



Universidade Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação Lato Sensu
Engenharia Industrial 4.0



CARLOS ALBERTO CANASSA JUNIOR
CLAUDIO ROBERTO DANTAS
EDELAR LOCATELLI CERUTTI

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO DE
VÁCUO EM TEMPO REAL PARA ELIMINAÇÃO DE GARGALO EM
UMA LINHA DE PRODUÇÃO**

CURITIBA
2022

CARLOS ALBERTO CANASSA JUNIOR
CLAUDIO ROBERTO DANTAS
EDELAR LOCATELLI CERUTTI

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO
DE VÁCUO EM TEMPO REAL PARA ELIMINAÇÃO DE GARGALO
EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO**

Monografia apresentada como resultado parcial à obtenção do grau de Especialista em Engenharia Industrial 4.0. Curso de Pós-graduação Lato Sensu, Setor de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Pablo Deivid Valle

**CURITIBA
2022**

RESUMO

Este estudo de caso foi aplicado na linha de produção de geladeiras da empresa Electrolux, onde existe um processo em que cada produto fica conectado a uma bomba de vácuo por 17 minutos para retirada de impurezas do sistema de refrigeração, antes de injetar o fluido refrigerante. Este tempo é uma premissa pré-estabelecida para atender o critério de qualidade e atualmente é o gargalo desta linha de produção. Foi estudado e proposto a instalação de um sistema de monitoramento online do sistema durante a limpeza, gerando um banco de dados e um sistema inteligente de análise da pressão, que é a premissa necessária para a próxima etapa, com o objetivo de reduzir o tempo de processo, com confiança e qualidade, consequentemente causando um aumento a produtividade da linha e trazendo ganhos financeiros para a empresa. Assim, foi proposta a instalação de sensores de pressão de alta precisão e acurácia nas bombas de vácuo para monitoramento em tempo real do vácuo em cada produto, com isso será possível obter um ganho muito significativo para empresa do estudo de caso, 2 produtos/ hora o que significa aumento real de 3% na capacidade da linha de produção estudada.

Palavras-chave: Refrigeração. Impurezas. Bomba de vácuo. Monitoramento.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DA GELADEIRA.	13
FIGURA 2 – BOMBA DE VÁCUO.	16
FIGURA 3 – FLUXOGRAMA DAS PRINCIPAIS ETAPAS DO TRABALHO.	18
FIGURA 4 – CARROSSEL DE BOMBAS DE VÁCUO.	19
FIGURA 5 – HARDWARE TESTADO.	21
FIGURA 6 – SENSORES DE PRESSÃO DO FORNECEDOR AGRAMKOW.	21

CONTEÚDO

1. INTRODUÇÃO	5
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	5
1.2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	5
1.3. JUSTIFICATIVA.....	6
1.4. HIPÓTESE.....	6
1.5. OBJETIVO.....	7
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
2.1. CONCEITUALIZAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0.....	8
2.2. DADOS E MONITORAMENTO.....	9
2.2.1. Banco de Dados.....	9
2.2.2. Sensoriamento.....	11
2.2.3. Sensores de Pressão.....	11
2.3. FUNCIONAMENTO DE UMA GELADEIRA OU REFRIGERADOR.....	12
2.4. FABRICAÇÃO DA GELADEIRA – INJEÇÃO DO FLUIDO REFRIGERANTE.....	13
2.4.1. Importância da Evacuação do Sistema de Refrigeração.....	13
2.4.2. Processo de Evacuação do Sistema.....	15
2.4.3. Bombas de Vácuo.....	16
3. METODOLOGIA	18
3.1. DEFINIÇÃO DE HARDWARE E FORNECEDORES.....	19
3.2. TESTES DE CAMPO.....	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5. CONCLUSÕES	24
5.1. Sugestões de trabalhos futuros.....	24
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentados brevemente o problema estudado, justificativa para o trabalho proposto e objetivos do trabalho.

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Este estudo de caso foi aplicado em uma linha de produção de geladeiras da empresa Electrolux, planta localizada em Curitiba-PR, que possui capacidade de produção de aproximadamente 9000 mil produtos por dia, sendo que o trabalho se concentrou na linha de produção número 5, na qual são produzidos aproximadamente 1646 produtos por dia em dois turnos de produção.

Entre as diversas etapas de fabricação e montagem das geladeiras e refrigeradores, destaca-se a montagem do sistema de refrigeração de cada equipamento, incluindo o compressor, as serpentinas do condensador, do evaporador e demais acessórios do circuito de refrigeração e por último a injeção do fluido refrigerante.

