

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

LEANDRO FELIPE LOURENÇO

**ESTUDO SOBRE DIMENSIONAMENTO DE UMA MÁQUINA DE
PRENSAGEM E PARAFUSAMENTO**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2019

LEANDRO FELIPE LOURENÇO

**ESTUDO SOBRE DIMENSIONAMENTO DE UMA MÁQUINA DE
PRENSAGEM E PARAFUSAMENTO**

Monografia de Especialização, apresentada ao Curso de Especialização em Automação Industrial, do Departamento Acadêmico de Eletrônica – DAELN, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. M. Sc. Sílvio Cesar Bortolini

CURITIBA
2019



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Curitiba

Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Departamento Acadêmico de Eletrônica
Curso de Especialização em Automação Industrial



TERMO DE APROVAÇÃO

ESTUDO SOBRE DIMENSIONAMENTO DE UMA MÁQUINA DE PRENSAGEM E PARAFUSAMENTO

por

LEANDRO FELIPE LOURENÇO

Esta monografia foi apresentada em 04 de Dezembro de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Automação Industrial. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Profa. M. Sc. Sílvio Cesar Bortolini
Orientador

Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas
Membro titular

Prof. M. Sc. Omero Francisco Bertol
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

RESUMO

LOURENÇO, Leandro Felipe. **Estudo sobre dimensionamento de uma máquina de prensagem e parafusamento**. 2019. 34 p. Monografia de Especialização em Automação Industrial, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

O presente trabalho apresenta o estudo do desenvolvimento de uma estação de trabalho que faz parte de uma linha de montagem em uma empresa do setor metalúrgico. O estudo é direcionado ao levantamento das características utilizadas para o dimensionamento técnico da máquina através da análise dos diversos componentes que foram empregados na construção da estação. Descreve brevemente os principais componentes, mostrando as vantagens e desvantagens dos mesmos. Essa proposta tem por finalidade atender as necessidades de formação de conhecimento, e também de avaliar se os componentes empregados não foram subdimensionados ou sobre dimensionados.

Palavras-chave: Automação. Processo produtivo. Tecnologia industrial.

ABSTRACT

LOURENÇO, Leandro Felipe. **Study about the dimensioning of a workstation with pressing and screwing operations**. 2019. 34 p. Monografia de Especialização em Automação Industrial, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

This paper presents the study of the development of a workstation that is part of an assembly line inside a metallurgical company. The study is intended to assess the characteristics used for the technical design of the machine through the analysis of the various components that were used in the construction of the station. It briefly describes the main components, showing their advantages and disadvantages. This proposal aims to meet the needs of knowledge formation, and also to assess whether the components employed were not undersized or over-sized.

Keywords: Automation. Production process. Industrial technology.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Modelo de um sistema de automação de máquinas | 11 |
| Figura 2 - Tecnologias da I4.0..... | 13 |
| Figura 3 - Controlador Lógico Programável (CLP) | 15 |
| Figura 4 - Identificação dos componentes da MVP | 21 |
| Figura 5 - Fluxo de operações automáticas | 22 |
| Figura 6 - CLP Beckhoff | 24 |
| Figura 7 - Adaptação de um exemplo de I/O distribuído com controle centralizado.. | 25 |
| Figura 8 - Sinalizador Murr | 26 |
| Figura 9 - Indicador luminoso Banner | 26 |
| Figura 10 - Célula de carga Gefran | 27 |
| Figura 11 - Transdutor de deslocamento Gefran..... | 27 |
| Figura 12 - Sensor laser Sick | 28 |
| Figura 13 - Bloco de válvulas SMC | 29 |
| Figura 14 - Conjunto rastreabilidade | 30 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Etapas de montagem da bomba de vácuo..... | 20 |
| Tabela 2 - Operações X tipo de bomba..... | 21 |
| Tabela 3 - Fluxo de operações manuais da estação 30..... | 22 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|------|--|
| CLP | Controlador Lógico Programável |
| I/O | <i>In / Out</i> |
| IHM | Interface Homem Máquina |
| IoT | <i>Internet of Things</i> – Internet das Coisas |
| LAN | <i>Local Area Network</i> – Rede Local |
| MVP | <i>Mechanical Vacuum Pump</i> |
| NRV | <i>Non-Return Valve</i> |
| RFID | <i>Radio Frequency Identification</i> |
| ST | <i>Station</i> |
| TCCE | Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 9 |
| 1.1 OBJETIVOS | 9 |
| 1.1.1 Objetivo Geral | 9 |
| 1.1.2 Objetivos Específicos | 10 |
| 1.2 JUSTIFICATIVA | 10 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 11 |
| 2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL | 11 |
| 2.2 INTRODUÇÃO À CONECTIVIDADE | 13 |
| 2.2.1 Surgimento da Conectividade | 13 |
| 2.2.2 Importância da Conectividade | 14 |
| 2.2.3 Futuro da Conectividade | 14 |
| 2.3 CONTROLADORES PROGRAMÁVEIS | 15 |
| 2.4 REDES INDUSTRIAIS | 16 |
| 2.4.1 Ethernet Industrial | 17 |
| 2.4.2 EtherCat | 18 |
| 3 ESTUDO DE CASO | 20 |
| 3.1 DETALHAMENTO DA MÁQUINA | 21 |
| 3.2 SELEÇÃO DOS EQUIPAMENTOS | 23 |
| 3.2.1 Controlador Lógico Programável (CLP) | 23 |
| 3.2.2 Interface Homem Máquina (IHM) | 24 |
| 3.2.3 Distribuidores | 25 |
| 3.2.4 Sinalizações | 25 |
| 3.2.5 Equipamentos de Medição | 27 |
| 3.2.6 Sensores | 28 |
| 3.2.7 Bloco de Válvulas Pneumático | 28 |
| 3.2.8 Leitor RFID | 29 |
| 3.2.9 Quantidades de I/O | 30 |
| 3.2.10 Interfaces de Comunicação | 31 |
| 4 CONCLUSÃO | 32 |
| REFERÊNCIAS | 33 |

1 INTRODUÇÃO

As tendências presentes hoje na indústria mundial, se não forem acompanhadas pelo Brasil, podem muito bem aprofundar o processo de regressão industrial, isto é, de declínio da participação relativa da indústria na estrutura econômica do país, algo que tem-se testemunhado quase que sistematicamente desde o final dos anos 1980. Por isso, é fundamental sair do estado letárgico que as dificuldades recentes colocaram e se comece a pensar estrategicamente o futuro (ALMEIDA; CAGNIN, 2019).

