilizada a Linguagem *Python*, integrada pelo sistema *Twilio*, podendo enviar uma notificação de alerta via *e-mail* toda vez que a porta estiver aberta. A figura 20 demonstra como seria a ligação entre os dispositivos mencionados.

FIGURA 20 - PROTÓTIPO DE UM DISPOSITIVO PARA IDENTIFICAR QUANDO A PORTA DAS CABINES ESTIVER ABERTA



FONTE: JULIA GARCIA DA COSTA E VINICIUS HENRIQUE RODRIGUES DO 8º PERÍODO DE BSI (2022).

Sugere-se que seja instalado 34 sensores nas portas das cabines do setor de pintura, bem como a manutenção das portas e a verificação e substituição dos mecanismos de vedação do fechamento das portas.

Para instalação e programação dos sensores e manutenção das portas, serão necessárias 80 horas, durante o período de 29/08/2022 a 23/09/2022.

4.3 RESULTADOS ESPERADOS

Com a aplicação das soluções apresentadas para o controle eficiente do fluxo laminar dentro das cabines de pintura, espera-se alcançar os resultados almejados pela organização para o setor.

Pois, através do investimento em dispositivos e tecnologia, será possível reduzir as interferências no ambiente interno das cabines e aumentar a qualidade da pintura. Sendo que com a instalação de sensores e da realização de manutenção nas portas, será possível manter a pressão do ar estável por mais tempo dentro das cabines. Com monitoramento das cabines trará mais agilidade e eficiência ao setor de manutenção, possibilitando que a organização gere indicadores de seus processos que auxiliaram nas tomadas de decisão.

A implementação do projeto poderá agregar melhorias para a empresa, possibilitando obter indicadores que viabilizem ter controles eficientes, organizados e construindo um planejamento estratégico quando ocorrer uma instabilidade no processo.

4.4 CRONOGRAMA

Como objetivo de gerir as etapas do projeto, recursos e prazos, foi criado um cronograma. O quadro 4 apresenta de modo visual as etapas do plano de ação para uma proposta de solução no setor de pintura quanto ao controle do fluxo laminar dentro das cabines de pintura.

QUADRO 4 - CRONOGRAMA PARA IMPLANTAÇÃO DO PLANO DE AÇÃO

ATIVIDADE A SER EXECUTADA	MAIO				JUNHO					JULHO				AGOSTO					SETEMBRO			
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4
Plano de ação para solucionar a falta de controle do ambiente interno das cabines																						
Definir a finalidade específica para criação do <i>dashboard</i>																						
Elaborar um esboço do <i>dashboard</i>																						
Criar um <i>layout</i>																						
Escolher um <i>software</i>																						
Escolher o local para instalação																						
Implantar o <i>dashboard</i>																						
Plano de ação para solucionar a falta de um sistema automatizado para o controle de fluxo de ar																						
Elaborar um protótipo																						
Desenvolver um dispositivo para medir a pressão do ar																						
Implantar o dispositivo para medir a pressão do ar																						
Instalar o sensor para medir a pressão do ar																						
Integrar sistema para que envie alertas sobre a desbalização																						
Plano de ação para solucionar a causa ausência de controle no fechamento das portas																						
Elaborar um protótipo																						
Desenvolver um dispositivo que identifique quando as portas das cabines estiverem abertas																						
Realizar manutenção das portas																						
Instalar os sensores																						

FONTE: AUTORES (2022).

Para garantir a implantação das ações no setor de pintura no período adequado para a empresa, para cada etapa do plano de ação foi definido prazo de início e término, possibilitando o gerenciamento das entregas. Seguindo o cronograma sugerido que tem início a partir da primeira semana de junho de 2022, com previsão de conclusão para a última semana de setembro de 2022.

391

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto desenvolvido identificou a inclusão de novas tecnologias no setor de pintura para que possa garantir melhor desempenho quanto aos dados coletados baseados e estruturados em fundamentos do *Lean Manufacturing* a fim de promover melhorias no processo.

O estudo teve como objetivo geral apresentar uma proposta de solução no setor de pintura quanto ao controle do fluxo laminar dentro das cabines de pintura. Dentro do objetivo geral, foram definidos três objetivos específicos que foram alcançados, visto que foram identificadas 9 causas do problema; foram buscadas alternativas de solução para as 3 causas priorizadas e foi elaborado o plano de ação para as causas priorizadas, que se aplicadas solucionarão o problema.