A correta e eficiente limpeza do sistema antes da injeção do fluido refrigerante é determinante para a garantia de qualidade do bom funcionamento do produto. Na linha de produção, a retirada de impurezas do sistema de refrigeração é realizada por uma bomba de vácuo, a qual succiona o ar úmido e impurezas presentes no interior dos equipamentos e mantém o vácuo no circuito até a injeção do gás refrigerante.

1.2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Na linha de produção em estudo, a etapa de limpeza do sistema de refrigeração é realizada em um carrossel com 45 bombas de vácuo instaladas. Cada geladeira fica conectada na bomba de vácuo por 17 minutos, antes de ser injetado o gás refrigerante e não existe medição de outros parâmetros como pressão ou umidade do interior do circuito; todo o controle do processo é baseado em tempo de limpeza. O tempo de 17 minutos é uma premissa estabelecida em estudos anteriores, como o tempo mínimo para atendimento do controle de qualidade deste tipo de equipamento.

Atualmente, a etapa de limpeza a vácuo é a etapa limitante, ou seja, é o gargalo desta linha de produção, o que limita o aumento de produção.

Caso seja possível reduzir o tempo da etapa de limpeza, por exemplo, de 17 para 15 minutos sem perda de qualidade, resulta em aumento da produtividade da linha em torno de 3%, com eliminação do gargalo.

1.3. JUSTIFICATIVA

Para a Electrolux, o ganho de produtividade da linha é refletido diretamente na produção e rentabilidade. Como todo o restante da linha de produção em estudo está apta para um aumento de produção, a eliminação deste gargalo traz uma expectativa de ganho de produtividade de 2 produtos por hora na linha de produção.

Outro aspecto importante é o ganho em inteligência estratégica na produção, pois o trabalho traz a proposta de monitoramento online da pressão. As informações geradas e coletadas por este sistema poderão ser utilizadas futuramente para outros estudos de melhoria e otimização do processo, além que a proposta do trabalho vai de encontro com as diretrizes de indústria 4.0 que a empresa está buscando nos últimos anos.

1.4. HIPÓTESE

A proposta do estudo é a instalação de um sistema de monitoramento online da pressão do vácuo gerado durante a limpeza, gerando um banco de dados e um sistema inteligente de análise para que seja possível diminuir o tempo de 17 minutos com confiança e qualidade.

Na avaliação inicial, foram levantados os seguintes passos:

- Instalação de sensores de pressão de alta precisão e acurácia nas bombas de vácuo para monitoramento em tempo real do vácuo em cada produto;
- Verificação do comportamento de como o vácuo admissível é obtido, pois com os ensaios será possível traçar a curva de tempo ideal em cada modelo de produto;

- Integração do ensaio em um banco de dados onde seja possível a máquina de injeção de gás refrigerante tomar a decisão de injetar ou não o gás no produto.

Em um primeiro momento foi feito um piloto para validar a ideia em somente uma gondola do carrossel da linha de produção para validar o hardware instalado, já que o sistema possui 45 bombas de vácuo.

1.5. OBJETIVO

O objetivo é aumentar a produtividade da linha, eliminando um gargalo existente que é baseado em um sistema “analógico”, substituindo por um sistema inteligente de alta confiabilidade. A eliminação deste gargalo tem expectativa de ganho de produtividade de 2 produtos por hora na linha de produção.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentados os aspectos teóricos relacionados ao trabalho proposto. Como será visto, o trabalho engloba uma série de aspectos e disciplinas diferentes relacionados a produção e as novas tecnologias da Indústria 4.0.

2.1. CONCEITUALIZAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0

Segundo Cardoso (2016) explica que já foi iniciado a transição para uma nova revolução industrial, chamada de Indústria 4.0. A mesma compreende uma digitalização expressiva do processo produtivo e a inclusão de novas tecnologias no setor industrial, trazendo uma forte interconexão entre os diversos setores da cadeia de valor, com perspectivas para aumento da produtividade e criação de novos negócios.

Ribeiro (2017) afirma que a enorme diversidade de produtos e bens de consumo além dos meios de produção mais curtos e tendências mais ágeis na linha de produção implicam em processos industriais mais flexíveis, para atender a crescente demanda de mercado. Sendo assim essa flexibilidade não é alcançada através dos processos tradicionais necessitando assim de uma mudança radical onde a indústria 4.0 pode ser a resposta para essa mudança.

