

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

Joice Marieli Kunzler

AUTONOMAÇÃO DO PROCESSO DE PINTURA

Passo Fundo

2019

Joice Marieli Kunzler

## AUTONOMAÇÃO DO PROCESSO DE PINTURA

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Elétrica, da Faculdade de Engenharia e Arquitetura, da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista, sob orientação do professor Me. Rodrigo Siqueira Penz.

Passo Fundo

2019

Joice Marieli Kunzler

### **Automação do Processo de Pintura**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Elétrica, da Faculdade de Engenharia e Arquitetura, da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista, sob orientação do professor Me. Rodrigo Siqueira Penz.

Aprovado em \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

#### **BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Me. Orientador Rodrigo Siqueira Penz - UPF

---

Prof. Dr. Eduardo Appel - UPF

---

Prof. Dr. Jocarly Patrocínio de Souza - UPF

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram na minha caminhada acadêmica. Em especial a minha família e amigos por todo apoio nesse período, pela compreensão quanto à minha ausência, pelo incentivo e carinho. Registro um agradecimento especial ao meu amigo Rodrigo Fior Kuntzer e ao meu orientador professor Me. Rodrigo Siqueira Penz pelo compartilhamento de conhecimento e suporte no desenvolvimento deste trabalho, sem o apoio de vocês o alcance de resultados tão satisfatórios não teriam sido atingidos, ambos são excelentes profissionais e serão referência em minha vida profissional e pessoal.

“Há mais pessoas que desistem do que pessoas que fracassam.”

Henry Ford

## RESUMO

Esse trabalho apresenta o projeto de um sistema de controle da organização temporal das peças ao longo da linha de pintura industrial, a fim de promover de forma rápida e precisa a localização de peças. Isto é, a instalação de sensores que efetuem a leitura da posição das peças na linha de pintura, permitindo transmitir, através de um *software* de interface com o operador, em qual fase do processo de pintura estão cada conjunto de peças.

A solução propõe, ainda, estimar o horário de liberação de cada lote de peças, considerando o *takt time* padrão em cada etapa da linha de pintura e o total de etapas de processamento. Além de acompanhar as paradas de linha e, por meio de sinal do controlador da cabine de pintura eletrostática, monitorar as condições da cabine, a fim de manter os padrões de qualidade na pintura das peças.

Para o desenvolvimento do projeto proposto implementou-se sensores indutivos no início da linha tracionada de pintura e régua codificadores em cada um dos estágios da linha, permitindo, assim, identificar a combinação binária que está localizada no estágio inicial e, por dedução sequencial, a localização das demais combinações ao longo das etapas de processamento. Dessa forma, é possível acompanhar o avanço entre os estágios pela mudança da régua codificadora ao alcance de leitura dos sensores.

As informações dos sensores instalados na linha de pintura e do processador de controle da cabine eletrostática são tratadas através de *hardware* e processador elaborado, que se comunica com o *software* de interface, através de um conversor serial USB pelo protocolo de comunicação RS232. Traduzindo os dados, à uma linguagem simples, ao operador e possibilitando a interação entre o usuário e o sistema.

Palavras-Chave: processo de pintura, sistemas automatizados, monitoramento de processos, software de interface.

## **ABSTRACT**

This proposed present the project of a system to control the temporal organization of parts along the industrial painting line, in order to quickly and accurately promote the location of parts in line. That is, the installation of sensors that can read the position of the parts in the paint line, allowing to transmit to the operator, through an interface software, at which stage of the painting process are each set of parts.

The solution proposes still to estimate the release time of each set of parts, considering the takt time standard in each stage of the painting line and the processing steps total. It is also proposed to follow the line stops and, through the sign of the sensors of the electrostatic paint booth controler, monitor the conditions of the cabin, in order to maintain the quality standards in the painting of the parts.

For the development of the proposed project, inductive sensors were implemented at the beginning of the paint line drawn and coding rulers were implemented at each stage of the line, allowing identification of the binary combination that is located in the initial stage and, by sequential deduction, location of the other combinations throughout the processing steps. In this way, it is possible to monitor the progress between the stages per change the coding ruler in the reading range of the sensors.

The information of the sensors installed in the paint line and the electrostatic paint booth control processor are handled through hardware and elaborated processor, which communicates with the interface software through a USB serial converter via the RS232 communication protocol. Translating the data, into a simple languagem, to the operator and making possible the interaction between the user and the system.

Keywords: painting process, automated systems, interface software.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – A casa do Sistema Toyota de Produção	17
Figura 2 – Processo Corrosivo	19
Figura 3 – Pintura Eletrostática	23
Figura 4 – Estrutura Linha de Pintura do Estudo	24
Figura 5 – Distribuição das Peças	25
Quadro 1 – Fases da Linha de Pintura do Estudo	26
Figura 6 – Método de Mistura das Tintas	28
Figura 7 – Aplicação de Tinta na Cabine de Pintura	28
Figura 8 – Cabine de Pintura	29
Figura 9 – Sistema de Exaustão	30
Figura 10 – Modelo dos Inversores	31
Figura 11 – Indicadores de Qualidade	32
Figura 12 – Funcionamento dos Sensores Indutivos	36
Figura 13 – Variação dos Sensores Indutivos	36
Figura 14 – Diagrama de Funcionamento Simplificado do Sistema	38
Figura 15 – Processo de Carregamento das Peças	39
Figura 16 – Modelo de sensor indutivo selecionado	41
Figura 17 – Desenho das estruturas metálicas com as combinações dos códigos binários	42
Figura 18 - Local de Instalação das Régua Codificadoras	43
Figura 19 – Conceito de Sensoriamento das Posições	44
Quadro 2 – Entradas e Saídas aplicadas ao projeto	45
Figura 20 – Fluxograma do Processamento	47
Figura 21 – Fluxograma Website	49
Figura 22 – Esquema elétrico de regulação da alimentação 5V	50
Figura 23 – Diagrama elétrico de proteção das entradas de sinal	51
Figura 24 – Entradas de sinal no Micro controlador	54
Figura 25 – Maquete para Simulação	55
Figura 26 – Diagrama de blocos da Interação do Sistema	56
Figura 27 – Design Geral do Software de Interface ao acessar	57
Figura 28 – Design Geral do Software de Interface Passo 1 e Passo 2	58

Figura 29 – Design Geral do Software de Interface Passo 3	58
Figura 30 – Design da Interface Principal quando a linha está parada	59
Figura 31 – Design do Histórico de Paradas	60
Figura 32 – Design do Histórico de Alertas	60

## LISTA DE ABREVIATURAS

$\mu\text{A}$  – Microampères  
mA - Miliampères  
°C – Graus Celsius  
A - Ampères  
A/D – Analógico/Digital  
AGCO – *AGCO Your Agriculture Company*  
ARM - *Advanced RISC Machine*  
CLP – Controlador Lógico Programável  
CPU - *Central Processing Unit*  
CSS – *Cascading Style Sheets*  
GND – *Graduated Neutral Density Filte*  
HTML – *Hypertext Markup Language*  
HTTP – *Hypertext Transfer Protocol*  
Hz – *Hertz*  
IP – *Internet Protocol*  
JIT – *Just-in-Time*  
m/s – Metros/segundo  
ME – Manufatura Enxuta  
mm – Milímetros  
M $\Omega$  – Megaohms  
PID – Proporcional-Integral-Derivativo  
PIC - *Peripheral Interface Controller*  
PPM – Partículas por Milhão  
Seq. – Sequência  
STP – Sistema Toyota de Produção  
REST – *Representational State Transfer*  
V – *Volts*  
VDC – Tensão em Corrente Contínua  
W – *Watts*

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1 CONTEXTO.....	13
1.2 OBJETIVO GERAL.....	14
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
1.4 JUSTIFICATIVA .....	14
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>16</b>
2.1 SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO E MANUFATURA ENXUTA .....	16
<b>2.1.1 Automação .....</b>	<b>18</b>
2.2 PINTURA INDUSTRIAL.....	19
<b>2.2.1 Sistema de Pintura.....</b>	<b>20</b>
2.2.1.1 <i>Preparação da Superfície.....</i>	20
2.2.1.2 <i>Aplicação da tinta de Fundo .....</i>	21
2.2.1.3 <i>Aplicação da tinta de Acabamento .....</i>	21
2.2.1.4 <i>Secagem.....</i>	22
<b>2.2.2 Métodos de Pintura .....</b>	<b>22</b>
2.2.2.1 <i>Pintura Eletrostática .....</i>	23
2.3 ESPECIFICAÇÃO DA LINHA DE PINTURA DO ESTUDO .....	24
<b>2.3.1 Cabine de Pintura.....</b>	<b>27</b>
2.3.1.1 <i>Procedimento para Ajuste do Fluxo de Ar e Vazão .....</i>	31
2.3.1.2 <i>Indicadores de Qualidade na Pintura .....</i>	32
2.4 SISTEMAS DE CONTROLE DO PROCESSO .....	33
<b>2.4.1 Envio do Sinal para Processamento.....</b>	<b>34</b>
2.4.1.1 <i>Tipos de Sensores .....</i>	34
2.4.1.2 <i>Sensores de Proximidade Indutivos.....</i>	35

<b>3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....</b>	<b>37</b>
3.1 SISTEMA DE MONITORAMENTO DOS LOTES .....	40
<b>3.1.1 Processamento da Informação .....</b>	<b>44</b>
3.1.1.1 Fluxograma do processamento .....	46
<b>3.1.2 Interpretação da Informação .....</b>	<b>48</b>
<b>3.1.3 Hardware.....</b>	<b>50</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>55</b>
4.1 DESIGN DO SOFTWARE DE INTERFACE .....	56
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>61</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>62</b>
<b>APÊNDICE A – DIAGRAMA ELÉTRICO COMPLETO .....</b>	<b>64</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nas indústrias existem sucessões de processos de fabricação, necessários para o desenvolvimento do produto final. Dentre os quais, podem-se exemplificar os conhecidos procedimentos de corte, dobra, estamparia, usinagem, solda, pintura e montagem. Cada um desses processos possui características e operações distintas, mas interligados no objetivo de obter o produto final. Um pode ser predecessor ao outro e é necessário que em cada estágio as operações ocorram como o previsto, para que ao final do último processo tenha-se um produto completo e com qualidade. E, é em virtude desse cenário que a automatização dos processos, alinhada aos conhecimentos de engenharia de produção, tem-se evidenciado como um importante recurso às empresas.

### 1.1 CONTEXTO

Automatização significa o ato ou efeito de automatizar, ou seja, dispensar a interferência direta da ação humana nos processos de produção, através do emprego da eletrônica (MICHAELIS, 2009). A automação industrial vem sendo amplamente utilizada nas empresas e é considerado um dos pilares de sustentação dos conceitos do Sistema Toyota de Produção (STP) (SHINGO, 1996).

De modo geral, a automação industrial realiza medições e correções automaticamente, enquanto que a automação é aplicada no controle autônomo de defeitos, ou seja, efetua as medições de modo automático, por exemplo, o monitoramento de um processo, porém, quando detecta uma irregularidade, para o sistema e aguarda a ação humana na tomada de decisão. Em resumo, a automação é conhecida como automação com toque humano.

O STP, por sua vez, obteve vasta visibilidade durante a década de 1970. Foi implementado, originalmente, na *Toyota Motor Corporation*, e trata-se de um modelo sistemático de gerenciamento da produção, visando a eliminação de perdas no sistema de manufatura (ASSIS, 2010). Nesse sentido, o STP enfatiza os métodos de controle visual, com a função básica de informar as adversidades do sistema de maneira rápida, para que estes possam ser sanados, atribuindo destaque à sistemas de monitoramento que compilam as informações dos objetos a que se deseja controlar, analisando-as e apresentando-as aos usuários (SHINGO, 1996).

Os sistemas de monitoramento podem, por exemplo, serem implementados no processo de pintura industrial. Esse tem como finalidade principal a proteção do produto contra os efeitos de oxidação e, em consequência, os impactos de corrosão e ferrugem, além das funções secundárias de estética do produto e de *marketing*.

Há diversos métodos de pintura industrial, entre os mais conhecidos estão as aplicações eletrostáticas, à pó e por imersão. Cada um desses procedimentos apresenta características próprias e operações específicas, que são dados importantes ao automatizar esses sistemas, visando avanço nas aplicações de engenharia enxuta e assegurando à qualidade do material.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um sistema de monitoramento em uma linha de pintura industrial, que opere paralelamente a operação atual de controle do processo atual.

## 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Monitorar o sequenciamento de entrada das peças na linha de pintura;
- b) Rastrear os posicionamentos dos lotes durante todo o processo;
- c) Estimar o horário de liberação do lote de peças;
- d) Identificar sequência liberada na saída da linha de pintura;
- e) Registrar tempos de parada da linha;
- f) Informar as condições de contaminação da cabine de pintura;
- g) Não interferir no atual sistema de controle do movimento de tração da linha.

## 1.4 JUSTIFICATIVA

Atrasos de qualquer ordem, em algum dos seguimentos de pintura, perturbam a sequência do processo produtivo. Sendo assim, a organização temporal das peças, previsão de liberação e redução de perturbações, contribuem significativamente para a performance de manufatura, além de convergirem aos conceitos de engenharia enxuta, que seguem os métodos de gerenciamento do STP, e são amplamente exigidos pelas empresas atuais, a fim de manter elevados níveis de qualidade, produtividade e competitividade de seus produtos.

A aplicação de um sistema de monitoramento permite organizar as produções sequentes a pintura, através da estimativa de tempo para liberação das peças, assim como simplificar a conferência do material na descarga, com a geração de base de dados sobre o conjunto liberado. Possibilita, ainda, reduzir o impacto na qualidade da pintura, uma vez que os monitoramentos dos parâmetros da cabine eletrostática viabilizam prever limpezas preventivas, e os históricos de parada de linha facilitam a priorização de futuros projetos de manufatura.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo destina-se a fundamentação de temas relevantes ao projeto, a fim de integrar o leitor aos conceitos necessários para o desenvolvimento do sistema e suas aplicações no mercado. A pesquisa foi embasada em livros, trabalhos, dissertações, teses, artigos, normas e procedimentos internos da empresa onde que o projeto será implementado.

### 2.1 SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO E MANUFATURA ENXUTA

A realidade econômica dos anos de 1970, influenciada pela crise do petróleo de 1973, inibiu as expansões de mercado e o crescimento industrial, impactando diretamente na capacidade produtiva das fábricas, até então regidas pelo modelo de produção em massa, desenvolvido por Ford (GUINATTO, 1996). Entretanto, em meio a esse cenário caótico para o setor fabril, a empresa *Toyota Motor Corporation* destacava-se diante dos resultados positivos, atraindo a atenção do público vinculado ao meio.

O interesse coletivo para a compreensão do rendimento alcançado pela *Toyota*, mesmo em tempos adversos, instaurou diversos estudos em torno do tema, identificando que os resultados positivos alcançados pela *Toyota* provinham de um conjunto de princípios, métodos e técnicas aplicados concomitantemente no gerenciamento fabril, ou seja, estava muito mais vinculado à associação desses elementos trabalhando em conjunto do que ao somatório da contribuição isolada de cada um (ASSIS, 2010).

Os principais nomes reconhecidos pelo desenvolvimento do STP são: Sakichi Toyoda, Kiichiro Toyoda, Eiji Toyoda, Taiichi Ohno e Shigeo Shingo, criador dos primeiros princípios, fundador da *Toyota Motor Corporation*, ex-presidente e ex-diretor da empresa, ex-vice-presidente e engenheiro industrial da instituição na época (ASSIS, 2010).

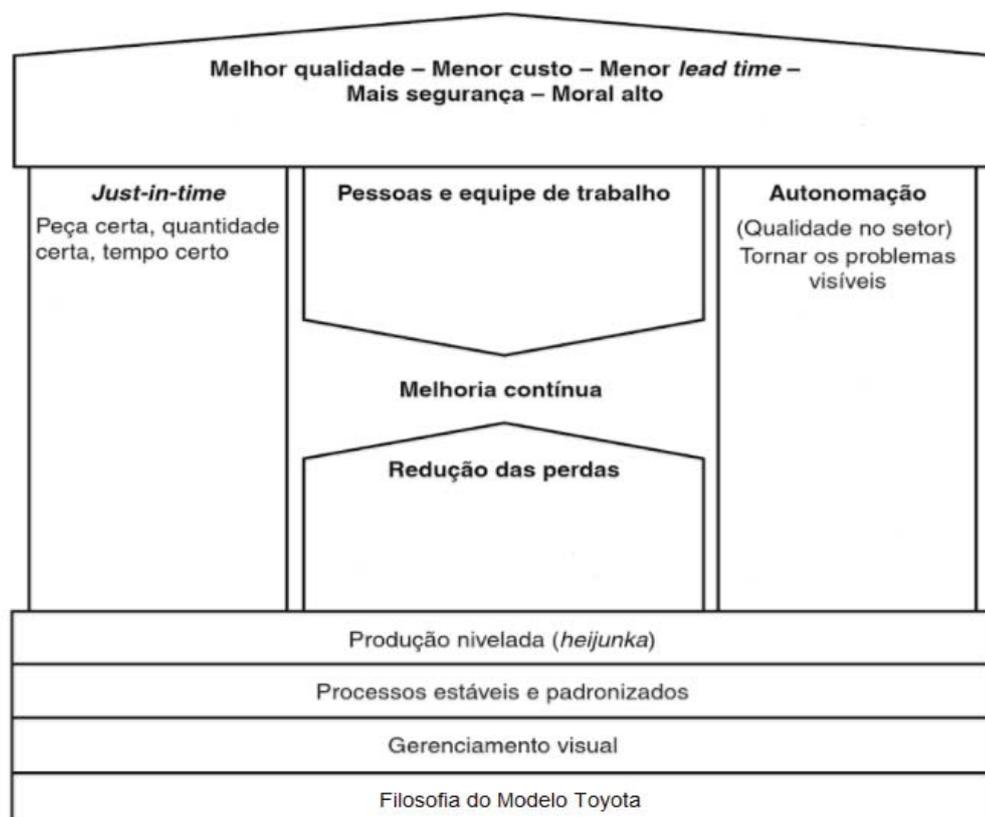
Para melhor compreender os objetivos do STP, explicar-se-á primeiramente o conceito de produção, processo e operação.