Durante a evolução do estudo, foram utilizadas metodologias como o diagrama de árvore que auxiliou a equipe a identificar 9 causas, buscando estruturar o problema e desenvolver meios para alcançar um processo eficiente dentro do setor. Através do gráfico de Pareto, indicou-se maior frequência das ocorrências e ajudou a priorizar 3 causas. Para solucionar o problema, foram realizados um *Brainstorming* e o *Benchmarking* para auxiliar na elaboração das alternativas de solução.

Com base nos resultados do gráfico de Pareto, foi criado um plano de ação 5W2H como solução para o problema sugere-se a implementação de um sistema *dashboard*, a aquisição de dispositivos para medição da pressão do ar e a manutenção e instalação de sensores nas portas. A cada etapa relacionada possibilitará obter uma otimização do tempo, estabilização do processo e garantir maior assecuridade dos dados apresentados.

Na elaboração do trabalho o desafio que a equipe enfrentou foi manter contato com a empresa devido a férias coletiva, como consequência os prazos de entregas da equipe para cada tópico foram reduzidos.

Na jornada de aprendizagem, a equipe conseguiu adquirir maior conhecimento conceituado durante os *feedbacks* e orientações da orientadora Profa. Rosilda e novas metodologias aplicadas, possibilitando a equipe obter senso crítico para a tomada de decisão diante do problema estudado e classificação das causas.

6 PRÓXIMO DESAFIO

Como sugestões para trabalhos futuros sugere-se que as informações sejam centralizadas e utilizem as ferramentas de diagnóstico analisando os dados em tempo real, assim será possível aumentar a eficiência na produtividade, pois a diminuição do tempo de análise das informações facilita a tomada das decisões.

Sendo assim, a equipe sugere como tema para trabalho futuro, uma integração entre o sistema já utilizado pela empresa e os painéis que apresentaram os dados sobre a pressão do ar dentro das cabines e os sensores das portas, assim a regulação poderia ser realizada com mais rapidez, minimizando problemas de qualidade na aplicação de verniz decorrentes da pressão nas cabines.

Considerando a importância dos indicadores de desempenho nas tomadas de decisões para as organizações, esclarecendo metas a cumprir e medindo desempenho e eficiência, sugere-se a adaptação do controle no fluxo de ar para que gere indicadores, a fim de facilitar a mensuração das medições da pressão do ar realizadas no processo.

Recomenda-se também, o investimento por parte da empresa em treinamento para os colaboradores, buscando aumentar seu interesse e entendimento referente ao processo como um todo, reforçando assim a importância de manter as portas devidamente fechadas durante o processo para manter a pressão do ar estabilizada.

Visando ampliar ainda mais conhecimento aos integrantes da equipe, com os temas voltados à indústria, sugere-se como tema de estudo as atividades do setor de manutenção e sua importância para o processo produtivo, bem como suas dificuldades com os processos e com os colaboradores.

4 REFERÊNCIAS

ANDRADE, E. L. **Introdução à pesquisa operacional**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

ACCI Instalações de pintura industrial. **Cabine de pintura automotiva**. 2018. Disponível em: <<https://www.acciindustrial.com.br/cabine-pintura-automotiva>>. Acesso em: 18 abril 2022.

ANDRADE, M. M. **Introdução à metodologia do trabalho científico: elaboração de trabalhos na graduação**. 10. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

AUTODESK, Tinkercad. Disponível em: <<https://www.tinkercad.com>>. Acesso em: 15 mai. de 2022.

BARBOSA, M. A.; DECKMANN, R. A. **Iniciação à pesquisa operacional no ambiente de gestão** [livro eletrônico]. 3. ed. rev. e atual. Curitiba: InterSaberes, 2015.

BANZI, M. **Primeiros Passos com Arduino**. São Paulo: Novatec, 2012.

BENETTI, H. P. **Diretrizes para avaliar a estabilidade do fluxo de valor sob a perspectiva da mentalidade enxuta**. Tese (Doutorado em Engenharia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Porto Alegre, 2010.

BERTOLETI, Pedro. **Projetos com ESP32 e Lora**. São Paulo: Newton C. Braga, 2019.

BESSANT, J. et al. **An evolutionary model of continuous improvement behaviour. Technovation**. v. 21, n. 1, p. 67-77, 2001.

393

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; SILVA, R. **Metodologia Científica**. 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

CIRIACO, Douglas. **O que é Raspberry PI**. 2015. Disponível em: <<https://canaltech.com.br/hardware/o-que-e-raspberry-pi/>>. Acesso em: 15. mai. 2022.