Em geral a ideia que essa nova revolução industrial transmite é a utilização de tecnologias emergentes direcionadas a transformação do setor industrial, personalizando e flexibilizando a produção conforme a necessidade do consumidor. Dentre as ferramentas empregadas podemos citar: *Cyber-physic System (CPS)* e a *Internet of Things (IoT)* conjugados com *Entreprise Resource Planning (ERP)*, *Manufacturig Execution System (MES)*, *Product Lifecycle Mafenemente (OKM)*, *Supply Chain Management (SCM)*, dentre outros sistemas informáticos (RIBEIRO, 2017).

Souza e Santos (2020) consideram que as principais competências operacionais ou características da indústria 4.0 são: flexibilidade e adaptabilidade, aprendizagem contínua, inovação/criatividade e iniciativa/disposição, resiliência, liderança, trabalho em equipe, comunicação, negociação, pensamento sistêmico, planejamento, resolução de problemas, tomada de decisão e autonomia.

Silva (2017) explica que as tecnologias mencionadas acima são exemplos de comunicação e informação desse novo meio de produção. Tais tecnologia permitem a conexão de softwares e máquinas dentro de diferentes sistemas conectados como uma rede colaborativa. A conexão de robôs, sensores, dispositivos RFID, etiquetas, entre outros dispositivos físicos, geram dados diversos. Todos esses dados são tratados e a chamada Big Data Industrial é a ferramenta aliada para manuseio, análise, limpeza e interconectividade dos dados gerados.

Tessarini e Saltorato (2018) trazem uma importante reflexão sobre a implementação dessas novas tecnologias e principalmente sobre o impacto gerado. Primeiramente questionam sobre a eficácia da transformação dos meios de produção e automatização comparando com o modelo atual, basicamente seu estudo demonstrou que o que se tem hoje de literatura sobre o tema possui uma metodologia fraca e principalmente levantando dúvidas acerca de seu caráter revolucionário no sentido de uma maior inclusão social e modificação de trabalho do homem. Além de questionar os possíveis impactos em milhares de postos de trabalho e a precarização das relações socioprofissionais.

Já Cardoso (2016) prefere sugerir analisar países em desenvolvimento, exemplificando o Brasil onde a Indústria 4.0 deve ser um meio de aceleração de crescimento econômico, justificando assim sua implementação na indústria. Para que isso venha a ocorrer serão necessários investimentos em pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias, além disso ele sugere também a criação de políticas educacionais voltadas a formação de mão-de-obra qualificada sanando assim os impactos nas relações profissionais.

2.2. DADOS E MONITORAMENTO

2.2.1. Banco de Dados

Date (2004) afirma que um banco de dados é basicamente um sistema computadorizado de manutenção de registros. O banco de dados pode ser considerado como o equivalente a um armário de arquivamento eletrônico, ou seja, ele é um repositório ou recipiente para uma coleção de arquivos de dados computadorizados.

Rob e Coronel (2011) afirmam que para compreender um projeto de bancos de dados é necessário entender a diferença entre dados e informações. Os dados são fatos brutos. A palavra “bruto” indica que os fatos ainda não foram processados para revelar seu significado. Onde os dados brutos devem ser formatados adequadamente para o armazenamento, o processamento e a apresentação. Já as informações são o resultado do processamento de dados brutos para revelar seu significado. Esse processamento pode ser simples, como a organização dos dados para revelar padrões, ou complexos, como a realização de previsões ou a extração de inferências utilizando modelagem estatística. Para revelar seu significado, as informações exigem um contexto. Em geral, o gerenciamento eficiente de dados exige a utilização de um banco de dados computacional. Os autores ainda orientam que um banco de dados é uma estrutura computacional compartilhada e integrada que armazena um conjunto de:

- Dados do usuário final, ou seja, fatos brutos de interesse para esse usuário.
- Metadados, ou dados sobre dados, por meio dos quais os dados do usuário final são integrados e gerenciados.

Schreiber et al (2021) destacam que com a aplicação e o uso dessas novas tecnologias tem-se como efeito colateral, o aumento significativo na quantidade de dados, dificultando de sobremaneira a sua análise. Um dos grandes desafios atuais passa a ser a definição de métodos, estratégias e procedimentos para tratar esse volume de dados, também conhecido como Big Data e Big Data Analytics que surge com a necessidade de trabalhar e manipular uma grande quantidade de dados que também possui várias lacunas e falhas de continuidade.

Ito (20021), por sua vez, reforça que sistemas de gerenciamento de bancos de dados móveis tem uma relevância destacada para trabalhadores com alta mobilidade que necessitam acessar bases de dados remotas e executar operações de diversas localizações. A possibilidade de acessar dados em qualquer ambiente, traz a flexibilidade para utilização em diversas aplicações que exijam movimento, fazendo com que exista uma disponibilidade dos dados, independentemente da localização do usuário.