O presente trabalho visa demonstrar, principalmente através de pesquisas literárias, quais são as tendências mundiais de tecnologia para máquinas industriais e realizar um estudo comparativo com uma máquina recém construída pela equipe de automação da Robert Bosch Ltda. Descrevendo um relatório avaliando se as tecnologias utilizadas foram adequadas para acompanhar a revolução industrial que vem ocorrendo no mundo, e mais lentamente no Brasil.

Os efeitos dessa revolução serão transversais a todas as atividades econômicas, incluindo os serviços e a agropecuária, mas apresentam o potencial de reconfigurar o setor industrial, alavancando expressivamente a produtividade, alterando profundamente modelos de negócios e as competências necessárias para a maior agregação de valor ao longo das cadeias. É a este fenômeno que se referem os termos “indústria 4.0”, “manufatura avançada”, ou então simplesmente “indústria do futuro” (ALMEIDA; CAGNIN, 2019, 2019).

1.1 OBJETIVOS

Neste tópico serão explicados o objetivo geral deste trabalho e os objetivos específicos que se pretendem atingir.

1.1.1 Objetivo Geral

Análise das tecnologias aplicadas em uma máquina construída recentemente pelos engenheiros de automação de uma fábrica metalúrgica, avaliando se os componentes da máquina foram dimensionados corretamente para atender o melhor custo benefício e ao mesmo tempo atendendo as exigências da Indústria 4.0.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para atender ao objetivo geral neste trabalho de conclusão de curso de especialização os seguintes objetivos específicos serão abordados:

- Pesquisar as tendências tecnológicas na fabricação de máquinas especiais para a indústria metalúrgica;
- Estudar como foi o desenvolvimento de uma máquina de prensagem e parafusamento, assim como os itens empregados na construção da máquina;
- Avaliar se os componentes foram utilizados corretamente para seguir as tendências mundiais;
- Sugerir melhorias para quando a empresa for construir as próximas máquinas similares à do estudo.

1.2 JUSTIFICATIVA

Em um mercado em constante desenvolvimento, é de extrema importância que as empresas brasileiras acompanham essa tendência para continuarem atrativas e competitivas. A implementação de equipamentos atualizados e robustos é fundamental para a continuidade dos processos internos pois reduzem gastos com manutenção e otimizam os processos através da redução de tempo de ciclo, mão de obra, melhoras ergonômicas e diversos outros aspectos que serão explorados ao longo desse trabalho.

A necessidade de conhecimento sobre os equipamentos oferecidos no mercado de hoje para assim conseguir evitar desperdícios ou até mesmo problemas com o subdimensionamento das partes.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão explanados brevemente alguns conceitos de automação, conectividade e componentes utilizados para automatizar máquinas industriais.

2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

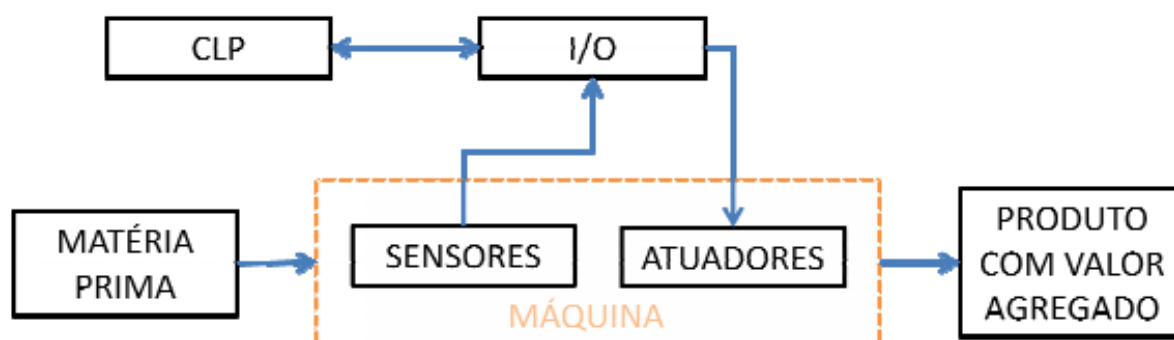
A automação industrial de um sistema é um procedimento mediante o qual as tarefas de produção que são realizadas por operadores humanos são transferidas a um conjunto de elementos tecnológicos levando-se em consideração possíveis eventualidades que possam ocorrer mantendo sempre a segurança e a qualidade (SILVEIRA, 2018).

Pode-se conceituar a automação industrial como sendo a junção de diversas ferramentas necessárias para produzir um determinado produto, fazendo com que haja pouca ou nenhuma intervenção humana durante o processo produtivo.

A compreensão da definição de um sistema é de fundamental importância para o entendimento da aplicação da automação do mesmo. De acordo com Rosário (2009), um sistema é a interação de diversos elementos combinados cujo funcionamento visa alcançar um objetivo comum.

A Figura 1, mostra uma forma de sistema de controle básico para automação.

Figura 1 - Modelo de um sistema de automação de máquinas



Fonte: Rosário (2009).

Ainda na Figura 1 pode-se identificar os seguintes componentes e suas respectivas funções no sistema:

- **Máquina:** É o conjunto de dispositivos mecânicos e elétricos responsáveis pela operação do sistema.
- **Matéria prima:** É a forma primitiva do produto, o qual deverá ser transformado pelo processo executado pela máquina.
- **Produto com valor agregado:** É a forma do produto após a transformação realizada pela máquina.
- **CLP:** É o controlador do sistema todo e sua função é torná-lo o mais automatizado possível de forma que a intervenção humana no processo de transformação seja mínima.
- **Entradas e saídas Digitais (I/O):** É a terminologia oriunda do inglês para a representação das entradas e saídas do controlador, responsáveis por fazer a interligação dos periféricos (atuadores e sensores) com o CLP.
- **Sensores:** São os responsáveis pela detecção dos diversos passos do processo de transformação da matéria, como exemplo pode-se citar os sensores indutivos, óticos, magnéticos, leitores de código de barras, ultrassônicos e outros.
- **Atuadores:** São os responsáveis diretamente pelo resultado final do produto, como exemplo pode-se citar os cilindros pneumáticos, motores, servo motores, garras, prensas, entre outros.