Produção é uma rede de processos e operações. [...] Um *processo* é visualizado como o fluxo de materiais no tempo e no espaço; é a transformação da matéria-prima em componente semiacabado e daí a produto acabado. Por sua vez, as *operações* podem ser visualizadas como o trabalho realizado para efetivar essa transformação – a interação do fluxo de equipamento e operadores no tempo e no espaço. (SHINGO, 1996, p. 37)

O objetivo principal do STP é identificar e eliminar as perdas, promovendo a redução dos custos, ou seja, o aprimoramento dos processos e das operações visando erradicar desperdícios como excesso de estoque ou de pessoal (SHINGO, 1996). Apresenta como um dos focos principais a controle da superprodução de modo que a produção seja puxada ao ritmo do mercado. (MONDEN, 2015).

O STP pode ser representado pelo diagrama de casa criado por Fujio Cho, conforme Figura 1. Símbolo de um sistema estrutural, apresenta como base de sustentação a estabilidade, administrada por gestão visual e programações niveladas. Ao centro, está a representação dos funcionários, responsáveis pelo processo de melhoria contínua, a fim de manter a estabilidade fundamental do alicerce. Essas melhorias são alcançadas pela eliminação das perdas, por uma equipe qualificada e influenciada a exercitar o senso criativo. Já os pilares de sustentação da casa são o *Just-in-Time* (JIT) - produzir a quantidade de material necessário no tempo necessário – e a Automação – Automação com toque humano e função essencial de garantir a qualidade do produto. Por fim, todo o sistema é coberto pela meta principal de produzir produtos com qualidade, no menor custo, menor tempo de espera, zelando pela segurança e motivação dos funcionários (LIKER, 2005).

Figura 1 – A Casa do Sistema Toyota de Produção



Fonte: Adaptado de LIKER (2005, p. 51)

A manufatura enxuta (ME), por sua vez, foi definida por Womack, Jones e Roos e trata-se de uma metodologia de produção inspirada no STP. A ME pode ser definida como uma abordagem que visa melhor organizar e gerenciar os relacionamentos dentro da empresa, dessa forma, desenvolvendo produtos e operações de produção, para que seja possível fazer cada vez mais com menos (GODINHO FILHO; FERNANDES, 2004).

### 2.1.1 Autonomia

Autonomia, em japonês *Ninben-no-arui Jidoka*, não significa o mesmo que automação, consiste basicamente do controle autônomo de defeitos, que pode ser designado tanto ao homem (operador) quanto à máquina, possibilitando paradas automáticas do sistema quando detectada alguma anormalidade (GUINATTO, 1996; MONDEN, 2015).

A autonomia é um dos muitos meios disponíveis para atingir as reduções do custo de mão de obra. Defendo, no entanto, que a autonomia deve ser vista como o principal meio para atingimento desse fim.

[...] Contudo, não importa até onde pode chegar esse processo, pois tais esforços jamais serão mais do que a mecanização das funções da mão humana. (SHINGO, 1996, p. 195)

Inúmeras operações manuais, como as de fixações, remoções e acionamento de chaves, foram, ao longo do tempo, tornando-se atividades de máquinas. Porém, ainda era imprescindível operadores próximos, fazendo surgir a necessidade de transferir funções mentais humanas às máquinas, o que se deu o nome de autonomia, que pode ser identificada como pré-automação, ou seja, máquina dotada de inteligência e toque humano, que implementa uma função supervisora (SHINGO, 1996).

A autonomia pode ser aplicada em diversos processos na indústria, auxiliando no gerenciamento da produção, ou seja, pode desempenhar a função de monitorar sequenciamento de peças, acompanhar performance da produção ou, ainda, supervisionar parâmetros importantes para o processo produtivo. Um exemplo da aplicabilidade desses sistemas autônomos é nas linhas de pinturas industriais que, em geral, são automáticas e atrasos de qualquer ordem proporcionam impactos significativos nos próximos procedimentos fabris, tornando-se válido o acompanhamento rápido e preciso da produção. Além disso, as pinturas industriais possuem características específicas, que devem ser monitoradas constantemente para a garantia da qualidade no processo.

## 2.2 PINTURA INDUSTRIAL

Diversos materiais podem ser aplicados para a fabricação de variados produtos. No meio industrial, enfatizando a empresa de estudo, que é voltada à fabricação de artigos agrícolas, o aço tem-se destacado como principal material. Entretanto, há uma preocupação com a sua degradação sob os efeitos temporais, empregando, por conseguinte o revestimento do mesmo, através da pintura (SOARES, 2003).

Quando expostos ao meio como ar, vapor d'água ou água, por um período de tempo, os produtos desprotegidos podem começar a sofrer os efeitos de oxidação, que é a ação de oxigenação do material, na qual acaba sofrendo com a condição conhecida como corrosão e ferrugem. A corrosão ocorre em consequência da oxidação e trata-se do desgaste do metal, se esse apresentar ferro em sua composição caracteriza-se o efeito de ferrugem, que significa a formação de uma camada de óxido sobre os metais ferrosos, como pode ser visualizado na Figura 2. (MICHAELIS, 2009).

Figura 2 – Processo Corrosivo



Fonte: Adaptado de KRÄNKEL (2014, p. 43)

O processo corrosivo, sintetizado na Figura 2, ocasiona consideráveis impactos, seja ele econômico ou vinculado à saúde humana. No âmbito econômico estima-se que mais de 30% do aço produzido no mundo é utilizado para repor peças danificadas por esse efeito, ocasionando, dessa forma, elevados prejuízos às empresas. No contexto da saúde humana, o processo corrosivo apresenta-se como um potencial agente de contaminações, poluições e insegurança dos equipamentos (MERÇON; GUIMARÃES; MAINIER, 2004).

Observando essas influências negativas da corrosão, foram estudadas diferentes técnicas para proteção anticorrosiva e, uma das metodologias empregadas até hoje, são os revestimentos protetores. Esses são utilizados sobre superfícies metálicas e formam uma espécie de barreira entre o metal e o meio corrosivo. A pintura é a habilidade técnica de aplicar uma película de

tinta sobre um material e é um dos tipos mais comuns de revestimentos protetores (MERÇON; GUIMARÃES; MAINIER, 2004; KRÄNKEL, 2014).

Além da finalidade de proteção anticorrosiva, a pintura industrial traz outros atributos como a aparência do produto, âmbito comercial nas diretrizes do marketing, maior ou menor absorção de calor, impermeabilização e sinalização de segurança industrial, através de identificação por cores, seguindo preceito específico para esse recurso na norma ABNT NBR15156 Pintura Industrial - Terminologia (CONTEC, 2016; KRÄNKEL, 2014).

Em síntese, a pintura é usada para fornecer a identidade do produto, bem como aparência agradável e proteção do material. A aparência, por sua vez, deve atender às expectativas do cliente. (AGCO Corporation, 2005).

### **2.2.1 Sistema de Pintura**

Existe uma relação entre o substrato, a natureza do material que a tinta será aplicada, a espessura, a cor, o acabamento desejado, a durabilidade esperada e o custo estimado. Para efetividade e longevidade da pintura esses fatores básicos devem ser definidos e, é necessário que sejam seguidas etapas específicas e muito importantes. O conjunto de cada um desses estágios é o que forma o sistema de pintura (SOARES, 2003; AGCO Corporation, 2005; KRÄNKEL, 2014).

As etapas básicas que compõe o sistema de pintura são: Preparação da superfície, aplicação da tinta de fundo, aplicação da tinta de acabamento e secagem.

#### *2.2.1.1 Preparação da Superfície*

A preparação da superfície é um dos fatores mais importantes para uma pintura de qualidade e é realizada por dois motivos básicos. O de remover materiais da estrutura que possam impedir a adesão da tinta, tais como óleos, graxas, gorduras e oxidações. Além de criar um adequado perfil de rugosidade para melhorar a aderência (GNECCO; MARIANO; FERNANDES, 2003; SOARES, 2003; WEG, 2008).

Em geral, o processo de preparação da superfície pode ser realizado através da pré-limpeza, que consiste em métodos de remoção de todo óleo, graxa e demais contaminantes adquiridos no manuseio ou processos anteriores de corte, estamparia, solda e outros. As técnicas usualmente utilizadas para essa operação compreendem as aplicações de solventes, detergentes,

desengraxastes e vapor d'água, além da limpeza por jateamento abrasivo, considerado o método mais eficiente para remoção de óxidos, respingos de solda e outras impurezas, que ocorrem nos processos de confecção das peças. O jateamento abrasivo pode ser realizado por ar comprimido ou por turbinas centrífugas e os abrasivos mais utilizados são areia, granalhas de aço e óxido de alumínio (GNECCO; MARIANO; FERNANDES, 2003; SOARES, 2003; WEG, 2008).

Ainda, na etapa de preparação da superfície, algumas empresas aderem à operação de fosfatização, que tem a finalidade de melhorar tanto a aderência da tinta quanto à proteção anticorrosiva. Em suma, a operação de fosfatização consiste em depositar uma camada de cristais na superfície, formando uma liga protetora. Muitas vezes, o processo de fosfatização é aliado ao desengraxe na operação de remoção de graxas, óleos, lubrificantes, que por ventura ainda estejam sobre a superfície do substrato (GNECCO; MARIANO; FERNANDES, 2003).

As operações de preparação de superfície podem estar inseridas em uma linha tracionada de pintura, ou ainda, serem trabalhadas de forma separada. Independentemente da origem da peça, a preparação de superfície é uma etapa precedente às demais fases da pintura e, por esta razão, deve ser monitorada e compreendida para eficiência do processo de pintura como um todo.

#### *2.2.1.2 Aplicação da tinta de Fundo*

A aplicação da tinta de fundo, também conhecida como *primer*, é aplicada antes da tinta de acabamento, com exceção possível no caso de tintas em pó. Na maior parte dos casos apenas facilita a adesão da tinta a ser aplicada na sequência e cria a primeira película protetora anticorrosiva. (SOARES, 2003; AGCO Corporation, 2005).

#### *2.2.1.3 Aplicação da tinta de Acabamento*

A tinta de acabamento confere ao produto as cores características do mesmo e atinge a finalidade principal de proteção anticorrosiva. Porém, algumas precauções são necessárias como o número de demãos, o tempo de espera entre elas, a temperatura de cura, a espessura mínima e as condições da cabine de pintura. Geralmente, as definições de cada um desses parâmetros são estabelecidas pela empresa, através de normativas internas de processo e dos critérios previstos nas normas da ABNT, bem como, considerando a natureza da tinta utilizada e a agressividade do meio corrosivo a que o produto será submetido. (SOARES, 2003).

#### 2.2.1.4 Secagem

A operação de secagem normalmente ocorre em duas etapas no sistema de pintura, após as operações de preparação da superfície e após a pintura propriamente. Em geral o procedimento é realizado através de estufas ou sopros de ar quente, a temperaturas entre 100 °C a 150 °C (GNECCO; MARIANO; FERNANDES, 2003).

Como as técnicas de preparação da superfície costumemente possuem mecanismos de aplicação de substâncias a bases líquidas e operações de enxague, faz-se necessário eliminar a umidade das peças antes da aplicação de tinta, com a finalidade de evitar a formação de bolhas, que poderiam prejudicar a pintura (GNECCO; MARIANO; FERNANDES, 2003). Enquanto que, após a aplicação de tinta, é essencial aguardar o tempo de secagem da mesma, esse tempo está relacionado com a espessura da camada aplicada e pode ser acelerado pelos métodos de secagem. Uma peça é considerada seca quando o filme da tinta não absorve as partículas de pó, não ocorre desprendimento, deslocamento, enrugamento ou outra alteração da superfície. Dessa forma, uma peça seca pode ser manuseada e transportada sem causar danos à qualidade da pintura (KRÄNKEL, 2014).

#### 2.2.2 Métodos de Pintura

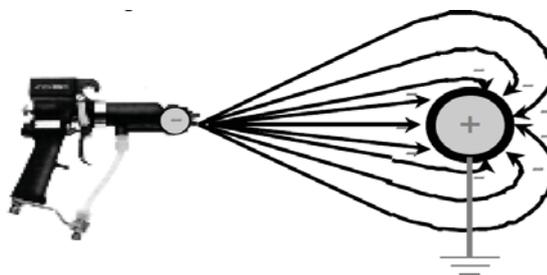
A pintura industrial pode seguir dois conceitos: a pintura de fabricação em série e a pintura de campo. No primeiro, o processo ocorre em instalações fixas, como cabines e estufas. No segundo, a aplicação de pintura se realiza em instalações móveis, que pode ser representado por máquinas para jateamento, pistolas e outros equipamentos (KRÄNKEL, 2014).

Existem vários métodos de pintura, tanto para tintas em pó como líquidas. Destacando as tintas líquidas, há técnicas como: pintura à pincel, rolo e por pistola, que é a aplicação mais tradicional. Todas essas são normalmente utilizadas para reforçar arestas e cantos, tem uma aplicação mais abrangente em células de retoque final, ou seja, exterior ao sistema de pintura, caracterizando o conceito de pintura de campo. Com relação a técnicas mais habituais para o conceito de fabricação em série, pode-se exemplificar as pinturas por imersão, onde esse procedimento pode ser sem ou com corrente elétrica e as peças são mergulhadas em tanques de tinta. Ou pintura eletrostática, onde nesse caso, a aplicação ocorre por spray de tinta polarizado por cargas eletrostáticas. (GNECCO; MARIANO; FERNANDES, 2003; AGCO Corporation, 2005; KRÄNKEL, 2014).

### 2.2.2.1 Pintura Eletrostática

No método de pintura eletrostática há o envolvimento de cargas elétricas, conforme indica a Figura 3. A tinta é eletrizada na pistola (negativamente – elétrons), enquanto que a peça está aterrada, conseqüentemente ocorre uma atração que faz a tinta deslocar-se para a peça, forçando a uma maior quantidade de tinta aderir a mesma. Em geral, o procedimento pode ser realizado por pulverização convencional a ar comprimido, por alimentação através de bombas hidráulicas (*airless*), entre outras técnicas (GNECCO; MARIANO; FERNANDES, 2003).

Figura 3 – Pintura Eletrostática



Fonte: GNECCO; MARIANO; FERNANDES (2003, p. 13)

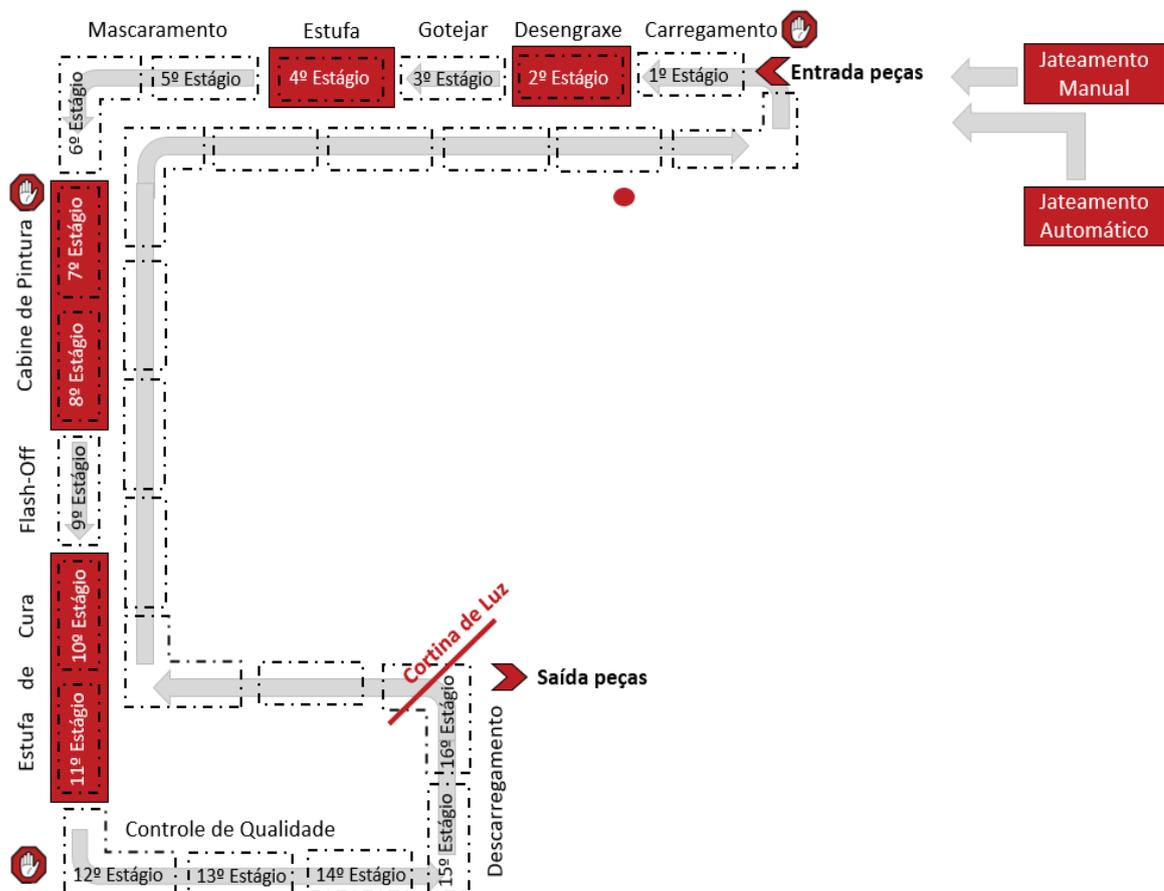
A respeito das tintas aplicadas nesse processo, é necessário apenas adaptar a quantidade de aditivos e solventes, para proporcionar a polaridade necessária. As tintas empregadas à essa prática devem apresentar uma faixa de condutividade de  $3 \mu\text{A}$  à  $30 \mu\text{A}$  e uma faixa de resistividade de  $0,4 \text{ M}\Omega$  a  $0,8 \text{ M}\Omega$ . Enquanto que, as pistolas podem ser tanto manuais, quanto automáticas (GNECCO; MARIANO; FERNANDES, 2003).

