

DAS Departamento de Automação e Sistemas
CTC Centro Tecnológico
UFSC Universidade Federal de Santa Catarina

Redução de Custos para Pintura de Luminárias

Relatório submetido à Universidade Federal de Santa Catarina

como pré-requisito para a aprovação na disciplina

DAS 5511: Projeto de Fim de Curso

Gustavo dos Santos Gonçalves

Florianópolis, 14 de fevereiro de 2019

Redução de Custos para Pintura de Luminária

Gustavo dos Santos Gonçalves

Esta monografia foi julgada no contexto da disciplina **DAS 5511: Projeto de Fim de Curso** e aprovada na sua forma final pelo **Curso de Engenharia de Controle e Automação**.

Universidade Federal de Santa Catarina
Departamento de Automação e Sistemas
Programa de Graduação em Engenharia de Controle e Automação

Prof. Fábio Luiz Baldissera, Dr Eng.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Hector Bessa Silveira
Presidente da Banca

Prof. Dr. Werner Kraus Junior
Avaliador

Cláudio Rafael Deóla Sada
Orientador na Empresa

Prof. Dr. Fábio Luíz Baldissera
Orientador no Curso

Srta. Anelize Zomkowski Salvi
Debatedora

Sr. Renê Luiz dos Santos Baldissera
Debatedor

Agradecimentos

Dedico este relatório e meu trabalho aos meus pais, à minha querida família e a Diandra, meu amor, pelo apoio incondicional e que durante todos esses anos jamais deixaram de me dar suporte a acreditar em meu potencial.

Agradeço à Taschibra que me deu a oportunidade de realizar este trabalho e à toda sua equipe que foram muito receptivos e me ajudaram sempre que possível.

Agradeço aos meus mentores, tanto na Taschibra quanto na universidade, por me indicarem o caminho de luz e sabedoria perante às dificuldades que surgiram durante minha caminhada.

Agradeço também a esta universidade, seu corpo docente, direção e administração que deram oportunidade a esta jornada.

Resumo

A Taschibra é uma das maiores indústrias latino-americanas de iluminação. Grande parte de seus componentes é desenvolvida dentro da empresa e utilizada para fabricação dos produtos finais. Dentre as etapas de fabricação de uma luminária, o processo de pintura é um dos mais importantes, pois adiciona durabilidade e atratividade ao produto, correspondendo a 25% do seu valor final. Este trabalho visa o desenvolvimento de um sistema que reduza a quantidade de tinta desperdiçada durante o processo de pintura, sem comprometer a qualidade do produto final. A solução proposta emprega sensores, de maneira que seja possível estimar o tamanho das peças que serão pintadas e desligar automaticamente as pistolas durante a sua pintura. Para validar a solução proposta, foram realizados testes em algumas das peças da linha de produção, onde as pistolas de tinta foram desligadas manualmente. Como resultados preliminares, conseguimos uma redução entre 1,6 g e 4,1 g de massa em 3 peças testadas, levando em consideração a média de peças produzidas nos 5 primeiros meses de 2018, a redução poderá chegar a 100 kg de pó de tinta, correspondendo a 3,3% de redução no consumo de tinta.

Palavras-chave: Automação. Pintura. Redução de Custos.

Abstract

Taschibra is one of the largest Latin American lighting industries. Most of its components are developed within the company and used to manufacture the final products. Among the manufacturing stages of a luminaire, the painting process is one of the most important, since it adds durability and attractiveness to the product, corresponding to 25 % of its final value. This work aims to develop a system that reduces the amount of paint wasted during the painting process, without compromising the quality of the final product. The proposed solution employs sensors so that it is possible to estimate the size of the parts to be painted and to automatically turn off the paint guns during their painting. To validate the proposed solution, tests were performed on some of the production line parts, where the paint guns were manually turned off. As preliminary results, we achieved a reduction between 1.6 g and 4.1 g mass in 3 pieces tested, taking into consideration the average of parts produced in the first 5 months of 2018, the reduction could reach 100 kg of paint powder, corresponding to 3.3 % reduction in ink consumption.

Key-words: Automation. Painting. Cost-cutting.

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Contextualização	1
1.2	Objetivo	2
1.3	Resultados	3
1.4	Estrutura do Documento	3
2	Descrição da Empresa	4
2.1	Taschibra	4
2.2	Processos para Produção de Luminárias	4
2.3	Gestão da Produção de Luminárias	7
2.4	Conclusão	7
3	Descrição do Processo de Pintura	8
3.1	Pintura Eletrostática	8
3.2	Processo de Pintura na Taschibra	9
3.3	Ciclo do Processo	10
3.4	Limitação do processo	11
3.5	Conclusão	11
4	Redução de Custos no Processo de Pintura: Solução Proposta	12
4.1	Sistema de Sensores	13
4.2	Sistema de Controle	14
4.3	Sistema de Atuadores	15
4.4	Orçamento	16
4.5	Conclusão	16
5	Simulações e Testes	17
5.1	Simulação	17
5.2	Peças de Alumínio	17
5.2.1	Corpo da Tartaruga	18
5.2.2	Canopla de 01 Furo	19

5.3	Peças de Aço - Corpo Lumifácil de 40 W	20
5.4	Conclusão	22
6	Conclusões, Resultados e Perspectivas	23

Lista de Figuras

2.1	Planta da Fábrica	5
3.1	Pistolas de Tinta	9
3.2	Ciclo do Processo	10
4.1	Sistema proposto	13
4.2	Projeto do Sistema de Sensores...	14
4.3	Modelo do CLP	15
4.4	Rolé Utilizado	15
5.1	Corpo Tartaruga	18
5.2	Pintura Corpo Tartaruga	18
5.3	Pendente TD 821.	19
5.4	Pendente TD 1003.	19
5.5	Pintura Canopla	20
5.6	Luminária Lumifácil de 40 W.	21
5.7	Pintura Lumifácil de 40W	21

1 Introdução

Neste capítulo, discorreremos brevemente sobre processos de pintura, assim como uma descrição geral sobre os problemas encontrados que motivaram esse trabalho. Na seção 1.2 listaremos os objetivos do projeto, os quais serão mais detalhados nos futuros capítulos e ainda daremos uma visão geral da organização do documento na seção 1.4.

1.1 Contextualização

A pintura é utilizada pelos seres humanos há cerca de 25 mil anos, com o passar dos séculos as técnicas, componentes e pigmentos evoluíram [LS1999]. Os maiores avanços na qualidade da tinta e, conseqüentemente, na pintura de produtos e peças ocorreram principalmente no início do século XX e durante a Primeira Guerra Mundial. Podemos citar como exemplos, a necessidade de tintas anticorrosivas que foi suprida pela descoberta de tintas à base de chumbo e zinco e também a introdução de um novo pigmento branco, em 1918, o dióxido de titânio, substituindo totalmente o chumbo branco e fornecendo uma melhor cobertura sobre outras tintas. Tintas à base de chumbo foram substituídas, pois descobriram que eram tóxicas e geravam risco com seu uso [LS1999].