Do ponto de vista da automação, um sistema como o exemplificado, novamente na Figura 1, pode ser automatizado tanto quanto se queira, desde um nível simples de automação em que o operário é a parte vital para o funcionamento do processo de transformação, neste caso o sistema se limitaria a executar tarefas pesadas, difíceis ou inseguras ao ser humano até um nível altíssimo de automação, onde operário deixa de ser o executor e passa a ser o operador da máquina, acompanhando o processo através de monitores e interagindo com os resultados deste processo.

2.2 INTRODUÇÃO À CONECTIVIDADE

Neste subseção será mencionado de onde surgiu a necessidade da conectividade na era da indústria 4.0 e qual sua importância para uma empresa. Também será comentado qual o rumo esperado para a conectividade industrial e posteriormente será abordado os componentes responsáveis por tornar a empresa em uma instituição conectada.

2.2.1 Surgimento da Conectividade

A necessidade da conectividade dentro das indústrias nasceu com a chegada da Quarta Revolução Industrial, apelidada de Indústria 4.0, surgiu em meados de 2010 originária de um projeto na estratégia de alta tecnologia do governo alemão, que promove a informatização da fabricação e manufatura de produtos. devido ao aumento na demanda por produtos personalizados e a crescente evolução das tecnologias habilitadoras.

A Indústria 4.0 é a transformação digital da fabricação, alavancada por tecnologias como *Big Data/Analytics*, IoT – *Internet of Things* (ou Internet das Coisas), exigindo a convergência de Tecnologia da Informação e Tecnologia Operacional, robótica, computação cognitiva e processos de fabricação. Visando ter fábricas conectadas, fabricação inteligente descentralizada e sistemas de auto otimização. Algumas outras tecnologias podem ser observadas na Figura 2.

Figura 2 - Tecnologias da I4.0



Fonte: Teles (2018).

2.2.2 Importância da Conectividade

É essencial investir em conectividade e utilizar dados como ativos, ou seja, aplicar *cloud computing* e segurança de dados na estratégia. A informação é a chave. Mas a estratégia de negócio precisa utilizar tais dados a favor, com objetivo de otimizar processos e aproveitar oportunidades para entregar valor. Considerando as fontes tecnológicas como facilitadores estratégicos é possível entender o comportamento e necessidades dos consumidores e ampliar a proposta de valor a fim de aumentar a vantagem competitiva (SALTARELLI, 2018).

A conectividade dentro da indústria é fundamental para permitir o fornecimento de serviços a qualquer hora e em qualquer lugar. Elas facilitam a interação entre os usuários e a fonte dos dados. Aliás, essa é a vantagem da conectividade: acessar dados, áudio, vídeos e pessoas de qualquer lugar.

Além disso, a empresa deve ter em mente que tudo deve ser realizado com o máximo de segurança possível – o que geralmente é o “ponto falho” da maioria das soluções desenvolvidas para usuários. Uma visão completa do que precisa ser feito, o apoio de um parceiro de TI especializado em soluções de colaboração e uma infraestrutura de data center de qualidade adequada, vão fazer toda a diferença nesse sentido.

Em suma, é evidente que a conectividade deve ser implementada nas indústrias. Porém, somente a partir da compreensão do seu papel, bem como da combinação correta das tecnologias que viabilizam a colaboração, é que será possível alcançar a tão sonhada vantagem competitiva.

2.2.3 Futuro da Conectividade

Yin e Kaynak (2015) citam possíveis tendências para a quarta geração industrial, são elas:

- Novas técnicas e melhorias para análise de big data e mineração de dados;
- Soluções baseadas em nuvem para armazenamento e transmissão da big data;
- Soluções de big data focadas no controle e monitoramento de dados;
- Otimização de indústrias por meio do prognóstico de dados da big data;
- Soluções de big data para cadeia de suprimentos e sistemas de gerenciamento de riscos;

- Novas teorias de big data para aplicação industrial;
- Soluções de big data para redes elétricas inteligentes e fontes de energia renováveis.

2.3 CONTROLADORES PROGRAMÁVEIS

Os Controladores Lógicos Programáveis (CLP) vêm aumentando sua participação no mercado em diversas outras áreas, tais como automação predial, telecomunicações, transportes, armazenamento e estações de distribuição de energia elétrica. Os chamados nano e micro CLP, graças ao baixo custo e simplicidade, tem sido utilizado em aplicações como lavadores de carros, portões de garagens e sistemas de irrigação (IVERSEN, 2005).

Os Controladores Lógicos Programáveis (CLP), apresentados na Figura 3, são hoje a tecnologia de controle de processos industriais mais amplamente utilizada. Um CLP é um tipo de computador industrial que pode ser programado para executar funções de controle. Esses controladores reduziram muito a fiação associada aos circuitos de controle convencional a relé, além de apresentar outros benefícios, como a facilidade de programação e instalação, controle de alta velocidade, compatibilidade de rede, verificação de defeitos e conveniência de teste e alta confiabilidade.

Figura 3 - Controlador Lógico Programável (CLP)



Fonte: Autoria própria¹.

¹ Fonte: **GE Automation: GE Brasil**. Disponível em: <<http://www.geautomation.com/br>>. Acesso em: 25 out. 2019.

Possuem uma grande responsabilidade dentro da transformação da conectividade das empresas. É o CLP que gerencia todos os dados recebidos e enviados para realizar as diversas tarefas da automação. Para dimensionar um CLP para a aplicação, deve-se levar em consideração os seguintes pontos:

- Quantas I/O ?
- Quantas Entradas e Saídas Analógicas ?
- Possui IHM (Interface Homem maquina) ?
- Possui Motores de Passo ou Servos Motores ?
- Possui controle de Temperatura ?
 - Possui controle de Célula de Carga ?
 - Definição se terá controles analógicos (0-10V ou 4-20mA) ?
 - Como será a comunicação com outros periféricos? Por exemplo: inversor, IHM e drives.