Esse método está sendo largamente utilizado na indústria pela praticidade de uso e pelo aproveitamento da tinta, uma vez que existe a força da atratividade da tinta, evitando que partículas sejam perdidas como nas pistolas convencionais. Embora o método apresenta-se economicamente atrativo para as empresas, sua eficiência está vinculada à uma série de medidas. Resumidamente é necessário que a cabine, os ganchos das peças e os trilhos da estrutura física da linha de pintura estejam devidamente aterrados. Bem como, que estejam corretamente limpos para evitar efeitos indesejados de mau contato e sujeira na pintura das peças. Além disso, há o fator de segurança, visto que, para que a atração eletrostática ocorra, é obrigatória a existência de uma fonte de alta tensão, ligada a instalação da pintura. Sendo assim, caso o sistema não esteja corretamente aterrado e sem a vazão de ar recomenda podem ocorrer incêndios, retorno da tinta e descargas elétricas no operador (GNECCO; MARIANO; FERNANDES, 2003).

### 2.3 ESPECIFICAÇÃO DA LINHA DE PINTURA DO ESTUDO

Existem estágios e normas que devem ser empregadas em todos os sistemas de pintura, embora a organização estrutural, as faixas de regulações dentro do permitido pela regulamentação e os níveis de qualidade da pintura possam variar entre as empresas. No caso da empresa do estudo, *AGCO Your Agriculture Company* (AGCO), que é dedicada a fabricação de artigos agrícolas, o processo de pintura está sistematizado fisicamente conforme a Figura 4.

Figura 4 – Estrutura Linha de Pintura do Estudo



Fonte: O Autor (2019).

A linha de pintura está organizada em 27 estágios, que estão representadas pelos blocos tracejados na Figura 4, entretanto apenas em 16 dos 27 estágios operam simultaneamente. Isto é, enquanto um lote de peças está sendo carregado (processo um), um segundo lote de peças está sendo processado no desengraxe e pintura (processo dois), um terceiro no gotejamento (processo três), um quarto na estufa (processo quatro), um quinto e sexto lote no mascaramento (processo cinco), um sétimo e oitavo na cabine de pintura (processo seis), nono no *flash-off*

(processo sete), décimo e décimo primeiro na estufa de cura (processo oito), décimo segundo, décimo terceiro e décimo quarto no controle de qualidade (processo nove), décimo quinto e décimo sexto no descarregamento (processo dez).

Cada estágio possui 18 ganchos distribuídos uniformemente em 10,8 metros. A função desses suportes é posicionar as peças, para que possam ser manuseadas ao longo da linha de pintura. A disposição das peças varia conforme critérios de tamanho, pontos críticos de pintura e acessos para realização das operações. A Figura 5 apresenta uma parte da distribuição física.

Figura 5 – Distribuição das Peças



Fonte: O Autor (2017).

A movimentação da linha de pintura é programada para ocorrer a cada 7 minutos e o funcionamento é através de um sensor, indicado pelo ponto vermelho na Figura 4, que conta os ganchos e envia sinal de parada a cada 18 unidades, enquanto que um sistema de automação comanda a abertura e fechamento de todas as portas que existem na linha de pintura, sincronizando com o movimento da linha. Vale ressaltar que existem 3 pontos de possível travamento, com acionamento realizado manualmente pelos operadores. Os pontos de parada estão localizados nas fases de carregamento, cabine de pintura e na saída da estufa (descarga). Os mesmos são acionados quando, em alguma dessas fases, os procedimentos não foram finalizados. Esse efeito ocorre em virtude da variação de peças que, dependendo da combinação, apresenta maior tempo de processo ora em um estágio, ora em outro. A interferência da movimentação programada da linha de pintura, ocasiona o travamento de todos os estágios, proporcionando ociosidade em algumas etapas.

Cada fase da linha de pintura tem uma função específica e operações distintas. A finalidade, bem como, o método de realização das operações explicar-se-á no Quadro 1.

Quadro 1 – Fases da Linha de Pintura do Estudo

<b>Estágio</b>	<b>Função</b>	<b>Método de Aplicação</b>
Jateamento Automático	Remover materiais que possam impedir a adesão da tinta e criar rugosidade.	Abrasivo aplicado automaticamente por ação centrífuga através de uma turbina.
Jateamento Manual	Remover materiais que possam impedir a adesão da tinta e criar rugosidade.	Granalha de aço impulsionada por ar comprimido a alta velocidade, através de mangueira e bico de jateamento manuseado manualmente pelo operador.
Carregamento	Posicionar peças nos ganchos.	Manualmente.
Desengraxe e Fosfatização	Efetuar a lavagem e pré-tratamento das peças.	Tanque com desengraxe/fosfato de ferro e enxágue com água, aplicados manualmente com jato de alta pressão bidirecional.
Gotejamento	Escorrer umidade excessiva	Sem operações.
Estufa de desumidificação	Retirar umidade.	Aquecimento à gás.
Mascaramento	Isolar áreas que devem ficar isentas de tinta.	Manualmente.
Cabine de Pintura	No primeiro estágio efetuar aplicação de pintura primer. No segundo estágio aplicar pintura acabamento.	Pistola eletrostática.
<i>Flash-Off</i>	Evaporar solvente da tinta.	Sem operações.
Estufa de Cura	Secagem da tinta.	Aquecimento à gás.
Controle de Qualidade	Conferir qualidade da pintura e liberar ou reter peças.	Manualmente.
Descarregamento	Descarregar peças e dispor no estoque.	Manualmente.

Conforme já exposto, essas fases operacionalizam simultaneamente e os estágios estão ordenados cronologicamente no conceito término-a-início, ou seja, a tarefa sucessora não pode começar no mesmo conjunto de peças, antes que a tarefa predecessora seja concluída. Nesse contexto, é importante que haja um sincronismo entre os estágios no tempo de início e finalização das operações. A não realização das atividades em qualquer uma das etapas impacta diretamente as atividades sequenciais, bem como, atrasa a entrada do próximo lote, travando as etapas antecedentes.

O somatório das perturbações ocorridas ao longo da linha de pintura afeta, em um cenário geral, os indicadores de entrega do departamento, visto que existem expectativas com relação aos prazos previstos para recebimento das peças pintadas no departamento seguinte. Cada etapa ou conjunto de etapas compõe todo o lote de peças necessárias para finalizar um determinado produto, por essa razão é importante identificar o posicionamento do material completo ao longo da linha, possibilitando controlar de forma mais precisa o horário de finalização do lote e facilitar a conferência na etapa de descarga. Atualmente para realizar esse procedimento de monitoramento, o operador incumbido dessa função, precisa se deslocar ao longo do setor de pintura, abrir manualmente as cabines e visualizar as peças dispostas em cada estágio.

### **2.3.1 Cabine de Pintura**

Na cabine de pintura que ocorre o procedimento efetivo de aplicar a película de tinta na estrutura e, conforme já mencionado, existem vários métodos para essa prática. No caso da empresa da pesquisa, a técnica adotada é aplicação de tinta líquida através de pistola eletrostática.

Quando empregadas tintas líquidas é fundamental a homogeneização da mesma antes de seu uso, uma vez que as tintas são constituídas de produtos em suspensão e se sedimentam pela força da gravidade, bem como, em virtude da adição de solventes, resinas, pigmentos e aditivos necessários. As proporções variam de acordo com a tinta aplicada e, em geral, são especificadas pelo fornecedor. A mistura deve ser preparada cotidianamente, uma vez que, após um tempo os componentes começam a reagir e a tinta gelatiniza ou endurece (GNECCO; MARIANO; FERNANDES, 2003). Na empresa estudada, esse procedimento é realizado automaticamente através do misturador ilustrado na Figura 6. Esse abastece as pistolas eletrostáticas, através de tubulações introduzidas à parte interna da cabine.

Figura 6 – Método de Mistura das Tintas



Fonte: O Autor (2017)

Na cabine o processo ocorre em duas etapas, primeiramente o pintor aplica a tinta de fundo, enquanto que, em um segundo momento, outro pintor emprega a tinta acabamento. A Figura 7 exemplifica o funcionamento da operação.

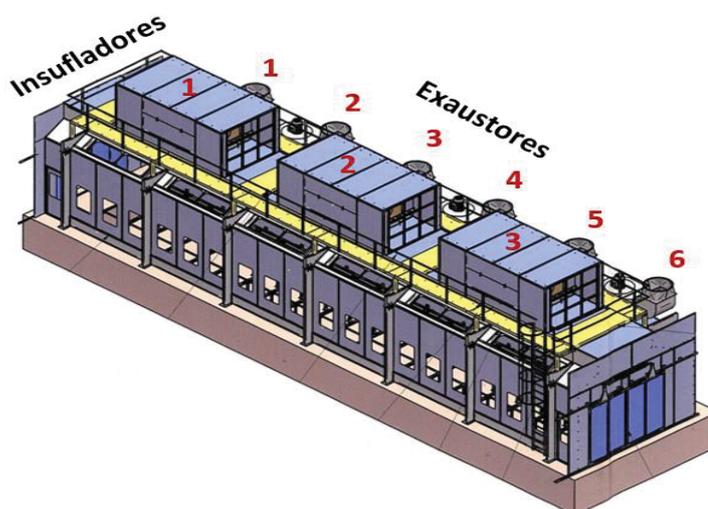
Figura 7 – Aplicação de Tinta na Cabine de Pintura



Fonte: O Autor (2017)

Para que as pistolas eletrostáticas funcionem corretamente, na cabine de pintura contém uma alimentação elétrica de 380 V ou 220 V, neutro e terra (independente). Por essa razão, pela característica explosiva das tintas, para reduzir as partículas por milhão (PPM) de solventes no ambiente e para evitar a contaminação de particulados externos, a cabine é pressurizada com ar levemente positivo (porém, na prática, tendendo à neutro). Essa pressurização é alcançada através de ventiladores siroco de alta pressão e vazão de insuflação e ventiladores radiais para exaustão da tinta (ERZINGER, 2008). O sistema completo, conforme indica a Figura 8, compõe-se de três insufladores e seis exaustores.

Figura 8 – Cabine de Pintura

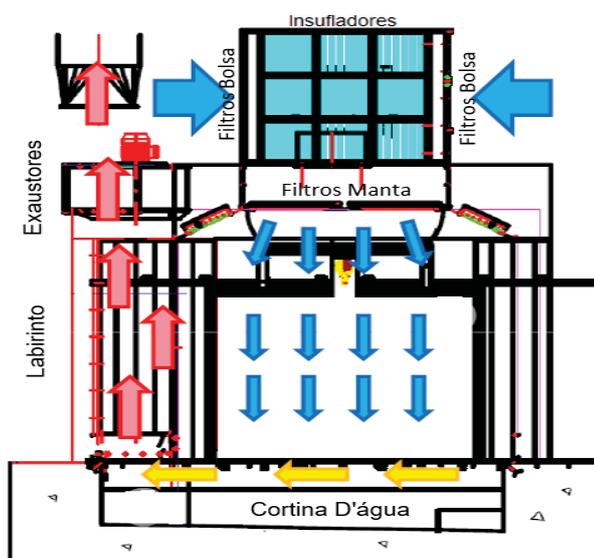


Fonte: Adaptado ROSS; IGNÁCIO (2015, p. 9)

O funcionamento do sistema de fluxo de ar ocorre conforme simulação da Figura 9, onde o ar externo é captado pelos insufladores, filtrado pelos filtros de bolsa, que tem o objetivo de retirar as impurezas do ar antes que seja direcionado à cabine de pintura, e conduzido aos filtros manta posicionados no teto da cabine, esses têm por finalidade uniformizar a distribuição do ar. A indicação é que o fluxo de ar vertical interno seja de 0,4 m/s a 0,6 m/s, embora na prática tem-se alçando de 0,2 m/s a 0,3 m/s (ROSS; IGNÁCIO, 2015).

Na cabine, o ar insuflado exerce a função de carregar as partículas de tintas excessivas, liberadas no procedimento de pintura, ao poço. A partir desse, o ar é sugado pelo sistema de exaustão e direcionado ao lavador de ar, onde as partículas de tintas são absorvidas por uma cortina d'água e o ar é conduzido para fora através do labirinto de exaustão. Existe, ainda, uma régua dente de serra que tem a finalidade de regular o fluxo de ar e impedir a entrada de borra de tinta no lavador (ROSS; IGNÁCIO, 2015).

Figura 9 – Sistema de Exaustão



Fonte: Adaptado ROSS; IGNÁCIO (2015, p. 4)

Para garantia da eficiência do sistema vários fatores devem ser seguidos, ou seja, é importante manter o nível da água no poço entre os limites especificados, de 380 mm à 400 mm em relação ao solo (ERZINGER, 2008). Se o nível da água estiver baixo o lavador de ar não funcionará corretamente e permitirá a entrada de ar com partículas de tinta no labirinto de exaustão. Enquanto que, se o nível da água estiver alto pode ocorrer a obstrução da entrada no lavador de ar. Além disso, é importante que a altura da régua dente de serra esteja regulada de forma que, aproximadamente, 20 mm da ponta dos dentes fiquem submersos, bem como, que sejam realizadas limpezas periódicas dos ganchos, correntes, trilhos e filtros (ROSS; IGNÁCIO, 2015).

Ademais, é fundamental efetuar o ajuste dos insufladores e exaustores, uma vez que, ao longo do mês, conforme a sujeira se acumula na cabine, o efeito de pressurização da mesma é afetado. Se houver maior insuflação ocorrerá turbulência e espalhará as partículas não aderidas de tinta no ambiente. Ao passo que, se houver maior exaustão haverá a tendência à entrada de contaminantes e não haverá capacidade de fluxo de ar suficiente para evitar que as partículas de tinta venham a aderir as paredes, luminárias e filtros manta. O ajuste é realizado pela variação de frequência na saída dos inversores de frequência, que acionam os motores dos ventiladores insufladores e exaustores, assim aumentando ou diminuindo a velocidade dos mesmos e conseqüentemente o fluxo de ar. A verificação do fluxo de ar e pressão na cabine é realizada diariamente e obtiva-se que seja controlada através de monitoramento autônomo (ROSS; IGNÁCIO, 2015).

Se não houver a aplicação de controle e regulação dos parâmetros indicados, a performance do processo de pintura será afetada, visto que, aumenta o índice de acúmulo de tintas nas estruturas da cabine e a névoa de partículas livres no ambiente, o que, conseqüentemente, reduz a iluminação e visibilidade interna, prejudicando a qualidade da pintura. Além disso, com o aumento do acúmulo de sujeira na cabine, principalmente nos ganchos, trilhos, labirinto de exaustão e borra no poço, aumenta a quantidade necessária de limpezas periódicas, ocasionando aumento no custo de fabricação (ROSS, IGNÁCIO, 2015).

### 2.3.1.1 Procedimento para Ajuste do Fluxo de Ar e Vazão

Conforme mencionado, o procedimento de ajuste do fluxo de ar é realizado através do ajuste da rotação dos motores de indução trifásicos, sendo que a promoção deste ajuste são realizados por inversores de frequência, proporcionando um fluxo de ar, adequando as necessidades do processo de pintura, onde as condições de fluxo de ar devem ser ajustadas tanto nos insufladores de ar como nos exaustores de ar. Os inversores que compõe o painel elétrico são da marca Allen-Bradley, modelo *PowerFlex 40* (ROSS, 2015), como pode ser visualizado na Figura 10.

Figura 10 – Modelo dos Inversores



Fonte: Adaptado de ROSS (2015)

Esse modelo de inversor é projetado para controlar a velocidade de aplicações como máquinas-ferramentas, ventiladores, bombas, transportadores e sistemas de manuseio de

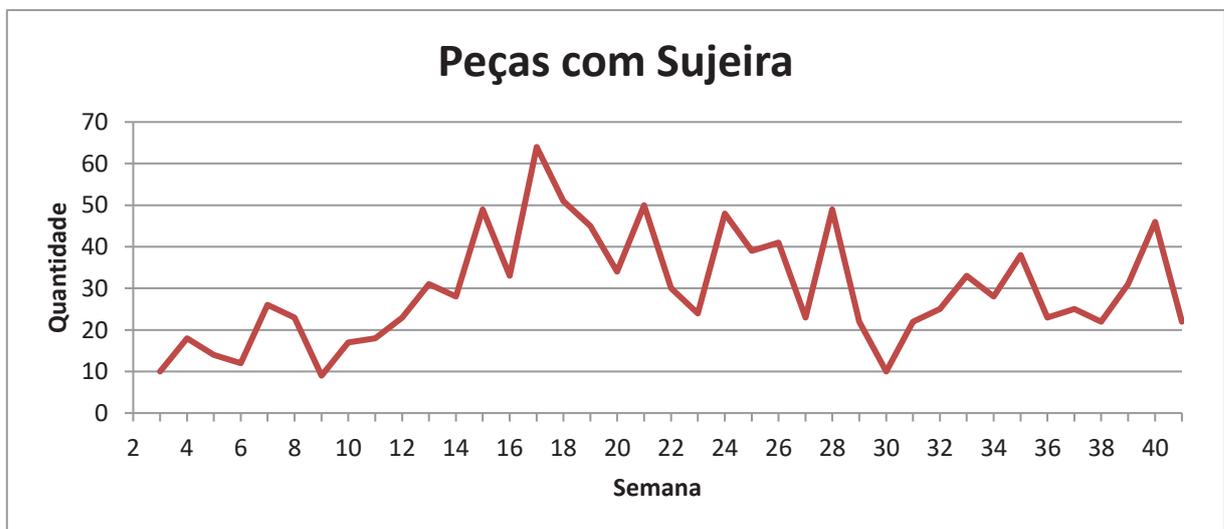
materiais. Apresenta um controle vetorial sem sensor, que oferece regulação a níveis muito altos de torque em toda a faixa de velocidade da unidade e adapta-se às características individuais do motor. Possui as funcionalidades de controlador Proporcional-Integral-Derivativo (PID), que calcula o erro do valor medido na saída e o valor desejado e, tenta reduzi-lo pela realimentação, que pode ser oriunda de um sensor ligado à sua entrada analógica ou digital. Os parâmetros de frequência podem ser ajustados pelo teclado integrado, através das teclas ou através do seu potenciômetro (ALLEN-BRADLEY, 2013).