No Brasil, a pintura industrial é de grande importância, pois segundo dados da Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas, em 2017 o volume de tinta utilizado na indústria em geral, a qual corresponde a eletrodomésticos, móveis, autopeças, aeronáutica, tintas de manutenção, etc, foi de 10,3% do total ou 158 bilhões de litros consumidos, ficando atrás somente do setor imobiliário, que corresponde a 80% do total, ou 1279 bilhões de litros [ABR2019].

Este projeto foi realizado no setor de pintura da Taschibra, uma das maiores indústrias de iluminação da América Latina. Fundada em 1995, em Indaial, Santa Catarina, comercializa seus produtos nos mais variados tipos de canais brasileiros e latino americanos, esses que podem ser produzidos dentro da empresa ou importados.

O processo de pintura é automatizado e utiliza a pintura eletrostática, uma das melhores tecnologias para a pintura de peças, sendo largamente utilizada na indústria, que será explicada na seção 3.1. As peças pintadas são produzidas pela própria empresa, em diferentes setores, e no setor de pintura recebem a tinta de acordo com as ordens de

produção.

O setor conta com uma cabine de pintura que possui pistolas automáticas de tinta, que ficam ligadas durante o tempo de pintura e pintam as peças através movimentos verticais. Ainda existem dois operadores humanos, que acompanham o processo, realizam retoques quando necessário, controlam a velocidade da monovia ou pintam determinados tipos de peças, como toda a linha de pendentés que a empresa produz, utilizando uma pistola manual de tinta cada.

Na Taschibra o processo de pintura corresponde a aproximadamente 25% do custo total de produção das luminárias Lumifácil. Além disso, apenas 2% das luminárias pintadas no setor precisam de retrabalho. Porém, atualmente não se conhece a quantidade de tinta que é desperdiçada durante a pintura, pois a tinta que não se fixa às peças cai no fundo da máquina e pode ser reaproveitada, mas por pouco tempo, visto que a tinta possui uma vida útil e após este tempo não adere mais às peças. Finalmente, o tempo decorrido entre a chegada de uma peça para a pintura a finalização do procedimento corresponde 60% do tempo total de sua fabricação. Assim, o trabalho apresentado neste documento justifica sua realização por almejar a redução dos custos, diminuição do tempo de processamento e manter a qualidade da pintura.

1.2 Objetivo

Este trabalho tem como objetivo principal a redução no consumo de:

- Tinta no processo de pintura dos produtos de cor branca na linha de produção da Taschibra, unidade de Indaial;
- Energia elétrica no processo citado no item anterior

Para alcançar esse objetivo principal, temos como objetivos específicos:

- Aprofundar o nível de automação da planta, com a inclusão de novos sensores, novos atuadores e uma lógica de processamento dos dados adquiridos, de modo a reduzir a necessidade de intervenção dos operadores;
- Gerar informações a partir dos dados adquiridos por meio dos sensores, com a

finalidade de auxiliar a tomada de decisões estratégicas a respeito do processo de pintura.

1.3 Resultados

Como resultados alcançados, conseguimos a redução da massa em três diferentes peças da produção, sendo duas delas de alumínio e uma de aço. As peças de alumínio, chamadas de corpo de tartaruga e canopla de 01 furo, onde foi possível desligar mais pistolas de tinta durante sua pintura, reduziram em 1,6 g e 2,8 g de massa, respectivamente, somando juntas uma redução de 50 kg do consumo do pó de tinta, em relação à produção dos 5 primeiros meses de 2018. A peça de aço, é a de maior venda na empresa, Lumifácil de 40 W, nessa peça conseguimos uma redução de 2,5 g em sua massa, diminuindo assim, o consumo de tinta em 50 kg para o mesmo intervalo de tempo.

1.4 Estrutura do Documento

No capítulo 2 apresentamos a empresa, com uma descrição mais detalhada dos setores responsáveis pela produção e distribuição das mercadorias. O detalhamento de como o processo ocorre atualmente e a descrição dos problemas atuais encontrados, serão apresentados no capítulo 3. A solução encontrada, juntamente com a descrição das tecnologias utilizadas para alcançá-la são apresentados no capítulo 4. No capítulo 5 apresentamos o desenvolvimento do projeto proposto. Os resultados serão apresentados no capítulo 6 e no capítulo 7 serão discutidos, onde também é feita uma conclusão geral do trabalho.

Utilizamos esboços e diagramas para representar as estruturas e processos realizados na empresa, pois não foi permitido a divulgação das informações reais.

2 Descrição da Empresa

No presente capítulo apresentaremos a Taschibra, empresa onde este trabalho foi desenvolvido, trazendo um breve histórico, uma descrição do modo de produção, *layouts* e processos executados.

2.1 Taschibra

A Taschibra é uma empresa brasileira, fundada em 1995, com sede em Indaial, Santa Catarina. Iniciou suas atividades em uma parceria com a China, através da importação de luminárias e lâmpadas para realizar a revenda no Brasil.

É uma das maiores indústrias latino-americana especializada em iluminação. Possui sede própria e conta atualmente com aproximadamente 500 funcionários entre internos e representantes comerciais, que atuam em todo o Brasil. Possui também representantes internacionais, que atuam no Paraguai, Uruguai, Bolívia, Chile e Moçambique, onde opera com exportação dos produtos. Anualmente produz cerca 3 milhões de luminárias dentro de sua fábrica, que são distribuídas em vários setores diferentes do comércio, como *Home Center*, Material de Construção, Material Elétrico, Lojas Especializadas, Supermercado, Bazar e B2B Corporativo [INS2018].