2.4 REDES INDUSTRIAIS

Com um expressivo destaque na automação da indústria, as redes digitais de instrumentação, ou barramentos de campo, tornam-se cada vez mais uma alternativa de grande aceitação. Depois da integração de microprocessadores a instrumentos de campo, apareceram os denominados instrumentos inteligentes aptos a comunicar-se através de um barramento de campo, possibilitando que estes informem seu estado, a quantidade e qualidade do sinal medido, além de outras informações (LIMA, 2004).

Uma rede é um sistema de dispositivos eletrônicos que estão conectados com o propósito de compartilhar informações. Cada dispositivo na rede é chamado de nó. O meio físico usado para interconectar os dispositivos numa rede é chamado de meio de transmissão. Diferentes tipos de rede foram sendo desenvolvidos para atender necessidades específicas. Elas foram desenvolvidas para atenderem eficientemente a grande variedade de tipos de dados encontrados num sistema de controle. Cada protocolo de rede possui uma estrutura de dados diferente e incorpora diferentes conjuntos de características. Ao estabelecer a integração dos dados digitalmente por meio de uma rede de comunicação entre os mais diferentes níveis hierárquicos dentro de uma indústria, reduz-se o custo de fabricação, pela eficiência da manipulação do produto, aumenta-se a produtividade e se estabelece

um novo conceito em automação industrial: a integração de seus componentes nos mais diferentes níveis (FRANCO; VERMAAS, 2008).

As redes de campo são classificadas pelo tipo de equipamento conectado a elas e o tipo de dados que trafega pela rede. Os dados podem ser bits, bytes ou blocos. As redes com dados em formato de bits transmitem sinais discretos contendo simples condições Liga/Desliga (ON/OFF). As redes com dados no formato de byte podem conter pacotes de informações discretas e/ou analógicas e as redes com dados em formato de bloco são capazes de transmitir pacotes de informação de tamanhos variáveis (BORGES, 2009).

Assim, as redes podem ser classificadas basicamente em três tipos:

- Rede Sensorbus - dados no formato de bits;
- Rede Devicebus - dados no formato de bytes;
- Rede Fieldbus - dados no formato de pacotes de mensagens.

2.4.1 Ethernet Industrial

A Ethernet é a tecnologia de rede local (*Local Area Network* - LAN) mais conhecida e com maior utilização no mundo em sistemas de rede de comunicação comercial. A rede Ethernet sofreu uma longa evolução nos últimos anos, chegando a atender uma ampla gama de aplicações. Está presente nos mais variados segmentos, dos quais se destacam automação bancária, controle de processos industriais, aplicações científicas, entre outras. Na versão industrial é largamente aplicada no gerenciamento de processos de fábrica.

Nos últimos anos vem crescendo o interesse da indústria pela rede Ethernet como uma real alternativa no chão de fábrica e no controle de processos (ALBUQUERQUE; ALEXANDRIA, 2007).

Porém com a grande quantidade de opções para Ethernet Industrial, acabou-se por não ter a interoperabilidade desejada. Devido ao fato de que cada fabricante ou grupo desenvolveu suas soluções incompatíveis com os demais, de qualquer forma, e apesar de alguns problemas que surgiram na fase inicial de implantação, a Ethernet conseguiu sua penetração no ambiente industrial (CARVALHO, 2007).

2.4.2 EtherCat

A tendência de protocolos industriais utilizando como base a Ethernet é uma realidade. EtherCAT é mais um exemplo de BUS Industrial que carrega estas características, e que assim, oferece uma gama de vantagens importantes para a automação industrial, entre elas, a conectividade para a camada de negócios e a velocidade de comunicação.

A complexidade dos projetos de automação industrial somente cresce, assim, a quantidade de dados que trafegam em um BUS de dados é cada vez maior. Por outro lado, as aplicações que exigem troca de informação ou registro de informações em bancos de dados, sistemas de gerenciamento e supervisão, bem como a integração com outros agentes na rede, como impressoras, servidores, aplicações de negócios, entre outros, também cresce.

EtherCAT é mais uma Rede Industrial preparada para este panorama. Tem como principais características definições de trocas de informações na rede que proporcionam grande ganho de velocidade de comunicação, bem como a utilização de equipamentos e conexões muito próximas das conexões que se observa nas aplicações corporativas.

Alguns benefícios da rede EtherCAT:

- Empacotamento de dados – A tecnologia EtherCAT supera inclusive a interpretação de pacotes de dados da própria Ethernet, pois, ao contrário de interpretar pacote a pacote, ela interpreta os frames Ethernet sem parar. Assim, um frame é comunicado em toda a rede em nanosegundos, cada agente de rede captura no frame somente os dados que estão atribuídos à ele e isso acontece com todos os agentes da rede. Se perde um frame, outro será enviado logo em seguida com a informação, até que este agente responda o recebimento do pacote na rede;
- Tamanho da rede – Os órgãos que tratam do EtherCAT afirmam que o tamanho da rede é praticamente ilimitado, pois, sua comunicação física e lógica muito parecida com a da Ethernet, não utiliza os padrões de limitação que as Redes Industriais normalmente exigem;
- Conexões de rede – As conexões de rede não são feitas por agentes dedicados como são vistos em Redes Industriais tradicionais. Switches CAT6

trafegam os dados entre a rede de agentes (I/O Remotos, componentes inteligentes e outros periféricos) e a porta EtherCAT do controlador (CLP e outros), simplificando as conexões de rede;

- Configuração de endereços – Os endereços de rede também são atribuídos de forma muito simples, como em uma Rede TCP/IP. Não existe necessidade de configuração manual, todos os agentes podem ser configurados pelas ferramentas de configuração online. Desta forma, não existe limitação de endereços de rede e a organização destes endereços não limitam a conexão de novos agentes ou causam conflitos de comunicação.