Na empresa estudada os inversores são regulados para uma frequência em torno de 30 Hz, quando os filtros dos insufladores e exaustores são novos e estão limpos. Ao longo do mês, ocorre o efeito de contaminação da cabine de pintura e sujeira nos filtros, por essa razão e a fim de manter os parâmetros de pressurização e fluxo de ar dentro dos padrões exigidos, os inversores são reajustados atingindo, no cenário mais grave de resíduos, uma frequência entre 55 Hz a 60 Hz.

### 2.3.1.2 Indicadores de Qualidade na Pintura

Conforme descrito em 2.3.1, são verificadas situações indesejadas no processo de pintura, quando ocasionada contaminação e sujeira na cabine de pintura, principalmente nas lâmpadas, nos filtros de manta e no labirinto de exaustão. Isto é, aumenta o risco de explosão e descargas estáticas no operador, pelo aumento dos níveis de PPM de solvente no ambiente, e causa aumento nos defeitos de pintura das peças, como está apresentado na Figura 11.

Figura 11 – Indicadores de Qualidade



O gráfico da Figura 11 indica a quantidade de peças com sujeira, na empresa da pesquisa, durante as semanas do ano de 2017. É pertinente ressaltar, que a base de dados designada a alimentar esse gráfico, é coletada na inspeção final de qualidade do produto, ou seja, após o mesmo ter sido submetido a todos os processos fabris.

Baseado na leitura desse indicador, é possível visualizar que nas primeiras semanas do ano, quando a cabine de pintura havia recebido a vultosa limpeza anual, o resultado de peças com sujeira apresenta-se menor, porém não idêntico a zero. A não equivalência de um número nulo de peças com defeito é característico das mesmas sofrerem ações de agentes externos, que também podem contribuir para impactar esse indicador, como tempo de espera no estoque e manuseio no processo de montagem. Essa característica colabora para esclarecer o crescimento e decréscimo linear do gráfico, uma vez que, mesmo que a cabine tenha sido limpa, como existem processos subsequentes à pintura e que, em geral, ocorrem em dias distintos, o efeito de limpeza no resultado de qualidade das peças é visto, pela inspeção final, gradativamente.

Evidencia-se na análise do gráfico, ainda, uma considerável oscilação dos resultados, fato esse, que espelha o impacto da variação do nível de sujeira na cabine de pintura ao longo do mês, sustentada por possíveis imprecisões nas regulações dos parâmetros essenciais para eficiente funcionamento do sistema de pintura, indicados em 2.3.1. Observa-se, também, analisando os vértices inferiores do gráfico, que as variações do mesmo refletem a melhor performance da pintura, quando realizadas as limpezas periódicas da cabine.

## 2.4 SISTEMAS DE CONTROLE DO PROCESSO

Baseado nos inúmeros parâmetros necessários para garantir a qualidade da pintura e na importância do controle de processo, tem-se evidenciado nas indústrias os sistemas de gerenciamento visual. Estes, por sua vez, devem apresentar a mesma agilidade de informação que são encontrados nos equipamentos de fabricação, disponíveis hoje no mercado. Dessa forma, evidenciam-se os sistemas de controle computadorizados de apoio à produção, com o objetivo de reduzir o esforço manual nas atividades de gerência e aumentar a acurácia dos dados de produção. Para que seja possível empregar sistemas de monitoramento automatizados, é necessária a utilização de uma gama de elementos que, em conjunto, estruturam essa aplicação. Sendo esses, energia em suas variadas formas, sensores, atuadores, *Central Processing Unit* (CPU) e seu programa de instruções ou lógica, entre outros (LEVANDOSKI, 2018).

Na maioria dos processos fabris a energia elétrica é utilizada como fonte primária, porém, em automações, além dos requisitos básicos, é preciso uma energia adicional, que desempenha a função de enviar e receber sinal a serem processados. Essa etapa é realizada pelo microprocessador que é responsável pela interpretação do sinal e, a partir do programa ou lógica gravada, executar uma tarefa. Microprocessadores são considerados o coração dos computadores, porém, para que possam ser empregados, é imprescindível a utilização de circuitos especiais, como chips externos e memórias ligadas a estes, permitindo a comunicação com periféricos. No que tange essa área, é possível aplicar variados modelos de microcontroladores e demais equipamentos de processamento de dados, tais como os modelos *Peripheral Interface Controller* (PIC), *Advanced RISC Machine* (ARM), Controlador Lógico Programável (CLP), etc (LEVANDOSKI, 2018; APPEL, 2015).

A definição do modelo a ser admitido em um projeto dependerá de vários requisitos, tais como: quantidade de entradas e saídas necessárias, formato de comunicação, aplicação de conversores analógico/digital (A/D), capacidade de memória, utilização de temporizadores, modelo da interface de comunicação, velocidade de processamento, condições do local a ser implementado, custo disponível para o investimento e assim por diante (APPEL, 2015).

#### **2.4.1 Envio do Sinal para Processamento**

Os dados recebidos e tratados através do controlador e da lógica escrita pelo programador, são oriundos de diferentes meios. Podem ser dados cadastrados manualmente por operadores ou, em sua maioria, informações extraídas da leitura de diferentes sensores. Um sensor é um transdutor, ou seja, um dispositivo que converte um estímulo físico em uma forma mais conveniente, permitindo quantificar o estímulo em uma variável que possa ser interpretada como um valor numérico. Os estímulos podem ser mecânicos, elétricos, térmicos, de radiação, magnéticos e químicos. Enquanto que as variações físicas se caracterizam, por exemplo, como velocidade, força, tensão, corrente, calor, raios gama, comprimento de onda, campo magnético, condutividade, níveis de PH, presença de tóxicos, etc (LEVANDOSKI, 2018).

##### *2.4.1.1 Tipos de Sensores*

Há uma infinidade de modelos de sensores, sendo que cada um apresenta características específicas, funções e capacidades de leituras determinadas. Os tipos mais utilizados na

automação de processos são os sensores de contato e os sensores de proximidade. Os sensores de contato, como o próprio nome indica, são chaves que ativam através de um acionamento mecânico (manual ou automático), como exemplo pode-se citar botoeiras, chaves fim-de-curso e chaves de nível. Os sensores de proximidade, no que lhe dizem respeito, podem ser digitais ou analógicos e tem a função primária de detectar a presença de um objeto quando este se aproxima da face do sensor (LEVANDOSKI, 2018).

Existem diferentes modelos que se classificam como sensores de proximidade, sendo os indutivos, capacitivos, ultrassônicos e óticos. As principais variações entre eles concernem em torno da capacidade de detecção de determinados tipos de materiais, sua resistência em ambientes severos, dependência à natureza da superfície do objeto, longitude de leitura, velocidade de resposta, custo e característica de instalação, por exemplo (LEVANDOSKI, 2018).

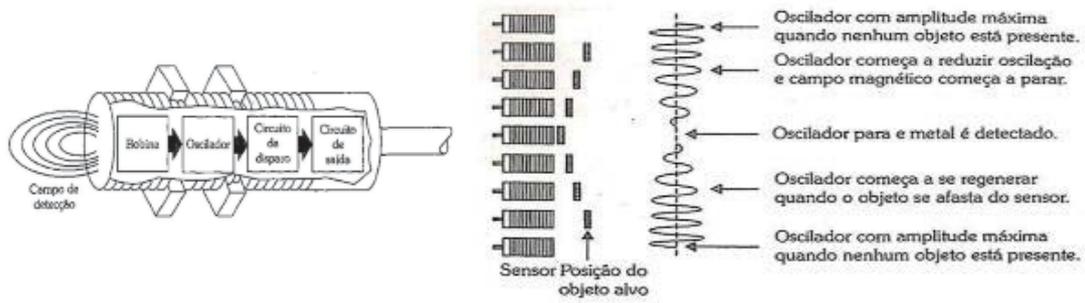
Os sensores indutivos, por sua vez, apresentam algumas vantagens de aplicação no sistema de monitoramento proposto, uma vez que apresentam alta empregabilidade nas indústrias, atendem a uma elevada gama de máquinas, custo inferior aos outros modelos, são de fácil implementação e reposição.

#### *2.4.1.2 Sensores de Proximidade Indutivos*

Os sensores de proximidade indutivos são capazes de detectar a aproximação de objetos metálicos, apenas, sem a necessidade de contato físico entre o sensor e o acionador. Apresentam como desvantagem a característica de sensibilidade a interferências. Como vantagens, exibem uma elevada resistência a ambientes agressivos, não dependem da superfície do objeto, tem uma considerável vida útil, custos acessíveis e fácil instalação (LEVANDOSKI, 2018).

Em sua construção, os sensores indutivos, possuem um oscilador e uma bobina que produzem um campo magnético fraco. Em condições normais (não acionada) a bobina gera um sinal senoidal, quando um objeto se aproxima, entrando no campo, são induzidas pequenas correntes, fazendo, devido a interferência com o campo magnético, energia ser extraída do circuito oscilador do sensor, o que diminui a amplitude do sinal e causa queda de tensão. Esta, por sua vez, é detectada pelo sensor que responde mudando seu estado (SENSE, 2019). A Figura 12 exemplifica esse modelo e demonstra seu funcionamento.

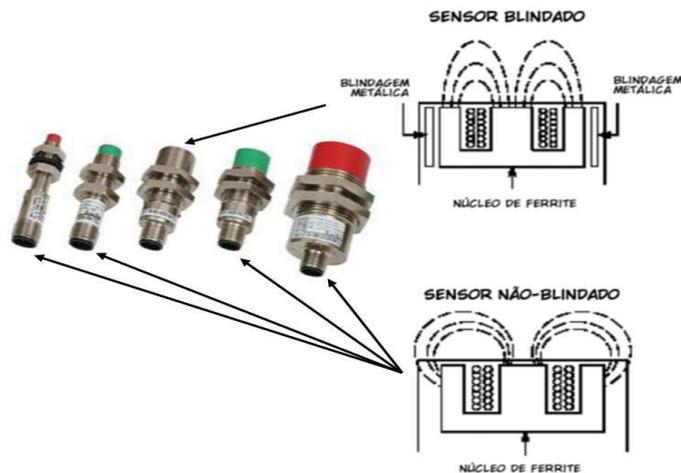
Figura 12 – Funcionamento dos sensores indutivos



Fonte: Adaptado de LEVANDOSKI (2018).

Válido salientar uma variação entre os sensores considerados pertencentes a essa família. A disparidade é, em principal, devida às características construtivas e o efeito de histerese, que é a diferença entre o ponto de acionamento e não acionamento do sensor, ou seja, evita que o sensor fique ligando e desligando rapidamente. Existem diferentes tamanhos e formatos de sensores, conforme mostra a Figura 13. Quanto menor o diâmetro do sensor, menor a distância sensora, ou seja, menor precisará ser a distância do objeto e da face do sensor (superfície por onde emerge o campo eletromagnético) para que o sensor mude do estado de saída (comute). Importante, ainda, considerar a sua propriedade construtiva. Esse gênero de sensor pode ser blindado e não-blindado, isto é, no primeiro caso tem o campo eletromagnético emergido na face do sensor, não detectando a presença e material metálico em seu contorno. O segundo, por conseguinte, apresenta um campo eletromagnético emergindo também da superfície lateral da face sensora, identificando presença de metal ao seu redor (LEVANDOSKI, 2018; SENSE, 2019).

Figura 13 – Variação dos Sensores Indutivos



Fonte: Adaptado de LEVANDOSKI (2018).

### 3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

O projeto embasar-se-á em contribuir para um processo industrial mais organizado e otimizado. Dessa forma, subsidiando a implementação de conceitos do Sistema Toyota de Produção (STP) ao que tece a eliminação de desperdícios no processo de manufatura. Provendo monitoramento autônomo da produção, de forma precisa, rápida e sistematizada. Assim como, acompanhamento de parâmetros, a fim de manter elevados os índices de qualidade no processo.

O sistema aplicado, em específico, ocorrerá no procedimento de pintura, monitorando a produção através da instalação de sensores que identificam a posição de cada lote de peças em cada etapa do processo e, aliados a um *software* de interação, que informa ao usuário a localização de cada conjunto de peças que está sendo processado, bem como, estime o horário de liberação do mesmo. Além disso, será efetuado o acompanhamento das paradas de linha, a fim de gerar registros dos tempos de parada e quais os modelos de peças que estavam sendo processadas, provendo um gerenciamento de ações para minimizar essa perda, que é indesejada em termos de produtividade.

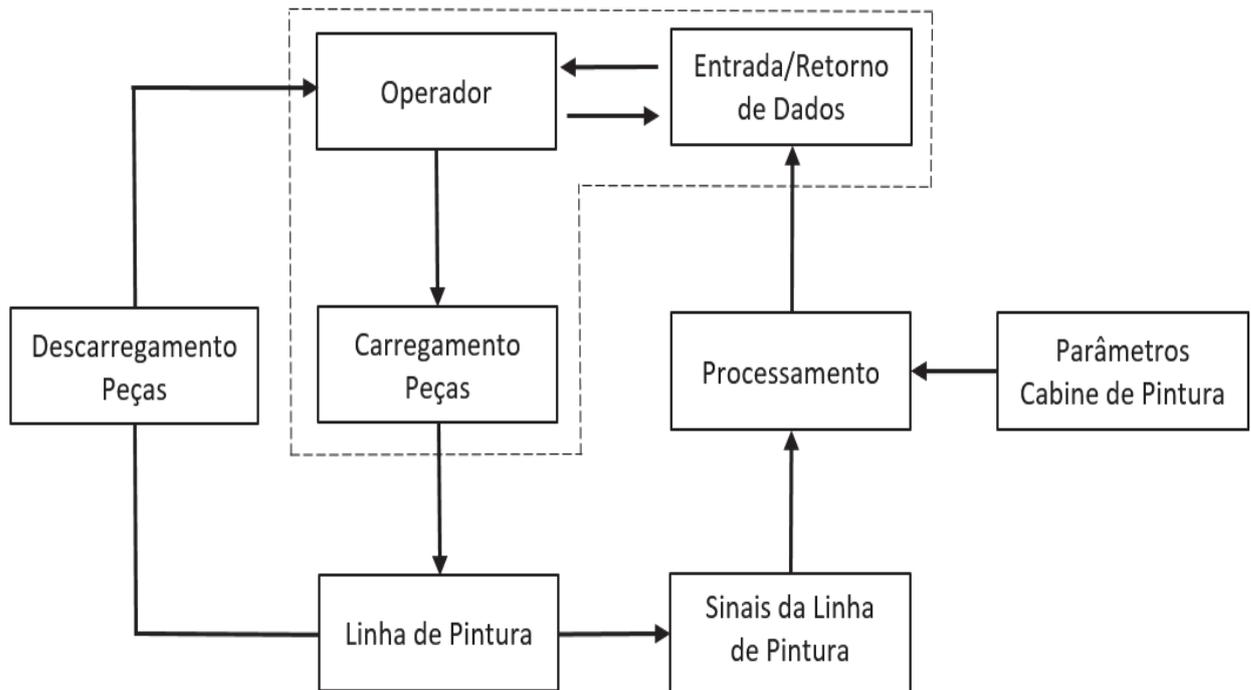
Ainda, objetiva-se acompanhar os parâmetros de pressurização e fluxo de ar da cabine de pintura, por meio da coleta de dados dos sensores da cabine, informando o momento em que deveriam ser realizadas limpezas preventivas, evitando, assim, impactar na qualidade de pintura das peças. Ademais, será monitorado o funcionamento dos sensores de nível do poço da cabine, de modo a promover o acionamento autônomo da manutenção em casos de falhas. Ou seja, o sistema desenvolvido efetuará a leitura e tratamento da informação dos parâmetros e erros dos sensores, que são sinalizados e controlados por um sistema de processamento independente.

Tendo-se pré-estabelecido o conceito principal de funcionamento do sistema, definiu-se a premissa de não interferir na automação já existente na linha de pintura estudada. Logo, todas as entradas de dados foram desenhadas de modo a serem extraídas de sinal obtido por um segundo contato no botão de início, um segundo relé nas botoeiras de emergência e os sistemas de sensoriamento projetados considerando um *hardware* totalmente independente.

Além disso, foi necessário o desenvolvimento de *software* de interface, com o objetivo de traduzir em uma página as informações coletadas, processadas e transmitidas pelo *hardware* em combinação com o programa de processamento, de modo a garantir uma interação simples e amigável com o usuário.

A Figura 14 representa o diagrama de blocos com o funcionamento simplificado do sistema, indicando as operações manuais, as coletas de dados, o processamento e transmissão das informações e o retorno ao usuário.

Figura 14 – Diagrama de Funcionamento Simplificado do Sistema



Fonte: O Autor (2019).

Com a implementação do sistema, o operador, que é incumbido de carregar as peças na linha tracionada de pintura, deverá, antes de iniciar o processo de carregamento manual, informar os dados sobre a origem do lote de peças, ou seja, a que máquina se refere, qual das linhas de montagem será destinado e se há alguma observação importante, como, por exemplo, alguma peça faltante para completar o lote. Quando a linha tracionada movimentar, o dado será armazenado em forma de pilha no *software* de interação e um novo campo será liberado para possibilitar o cadastro do próximo lote de peças. E, assim, esse ciclo de operação ocorrerá continuamente a cada lote de peças carregadas, conforme ilustrada a Figura 15 e indica o tracejado no diagrama de blocos da Figura 14.

Figura 15 – Processo de Carregamento das Peças



Fonte: O Autor (2019).

A linha de pintura, no que lhe concerne, apresenta um *takt time* (tempo de produção em cada etapa) de sete minutos e, então, movimenta-se até o próximo processo. Sendo assim, a cada movimentação da linha tracionada, sinais de sensores instalados na linha de pintura detectarão a mudança de posição e, após processamento, será informado ao *software* de interação com o usuário, que o mesmo deve alterar de etapa os lotes de peças já cadastrados e liberar o campo para o cadastro do novo lote, ainda, excluir a informação do lote que estava no último processo de descarregamento e que, conseqüentemente, finalizou suas operações.