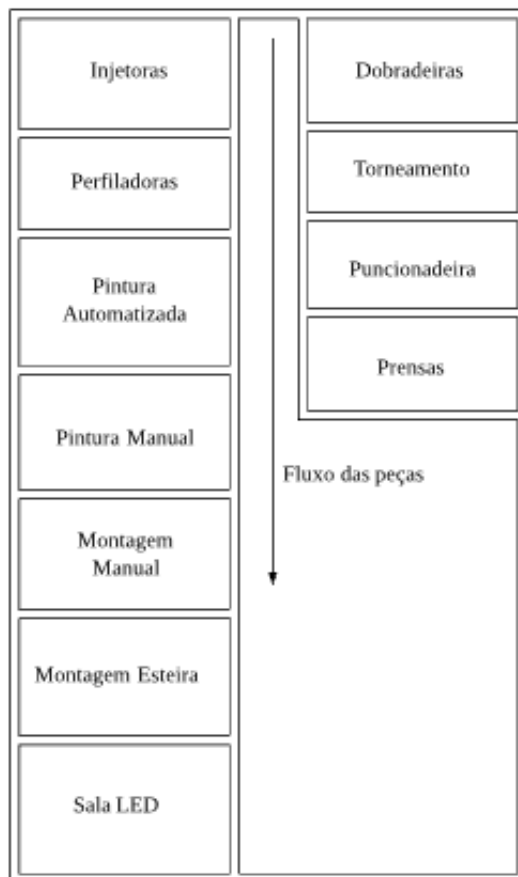
2.2 Processos para Produção de Luminárias

A produção das luminárias comercializadas pela empresa ocorre em sua maior parte dentro da fábrica, em diversos setores diferentes, que serão detalhados a seguir. A fabricação das luminárias inicia com a chegada de aço ou alumínio à empresa, esses materiais podem ser na forma de bobinas ou discos e seguem aos setores de usinagem com a finalidade de chegar à forma desejada. Na fábrica também existem outros setores responsáveis pela produção de peças plásticas, onde ficam as máquinas injetoras, além do setor de pintura das peças, onde este trabalho foi realizado e o setor de montagem das luminárias, onde as luminárias produzidas pela empresa e as que são importadas recebem a montagem final, são embaladas e seguem ao estoque.

Conforme observamos no esboço da fábrica representado pela figura 2.1, podemos notar os setores mais importantes da fabricação das peças e o fluxo que as peças seguem

até a montagem, esses setores são descritos a seguir.

Figura 2.1: Planta fábrica.



Fonte: Arquivo pessoal.

- Injetoras: é localizado mais ao fundo da fábrica, é o setor responsável pela produção de algumas peças plásticas utilizadas na montagem das luminárias como aletas e tampas;
- Usinagem: nesse setor é onde ocorrem os processos de produção do corpo de todas as luminárias fabricadas pela empresa, pode ser dividido entre os setores de puncionamento, perfilação, torneamento, prensa, dobragem e corte, que são os processos utilizados para produzir as peças em alumínio e aço;
- Pintura: setor responsável pela pintura de todas as peças. Divide-se em duas partes:
 - A primeira, por onde passam as peças de maior fluxo, consiste em um sistema automatizado composto por uma monovia, onde as peças são organizadas em

suportes, chamados de gancheiras. Nessa monovia as peças seguem para um banho químico, com a finalidade de remover óleos e outras impurezas que se fixaram às peças durante os processos de usinagem e durante sua locomoção antes de chegar à pintura. Após o banho, passam por uma câmara de secagem e seguem para as cabines de pintura. Existem duas cabines automatizadas de pintura, que são idênticas, mudando somente a cor da tinta utilizada, uma é para a pintura de cor branca e a outra para a pintura de cor preta, elas não podem ser utilizadas simultaneamente, pois compartilham da mesma monovia e do mesmo sistema de limpeza e cura das peças. As cabines possuem 14 pistolas de tinta fixadas em dois suportes, um em cada lado da entrada da cabine, que se movimentam verticalmente, permanecendo ligadas durante a pintura das peças que entram na cabine, além dos operadores que ficam dentro da cabine, realizando diversas tarefas como controle da velocidade da monovia, retocando algumas peças, realizando a pintura completa de outras, limpando a cabine de pintura, além de acompanhar se as pistolas automáticas estão trabalhando da forma correta. Quando as peças saem da cabine de pintura continuam pela monovia até chegarem a estufa para a cura, demorando entre 10 minutos e 20 minutos. Finalmente, ao saírem da cura, são organizadas por lotes e vão para os setores de montagem;

- A segunda parte é um setor onde ocorre somente a pintura manual de peças, principalmente dos pendentos produzidos pela empresa, estes são pintados em outras cores diferentes da cor branca, existem algumas linhas de pendentos que recebem a tinta branca em sua parte interna pelos operadores da primeira parte e a segunda cor, na parte externa do pendente nesse setor. Esse setor também possui cabines de pintura e cura, mas essas podem ser utilizadas para diferentes cores.
- Montagem: setor responsável pela montagem das luminárias comercializadas pela empresa. Esse setor também pode ser dividido de acordo com o tipo de luminária montada:
 - Esteiras: são montadas as luminárias de maior venda na empresa, são pro-

- duto que conseguem ser montados com mais velocidade como as luminárias fluorescentes, lumifácil e a linha TA-6 e TA-7;
- Mesas: são montados todos os pendentos, lustres e outras linhas que necessitam de uma montagem mais lenta;
 - Sala LED: são montadas luminárias que são integralmente produzidas dentro da empresa, desde às placas de LED, passando pelas aletas e o corpo metálico. Esse setor produz principalmente as linhas TD 60 LED e TL Slim.

Após saírem do setor de montagem, os produtos seguem para o estoque ou diretamente para atender os pedidos realizados pelos clientes.

2.3 Gestão da Produção de Luminárias

Sua cadeia produtiva é baseada, principalmente, no modelo puxado com estoques intermediários. Onde o estoque final dos produtos e os pedidos dos clientes determinam se novos produtos devem ser montados. Além disso, existem estoques intermediários dos componentes, para suprir maiores demandas, caso necessário.

Existem uma série de produtos e componentes que são importados, chegando na empresa somente para a montagem final, retrabalho ou para serem embalados, seguindo então para os estoques.

2.4 Conclusão

Neste capítulo apresentamos a empresa onde este trabalho foi realizado, contamos parte da trajetória, método de produção atual e os principais setores dentro da parte industrial da Taschibra.

No próximo capítulo trataremos como o processo corre na empresa atualmente e os problemas encontrados.

3 Descrição do Processo de Pintura

Neste capítulo apresentaremos como ocorre o processo de pintura na Taschibra. Inicialmente iremos abordar a tecnologia utilizada pela empresa, trazendo seus benefícios e vantagens em relação a outras técnicas de pintura, então iremos expor como as decisões sobre a pintura são feitas e como esse processo se comporta, para finalmente apresentarmos a principal problemática deste trabalho.

3.1 Pintura Eletrostática

A pintura eletrostática é um processo que utiliza cargas elétricas para realizar a pintura de peças metálicas ou que podem ser carregadas eletricamente. Este ocorre utilizando tinta a pó, que pode ser dos seguintes materiais [PIN2018a]:

- Poliester: Possui melhor aderência e alta resistência ao amarelamento, mais indicado para aplicações externas;
- Epóxi: Resistente ao tempo e à corrosão, grande parte de suas aplicações são em peças industriais, vergalhões para construção civil, tubulações, etc;
- Híbrida: Combinação de ambos os materiais, possui alta resistência química. Suas maiores aplicações são eletrodomésticos, móveis de aço e autopeças.