3 ESTUDO DE CASO

A etapa seguinte deste trabalho visa demonstrar o método utilizado para dimensionar os equipamentos de uma máquina construída sob premissas definidas para montagem da bomba de vácuo, também conhecida como MVP (*Mechanical Vacuum Pump*). Por questões de sigilo de informações técnicas, não serão divulgados os nomes da empresa em questão, produtos, linhas de produção e documentos pertencentes à empresa tais como, softwares, esquemas elétricos, entre outros.

A sequência de operações para realizar a montagem da MVP na linha é explicada na Tabela 1 em ordem com o fluxo de produção.

Tabela 1 - Etapas de montagem da bomba de vácuo

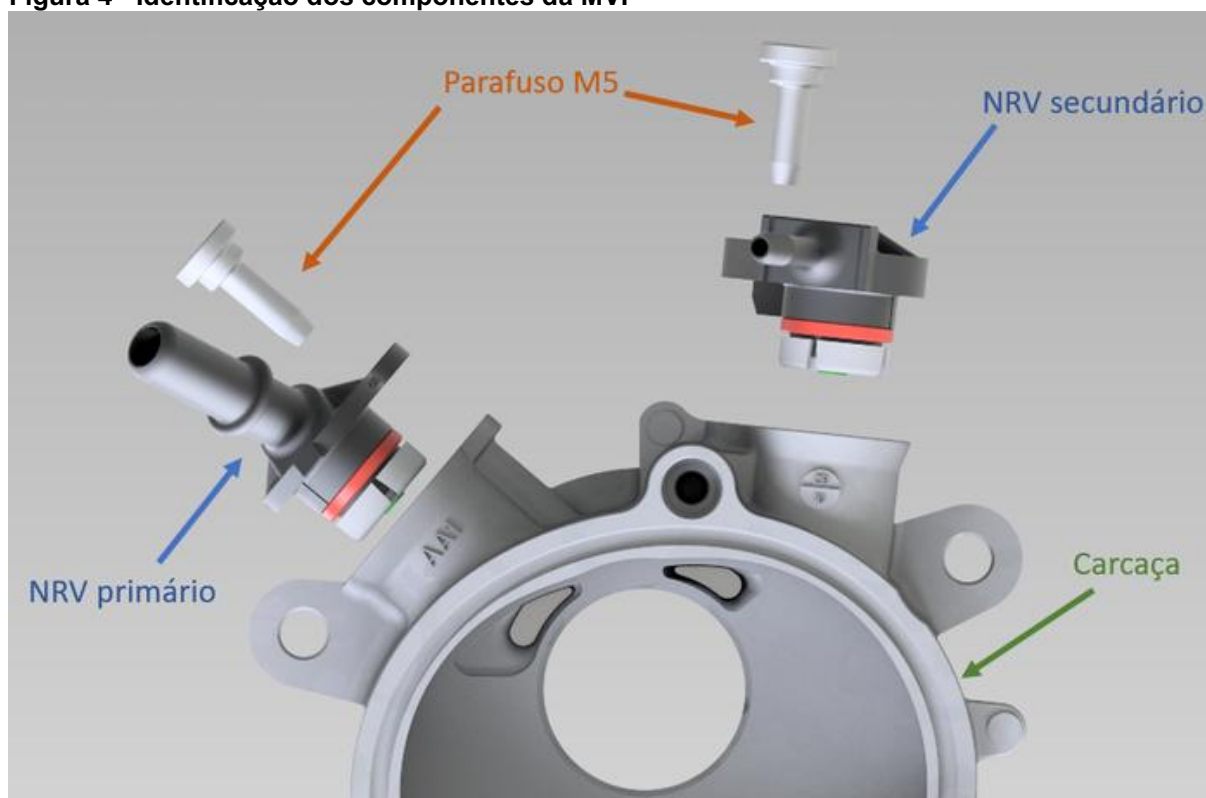
| Estação | Operação a ser realizada | Observação |
|---------|--|-------------------------|
| 05 | Prensagem do rotor | Estação de pré-montagem |
| 25 | Montagem da válvula de retenção | Estação de pré-montagem |
| 10 | Prensagem do filtro | |
| 20 | Parafusamento da válvula de exaustão | |
| 30 | Prensagem e parafusamento da válvula de retenção | Estação do estudo |
| 40 | Parafusamento da tampa | |
| 50 | Teste de estanqueidade da bomba | |
| 60 | Teste funcional da bomba | |
| 70 | Gravação a laser e prensagem da gaxeta | |

Fonte: Autoria própria.

O presente estudo tratará sobre a terceira estação dentro da linha de montagem, onde é realizado a prensagem e o parafusamento, parafuso M5 na Figura 4, das válvulas de retenção.

As válvulas de retenção, também conhecidas como NRV (*Non-Return Valve*): NRV primário e NRV secundário na Figura 4, são parafusadas na carcaça da bomba (Figura 4).

Figura 4 - Identificação dos componentes da MVP



Fonte: Autoria própria.

A estação 30 é dividida em 2 partes denominadas 30A e 30B devido à necessidade de flexibilização para produzir bombas que possuam a NRV primária e secundária. Com isso, na Tabela 2 pode-se observar as operações realizadas em cada tipo de produto.

Tabela 2 - Operações X tipo de bomba

| MVP | 30A | 30B |
|--------|-----|-----|
| Tipo 1 | Sim | Não |
| Tipo 2 | Sim | Sim |
| Tipo 3 | Sim | Não |

Fonte: Autoria própria.