No processo de descarregamento, por sua vez, a atividade de conferência do lote de peças será facilitada, uma vez que, o operador saberá a qual máquina se refere o lote liberado. Ainda, o operador saberá antecipadamente a estimativa do horário de liberação, em virtude de o *software* de interação calcular o horário de liberação do lote de peças através da Equação 1.

$$\text{HORÁRIO\_LIBERAÇÃO} = \text{HORÁRIO\_ATUAL} + (\text{STAGE\_TIME} \times \text{NÚMERO\_POSIÇÕES}) \quad (1)$$

Onde o *horário\_atual* é o horário em que foi cadastrada a informação do lote carregado, enquanto que *stage\_time* se refere ao tempo de ciclo em cada etapa de processo da pintura, seu valor corresponde ao indicado na Equação 2, e o *número\_posições* trata-se dos 16 estágios de processo da linha de pintura.

$$\begin{aligned} \text{STAGE\_TIME} &= \text{TEMPO\_LINHA\_ESTACIONADA} + \text{TEMPO\_LINHA\_MOVIMENTANDO} \quad (2) \\ \text{STAGE\_TIME} &= 7 \text{ minutos} + 3 \text{ minutos} = 10 \text{ minutos} \end{aligned}$$

Caso o botão de emergência de parada da linha seja acionado (em alguns dos pontos onde está instalado: carregamento, cabine de pintura e saída da estufa de cura), essa ocorrência será processada e informada ao *software*, para que o mesmo registre o tempo de parada e recalcule o horário estimado de saída de cada lote de peças em processo.

Findando os objetivos propostos, o sistema ainda deverá informar ao operador o estado de pressurização e fluxo de ar na cabine eletrostática de pintura, o sistema de processamento acompanhará os *inputs* dos sensores que controlam os parâmetros e sinalizará a página de interação com o usuário quando devem ser realizadas limpezas preventivas ou quando ocorrem falhas nos sensores de nível d'água do poço. O *software*, então, responderá com um alerta da respectiva notificação.

### 3.1 SISTEMA DE MONITORAMENTO DOS LOTES

Para o sistema de monitoramento foram avaliados vários modelos de sensores que pudessem ser empregados no controle das peças ao longo da linha de pintura. Nesse estudo, foram considerados vários aspectos importantes, para o eficiente funcionamento do sistema. Como por exemplo, o impacto de aplicar os sensores junto às peças: a) elevado potencial de dano aos sensores, devido a aplicação de tinta sob a superfície dos mesmos, aumentando, assim, o risco de leituras errôneas e/ou o elevado índice de manutenções preventivas e corretivas de substituição do material; b) impacto no tempo *stander* de produção, caso o sensor precisasse ser manipulado e posicionado pelo operador na primeira peça do lote; c) dificuldade de auto localização dos lotes no *start* e *re start* da linha de pintura.

Diante dos fatores apresentados, a aplicação de sensores indutivos, na parte externa da cabine de pintura, conduziu-se como a solução mais adequada. É possível justificar esse emprego a considerar as características desse sensor em termos de resistência a ambientes

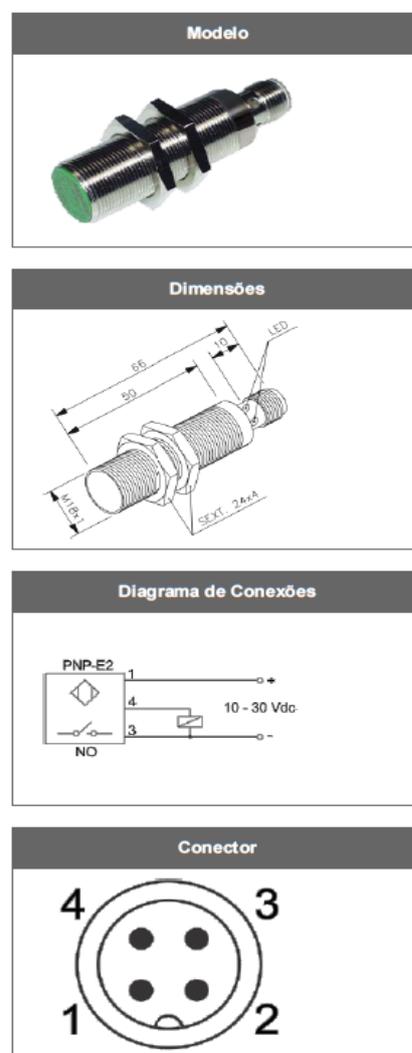
severos, imunes a vibração, imunes a choques mecânicos, vida longa, fácil instalação, não necessitam de energia mecânica para operar, apresentam baixo custo de aquisição e facilidade na reposição.

Avaliando as propriedades técnicas dos modelos deste componente, disponíveis no mercado, definiu-se pela aquisição do modelo de corrente contínua, saída normalmente aberta (NA), função elétrica PNP, tamanho 18 milímetros (mm), distância sensora de 8 mm, blindado e com conector 4 pinos, onde esta última característica se propõem para facilitar a substituição, como apresentado na Figura 16.

Figura 16 – Modelo de sensor indutivo selecionado

### PSL8-18GI50-E2-V1-Ex

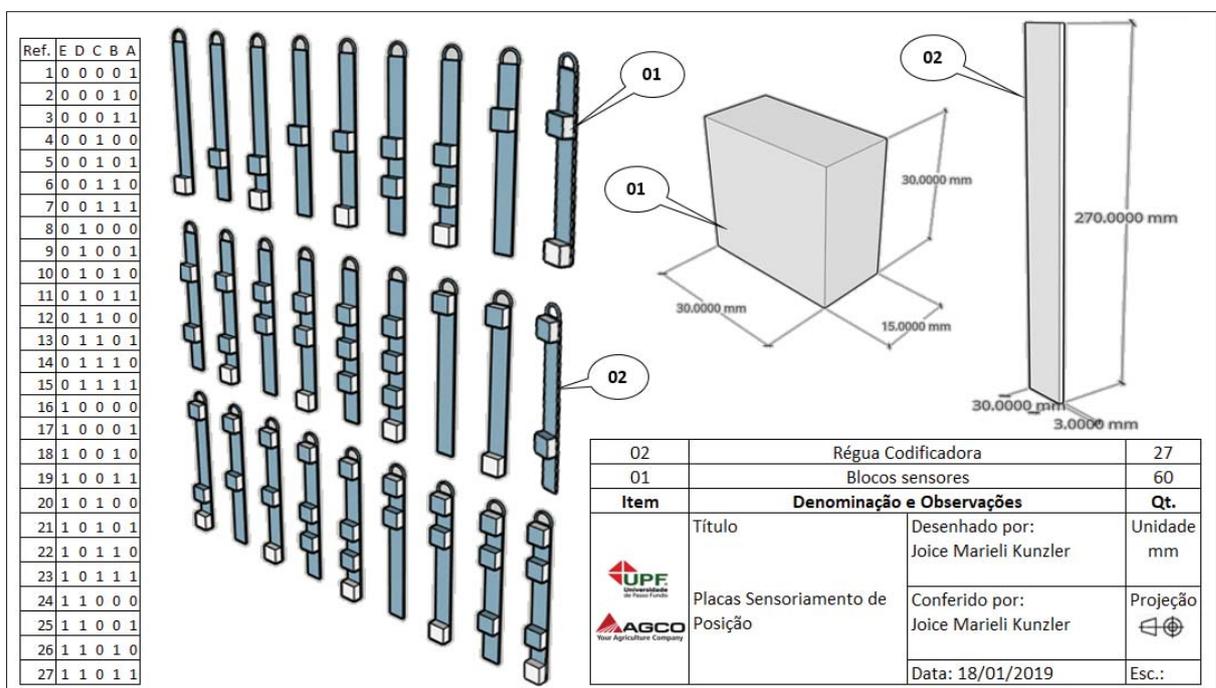
Características técnicas	
Aplicação	Áreas industriais comuns ou Atmosferas com poeiras combustíveis
Tensão de alimentação	10 a 30Vcc
Ripple	10 %
Corrente de consumo	<10 mA
Diâmetro	M18
Distância sensora Sn	08 mm
Distância operacional	6,48 mm
Alvo padrão	24x24 mm
Histerese	5 %
Repetibilidade	<0,01 mm
Montagem	Semi embutida
Peso	55 g
Tipo de rosca	M18 x 1mm
Número de fios	3 fios
Conexão	Conector 4 pinos
Frequência de comutação máxima	400 Hz
Configuração elétrica	CC-PNP
Tipo de contato	NA
Proteção de saída	Curto-circuito e inversão
Corrente máxima de comutação	200 mA
Queda de tensão no sensor (carga energizada)	<2 V
Opções de comprimento do tubo	30 mm
Grau de proteção	IP 67, IP69K
Temperatura de operação	-25°C a +70°C
Invólucro	Metálico roscado
comprimento do tubo	50 mm
Grau de proteção Ex	IP65
Temperatura de operação Ex	- 5 °C a + 70 °C
Proteção Ex	Proteção por invólucro contra poeiras combustível
Marcação	Ex tb IIIC T100 °C Db IP65
Sinalização	Microled no conector



Fonte: SENSE (2019).

Esse modelo melhor se adequa ao sistema, devido às características de: acesso disponível para a leitura, velocidade e vibração da linha de pintura onde o sistema será implementado. Além de a aplicação por conector facilitar a instalação e preparação para manutenções futuras, uma vez que as condições de empregabilidade do sistema apresentam características de longas distâncias de cabeamento. A alimentação deste modelo é de 10 a 30 *Volts* em corrente contínua (Vdc), o que se adequa à tensão industrial padrão de 24 Vdc, reduzindo as influências de ruído elétricos característicos nas áreas industriais. Assim, essa amplitude de tensão, aliada ao cenário fabril, condiciona o desenvolvimento do *hardware* específico para a adequação e proteção das entradas no sistema de processamento. Ademais, para que o sistema funcione como o esperado e seja possível instalar os sensores na área externa as cabines, além da característica de leitura apenas em objetos metálicos própria do modelo de sensor selecionado, foi preciso projetar estruturas metálicas com diferentes combinações de códigos binários. A Figura 17 representa a relação dos códigos binários necessários, que estruturou-se considerando a quantidade de estágios presentes na linha de pintura estudada.

Figura 17 – Desenho das estruturas metálicas com as combinações dos códigos binários



Fonte: O Autor (2019).

O conceito básico consiste na instalação das régua codificadas nos primeiros elos de corrente, em cada um dos 27 estágios da linha tracionada de pintura, em geral, esses primeiros elos referenciam a divisão de cada etapa e são os pontos de parada entre as portas de abertura e

fechamento automáticas das cabines de lavagem, desengraxe, fosfatização, pintura primer, acabamento e estufas de secagem. Sendo assim, esses pontos não apresentam os ganchos para carregamento de peças e podem ser ocupados pelas estruturas metálicas sem alteração do processo produtivo. A Figura 18 destaca o local de instalação das réguas codificadoras.

Figura 18 – Local de Instalação das Réguas Codificadoras

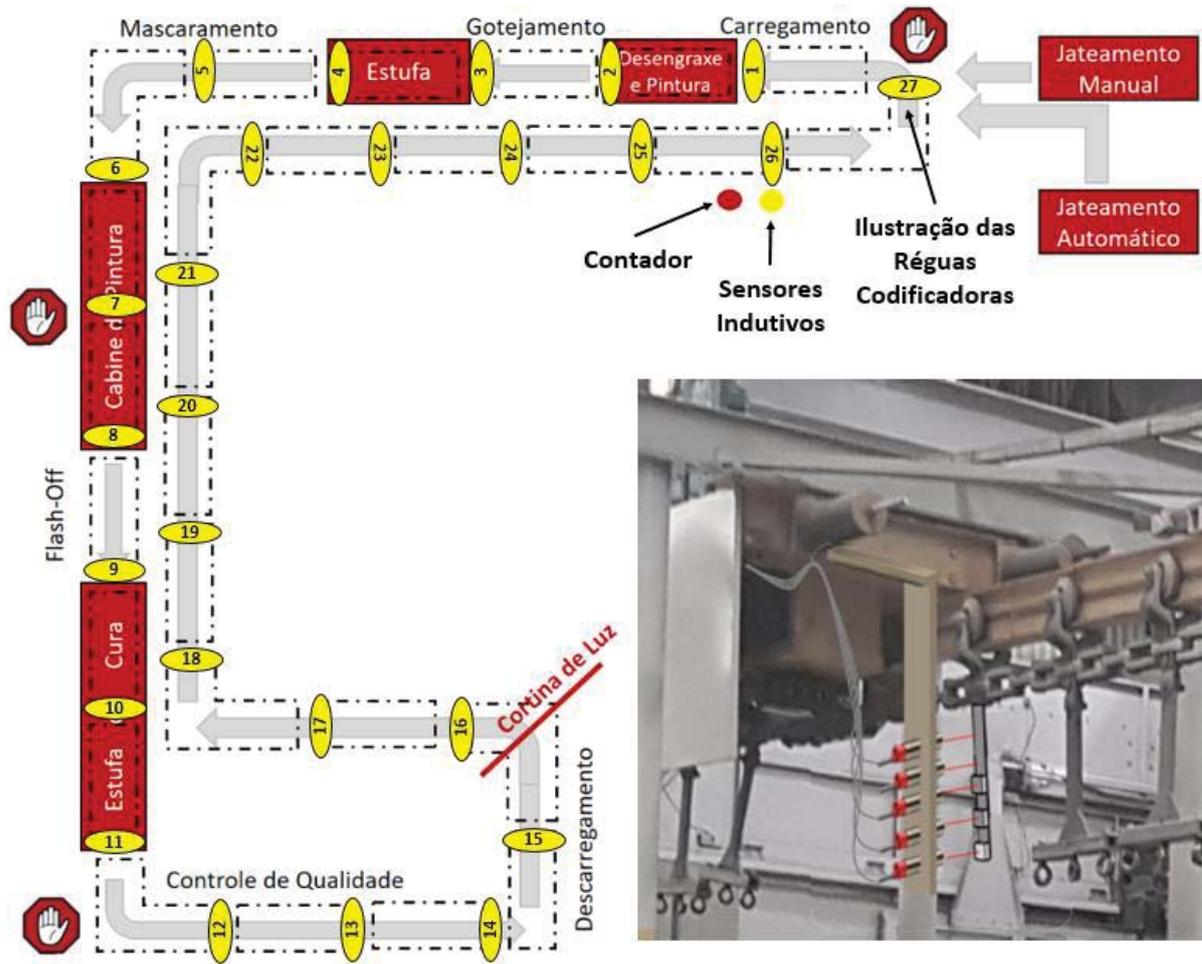


Fonte: O Autor (2019).

O funcionamento da linha tracionada de pintura, de acordo com o exposto no capítulo dois, se baseia no ligamento e desligamento automático da mesma, através de um contador de pulsos que monitora a passagem de ganchos. Admite-se que a cada 18 ganchos se compõe um lote, ou seja, quando é detectada a passagem dessa quantidade de hastes é efetuada a parada programada e temporizada, para realização dos processos. Sendo assim, a estratégia adotada trata-se da instalação dos sensores indutivos ao lado do contador, para que, quando a linha estiver parada, seja efetuada a leitura, mediante cinco sensores indutivos, do código binário da régua fixada nos elos vagos entre os estágios. A Figura 19 ilustra esse esquemático.

Ao ser ligada a linha de pintura, o processador checará a leitura dos sensores indutivos e informará ao *software* de interface. Dessa forma, a posição de operação é sempre identificada, mesmo após a linha de pintura ter sido desligada com o final do expediente ou um possível término de energia.

Figura 19 – Conceito de sensoriamento das Posições



Fonte: O Autor (2019).

Importante atentar que tanto na relação de códigos binários da Figura 17 quanto na programação do processador, a combinação binária 00000b é ignorada, uma vez que, na prática, esse valor sempre estará sendo detectado durante a movimentação da linha tracionada, porque nenhuma régua codificadora estará ao alcance de leitura dos sensores.

### 3.1.1 Processamento da Informação

Existe no mercado uma série de controladores que podem efetuar a tarefa do processamento da informação, tais como *Peripheral Interface Controller* (PIC), *Advanced RISC Machine* (ARM), Controlador Lógico Programável (CLP). A diferença entre eles consiste em maior e menor custo, velocidade de processamento e qualidade de resolução.

Para definição do micro controlador adotado analisou-se a quantidade de entradas e saídas necessárias, para atender aos objetivos propostos. Assim como, a preparação (espera) de

entradas futuras, não incorporadas no escopo deste projeto, mas identificadas como possíveis inclusões em uma revisão do mesmo. O Quadro 2 resume essa avaliação.

Quadro 2 – Entradas e Saídas aplicadas ao projeto

<b>Aplicação</b>	<b>Entradas</b>	<b>Saídas</b>
Escopo do projeto	01 entrada digital para o botão de start da linha.	02 saídas do canal serial
	01 entrada digital para o botão de bloqueio (parada).	
	05 entradas digitais para os sensores indutivos.	
	04 entradas digitais para leitura dos <i>inputs</i> do microprocessador de controle da cabine de pintura, sendo elas: informação das condições da cabine de pintura, informações dos dois sensores de nível d'água e acionamento <i>reset</i> de manutenção no processador de controle da cabine de pintura.	
Inclusão Futura	02 entradas analógicas para sensores de temperatura das estufas de secagem.	
	02 entradas digitais para separar a informação dos três botões de bloqueio (parada) da linha de pintura.	

Fonte: O autor (2019)

Ainda interpretando o sistema desenvolvido e observando que o mesmo não demanda uma elevada velocidade de processamento e resolução, que justificaria a utilização de um ARM, por exemplo, devido a linha tracionada de pintura operar após cada sete minutos de processo no estágio estacionado e demorar três minutos para finalizar a troca de posição. Ou seja, as alterações das informações detectadas pelos sensores de posições, que impulsionam a necessidade de uma nova leitura pelo processador, ocorrem apenas a cada dez minutos. Da mesma maneira que, a interrupção dos botões de parada e da informação do estado da cabine

de pintura também ocorre nessa ou em uma maior faixa de tempo. Ademais, pequenos *delays* na transmissão dos dados para o *software* de interface não impactarão significativamente na acurácia de interpretação, considerando as análises produtivas que se deseja extrair do sistema.

Com base no exposto, se entende que o microprocessador PIC16F887 atende a todas as características necessárias. Além disso, é um o componente de baixo custo o que contribui para o atendimento do orçamento disponível para o projeto, assim como contribui para aumentar a margem de retorno do investimento ao considerar custo por benefício.