É um processo com grande eficácia e resistência, sendo amplamente utilizado em diversos setores industriais. Baseado na atração e repulsão das partículas de tinta, consegue oferecer um alto nível de acabamento final da pintura, pois a tinta e o corpo a ser pintado recebem cargas elétricas opostas, resultando na atração entre a peça e a tinta e na repulsão da tinta entre si, como observado na figura 3.1.

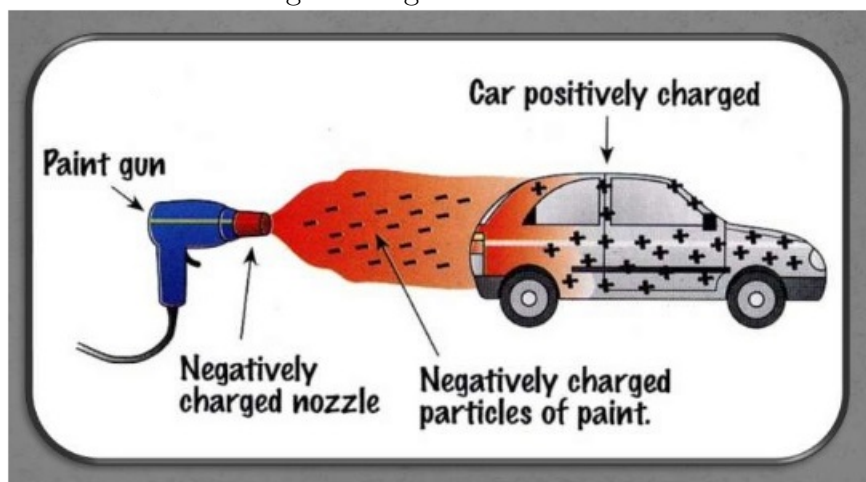
As duas formas mais comuns de realizar a pintura são:

- Leito Fluidizado Eletrostático: uma evolução do Leito Fluidizado, permite pintar objetos com formas geométricas mais complexas, oferece uniformidade em toda a superfície da peça, pois é possível obter um controle maior da aplicação da tinta;

- Pulverização Eletrostática: é um processo mais rápido e ágil, onde o pó alcança cavidades mais complexas, é recomendado na pintura de grandes quantidades de peças.

Para qualquer forma de pintura escolhida, as peças devem passar por um banho para a remoção de óleos ou outros materiais que atrapalham o processo de pintura. Este banho é, geralmente, feito instantes antes da pintura, para que as peças não sofram processos de oxidação antes da pintura [PIN2018b].

Figura 3.1: Pistolas de Tinta com bico carregado negativamente, carro carregado positivamente e partículas de tinta carregadas negativamente.



Fonte: Artigo on-line¹ sobre Pintura Eletrostática.

3.2 Processo de Pintura na Taschibra

A pintura das peças na Taschibra é decidida através das ordens de produção. Essas são geradas de acordo com a necessidade de repor luminárias no estoque, quando há uma quantidade mínima de estoque para vendas ou quando algum cliente faz o pedido de compra das luminárias. Então o departamento responsável por gerir a produção de toda a fábrica verifica se há estoque das peças produzidas nos setores de usinagem e cria a ordem de produção para o setor de pintura que inicia o processo.

¹Disponível em <<http://www.ufjf.br/fisicaecidadania/2013/12/16/o-que-e-e-como-funciona-a-pintura-eletrostatica/>>. Acesso em Maio de 2018

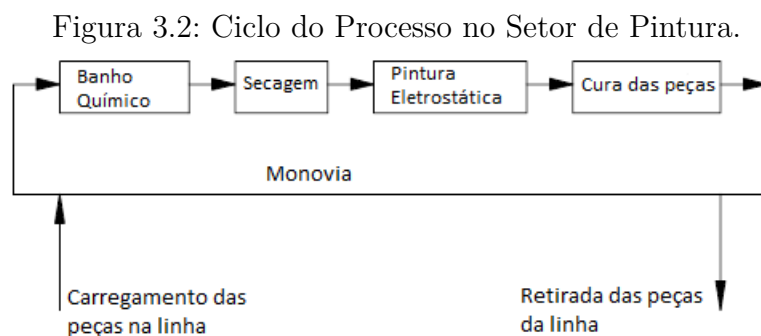
3.3 Ciclo do Processo

Pintura eletrostática é um processo largamente utilizado por diversos setores da indústria, pois apresenta diversas vantagens, como cura rápida, bom acabamento e resistência ao tempo e corrosão.

O processo de pintura na empresa é automatizado e cíclico. Após criarem as ordens de produção e as peças chegam ao setor de pintura para receberem a tinta, são colocadas nas gancheiras e na monovia. Para que as peças de aço ou alumínio não sofram oxidação, elas recebem uma proteção feita por óleo ou graxa antes dos processos de usinagem. Porém, para a tinta fixar com qualidade, estas impurezas devem ser retiradas das peças através de uma limpeza que envolve água e produtos químicos que ocorre no setor de pintura, após as peças serem colocadas na monovia. Depois de passar pela limpeza, as peças secam em uma estufa e então vão para a cabine de pintura.

Para receber a tinta, as peças entram na cabine de pintura suspensas pelas gancheiras a uma velocidade constante. A cabine possui 14 pistolas automáticas de tinta, 7 de cada lado, fixas em dois suportes que se movimentam verticalmente durante o processo e ficam ligadas durante todo o tempo em que há peças passando, com o objetivo de lançar tinta uniformemente em todas elas.

A tinta a pó se fixa por estática nas peças, nesse momento a tinta ainda pode ser facilmente removida das peças. Ao saírem da cabine, as peças seguem pela monovia até estufa onde recebem a cura por 10 a 20 minutos para, finalmente, serem retiradas da monovia por operadores no outro extremo do setor e irem para os estoques ou para o setor de montagem. Podemos observar na figura 3.2 um diagrama com o ciclo explicado anteriormente.



Fonte: Adaptado de artigo sobre Pintura Eletrostática [NBF2002].

3.4 Limitação do processo

Considerando que as pistolas de tinta ficam ligadas e soltando o pó de tinta durante a passagem das peças, o grande desperdício ocorre quando não há peças na frente de toda a área de atuação das pistolas. O efeito das pistolas ligadas e nenhuma peça passando para ser pintada faz com que a tinta que sai das pistolas se prenda nas paredes internas da cabine de pintura. Como consequência, as paredes da cabine ficam cheias de tinta, então a tinta não se prende mais as paredes e gera uma névoa. Por fim, isso satura os filtros e a tinta não consegue mais ser sugada para a caixa onde fica armazenada, fazendo com que um dos operadores da máquina tenham que parar o processo para realizar limpeza da cabine.

Outro problema envolve a vida útil do pó de tinta é a utilização de um agente de locomoção da tinta, chamado de carga. O pó de tinta que cai dentro da cabine pode ser utilizado novamente, mas toda vez que a tinta é carregada por estática e expelida pela pistola, perde-se agente de locomoção e a cada ciclo de reutilização da tinta, ela perde eficiência.