3.1 DETALHAMENTO DA MÁQUINA

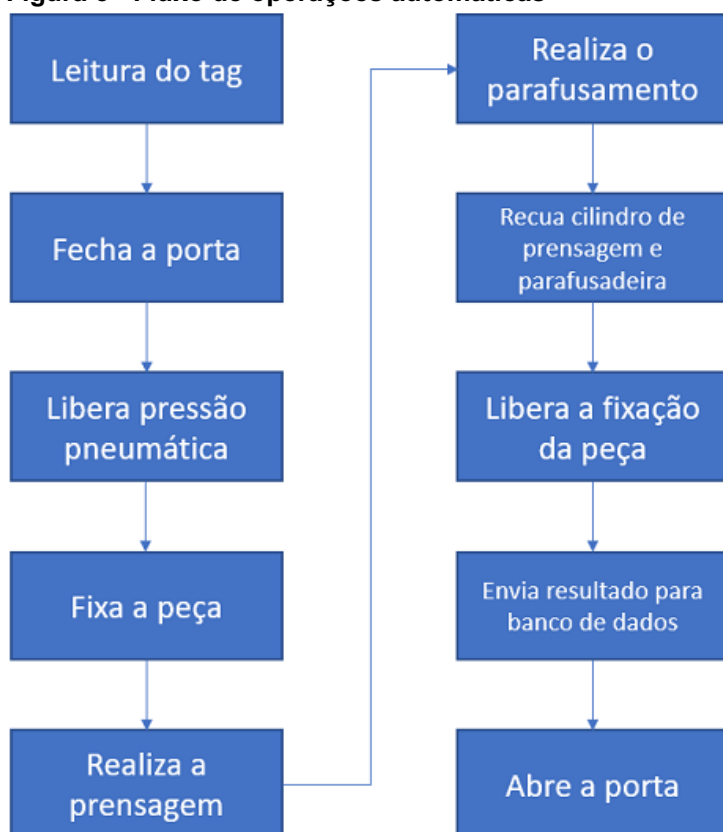
O projeto mecânico da estação 30 foi desenvolvido para que a sequência de operações do operador da máquina segue os passos demonstrados na Tabela 3 para produção do tipo 2 de MVP.

Tabela 3 - Fluxo de operações manuais da estação 30

| Passo | Tarefa | Manual ou automático |
|-------|---|----------------------|
| 1 | Alimentar carcaça no dispositivo do lado 30A | Manual |
| 2 | Montar parafuso no NRV primário | Manual |
| 3 | Montar NRV primário no dispositivo de prensagem do lado 30A | Manual |
| 4 | Apertar botão de início do lado 30A | Manual |
| 5 | Máquina realiza operação automática | Automático |
| 6 | Alimentar carcaça no dispositivo do lado 30B | Manual |
| 7 | Montar parafuso no NRV secundário | Manual |
| 8 | Montar NRV secundário no dispositivo de prensagem do lado 30B | Manual |
| 9 | Apertar botão de início do lado 30B | Manual |
| 10 | Máquina realiza operação automática | Automático |
| 11 | Disponibilizar MVP para a estação 40 | Manual |

Fonte: Autoria própria.

Dentro do ciclo automático da estação 30A, as operações realizadas são demonstradas da Figura 5. Para a estação 30B, as operações são exatamente iguais mudando apenas mecanicamente.

Figura 5 - Fluxo de operações automáticas

Fonte: Autoria própria.

As premissas mencionadas no início do capítulo são parâmetros de processo que devem ser seguidos conforme padrão mundial da empresa para a produção de bombas de vácuo. Esses parâmetros devem ser controlados e monitorados, caso a bomba seja manufaturada fora do especificado, a estação deve reprovar a unidade produzida e informar o operador através de um sinal luminoso vermelho. Tais parâmetros são: força de prensagem, torque e angulo de parafusamento.

3.2 SELEÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

A fim de possibilitar o monitoramento dos parâmetros de processo, garantir a rastreabilidade e qualidade na produção das peças, a seleção dos equipamentos a serem utilizados na construção da bancada é fundamental. Tanto para não sobre dimensionar os equipamentos e assim gerar um alto custo para construção da bancada, quanto para não subdimensionar os itens e futuramente vir a ter problemas de qualidade ou paradas técnicas.

3.2.1 Controlador Lógico Programável (CLP)

Para que seja possível realizar a comunicação de todas as redes envolvidas no projeto, optou-se pela utilização de um PC industrial da Beckhoff, modelo CPU CX5120. Trata-se de um PC industrial de baixa performance, porém que atende totalmente às necessidades de flexibilidade da estação, tais como: Redundância de rede, Parafusamento, leitura de tags, medições analógicas e controle de duas unidades funcionais com apenas um CLP.

A escolha do modelo da Beckhoff, apresentado na Figura 6, possibilita a utilização de cartões de expansão para atender a necessidade flexibilidade e facilidade de adicionar ou modificar futuras funções.

Tal modelo de CLP possui Windows SE embedded que é um sistema operacional leve e otimizado, o qual possibilitou a utilização desse PC de baixa performance e, portanto, de baixo custo.

Figura 6 - CLP Beckhoff



Fonte: Autoria própria².

3.2.2 Interface Homem Máquina (IHM)

A IHM (Interface Homem Máquina) tem a função de disponibilizar informações para o operador. Neste caso da estação 30, o operador tem as informações de qual bomba está sendo produzida e o posterior resultado da operação (OK/NOK). Caso ocorra algum alarme na máquina, uma mensagem de erro aparece na tela instruindo o operador à tomar determinada ação. O operador também deve ter a opção de realizar a troca do tipo de MVP a ser produzida em determinado momento.

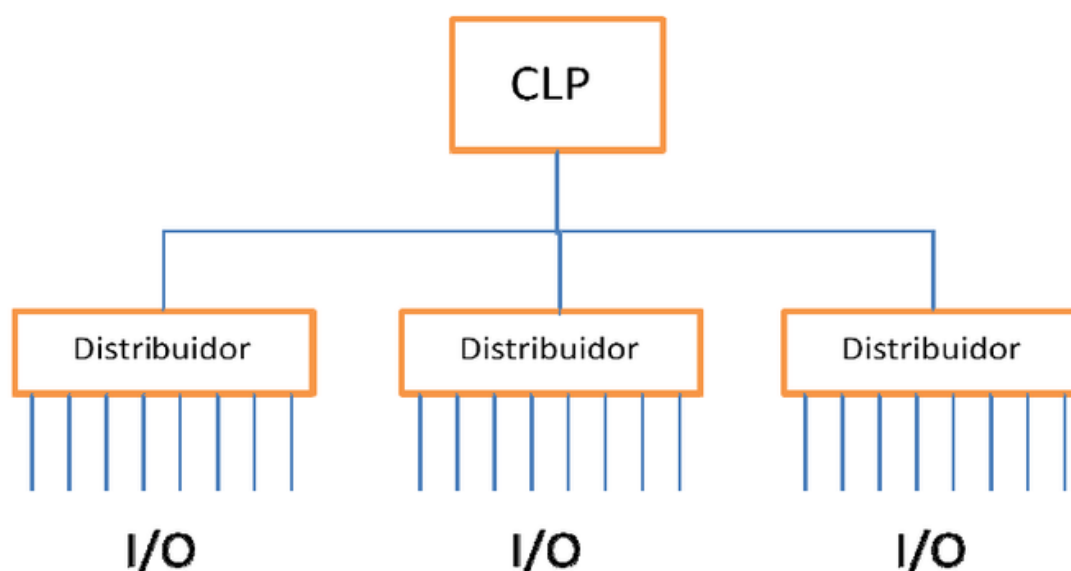
Para isso, faz-se necessário uma IHM com tela colorida e possibilidade de interação com o operador. Devido à esse fato, Chegou-se à conclusão de que um monitor HP do modelo V198bz com teclado e mouse seria ideal para atender a todos as solicitações.