### 3.1.1.1 Fluxograma do processamento

Em geral, o processamento dar-se-á da seguinte forma: inicialmente o programa aguarda até que a linha de pintura seja ligada, ou seja, recebe nível lógico alto na entrada conectada ao botão seletor de *start*. Na sequência, é realizada a leitura do código binário que está na posição de início, onde os sensores indutivos ficam instalados, esse dado é então transmitido pela USART ao *software* de interface.

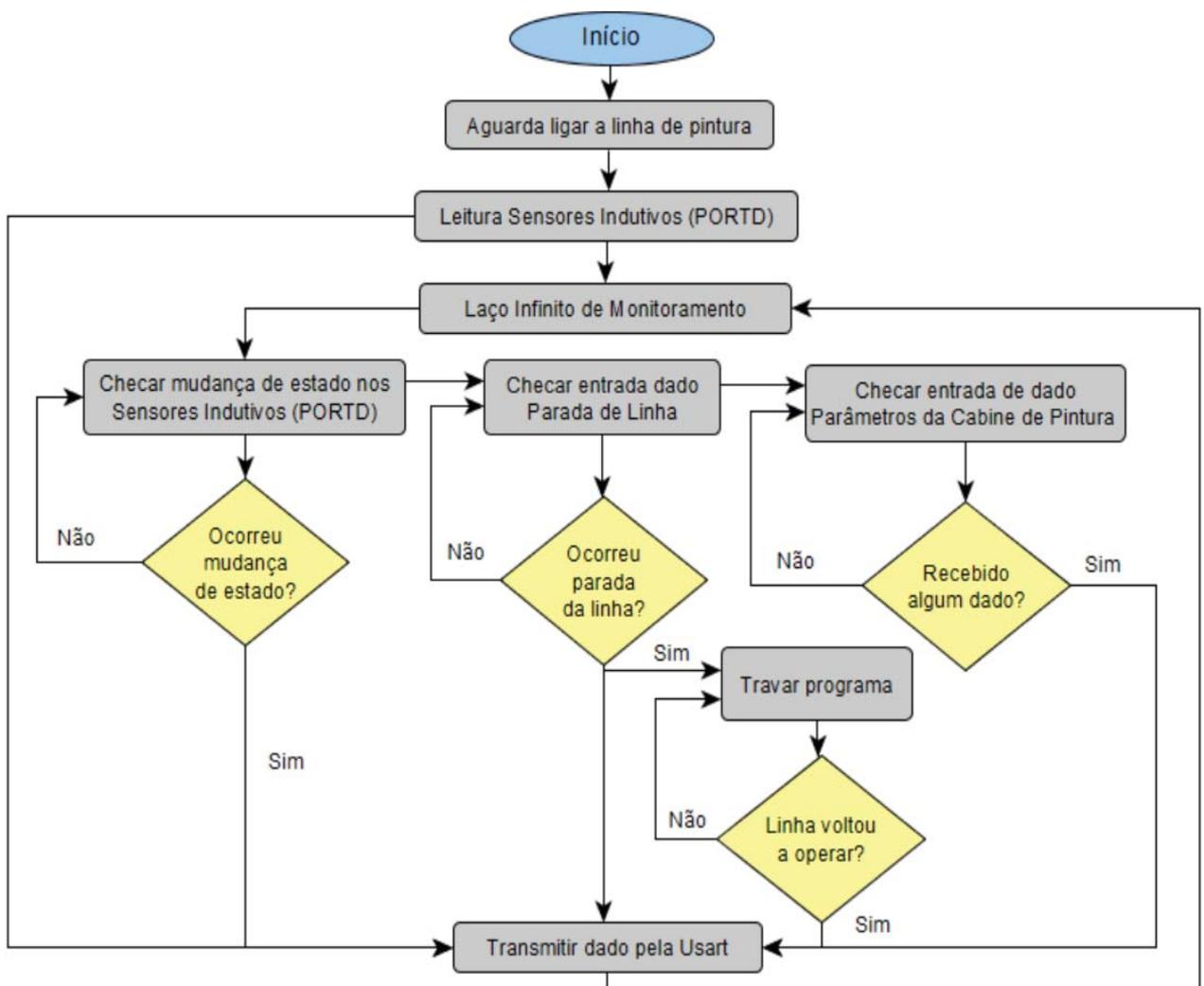
Na sequência, o programa entra em um estado de *loop* infinito de monitoramento da mudança de estado na porta de entrada D, do microprocessador PIC16F887, isto é, o programa efetua infinitas leituras dos sensores indutivos e apenas transmite novamente esse dado quando detectada uma variação do código binário, que se encontra na posição de início da linha de pintura, desde que seja diferente do código binário 00000b, afinal essa combinação ocorrerá toda vez que linha estiver em movimento, pois nenhuma régua codificadora estará na posição de leitura dos sensores.

No programa principal existem outras duas interpretações no mesmo *loop* infinito, tratam-se do acompanhamento de informações oriundas da cabine de pintura e do monitoramento de acionamento de algum dos botões de parada do tracionador da linha. No primeiro, a cada ciclo do programa principal, é realizada a leitura das entradas de sinal do processador da cabine, para monitoramento de ativação.

Quando o processador que controla os parâmetros da cabine de pintura identifica nível alto de sujeira ou falha em algum dos sensores de nível do poço d'água, ativa uma porta (nível lógico alto) específica no microcontrolador de monitoramento da linha, que reconhece a porta ativada e transmite o código específico pela USART. O *software* de interface, por sua vez, lê o código específico e sinaliza na página de interação com o usuário a notificação correspondente.

Ao passo que o sistema de processamento monitora os dados de alertas da cabine de pintura, acompanha, também, a ativação da porta de entrada ligada aos botões de parada da linha. Quando um dos botões de emergência é acionado, um relé envia nível lógico alto à porta conectada ao micro controlador. Esse, então, transmite o código que indica, ao *software* de interação com o usuário, a ocorrência de parada e trava em um segundo *loop* infinito dentro do programa principal. Quanto o botão de emergência é destravado a informação de retorno da movimentação da linha é notificada ao *software* de interação e o programa do processador, por sua vez, volta ao *loop* infinito mestre. A Figura 20 resume o fluxograma do processamento.

Figura 20 – Fluxograma do Processamento



Fonte: O autor (2019)

### 3.1.2 Interpretação da Informação

O *software* de interface com o operador tem a função de receber a informação processada e traduzi-la a uma linguagem simples, ao operador. Permitindo, dessa forma, a interação entre o usuário e o sistema. A aplicação desenvolvida tem como objetivo o gerenciamento e visualização da linha de pintura, utilizando, como método, *website*, pela facilidade de acesso desse gênero de recurso, pela capacidade de geração de *designs* sofisticados, amplos e animados. Ademais propicia a utilização de memória do próprio computador.

Elaborado seguindo padrões modernos de arquitetura, a interface visual é acessada através de um navegador *web*, o que proporciona ganho de performance e acessibilidade na navegação do sistema. Organizada em dois módulos principais, um chamado de *frontend* e outro de *backend*. O primeiro corresponde ao visualizador, isto é, todos os artefatos *web* e componentes visuais, ou seja, o design característico da página ao qual o operador interage. O segundo confere o módulo servidor, responsável por receber, processar e armazenar os dados e a comunicação serial com a placa micro processada.

A comunicação entre os dois recursos, *frontend* e *backend*, ocorre de forma segura segundo o padrão de comunicação *Representational State Transfer* (REST), que se trata de um estilo de arquitetura de *software* onde considera-se que comportamento do aplicativo da *web* é uma máquina de estados virtuais, na qual é permitido ao usuário avançar pelo aplicativo através dos identificadores de recursos, estes são os referidos protocolos de navegação *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP), quer dizer, um texto estruturado que permite *linkar* com outros textos estruturados. A tecnologia foi composta por linguagem de programação JAVA, *JavaScript*, *Cascading Style Sheets* (CSS) e *HyperText Markup Language* (HTML).

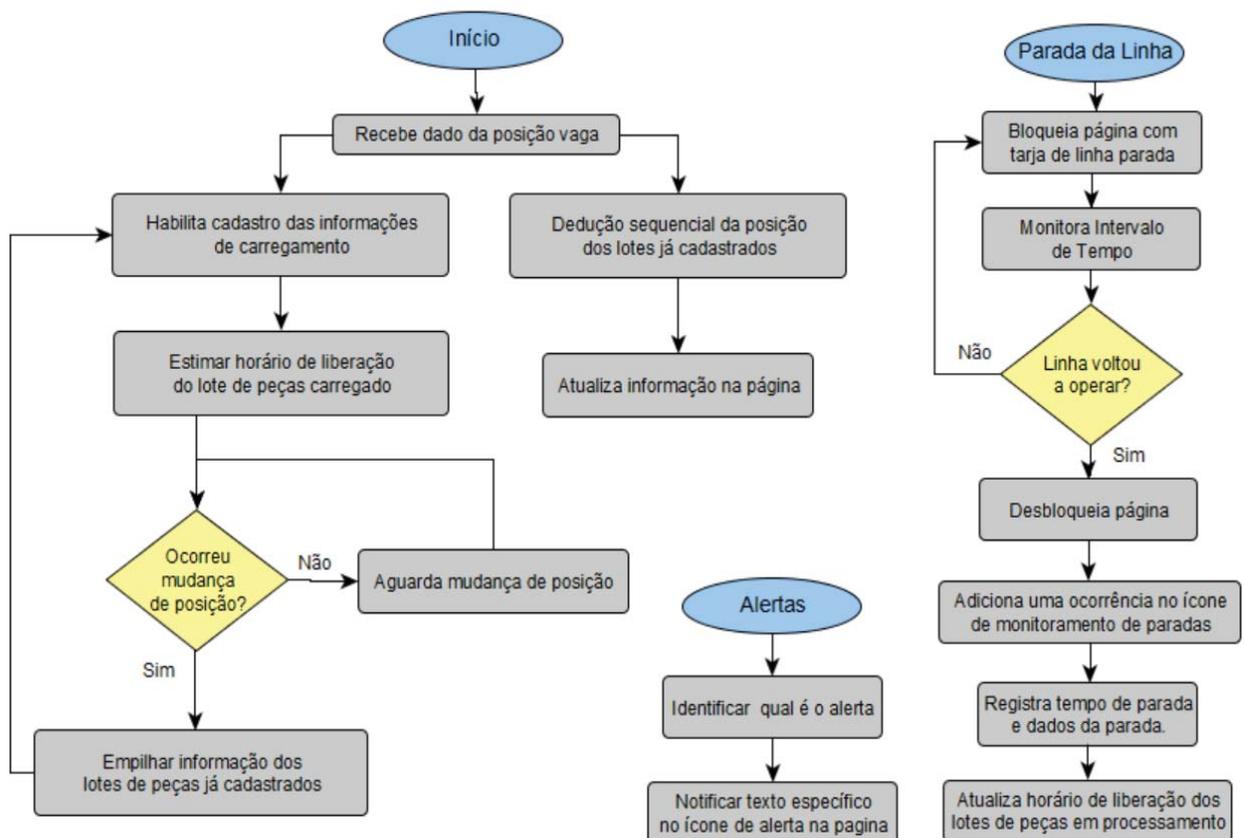
Para visualizar a página, ao acessar qualquer navegador *web*, deve-se digitar o endereço `http://localhost:8080`, que sugere que o dispositivo de Internet, ou *host*, é responsável por servir um aplicativo de *web*. O valor 8080, por sua vez, trata-se apenas de uma porta aleatória configurada no programa, ou seja, um identificador que designa o pacote de dados à aplicação de destino, fazendo o *software* de rede ligar e ler na porta especificada. Porém esse sistema apenas rodará no computador que possuir o *prompt* de comando do programa salvo e com porta COM da comunicação serial conectada, ou seja, esse acesso deverá estar disponível no computador em que haverá integração de dados com o operador e ligado ao *hardware* desenvolvido.

Para o acesso de gestão, isto é, apenas monitorar os dados, faz-se necessário acessar, de qualquer computador, através de um navegador *web*, o *Internet Protocol* (IP) do computador onde está rodando o *software* com integração e conectar-se a mesma porta 8080.

A lógica de programação por trás do servidor está representada no fluxograma da Figura 21. Em suma, ao ligar a linha de pintura, será recebido o dado da posição que está disponível para o carregamento das peças, como os estágios estão instalados de modo sequencial, ao saber qual posição está na primeira etapa de pintura, o sistema, automática, deduzirá em qual processo da pintura estão posicionadas as demais, podendo, assim, verificar na memória quais máquinas foram cadastradas em cada uma das posições e indicar essa informação atualizada na página virtual. Toda vez que ocorrer uma mudança de posição o software endereçará o estágio das posições com lotes de peças já cadastradas.

Ademais, monitorará o recebimento de dados específicos referente os avisos de alerta e paradas, destinando, no primeiro caso, a tarefa de notificação ao usuário e, no segundo, além de sinalizar no visualizador a parada, acompanhar o intervalo de tempo, gerando histórico e atualizando a previsão do horário de liberação dos lotes de peças em processamento na pintura.

Figura 21 – Fluxograma Website

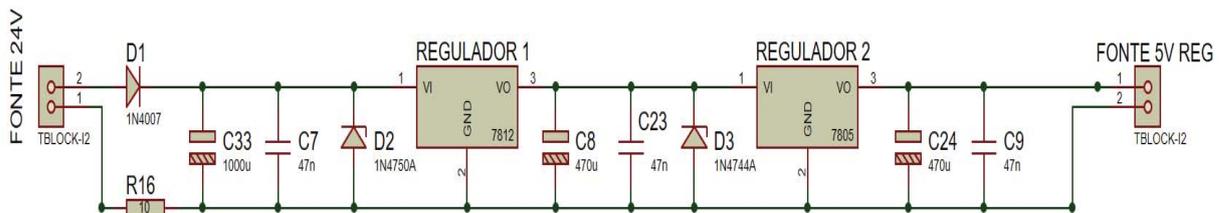


### 3.1.3 Hardware

Como mencionado anteriormente, em razão das condições fabris e ruídos, foi necessária aquisição de sensores que operem em tensão de 24 Volts (V) e, em consequência, uma fonte chaveada de alimentação dessa amplitude de tensão e corrente mínima de 1 ampère (A). A corrente será calculada e detalhada ao longo do desenvolvimento do *hardware*.

Por uma questão de otimização e custo definiu-se utilizar a mesma fonte aplicada aos sensores para alimentação da placa desenvolvida; No entanto, sabe-se que o modelo de micro controlador utilizado opera em tensão de 5 Vdc, tornando imprescindível projetar o *hardware* para que atinja a diferença de potencial empregada ao PIC16F887. Assim sendo, aplicou-se o esquemático indicado na Figura 22.

Figura 22– Esquema elétrico de regulação da alimentação 5V



Fonte: O autor (2019)

O diodo 1N4007 (D1) foi aplicado para evitar retorno de corrente à fonte, mantendo os capacitores da Figura 22 úteis apenas para a fonte de 5 Vdc. Enquanto que, foram aplicados os reguladores de tensão 7812 (Regulador 1) e 7805 (Regulador 2) com o objetivo de reduzir a tensão da fonte de 24 V até a amplitude desejada para o funcionamento do PIC16F887. A aplicação de dois regulares justifica-se pelo propósito de distribuir a dissipação térmica (calor) em cada um deles, característica comum nesse gênero de componente eletrônico. O primeiro, como a própria nomenclatura indica, regula a saída para 12 V, ao passo que, o segundo, para 5 V. Os capacitores, no que lhes competem, foram aplicados para desacoplar entrada e saída e evitar oscilações de frequência em função, mais uma vez, das interferências encontradas em ambientes fabris.

Os capacitores eletrolíticos, modelo que apresenta polaridade, foram empregados para garantir a estabilidade, porém sua operacionalização é lenta, o que justifica a aplicação, em paralelo, dos capacitores cerâmicos, que apresentam maior velocidade de descarga de energia, para situações de rápidas oscilações de tensão durante a operação. A magnitude dos capacitores

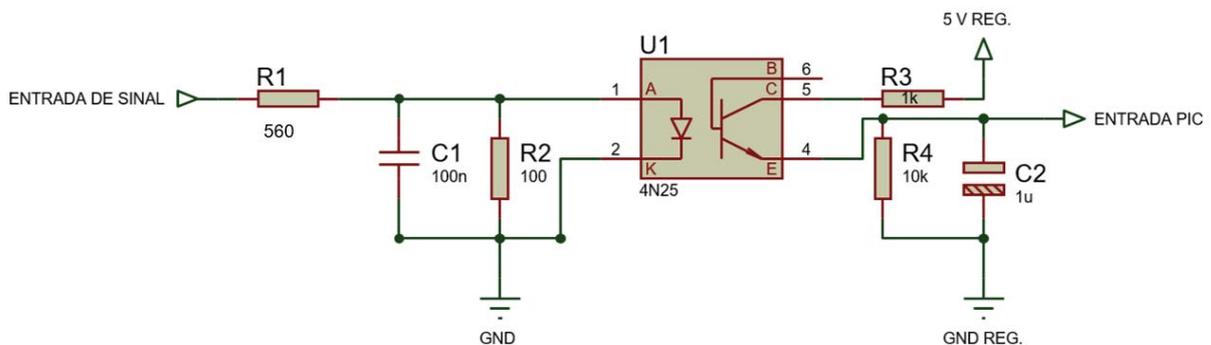
seguiu as recomendações do fabricante, em *datasheet*, para cada um dos modelos de reguladores. O capacitor eletrolítico (C33) da entrada é maior pela incumbência de filtrar possíveis ruídos originários da fonte.

Os diodos zener (D2 e D3), são utilizados para grampear a tensão de entrada dos reguladores 1 e 2, visto que, os surtos de tensões promovidos pelo acionamento de cargas da fonte de 24 Vdc são repassados pelos reguladores de tensão no instante transitório. Os modelos selecionados 1N4750A (D2) e 1N4744A (D3) grampeiam a tensão para 27 V e 15 V respectivamente.

Ainda, foi aplicado um resistor de 10  $\Omega$  com o exclusivo objetivo de controlar a corrente da fonte de 24 Vdc, quando os diodos zener grampearem as sobretensões.