3.5 Conclusão

Apresentamos neste capítulo um detalhamento da tecnologia utilizada no processo de pintura que ocorre atualmente na empresa, como também o grande motivador para realizar esse trabalho.

O próximo capítulo trará a solução proposta, com a descrição das diferentes tecnologias utilizadas ao longo do trabalho.

4 Redução de Custos no Processo de Pintura: Solução Proposta

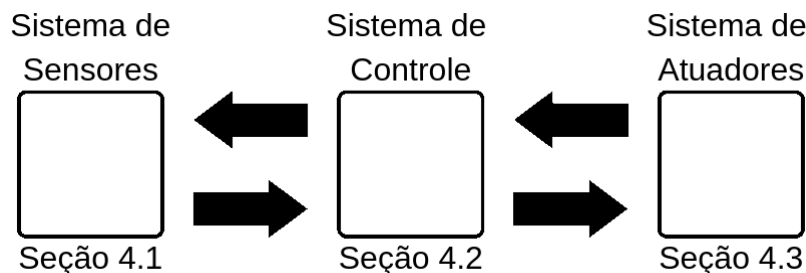
Neste capítulo discorreremos sobre a maneira que encontramos para atingir os principais objetivos do presente trabalho, trazendo também a descrição de equipamentos e tecnologias que serão utilizados para auxiliar a obtenção dos objetivos.

A solução ao problema proposto é o projeto de um sistema em que seja possível desligar automaticamente as pistolas de tinta, onde a decisão seja tomada a partir do tamanho das peças que serão pintadas, de forma que sempre haja peças na frente da área de atuação das pistolas de tinta, evitando que o pó de tinta se prenda às paredes da cabine, retardando, assim, os outros problemas que o pó de tinta não utilizado acaba gerando. Para que de um modo geral, com a implementação do projeto, seja possível economizar insumos e energia no setor de pintura da Taschibra, sem prejudicar a qualidade da pintura.

Em um primeiro momento, pensamos na solução como um modelo mais dinâmico para o desligamento das pistolas. A ideia inicial era desligar as pistolas conforme o movimento vertical do suporte. O sistema desligaria as pistolas que não estivessem soltando tinta diretamente nas peças, como por exemplo quando o suporte chega ao ponto mais alto da trajetória, a primeira pistola de tinta seria desligada, da mesma forma que quando o suporte estivesse no ponto mais baixo da trajetória, a última pistola de tinta seria desligada. Porém o departamento de manutenção da empresa alertou que essa forma de atuar sobre as pistolas de pintura faria com que sua vida útil fosse reduzida, gerando como consequência a reposição mais frequente das pistolas automáticas e tornando o impacto financeiro do projeto maior. Então decidimos realizar o desligamento das pistolas por bloco de peças, as mesmas pistolas seriam desligadas durante a pintura de todas as peças do mesmo lote, dessa maneira a vida útil das pistolas automáticas não sofreria tanto impacto com a implementação.

O projeto se divide em três sistemas, um sistema de sensores, que será responsável pela detecção das peças e do tamanho das mesmas, também haverá o sistema de controle, onde as informações dos sensores serão interpretadas e enviadas ao terceiro sistema, o de atuação, responsável por ligar e desligar as pistolas de pintura. Na imagem 4.1 podemos observar o comportamento destes sistemas.

Figura 4.1: O sistema proposto para a implementação divide-se em 3 sistemas menores: de sensores, controle e atuadores, explicados com mais detalhes nas seções 4.1, 4.2 e 4.3, respectivamente.



Fonte: Arquivo pessoal.

4.1 Sistema de Sensores

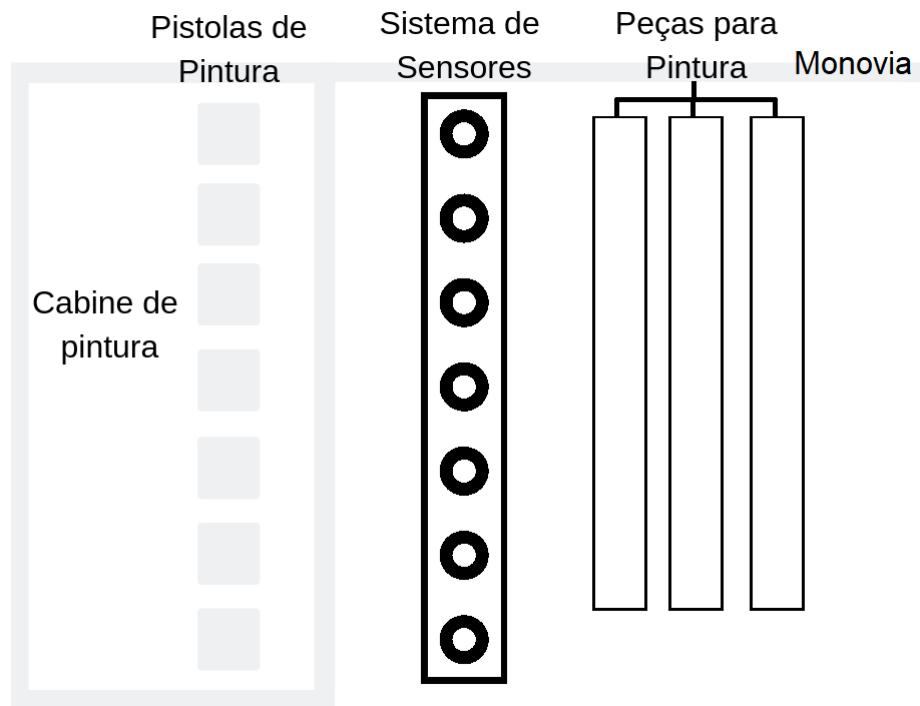
Os sensores escolhidos para o projeto, foram os sensores de fibra óptica, pois a fibra óptica em si oferece melhor desempenho em ambientes com sujeira e poeira, devido a alta potência do emissor e, além disso, não sofre interferência pois é somente a fibra que ficará próximo ao maquinário.

Outro fator que influenciou na decisão por este tipo de sensor, foi o fato de que outros tipos de sensores de presença possuem problemas com interferência entre os conjuntos de emissores e receptores, necessitando de uma distância específica entre os pares. Esse tipo de especificação poderia acarretar no uso de menos sensores, diminuindo a precisão da detecção das peças.

O emissor do modelo de sensor escolhido lançava um feixe de luz em formato cônico mas, como o emissor e receptor são ligados ao mesmo amplificador, significando que o coletor só coleta os dados do respectivo emissor, não havendo problemas de interferência mútua entre sensores.