² Fonte: **Beckhoff Automation GmbH & Co. KG**. Disponível em: <<https://beckhoff.com/>>. Acesso em: 25 out. 2019.

3.2.3 Distribuidores

Os distribuidores de campo são utilizados com a finalidade de reduzir a quantidade de cabos chegando ao painel elétrico e facilitar a interligação dos sensores e atuadores. Com apenas um cabo de 18 vias, é possível realizar a monitoração de até 16 sensores de campo através de um único distribuidor, a este modelo de arquitetura atribui-se o nome de I/O distribuído com controle centralizado (COSTA, 2011). A Figura 7 mostra um exemplo de arquitetura com I/O distribuído com o controle centralizado, ou seja, todos os sensores e atuadores da máquina se comunicam diretamente com o CLP. No caso da Estação 30, utilizou-se distribuidores Murr.

Figura 7 - Adaptação de um exemplo de I/O distribuído com controle centralizado



Fonte: Costa (2011).

3.2.4 Sinalizações

As sinalizações são uma parte muito importante de uma máquina que servem para indicação e alerta ao operador. É prática se utilizar alguns tipos de sinalização comum em uma máquina, tais como emergência e falhas (lâmpada vermelha), comando ligado (lâmpada verde) e indicação de reset (lâmpada azul ou branca). No caso da Estação 30, foi utilizado uma coluna luminosa da Murr Elektronik modelo Modlight50, conforme Figura 8.

Figura 8 - Sinalizador Murr

Fonte: A autoria própria³.

Com o intuito de facilitar a visualização das peças aprovadas ou reprovadas na estação, também foram instalados indicadores luminosos da Banner (Figura 9), modelo K50L. Os mesmos acendem uma luz verde quando a peça está aprovada e vermelho quando reprovada.

Figura 9 - Indicador luminoso Banner

Fonte: A autoria própria⁴.

³ Fonte: **Murrelektronik GmbH**. Disponível em: <<https://www.murrelektronik.com.br/>>. Acesso em: 25 out. 2019.

⁴ Fonte: **Banner do Brasil**. Disponível em: <<https://www.bannerengineering.com/br/pt.html>>. Acesso em: 25 out. 2019.

3.2.5 Equipamentos de Medição

Fez-se necessário a instalação de células de carga e transdutores de deslocamento na estação para possibilitar o monitoramento da força de prensagem. Sabendo que a força de prensagem pode variar entre 600 e 850 N, definiu-se a célula de carga da Gefran (Figura 10), modelo CU.

Figura 10 - Célula de carga Gefran



Fonte: Autoria própria³.

Para possibilitar traçar a curva de prensagem, faz-se necessário também coletar os pontos de deslocamento da prensagem. Para isso, utilizou-se um transdutor de deslocamento linear (caneta apalpadora) também da Gefran (Figura 11), modelo PY.

Figura 11 - Transdutor de deslocamento Gefran



Fonte: Autoria própria⁴.

Ambos os equipamentos de medição possuem saídas analógicas, de 2mV/V, e indicam o resultado através da variação da resistência.

⁵ Fonte: **GEFRAN Beyond Technology**. Disponível em: <<https://www.gefran.com/pt/br>>. Acesso em: 25 out. 2019.

3.2.6 Sensores

Os sensores utilizados na estação 30 tem basicamente a função de detectar presença de peças para assim liberar o ciclo automática da máquina. Para essa simples função, foram utilizados sensores laser da marca Sick, mostrado na Figura 12, modelo WTB4SL. Sendo essa escolha justificada pelo diâmetro pequeno do feixe de laser do sensor.

Figura 12 - Sensor laser Sick



Fonte: Autoria própria⁶.

3.2.7 Bloco de Válvulas Pneumático

A rede Ethercat realiza a comunicação com o bloco de válvulas pneumático da SMC, apresentado na Figura 13, de 12 válvulas de diferentes configurações devido às diferentes aplicações da estação 30. Para efeitos de acionamento o bloco de válvulas é interpretado pelo CLP como se fossem 24 entradas digitais, porém o acionamento de cada posição é feito através da rede. No caso da estação 30 foi necessário a instalação de 2 blocos semelhantes devido à grande quantia de movimentos pneumáticos.

⁶ Fone: **SICK Sensor Intelligence**. Disponível em: <<https://www.sick.com/br/pt>>. Acesso em: 25 out. 2019.

Figura 13 - Bloco de válvulas SMC



Fonte: A autoria própria⁷.

3.2.8 Leitor RFID

Para realizar a rastreabilidade da estação 30, utilizou-se tags de identificação por radiofrequência da marca IFM, modelo E80301 (Figura 14) que comunica com o cabeçote de leitura modelo ANT512. O sistema ainda conta com a unidade de avaliação modelo DTE103 que comunica com o CLP via Ethernet. Essa rastreabilidade tem como objetivo identificar a peça que está para ser produzida na estação através das informações atreladas ao tag pelo banco de dados.

A escolha desse modelo é justificada pela exigência da planta matriz em se utilizar a mesma solução de rastreabilidade mundialmente.

⁷ Fonte: **SMC**. Disponível em: <<https://smcbr.com.br/>>. Acesso em: 25 out. 2019.

Figura 14 - Conjunto rastreabilidade



Fonte: Autoria própria⁸.