Além de regular a tensão de alimentação do micro controlador e garantir uma tensão estabilizada, foi necessário também desenvolver um sistema elétrico com proteção em todas as entradas de sinal do mesmo. Ou seja, para cada uma das entradas: do botão seletor de início, do relé dos botões de emergência, dos cinco sensores indutivos e dos quatro *inputs* do micro controlador da cabine de pintura, foram instalados o sistema de isolamento e atenuação de ruídos, projetado conforme a Figura 23.

Figura 23 – Diagrama elétrico de proteção das entradas de sinal



Fonte: O autor (2019)

De acordo com o mencionado anteriormente, para correto funcionamento dos sensores e a distribuição do sinal em um ambiente de fábrica, com elevado índice de ruído devido a aplicação de inúmeros equipamentos, foi necessário a utilização de uma diferença de potencial de 24 V na alimentação dos sensores e transição do sinal. Para garantir uma imunidade de ruído ao micro controlador, utilizou-se uma interface que isole os circuitos de sinais dos circuitos de comando.

Um dos dispositivos eletrônicos mais conhecidos e utilizados, para desempenhar o papel descrito acima, são os circuitos integrados opto acopladores, visto que possuem uma grande imunidade a ruídos e interferências. Este componente apresenta uma isolação interna entre emissor e receptor, seu funcionamento baseia-se no efeito fotoelétrico, onde um feixe de luz infravermelha, oriunda do diodo LED interno, polariza a base do fototransistor, que satura e diminui a resistência do canal entre coletor e emissor, induzindo a produção de corrente no coletor que aciona a carga, ficando sua saída totalmente imune aos ruídos elétricos do lado de entrada (GONZAGA, 2015). Em virtude dessa característica de operação o opto acoplador 4N25 foi adotado em todas as entradas de sinal. Além de o mesmo apresentar características que permitiram sua empregabilidade na aplicação, como a tensão de operação e corrente de polarização do diodo atuar na faixa de corrente do sensor indutivo.

A partir da definição em utilizar o circuito integrado 4N25 como meio de isolação, realizou-se alguns cálculos considerando as características deste componente, em *datasheet*, para projeção dos demais elementos que compuseram o diagrama elétrico das entradas. Em consulta a folha de dados, extraiu-se a informação de queda de tensão máxima de 1,5 V no diodo LED interno. Identificou-se, também, o valor 80 miliampères (mA) como a máxima corrente no LED, sendo que o ideal, para garantia de não o sobrecarregar e ocasionar dano ao componente, é trabalhar com uma faixa menor que 50 mA. Assim sendo, assumiram-se esses valores para cálculo aproximado do resistor (R1) de trabalho, conforme Equação 3.

$$R1 = \frac{V_{\text{fonte}} - V(\text{LED})}{I_F} = \frac{24 \text{ V} - 1,5 \text{ V}}{50 \text{ mA}} = 450 \Omega \quad (3)$$

Com base no resultado da Equação (3), adotou-se aplicação de um resistor comercial de 560  $\Omega$ , a fim de minimizar a temperatura em operação e reduzir ainda mais a corrente, que se conduziu para a grandeza final indicada na Equação 4.

$$I1 = \frac{V_{\text{fonte}} - V(\text{LED})}{R1} = \frac{24 \text{ V} - 1,5 \text{ V}}{560 \Omega} = 40,2 \text{ mA} \quad (4)$$

Para definição da dimensão de potência do resistor (R1), efetuou-se o cálculo da Equação 5. Com base no resultado e na disponibilidade do mercado, adquiriu-se resistores de 2 *watts* (W) de potência.

$$P = \frac{[V_{\text{fonte}} - V(\text{LED})]^2}{R1} = \frac{(24 \text{ V} - 1,5 \text{ V})^2}{560 \Omega} = 0,9 \text{ W} \quad (5)$$

O resistor (R2), assim como o capacitor (C1), foram aplicados objetivando assegurar a estabilidade da entrada de sinal no opto acoplador. No que tange a determinação de magnitude do resistor (R2), o mesmo foi inicialmente admitido com a magnitude de  $100 \Omega$  e, então, efetuada Equação 6 para verificação da corrente final aplicada ao LED.

$$I(R1) = \frac{V(\text{LED})}{R1} = \frac{1,5 \text{ V}}{100} = 15 \text{ mA} \quad (6)$$

Logo, pela lei de *Kirchhoff*, tem-se a Equação 7 que resulta em uma corrente no LED de 25,2 mA, ou seja, menor do que a faixa de 50 mA admitida anteriormente.

$$I(\text{LED}) = I1 - I(R1) = 40,2 \text{ mA} - 15 \text{ mA} = 25,2 \text{ mA} \quad (7)$$

Analisando a interface de comando, assumiu-se a aplicabilidade de uma corrente de 5mA no coletor, por conseguinte o resistor (R3) foi calculado em concordância com a Equação 8.

$$I(R3) = \frac{V(\text{REG})}{Ic} = \frac{5 \text{ V}}{5 \text{ mA}} = 1 \text{ k}\Omega \quad (8)$$

O resistor (R4) e capacitor (C2) foram empregados de modo a efetuar a filtragem do sinal na entrada do micro controlador, seus valores foram adotados em concordância com práticas usuais para essa categoria de aplicação. A partir dos valores temos uma frequência de corte do sistema na descarga conforme Equação 9 e Equação 10.

$$\tau = R4 \times C2 = 10 \text{ k}\Omega \times 1 \mu\text{F} = 10 \text{ m seg.} \quad (9)$$

$$f = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{10 \text{ m seg.}} = 100 \text{ Hz} \quad (10)$$

Ou seja, um filtro passa baixa que elimina os possíveis ruídos oriundos da indústria e da rede, protegendo, assim, a entrada do sinal no micro controlador.

Ainda, precisou-se estimar a necessidade máxima de corrente da fonte, para dimensionamento desta. De modo geral, considerou-se a corrente de comutação efetiva de cada

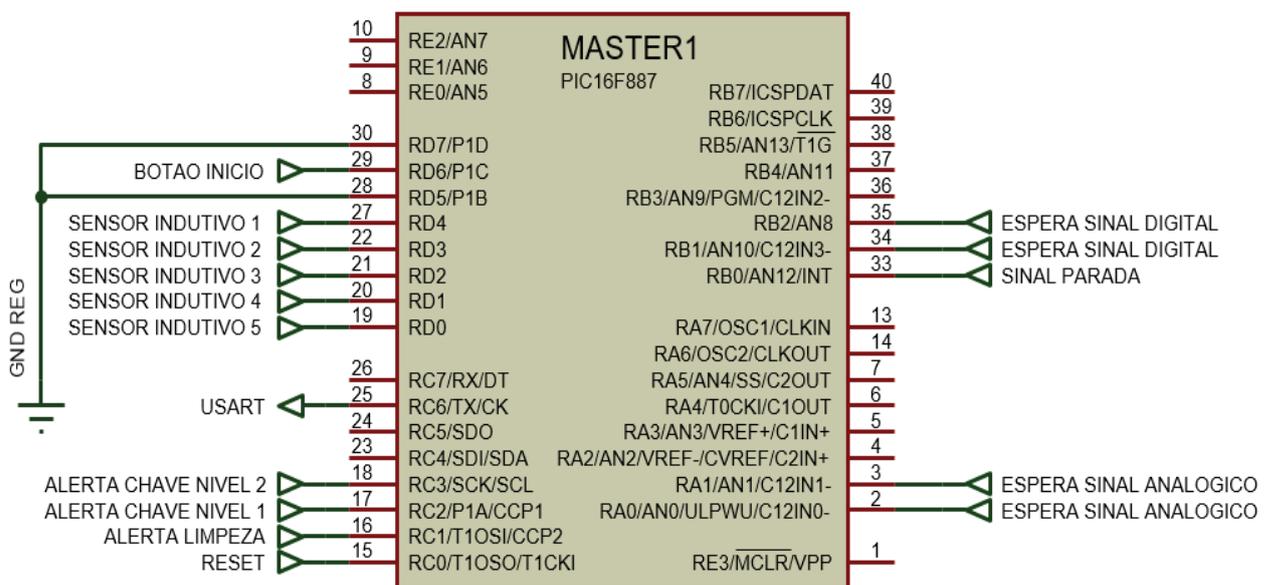
sensor indutivo, calculada na Equação 4, em soma com a corrente de retenção dos mesmos e o a corrente de consumo da placa (sendo os dois últimos valores obtidos através de medição em laboratório). O que deliberou no emprego de uma fonte de pelo menos 1 A, conforme demonstra a Equação 11.

$$I(\text{FONTE}) = (I_{\text{COMUTAÇÃO}} \times 5) + (I_{\text{CONSUMO}} \times 5) + I_{\text{CONSUMO\_PLACA}} \quad (11)$$

$$I(\text{FONTE}) = (40,2 \text{ mA} \times 5) + (6,31 \text{ mA} \times 5) + 50,87 \text{ mA} = 283,37 \text{ mA}$$

Para concluir a estruturação do *hardware*, as entradas de sinal do micro controlador foram configuradas conforme ilustra a Figura 24. Sendo as entradas da porta B destinadas ao monitoramento do sinal da parada de linha atual e preparação de incremento futuro. Enquanto que as entradas da porta C destinadas ao acompanhamento das ativações de alertas e reset da cabine de pintura. Na porta D, por sua vez, foram conectados o botão de start da linha e os sensores indutivos de monitoramento dos lotes, sendo ainda, conectado os pinos 30 e 28 ao GND regulado, de modo a evitar que as portas fiquem flutuando e garantindo que todas as possíveis combinações de códigos binários configurem um caractere transmissível segundo a tabela ASCII. Ainda, os pinos 2 e 3 da porta A forma preparados para aquisição de futuro sinal analógico. O diagrama elétrico final pode ser consultado no Apêndice A.

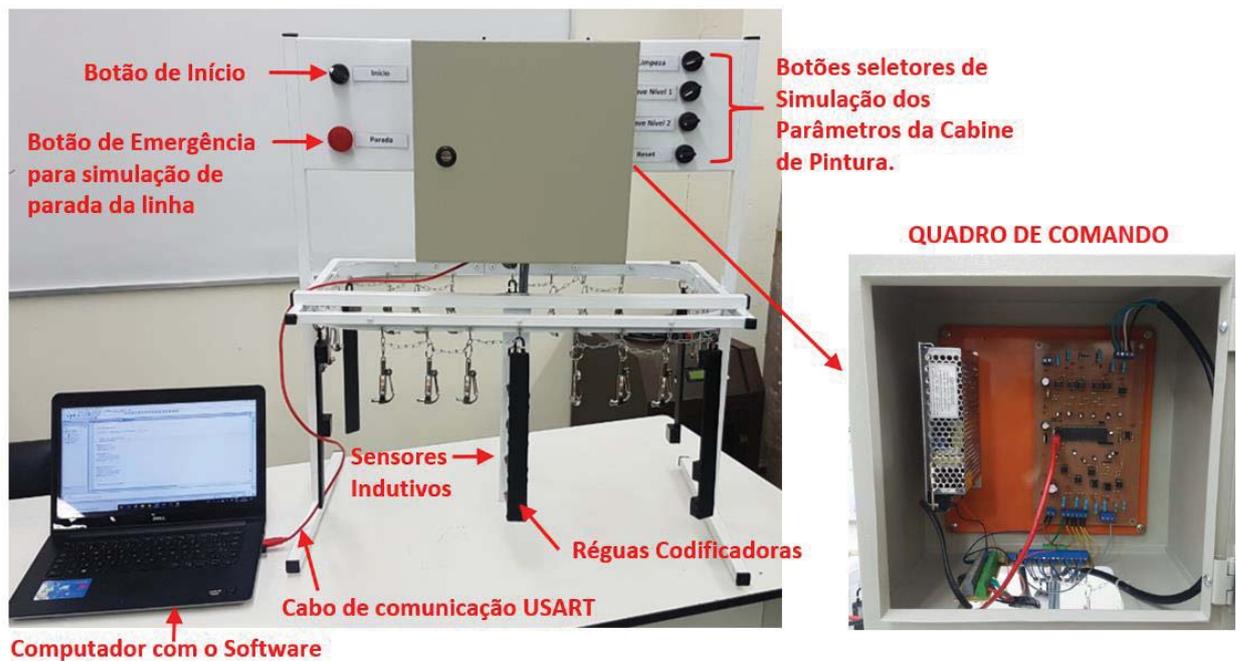
Figura 24 – Entradas de sinal no Micro controlador



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para que fosse possível a validação de operacionalização do sistema e a extração dos resultados, foi desenvolvido uma maquete que simula uma linha de pintura. A mesma contempla botão de início do sistema, botão de emergência para simulação de parada da linha, três botões seletores para simulação dos *inputs* de alertas da cabine de pintura e um botão seletor para simular o reset de manutenção, quando finalizar a tarefa sinalizada no alerta da cabine de pintura. Ademais, foram desenvolvidas algumas réguas codificadoras para simulação e instalados os cinco sensores indutivos de detecção. No quadro de comando, estão instalados a fonte de alimentação 24 Vdc e a placa de circuito impresso. A Figura 25 ilustra a maquete.

Figura 25 – Maquete para Simulação



Fonte: O autor (2019)

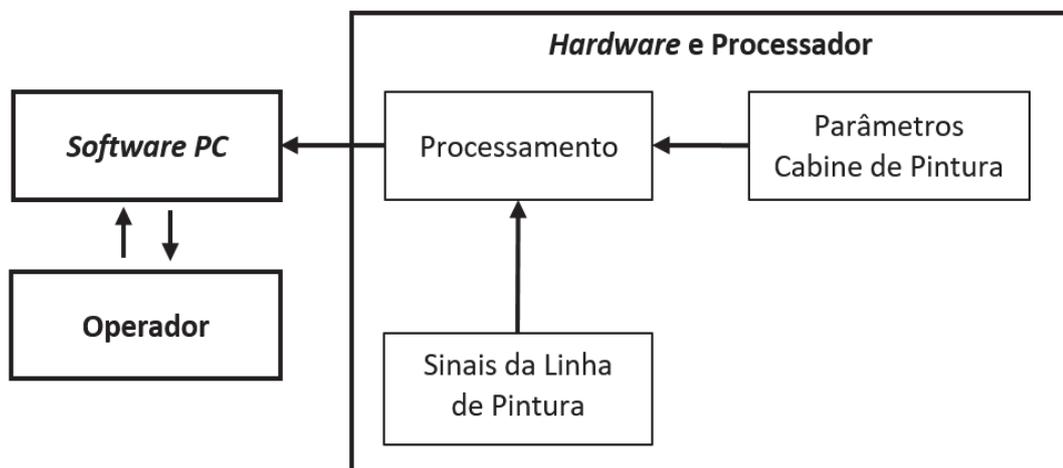
Quanto aos resultados obtidos no projeto, entende-se que o *software* de interface final traduz de forma simples os dados contemplados no escopo do projeto. De modo que, possa ser realizado o gerenciamento virtual do processo de pintura, acelerando as tomadas de decisão no que engloba o acompanhamento diário da produção, bem como administrar atividades preventivas e desenvolvimento de projetos de melhoria.

#### 4.1 DESIGN DO SOFTWARE DE INTERFACE

O desenvolvimento da interface de interação com o usuário e de comunicação com o *hardware* e processador foi realizado em parceria com especialista da área de *software*. Validada e testada conforme escopo do projeto e informações projetadas para serem transmitidas pelo programa do processador elaborado.

O software de interação apresenta-se com uma aparência simples e amigável, a fim de promover a clareza das informações e tornar o seu uso intuitivo. Ao acessá-lo aparece uma tela de *login*, onde haverá duas extensões. Uma delas é o acesso para gerenciamento, na qual é permitido apenas consultar os dados de histórico (dos alertas e paradas de linha) e efetuar o acompanhamento da produção em tempo real. A segunda corresponde ao acesso do operador ao sistema, ou seja, neste caso está habilitado o recurso de entrada das informações sobre os lotes que estão sendo carregados na linha de pintura. Para o primeiro, o acesso pode ser realizado de qualquer ponto da fábrica e por qualquer gestor que tenha permissão. Enquanto que, o segundo obrigatoriamente precisa estar conectado ao sistema de *hardware* desenvolvido, porque opera mediante os *inputs* de comando deste. A Figura 26 ilustra como deve ocorrer a interação do sistema.

Figura 26 – Diagrama de blocos da Interação do Sistema



Fonte: O autor (2019)

Primeiramente o operador acessará o *login* de operacionalização do sistema, que terá o aspecto representado na Figura 27, ou seja, o mesmo se apresenta em estado de espera, aguardando o sinal do microprocessador de que a linha de pintura foi ligada.

Figura 27 – Design Geral do Software de Interface ao acessar



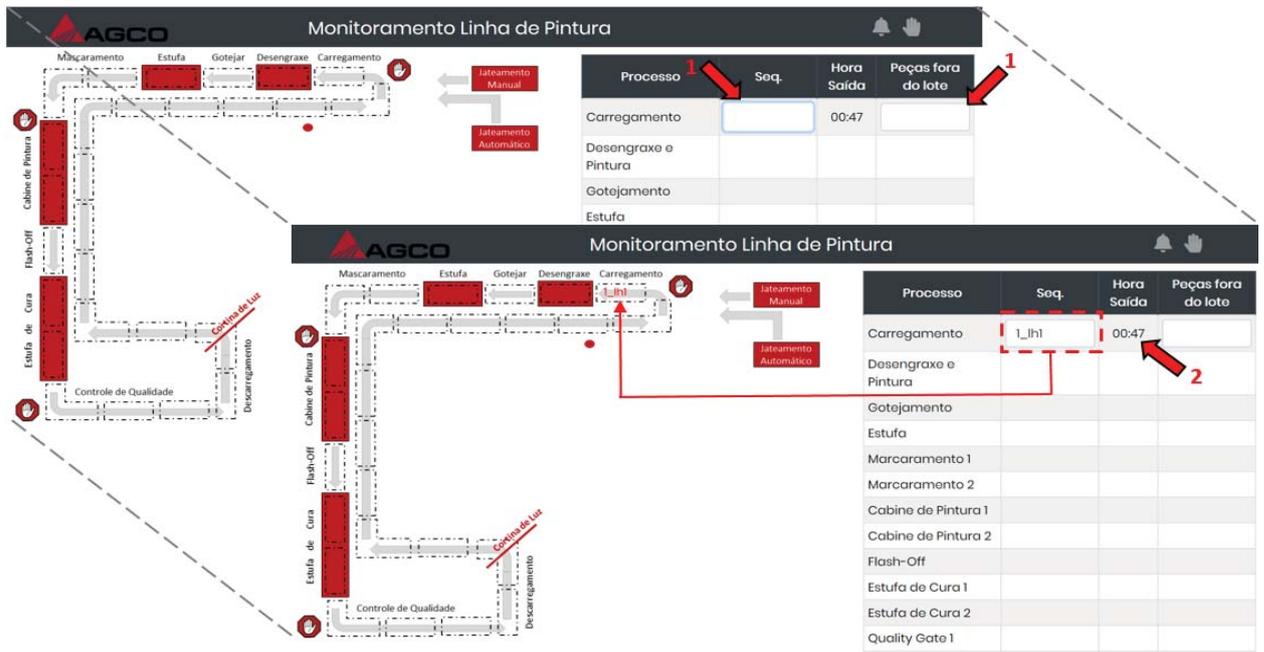
Fonte: O autor (2019)

Quando a linha de pintura inicia a operação, o *software* libera alguns campos de preenchimento para integração de informação com o operador. Essa integração ocorre conforme passo a passo descrito a seguir.