Assim, foi decidido que seriam utilizados 7 sensores no projeto, onde cada um seria alinhado a uma pistola de pintura, conforme ilustrado na figura 4.2. Podemos notar pela ilustração que os sensores devem ficar do lado externo da cabine de pintura para não sofrerem interferência gerada pelo acúmulo do pó de tinta e detectarem as peças momentos antes de sua entrada na cabine.

Figura 4.2: Projeto para o Sistema de Sensores, localizado do lado externo da cabine de pintura, para não sofrer interferência e conseguir detectar as peças corretamente.



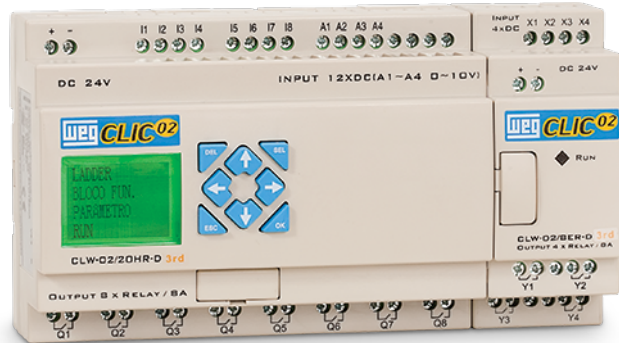
Fonte: Arquivo pessoal.

4.2 Sistema de Controle

O sistema de controle será feito utilizando um CLP da fabricante WEG, modelo CLIC02, figura 4.3. Esse modelo de CLP atende todas as especificações em relação às entradas e saídas necessárias do sistema e, além disso, oferece um tempo de resposta aceitável para a aplicação, considerando que a monovia, onde as peças ficam suspensas, se movimenta lentamente e a posição do sistema de sensores também leva em consideração o tempo de resposta do controlador e o tempo que as peças demoram para entrar dentro da cabine de pintura [CLI2018].

Além disso, esse modelo de CLP permite tanto a programação diretamente no equipamento, quanto em comunicação com um computador, também possui um sistema de monitoramento online dos parâmetros e possibilita a comunicação em rede.

Figura 4.3: CLP CLIC02 da WEG, possui até 20 entradas e saídas digitais, até 4 entradas analógicas, conseguindo assim atender as especificações de entradas e saídas do projeto.



Fonte: Site do fabricante [CLI2018].

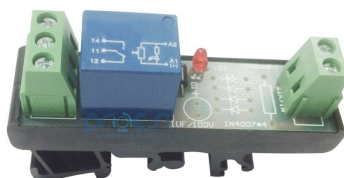
4.3 Sistema de Atuadores

Os atuadores do sistema são as pistolas de pintura, elas são acionadas por painéis individuais. Como atuar diretamente nos painéis é muito difícil, pois é necessário mais de um tipo de comando do operador para ligar ou desligar determinadas pistolas de pintura, decidimos utilizar Relés para fazer a atuação do sistema.

Os relés irão atuar diretamente nos cabos de saída dos painéis de comando. Assim, os painéis de comando deverão manter sempre as pistolas de tinta ligadas, pois a atuação dos relés será para realizar seu desligamento.

Por isso, neste projeto, escolhemos o modelo NA, normalmente aberto, pois ele manterá as pistolas ligadas até que venha um sinal do sistema de controle para que o contato de determinadas pistolas seja interrompido. Na figura 4.4 segue uma imagem do modelo de relé utilizado.

Figura 4.4: Relé de modelo NA Utilizado para o Projeto.



Fonte: Site do revendedor² de Relés.

²Disponível em <<http://proesi.com.br/rele-acoplador-bot-20-24-vdc-1-na-nf.html/>>. Acesso em Maio de 2018

4.4 Orçamento

O valor dos equipamentos necessários para a implementação do sistema pode ser observado na tabela 4.1. Nessa tabela ainda não estão considerados os suportes dos sensores, mas isso poderia ser feito dentro da própria empresa, no setor de ferramentaria, então o custo seria apenas de material e mão de obra, também não estão considerados outros custos como parafusos, cabos para comunicação do CLP com o computador, por isso consideramos que o custo total de implementação do sistema seria de R\$ 10.000,00 para termos uma margem de compra.

Tabela 4.1: Orçamento dos equipamentos mínimos para a implementação do sistema.

Equipamento	Quantidade	Valor total (R\$)
Sensores de fibra óptica com unidade amplificadora, da fabricante Keyence	07	R\$ 7.714,47
Relé acoplador BOT-20 24 VDC	07	R\$ 205,73
CLP CLIC02 da WEG	01	R\$ 1.200,00
Valor Total dos Equipamentos		R\$ 9.120,20

4.5 Conclusão

Neste capítulo apresentamos com mais detalhes a solução proposta, que é a redução do desperdício do pó de tinta utilizado no processo sem alterar a qualidade do mesmo, bem como os equipamentos e tecnologias que podem ser utilizadas para que a solução funcione, como os sensores de fibra óptica, que oferecem um ótimo desempenho para medições em ambientes fabris, além de não sofrerem com interferências, os relés, que são equipamentos robustos e certamente trarão bons resultados. No final ainda trouxemos um orçamento aproximado do custo total de implementação do sistema.

5 Simulações e Testes

Neste capítulo apresentaremos simulações e testes que foram que realizamos com o objetivo de solucionar os problemas expostos no capítulo anterior.

5.1 Simulação

Realizamos as simulações com o objetivo de fazer o levantamento financeiro para viabilizar a implementação do projeto. Como o custo dos equipamentos necessários ficou acima do esperado e a produção na empresa reduziu bastante, foi necessário fazer estas simulações para estimar o retorno financeiro.

A simulação ocorreu através do desligamento manual de algumas pistolas de tinta para a pintura de determinadas peças. Ao lado das cabines de pintura há uma caixa de comandos onde é possível desligar individualmente as pistolas de pintura. Esse processo foi realizado pelos operadores da máquina, sendo que para realizar essa operação, o operador deveria parar a linha e então desligar manualmente as pistolas que não seriam necessárias para a pintura das peças. Assim, pudemos demonstrar como seria o funcionamento do setor após a implementação do sistema.

Escolhemos três diferentes peças para realizar a simulação do sistema, sendo duas delas de alumínio e uma de aço.

5.2 Peças de Alumínio

As primeiras simulações ocorreram com as peças de alumínio, onde foram desligados quatro pistolas de um dos lados da cabine de pintura.

Este tipo de alteração pôde ocorrer sem prejudicar a produção, pois a parte da peça que recebeu menos tinta não fica exposta quando o produto final é montado, também há o fato de serem peças de alumínio e não necessitarem de uma camada de tinta integral sobre a superfície, pois não sofrem com corrosão.

5.2.1 Corpo da Tartaruga

O primeiro processo onde pudemos realizar as simulações foi na pintura do corpo da tartaruga, como observado na 5.1, a parte que recebeu menos tinta é a parte interior, pois não fica exposta e só entra em contato com a parede quando fixada.