3.2.9 Quantidades de I/O

Verificou-se que a estação iria necessitar de 62 entradas digitais e 40 saídas digitais. Optou-se então pela arquitetura de I/O distribuído com controle centralizado. Neste tipo de arquitetura os distribuidores realizam a captação das entradas e a atuação das saídas, porém um único CLP realiza o controle total da estação (COSTA, 2011).

Das 40 saídas apenas o bloco de válvulas com 16 acionamentos foi considerado um elemento de segurança, por tratar-se da atuação de cilindros pneumáticos, logo estes foram ligados levando em consideração a alimentação 24V de segurança que está disponível após o relé de segurança do sistema de emergência, ou seja, sempre que a emergência for acionada a alimentação do bloco de válvulas é cortada imediatamente e o cilindro para o movimento na posição em que se encontra.

⁸ Fonte: **ifm electronic gmbh**. Disponível em: <<https://www.ifm.com/br/pt>>. Acesso em: 25 out. 2019.

3.2.10 Interfaces de Comunicação

As interfaces necessárias para a conexão de todos os elementos requisitados para a solução seriam algumas interfaces Ethercat e ethernet, são elas:

- 1 Ethernet para a banco de dados;
- 1 Ethernet externa para programação do CLP;
- 2 Ethernet para programação do Leitor RFID (*Radio Frequency Identification*);
- 2 Ethercat para programação das parafusadeiras;
- 2 Ethercat para o bloco de válvulas.

A solução definida para que todos os componentes possam ser acessados através da porta de programação externa foi à instalação de um switch, equipamento que realiza a conexão de dispositivos ethernet.

4 CONCLUSÃO

A conclusão deste trabalho que é demonstrar se a estação 30 foi construída sem excessos ou ineficiências foi comprovada, tanto na teoria explanada quanto no estudo de caso detalhado.

Ficou comprovado através da referência bibliográfica que os equipamentos foram dimensionados corretamente evitando gastos excessivos e riscos desnecessários.

Em um primeiro momento, não foi possível analisar o custo benefício dos componentes selecionados para fazerem parte da máquina, por isso faz-se necessário um planejamento de um montante considerável de tempo por parte dos sucessores deste trabalho.

Visto isso, percebe-se que há espaço para trabalhos futuros, os quais fornecerão ainda mais detalhes e enriquecerão essa proposta, principalmente para chegar a uma conclusão se há ou não uma maneira de menor custo para realizar as mesmas operações.

Conclui-se, portanto, que o objetivo geral proposto foi alcançado em partes. Teoricamente, a estação 30 foi implantada atendendo as expectativas da indústria 4.0, com tecnologia de ponta para a época e também servindo como *benchmark* para as próximas estações que a empresa venha a construir, porém como não foi possível realizar uma análise financeira da proposta, não se pode concluir se a máquina foi construída com o melhor custo benefício.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga de; ALEXANDRIA, Auzuir Ripardo de. **Redes industriais**: Aplicações em sistemas digitais de controle distribuído. Fortaleza: Edições Livros Técnicos, 2007.

ALMEIDA, Julio Sergio Gomes de; CAGNIN, Rafael Fagundes. **A indústria do futuro no Brasil e no mundo**. Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial (EIDI), São Paulo: mar. 2019. Disponível em: <https://iedi.org.br/media/site/artigos/20190311_industria_do_futuro_no_brasil_e_no_mundo.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2019.

BORGES, Johny de Freitas. **Redes industriais de comunicação**. In: Apostila do curso de Fundamentos de redes Industriais e Aplicações. International Society of Automation (ISA). Vitória/ES: 2009.

CARVALHO, Humberto Figueiredo. **Escalonamento em redes ethernet industrial**. 2007. 99 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Itaju – UNIFEI, Itajubá/BA, 2007. Disponível em: <<https://saturno.unifei.edu.br/bim/0031629.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

COSTA, Luiz Augusto. **Especificando sistemas de automação industrial**. São Paulo: Biblioteca 24 horas, 2011. 205 p.

FRANCO, Lúcia Regina Horta Rodrigues; VERMAAS, Luiz Lenarth Gabriel. **O Fieldbus**. In: Apostila do curso de Automação e Controle Industrial: Uma Visão Gerencial – Módulo 5. Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Indústria (FUPAI), Itajubá/MG: 2008.

IVERSEN, Wes. **PLC Vendors Branch Out Automation World. Automation World**. 2005. Copyright© 2019 PMMI Media Group. Automation World, publicado em: 01 ago. 2005. Disponível em: <<https://www.automationworld.com/products/control/news/13303263/plc-vendors-branch-out>>. Acesso em: 17 out. 2019.

LIMA, Fábio Soares de. **Estratégia de escalonamento de controladores PID baseado em regras Fuzzy para redes industriais foundation fieldbus usando blocos padrões**. 2004. 68 p. Dissertação (Mestrado em Automação e Sistemas; Engenharia de Computação; Telecomunicações) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, Natal, 2004. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/15418>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

ROSÁRIO, João M. Automação industrial. São Paulo: Editora Baraúna, 2009. 514 p.

SALTARELLI, Bia. **Era Digital**: conectividade muito além de um clichê dos novos tempos. Copyright© 2013-2019 Rock Content. Publicado em: 17 out. 2018. Disponível em: <<https://inteligencia.rockcontent.com/era-digital/>>. Acesso em: 20 out. 2019.

SILVEIRA, Cristiano Bertulucci. **O que é automação industrial**. Copyright© 2012-2019 Citisystems Automação Industrial. São Paulo, 2018. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/o-que-e-automacao-industrial/>>. Acesso em: 30 set. 2019.

TELES, Jhonata. **Indústria 4.0**: Tudo que você precisa saber sobre a quarta revolução industrial. Copyright© 2018 Engeteles. Disponível em: <<https://engeteles.com.br/industria-4-0/>>. Acesso em: 17 out. 2019.

YIN, Shen; KAYNAK, Okyay. **Big data for modern industry**: Challenges and Trends. Proceedings of the IEEE. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), v. 103, n. 2, fev. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/jproc.2015.2388958>>. Acesso em: 16 out. 2019.