CORRÊA, H. L. **Administração de cadeias de suprimento e logística: o essencial**. São Paulo: Atlas, 2014.

CRUZ, N. M. P. **Implementação de ferramentas Lean Manufacturing no processo de injeção de plásticos**. 2013. Tese (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) Universidade do Minho, Portugal, 2013.

CRUZ, Eduardo Cesar Alves. **Microprojetos com plataforma Arduino: Introdução à programação do Arduino com tinkercad**. 2020. Disponível em: <<https://www.jorgestreet.com.br/offline/1CI/1CI%20-%20EDG5-%20MAIO%20-%20EDUARDO.pdf>>. Acesso em: 15 mai. de 2022.

CUSTODIO, M. F. **Gestão da qualidade e produtividade**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2015.

DOMINGUES, L. H. **Engenharia de produção e a indústria 4.0**. Ponta Grossa: Aya, 2020.

ERZINGER INDUSTRIA MECÂNICA LTDA. **Manual de Instruções Cabine de Pintura Via Úmida com Sala de Pressurização**. Joinville, 2008.

FRANK, Malcolm; ROEHRIG, Paul; PRING, Ben. **O que fazer quando as máquinas fazem tudo**. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Alta Books, 2018.

FRANZINI, C. R. F. **Análise do Lean Manufacturing no Processo de Montagem em uma Indústria Metalúrgica**. Londrina: Enegep, 2021.

FERNANDES, A. et al. **Automação & Sociedade: Quanta Revolução Industrial, um olhar para o Brasil**. 1. ed. Rio de Janeiro: Brasport Livros e Multimídia, 2018.

FREGONEZE, G. B. et al. **Metodologia Científica**. 1. ed. Londrina: Editora e distribuidora Educacional S.A, 2014.

GFS Air Replacement Systems. Disponível em: https://www.cetinc.com/wp-content/uploads/GFS_Air_Replacement_Units.pdf. Acessado em: 08 abr. 2022.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GOZI, M. P. **Gestão da Qualidade em Bens e Serviços - GQBS**. 1. ed. São Paulo: Pearson, 2015.

GOOGLE Imagens. Disponível em: https://images.google.com.br/imghp?source=mog&gl=br&gws_rd=ssl. Acesso em: 15 mai. 2022.

GROOVER, M. P. **Automação industrial e sistema de manufatura**. 3. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2011.

GÓIS, Aléxis Cerqueira. **Raspberry Pi: conheça os principais modelos**. 2022. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/produto/234771-raspberry-pi-conheca-principais-modelos.ht>. Acesso em: 15 mai. 2022.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução a pesquisa operacional**. 9. ed. São Paulo: AMGH Editora LTDA, 2013.

KAMADA, S. **Estabilidade na produção da Toyota do Brasil**. [S. l.]: 2010.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

LACHTERMACHER, G. **Pesquisa operacional na tomada de decisões: modelagem em Excel**. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

LACOMBE, F. J.; HEILBONR, G. L. **Administração: princípios e tendências**. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2003.

LEDERMANN, M.; KINALSKI, N. M. **Pesquisa Operacional**. Rio Grande do Sul: Editora Unijuí, 2012.

LÉLIS, E. C. **Administração da Produção**. 1. ed. São Paulo: Pearson, 2012.

LÉLIS, E. C. **Gestão da qualidade**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2012.

LIKER, J. K.; MEIER, D. **O modelo Toyota: manual de aplicação: um guia prático para implementação dos 4Ps da Toyota**. Porto Alegre: Brookman, 2007.

LISBOA, E. **Pesquisa Operacional**. Apostila de curso: Rio de Janeiro, 2002.

LOESCH, C.; HEIN, N. **Pesquisa operacional: Fundamentos e modelos**. São Paulo: Saraiva, 2009.

MASCARENHAS, S. A. **Metodologia Científica**. 2. ed. São Paulo: Person Education do Brasil, 2018.

MARINS, F. A. S. **Introdução à Pesquisa Operacional**. São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, Pró-Reitoria de Graduação, 2011.

MÁXIMO, M. S. S. **Tese de Mestrado em Energia e Climatização de Edifícios**. Universidade do Algarve: Portugal, 2012.