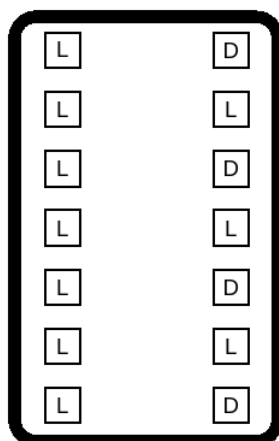
Figura 5.1: Luminária Tartaruga Suprema em sua montagem final.



Fonte: Site da Taschibra [PRO2019] .

Para realizar as simulação determinamos que seriam desligadas 4 das 7 pistolas de pintura que seriam responsáveis por soltar a tinta na parte descrita anteriormente, dessa forma a peça seria totalmente coberta no lado que fica exposta e parcialmente coberta no outro lado. O layout das 14 pistolas de pintura é ilustrado na figura 5.2.

Figura 5.2: Mudança proposta para as pistolas de pintura na simulação no Corpo da Tartaruga, vista frontal da entrada da cabine de pintura, onde L significa que a pistola está ligada e D, desligada.



Fonte: Acervo pessoal.

5.2.2 Canopla de 01 Furo

O outro processo simulado foi a pintura da canopla de 01 furo, essa peça é utilizada na montagem de pendentos, como TD 821 e TD 1003, mostrados nas figuras 5.3 e 5.4, respectivamente. A canopla é fixada no teto quando o pendente é instalado.

Figura 5.3: Pendente TD 821.



Fonte: Site da Taschibra [PRO2019] .

Figura 5.4: Pendente TD 1003.

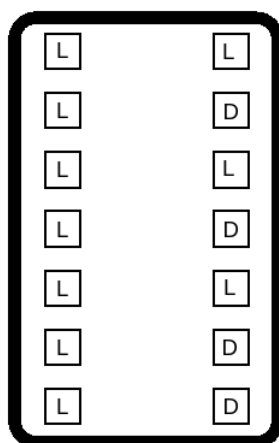


Fonte: Site da Taschibra [PRO2019] .

Este produto também é feito de alumínio, então pudemos utilizar do mesmo princípio

do item anterior para fazer as simulações, cobrir a parte externa da peça normalmente, pois essa fica exposta, e a parte interna parcialmente, pois não fica exposta e não sofre corrosão. Foram desligadas também 4 das 7 pistolas de pintura responsáveis por lançar a tinta na parte interna da peça, porém não foram as mesmas do processo anterior, como ilustrado na figura 5.5.

Figura 5.5: Mudança proposta para as pistolas de pintura na simulação na Canopla de 01 Furo, vista frontal da entrada da cabine de pintura, onde L significa que a pistola está ligada e D, desligada.



Fonte: Acervo pessoal.

5.3 Peças de Aço - Corpo Lumifácil de 40 W

As peças feitas de aço necessitam que a pintura realizada no setor tenha um ótimo acabamento, com camadas regulares de tinta dos dois lados da peça, pois o aço, ao contrário do alumínio, sofre processo de corrosão e uma das mais eficientes formas de evitá-lo é através de tinta, deixando os produtos com maior durabilidade.

Nessa etapa de simulação utilizamos a luminária Lumifácil de 40 W, a luminária com maior número de vendas na empresa, figura 5.6. Logo, uma melhoria nesse processo gera grandes impactos na linha de produção da empresa.

Mencionamos anteriormente que as peças de aço devem ter a mesma camada de tinta em ambos os lados da peça para manter sua durabilidade. Então para essa etapa das simulações, a mudança foi focada no *layout* das gancheiras. Ao observar o processo de pintura, notamos que as gancheiras do corpo da Lumifácil de 40 W poderiam ser deslocadas para cima ou para baixo, ficando mais próxima do teto ou do chão da cabine de pintura.

Figura 5.6: Luminária Lumifácil de 40 W.

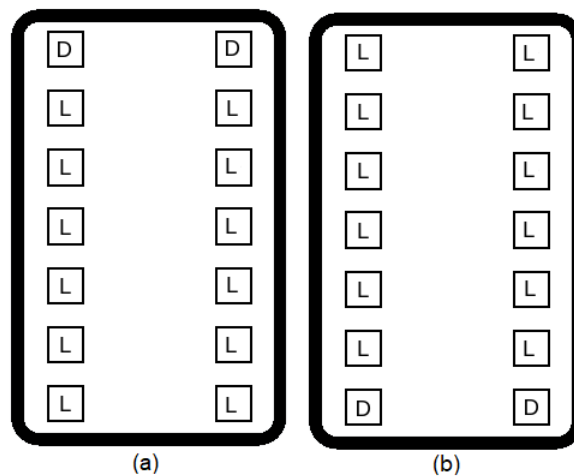


Fonte: Site da Taschibra [PRO2019].

A proposta foi utilizar as duas formas em diferentes ocasiões, uma alongando o suporte e outra encurtando o suporte, verificar a qualidade da pintura e aferir sobre a redução na tinta.

Fizemos duas simulações, uma para cada configuração do suporte e quando encurtamos o suporte, foi possível desligar as pistolas inferiores dos dois lados na cabine de pintura. Da outra forma, alongando o suporte, foi possível desligar as pistolas superiores em ambos os lados da cabine de pintura, conforme ilustrado nas figuras 5.7a e 5.7b.

Figura 5.7: Mudança proposta para as pistolas de pintura na simulação para o Corpo da Lumifácil de 40W, vista frontal da entrada da cabine de pintura onde L significa que a pistola está ligada e D, desligada. Na configuração (a) utilizamos o suporte alongado e na configuração (b) utilizamos o suporte curto.



Fonte: Acervo pessoal.

5.4 Conclusão

Neste capítulo apresentamos as simulações realizadas com as peças no setor de pintura. Realizamos simulações com 4 configurações diferentes de 3 peças da linha de produção, sendo duas delas de alumínio e uma de aço. No próximo capítulo discutiremos os resultados e as conclusões do trabalho.

6 Conclusões, Resultados e Perspectivas

Neste trabalho desenvolvemos o projeto para a redução de insumos e energia no setor de pintura da Taschibra, unidade de Indaial. Avaliamos como o processo que utiliza a pintura eletrostática ocorre e também as diferentes formas para detecção automática das peças que são pintadas diariamente no setor. Ainda verificamos a possibilidade de realizar o controle via CLP, com comunicação com o computador, para monitoramento do processo.

A proposta consistiu de um sistema que realiza a detecção automática das peças através sensores ópticos, enviando esta informação a um controlador que a interpreta e envia um sinal aos atuadores para que as pistolas de pintura sejam desligadas ou não. A proposta também inclui a mudança dos layouts das peças nos suportes, de forma que seja possível aproveitar melhor a área de atuação das pistolas.