**Passo 1:** Atividade de preenchimento manual, por parte do operador, do campo de sequência (Seq.), ou seja, informação do lote de peças que está sendo carregada na linha de pintura. Bem como, o preenchimento de alguma observação de peças fora do lote. Ambos os campos estão destacados pela seta vermelha 1 na Figura 28. Automaticamente, a informação registrada será carregada na representação virtual da linha de pintura, com o objetivo de simular o avanço de processo e assegurar uma rápida e amigável visualização do cenário da linha de pintura na prática (indicação do bloco tracejado e seta na Figura 28).

**Passo 2:** O cadastro mencionado anteriormente deve ser realizado sempre antes de iniciar o carregamento das peças, uma vez que, no instante em que for preenchida a informação, o sistema verifica a hora e calcula o tempo estimado de liberação do lote no último processo, considerando o tempo padrão de sete minutos de procedimento em cada etapa, somando-o aos três minutos de movimentação da linha na alteração entre os estágios, conforme destaca a seta vermelha número 2 da Figura 28.

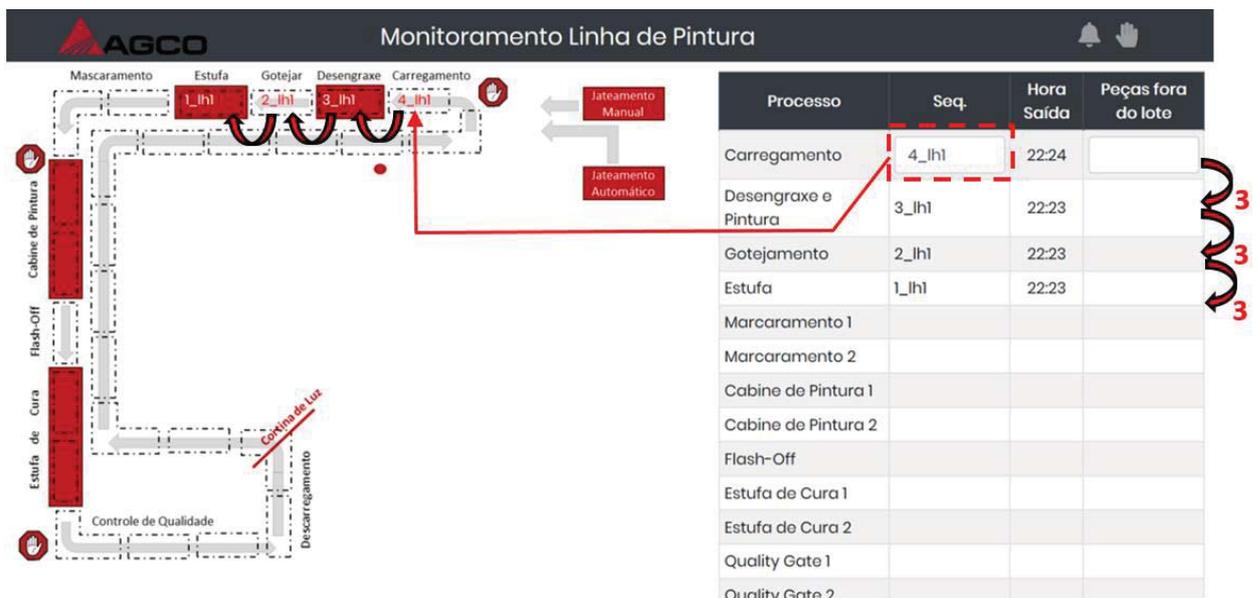
Figura 28 – Design Geral do Software de Interface Passo 1 e Passo 2



Fonte: O autor (2019)

**Passo 3:** Quando o *hardware* e processador, conectados ao *software*, detectam uma alteração de posição da linha, transmitem ao sistema a informação de avanço de estágio. Dessa forma, a interface visualizar mostrará o empilhamento dos dados pertinentes aos lotes já cadastrados e uma nova linha é liberada para cadastro do novo lote de trabalho, conforme ilustra a Figura 29.

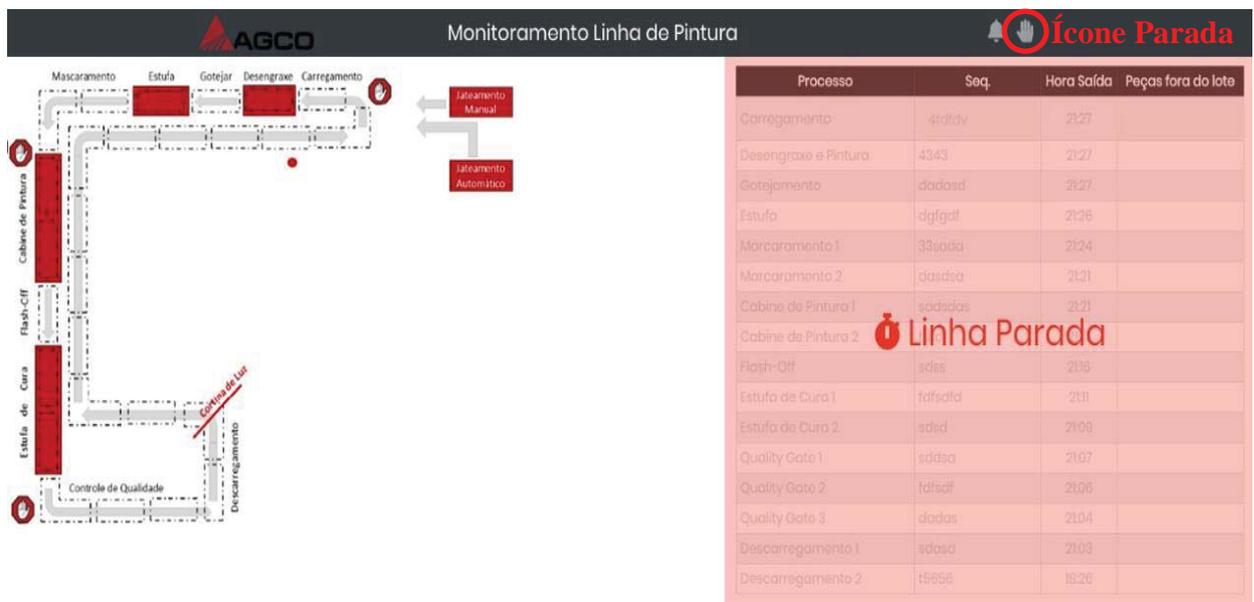
Figura 29 – Design Geral do Software de Interface Passo 3



Fonte: O autor (2019)

Quando, na prática, ocorrer o acionamento de parada, o bloco de *hardware* e processador gerenciam essa informação, avisando ao sistema que ocorreu uma interrupção da produção, esse responde exibindo claramente no *website* que a linha de pintura está travada. No retorno da parada ocorre o mesmo fluxo de tarefas, porém resultando na informação de que a linha voltou a operar. A ilustração da Figura 30 exibe o design da página quando a linha de pintura está parada.

Figura 30 – Design da Interface Principal quando a linha está Parada



Fonte: O autor (2019)

Se o usuário acessar o ícone parada, destacado na Figura 30, poderá visualizar o registro histórico de data, intervalo de tempo de pausa e informação de quais lotes de peças estavam sendo processados nos possíveis pontos de acionamento do travamento. Permitindo, assim, que se interprete quais os modelos de peças em que o acionamento de parada é mais corriqueiro, em que período do dia ocorre com mais frequência, qual foi o tempo total de desperdício no turno e, conseqüentemente, possibilitar à gestão elaboração de plano de ações, que efetuem as ações necessárias para minimizar os impactos produtivos. A Figura 31 representa como os registros são transmitidos ao cliente.

Figura 31 – Design do Histórico de Paradas

Início	Fim	Peças
25/06 07:59	25/06 08:00	Carregamento= 2_lh1

Fechar

Processo: Marcaramento 1, Marcaramento 2, Cabine de Pintura 1, Cabine de Pintura 2, Flash-Off, Estufa de Cura 1, Estufa de Cura 2, Quality Gate 1, Quality Gate 2

Fonte: O autor (2019)

Há, ainda, o ícone de alertas, destacado na Figura 32, nele são notificadas as informações oriundas dos parâmetros da cabine de pintura, de modo a informar ao gestor e setor de manutenção, quando devem ser realizadas limpezas na cabine de pintura ou quando ocorrer falha em algum dos sensores. Esse recurso visa a minimização dos impactos na qualidade da pintura por contaminação e risco de, por exemplo, inundação no poço d'água por falha de sensoriamento.

Figura 32 – Design do Histórico de Alertas

Data	Notificação
25/06 08:04	Falha sensor de Nível 1.
25/06 08:04	Falha sensor de Nível 2.
25/06 08:03	Contaminação crítica da cabine: Realize limpeza corretiva!

Fechar

Processo: Flash-Off, Estufa de Cura 1, Estufa de Cura 2, Quality Gate 1, Quality Gate 2

1 nova notificação

Fonte: O autor (2019).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do desenvolvimento e implementação do sistema se estima melhorar o resultado operacional da empresa, no que compete à ganhos de produtividade e ganhos de qualidade. O primeiro sendo atingido através da eliminação do tempo necessário para os operadores realizarem manualmente as operações de monitoramento dos lotes ao longo da linha de pintura. Uma vez que será possível acompanhar a produção em tempo real, acessando, de qualquer computador, o *software* de interface.

No que compete ao ganho de qualidade, se espera diminuir os índices de peças com sujeira e má qualidade de acabamento, devido a contaminação da cabine eletrostática. Entende-se que, com os alertas de limpeza e falhas de sensores, será possível efetuar a manutenção preventiva, antes que o nível de sujeira na cabine venha a impactar os indicadores de qualidade da fábrica.

Ainda, será possível gerenciar planos de atividades para melhora da performance de produção, por meio da interpretação dos registros de paradas.

Quanto ao sistema desenvolvido, observou-se um comportamento conforme desejado, em simulação, foi possível verificar a correta comunicação do conjunto *hardware* e processador com o *software* de interface, provendo como resultado os dados objetivados. Ademais, ao longo do desenvolvimento do projeto, verificou-se incrementos de monitoramento ao sistema, como, por exemplo, da temperatura das estufas de secagem e cura, sendo que o diagrama elétrico já foi projetado de modo a atender essa demanda, deixando entradas digitais e analógicas na placa desenvolvida.

O desempenho do sistema de um modo geral atende à todos os objetivos propostos no escopo do projeto, ou seja, o monitoramento sequencial de entrada e liberação dos lotes de peças na linha de pintura, rastreando o avanço de processo e projetando as estimativas dos horários de liberação. Bem como, o acompanhamento e registro das paradas da linha, acompanhamento das condições da cabine de pintura e informação de alerta de manutenção em caso de falhas nos sensores de nível d'água.

## REFERÊNCIAS

AGCO Corporation. **Global Master Color Panel Control Procedure**, 2005.

AGCO Your Agriculture Company. **Indicadores Internos de Qualidade**. Ibirubá: AGCO, 2017.

ALLEN BRADLEY. **Technical Data**, 2013. Disponível em: <[http://search.rockwellautomation.com/search?q=+powerflex+40&inbound=All&requiredfields=&client=literature&filter=0&ie=UTF-8&oe=UTF-8&output=xml\\_no\\_dtd&proxystylesheet=literature&site=literature&getfields=\\*&lang=en&hl=en&sitelang=en&dnavs=+powerflex+40](http://search.rockwellautomation.com/search?q=+powerflex+40&inbound=All&requiredfields=&client=literature&filter=0&ie=UTF-8&oe=UTF-8&output=xml_no_dtd&proxystylesheet=literature&site=literature&getfields=*&lang=en&hl=en&sitelang=en&dnavs=+powerflex+40)>. Acessado em: 28 out. 2017.

APPEL, Eduardo. **EEE133 – Microprocessadores I**. Passo Fundo: FEAR – Engenharia Elétrica, 2015.

ASSIS, Vinícius Valverde de. **Docente da PUC-Rio: controle de estoque com a utilização do Sistema Kanban**. 2010. 90 f. Dissertação (Mestrado em engenharia de produção) – Faculdade de Engenharia de Produção, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

CONTEC COMISSÃO DE NORMATIZAÇÃO TÉCNICA. **Requisitos Técnicos para Serviços de Pintura** [manual técnico]: PETROBRÁS, 2016. Disponível em: <[http://sites.petrobras.com.br/CanalFornecedor/portugues/requisitocontratacao/requisito\\_normastecnicas.asp](http://sites.petrobras.com.br/CanalFornecedor/portugues/requisitocontratacao/requisito_normastecnicas.asp)>. Acessado em: 15 out. 2017.

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

GNECCO, Celso; MARIANO, Roberto; FERNANDES, Fernando. **Tratamento de Superfície e Pintura**. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2003.

GODINHO FILHO, Moacir; FERNADES, Flávio César Faria. Manufatura Enxuta: uma revisão que classifica e analisa os trabalhos apontando perspectivas de pesquisas futuras. **Revista Gestão & Produção**, São Paulo, v. 11, n. 1, p. 1-19, jan./abr. 2004.

GONZAGA, Diego; **Circuito de interface para microcontroladores** [reportagem]: EMBARCADOS, 2015. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/circuito-de-interface-para-microcontroladores/>>. Acessado em: 09/06/2019.

GUINATTO, P. **Sistema Toyota de Produção: mais do que simplesmente just-in-time**. Caxias do Sul: Universidade de Caxias do Sul, 1996.

KRÄNKEL, Fábio. **Pintura Industrial com Tintas Líquidas** [manual técnico]: WEG Tintas Ltda, 2014. Disponível em: <<http://old.weg.net/br/Media-Center/Central-de->

Downloads/Resultado-da-Busca/(byURL)/br%7CProdutos-e-Servicos%7CTintas-e-Vernizes%7CTintas-Liquidas%7CIndustriais >. Acesso em: 13 out. 2017.

LEVANDOSKI, Joan Michel. **Engenharia de Automação Industrial**. Passo Fundo: FEAR – Engenharia Elétrica, 2018.

LIKER, Jeffret K. **O Modelo Toyota**: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005

**MANUAL de Instruções** [manual técnico]: SENSE sensors & instruments, 2019. Disponível em: <[https://www.sense.com.br/arquivos/produtos/arq2/Sensor\\_Indutivo\\_Dis\\_Aum\\_Manual\\_de\\_Instala%C3%A7%C3%A3o\\_Rev\\_E.pdf](https://www.sense.com.br/arquivos/produtos/arq2/Sensor_Indutivo_Dis_Aum_Manual_de_Instala%C3%A7%C3%A3o_Rev_E.pdf)>. Acessado em: 02 jun. 2019.

MERÇON, Fábio; GUIMARÃES, Pedro Ivo Canesso; MAINIER, Fernando Benedito. Corrosão: Um exemplo usual de fenômeno químico. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 19, p. 11-14, maio. 2004. Disponível em: < <http://qnesc.s bq.org.br/edicao.php?idEdicao=31>>. Acesso em: 13 out. 2017.

MICHAELIS. **Dicionário Escolar Língua Portuguesa**. 3. ed. São Paulo: Melhoramentos, 2009.

MONDEN, Yasuhiro. **Sistema Toyota de Produção**: Uma abordagem integrada *ao just-in-time*. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

**PREPARAÇÃO de Superfície** [manual técnico]: WEG Tintas Ltda, 2008. Disponível em: <<http://old.weg.net/br/Media-Center/Central-de-Downloads/Resultado-da-Busca?keyword=SUPERF%C3%8DCIE&x=32&y=5>>. Acesso em: 17 out. 2017.

ROSS, Samuel. **Procedimento Operacional Padrão CP-0002**. Ibirubá: AGCO, 2015.

ROSS, Samuel; IGNÁCIO, Alex. **Exaustão Cabine de Pintura**: relatório sobre fatores que afetam a eficiência do sistema. Ibirubá: AGCO, 2015.

SENSE Sensors & Instruments. **Sensores de Proximidade Indutivos** [catálogo]: SENSE, 2019. Disponível em:<  
[https://www.sense.com.br/siter/familias/1?gclid=EAIAIQobChMlla2jmaP33wIVBgmRCh1JgwFGEAAYASAAEgLw\\_fD\\_BwE](https://www.sense.com.br/siter/familias/1?gclid=EAIAIQobChMlla2jmaP33wIVBgmRCh1JgwFGEAAYASAAEgLw_fD_BwE)>. Acessado em: 18 jan. 2019.

SHINGO, Shigeo. **O Sistema Toyota de Produção**: do ponto de vista da engenharia de produção. Tradução de Eduardo Schaan. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SOARES, Valentina de Lourdes Milani de Paula Soares. **Docentes da UFSC**: aplicação e implantação do controle estatístico de processo em pintura industrial.2003. 114 f. Dissertação (Mestrado em engenharia de produção) – Faculdade de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

## APÊNDICE A – DIAGRAMA ELÉTRICO COMPLETO