MCROBERTS, M. **Arduino Básico**. São Paulo: Novatec, 2010

- MEIRA, R. C. **As ferramentas para a melhoria da qualidade**. 2. ed. Porto Alegre: SEBRAE, 2003.
- MICROSOFT Corporation. **O Modelo TCP/IP**. Disponível em: <[http://technet.microsoft.com/ptbr/library/cc786900\(v=ws.10\).aspx](http://technet.microsoft.com/ptbr/library/cc786900(v=ws.10).aspx)>. Acesso em 15 mai. 2022.
- MONK, S. **Programação com Arduino**. São Paulo: Bookman, 2013
- MOREIRA, M. F.. **Análise de instalação de uma cabine de pintura com sistemas de exaustão para empresas de funilaria com demanda reduzida**. Centro Universitário do Sul de Minas: Varginha, 2018.
- OHNO, T. **Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997.
- PÁDUA, E. M.. **Metodologia da pesquisa: Abordagem teórico-prática**. 10. ed. São Paulo: Papyrus, 2004.
- PAES, E. S.; VILGA, V. F. **Gestão de Projetos**. Londrina: Editora e distribuidora Educacional S.A, 2016.
- PATSKO, Luís Fernando. **Tutorial–Aplicações, Funcionamento e Utilização de Sensores**. Maxwell Bohr: Instrumentação eletrônica. Londrina – PR, 2006.
- PEREIRA, Américo José. **Fusão de Informação Sensorial para Determinação de Altitude**. [Porto – Portugal], 2019.
- PEREIRA, C. A. S. **Lean Manufacturing: aplicação do conceito a células de trabalho**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) Universidade da Beira Interior, Portugal, 2010.
- PRESSAN, Roger S.; MAXIM, Bruce R. **Engenharia de Software: uma abordagem profissional [recurso eletrônico]**. 9. ed. Porto alegre: AMGH, 2021.
- RIANI, A. M. **Estudo de Caso: O Lean Manufacturing Aplicado na Becton Dickinson**. 2006. Tese (Faculdade de Engenharia, B.Sc., Engenharia de Produção, 2006) Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais, 2006.
- ROSS, S.; IGNÁCIO, A. **Exaustão Cabine de Pintura: relatório sobre fatores que afetam a eficiência do sistema**. Ibirubá: AGCO, 2015.
- ROSÁRIO, J. M. **Automação industrial**. 1. ed. São Paulo: Barauna, 2009.
- SANTOS, A. C. V. **A proteção de superfícies metálicas através da pintura por eletrodeposição (e-coat) catódica**. Revista tratamento de Superfície. Nº 217. 2017.
- SANTOS, M. B. **Mudanças organizacionais: métodos e técnicas para a inovação**. Curitiba: Jurúá, 2011.
- SELEME, R.; STADLER, H. **Controle da Qualidade: As ferramentas Essenciais**. 2. ed. Curitiba: IBPEX, 2012.
- SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo: Cortez, 2014.

SILVA, R. A.; SILVA, O. R. **Qualidade, padronização e certificação**. [livro eletrônico]. Curitiba: InterSaberes, 2017.

SILVA, Allef Anderson. **Interface entre Arduino e WhatsApp**. 2019. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/arduino-e-whatsapp/#Configurando-o-Twilio>>. Acesso em: 15 mai. de 2022.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R.; BETTS, A. **Gerenciamento de Operações e de processos**. 1ª edição. Porto Alegre: Bookman, 2008.

SMALLEY, A. **Criando o sistema puxado nivelado**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2020.

Testo 160 IAQ. Disponível em: <www.testo.com/pt-BR/testo-160-iaq/p/0572-2014>. Acesso em 14 jun. 2022.

VITOR, A. S.; DANTAS, B.; BARROSO, C. O.; MELO NETO, C. M.; LEITE, K. M.; SILVA, P. B.; SANTOS, W. S. **Processo de pintura e revestimento superficial E-Coat**. XVII Imeco Wold Congresso. Pesquisa e Ação. v. 4, n. 1, mai. 2018.

XAS 4010 SMART Sensor de abertura magnético. Disponível em: <<https://www.intelbras.com/pt-br/sensor-de-abertura-magnetico-xas-4010-smart>>. Acesso em 13 jun. 2022.

WENDLING, Marcelo. **Sensores**. Universidade Estadual Paulista - São Paulo, 2010.

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

WERKEMA, C. **Métodos PDCA e Dmaic e Suas Ferramentas Analíticas**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A máquina que mudou o mundo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1992.