Por razões financeiras, o sistema não pode ser implementado. A empresa passou por uma baixa produtividade e o setor de pintura produziu pouco, por essa razão, realizamos somente ações de ensaios, de propósito inicial para validação das idealizações do sistema e de seu retorno financeiro.

Essas ações de simulação do sistema proposto foram somente com a intervenção humana. As ações foram o desligamento de pistolas de tinta, conforme algumas peças pré definidas, com o objetivo de reduzir a massa das peças, mas manter a qualidade da pintura. Também foram realizados testes com mudanças no layout dos suportes, alongando e encurtando os mesmos, com o objetivo de redução de insumos pelo desligamento das pistolas de tinta.

O controle de qualidade é feito por funcionários do setor que recolhem as peças na saída da linha da pintura, conforme explicado no diagrama 3.2. Assim, esses funcionários fazem um controle de qualidade visual, observando as peças e procurando por falhas decorrentes do processo de pintura, porém, como explicamos na seção 1.1, apenas 2% das peças pintadas necessitam de retrabalho. Além disso, o setor de qualidade exige que o responsável pelo setor de pintura realize medições da camada de tinta sobre as peças com uma certa periodicidade, cujos resultados estão na casa dos milímetros. Esses resultados são utilizados para avaliações internas da empresa.

No capítulo anterior, explicamos como seriam as ações de simulação através do desligamento das pistolas mostradas nas figuras 5.2, 5.5 e 5.7. Ao realizar os testes pesamos as peças que recebiam a tinta normalmente e as peças onde realizamos as simulações, recolhemos uma amostra de 10 peças em cada situação, medimos sua massa e comparamos a massa média entre as peças pintadas com todas as pistolas funcionando e as peças pintadas com o desligamento de algumas pistolas. As peças também foram avaliadas pelos funcionários do setor em relação a sua qualidade de pintura. Podemos ver na tabela 6.1 com os resultados obtidos:

Tabela 6.1: Relação de tinta reduzida em cada simulação realizada.

Peça	Peso Reduzido (g)	Qualidade da Pintura
Corpo Tartaruga	1,6g	Boa
Canopla 01 furo	2,8g	Boa
Lumifácil de 40W - desligamento sup.	4,1g	Ruim
Lumifácil de 40W - desligamento inf.	2,5g	Boa

Observamos que ao desligar a primeira pistola de tinta quando pitamos as luminárias Lumifácil de 40 W, a qualidade da pintura ficou pior, então essa alteração foi descartada. Porém, a produção das luminárias Lumifácil de 40 W chega a 20 mil unidades por mês, logo é possível economizar até 50 kg de tinta a pó por mês, com a implementação do projeto em somente nessa peça.

Além disso, a produção das outras duas peças, Corpo da Tartaruga e Canopla de 01 furo, também impacta em uma redução de 50 kg do pó de tinta por mês e sua implementação ocorreu na empresa no mês de Julho de 2018, porém necessitando que os operadores da cabine desligassem manualmente as pistolas automáticas de pintura.

Como perspectivas futuras esperamos que o projeto seja implementado com todos os equipamentos, podendo inicialmente realizar testes com toda a cadeia de peças pintadas pela máquina, mas com o objetivo de se conseguir números ainda mais expressivos na redução dos insumos.

Além disso, o setor tem a necessidade de um sistema que realize a contagem das peças que estão entrando na cabine de pintura, pois existem alguns gargalos na produção desse setor. O número de gancheiras é insuficiente para pintar um lote inteiro de peças de uma única vez, fazendo com que sejam pintadas aos poucos e deixando inconsistências nos relatórios gerados.

O controle de qualidade através da inspeção visual realizado pelos funcionários ao retirarem as peças da linha de pintura pode ser substituído por um sistema computacional, que realize essa inspeção e identifique possíveis falhas na produção de forma mais segura e ágil.

Durante o tempo de permanência no setor de pintura, notamos que existem outras peças que podem sofrer mudança no *layout* quando organizadas nas gancheiras, por exemplo as peças TA-6 e TA-7. A sugestão seria retirar as peças que se localizam na parte inferior das gancheiras, resultando no desligamento da última pistola de pintura em ambos os lados da cabine de pintura. Isso afetaria o tempo de pintura do lote dessas peças, mas também afetaria o consumo de tinta, então cabe a empresa perceber onde seria possível ter um ganho maior nesse tipo de alteração.

Esperamos também que outras mudanças no *layout* dos suportes possam ser implementados, de forma que seja possível agrupar mais peças em uma determinada área, onde, mesmo com algumas pistolas de tinta desligadas, consiga-se uma otimização desta área de contato.

Por fim, existem indicadores que não são mensurados no setor de pintura. Por exemplo o pó de tinta que fica no fundo na máquina e não adere mais às peças, esse material é descartado sem antes ter sua massa medida, então a empresa desconhece a quantidade de pó desperdiçado e acaba não tomando nenhum tipo de ação para reduzir esse valor.

Bibliografia

- [LS1999] Lambourne, Ronald e TA Strivens. *Paint and surface coatings: theory and practice*. Elsevier, 1999.
- [ABR2019] ABRAFATI. “Disponível em <<https://www.abrafati.com.br/indicadores-do-mercado/numeros-do-setor//>>”. Em: (Acesso em 08 de Jan. de 2019).
- [INS2018] Institucional, Taschibra -. “Disponível em <<http://www.taschibra.com.br/site/web/pt/institucional/>>”. Em: (Acesso em 13 de Jun. de 2018).
- [PIN2018a] Pintura Eletrostática — Axxo Pinturas Campinas, Quais as vantagens da pintura eletrostática? “Disponível em <<https://www.axxopinturas.com.br/quais-as-vantagens-da-pintura-eletrorostatica>>”. Em: (Acesso em 03 de Jul. de 2018).
- [PIN2018b] Pintura Eletrostática — Axxo Pinturas Campinas, Tipos de pintura eletrostática a pó. “Disponível em <<https://www.axxopinturas.com.br/tipos-pintura-eletrorostatica-po>>”. Em: (Acesso em 03 de Jul. de 2018).
- [NBF2002] Nunes, Urbano, António Batista e João Figueiredo. “Spray-painting motion planning and quality analysis in powder coating systems”. Em: *IFAC Proceedings Volumes* 35.1 (2002), pp. 385–390.
- [CLI2018] CLIC02, Relés Programáveis. “Disponível em <<https://goo.gl/yWp4aD>>”. Em: (Acesso em 04 de Mai. de 2018).
- [PRO2019] Produtos, Taschibra -. “Disponível em <<http://www.taschibra.com.br/site/web/pt/produtos/luminarias/tartarugas>>”. Em: (Acesso em 05 de Jan. de 2019).