2.2.2. Sensoriamento

Para Thomazini e Albuquerque (2020), o termo “sensor” é utilizado para designar dispositivos sensíveis a alguma forma de energia, que pode ser luminosa, térmica ou cinética, o qual tem o objetivo de relacionar informações sobre uma grandeza que necessita ser medida, como temperatura, pressão, velocidade, corrente, aceleração, posição, entre outras.

Sensores servem para informar um circuito eletrônico a respeito de um evento que ocorra externamente, sobre o qual deve atuar, ou a partir do qual ele deva comandar uma determinada ação (WENDLING, 2010).

Thomazini e Albuquerque explicam que um sensor nem sempre tem as características elétricas necessárias para ser utilizado em um sistema de controle. Normalmente o sinal de saída deve ser manipulado antes da sua leitura no sistema de controle. Isso geralmente é realizado com um circuito de interface para produção de um sinal que possa ser lido pelo controlador.

2.2.3. Sensores de Pressão

Um sensor de pressão é um dispositivo capaz de medir a pressão em gás ou líquido em sua superfície, em um dado de saída que se torna uma informação relevante para a indústria.

Os sensores de pressão funcionam com tecnologias diferentes para captar os níveis de pressão, sendo usados como parte integrante de um mecanismo mecânico. O líquido ou gás exerce sobre a superfície do sensor uma força que o faz captar por intermédio de suas peças um tipo de informação relevante em forma de sinal elétrico.

Segundo Gomes (2009), os sensores de pressão têm amplo uso na indústria e na biomedicina e dentre estes sensores aqueles que utilizam semicondutores como elemento sensível, principalmente o silício, são normalmente utilizados por terem vantagem de já ser utilizado como matéria prima para circuitos integrados, contendo propriedades físicas excelentes, apresentam desenvolvimento crescentes nos últimos anos.

2.3. FUNCIONAMENTO DE UMA GELADEIRA OU REFRIGERADOR

Uma geladeira trabalha para transferir o calor do lado de dentro para fora. Para isto conta com um fluido refrigerante, um produto químico que passa por uma mudança de fase. O fluido refrigerante circula por dentro do equipamento sendo forçado a um processo de mudança de fase de líquido para gasoso (evaporação), que esfria a área adjacente e produz o efeito desejado.

As partes fundamentais da geladeira e do funcionamento do processo são:

Compressor - O compressor é o "coração" de um refrigerador. Para manter o refrigerador em operação, é necessário que o refrigerante gasoso volte ao seu estado líquido, de modo que o gás precisa ser comprimido para uma pressão e temperatura maiores. O compressor faz este trabalho e força a circulação do refrigerante por todo o sistema, adicionando pressão ao mesmo.

Condensador - Após o compressor ter feito seu trabalho, o gás fica sob alta pressão e quente. Ele precisa então ser esfriado no condensador, que é montado na parte traseira do refrigerador, de modo que o fluido possa ser resfriado pelo ar ambiente. Quando o gás esfria dentro do condensador (ainda sob alta pressão), ele volta para o estado líquido.

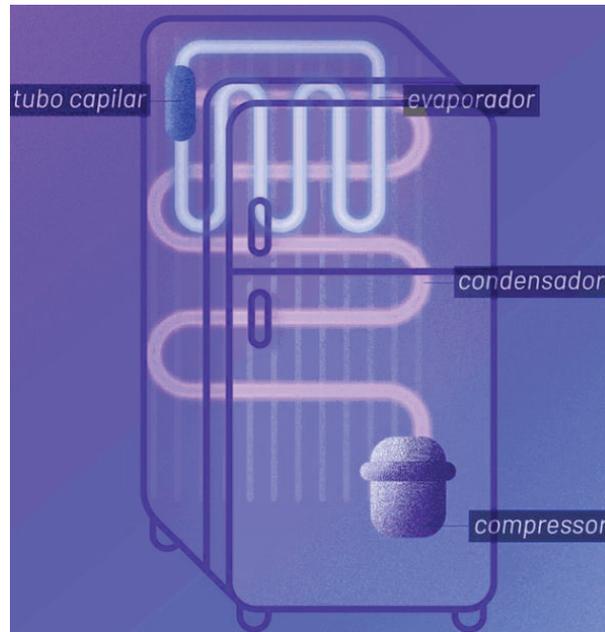
Tubo capilar - O tubo capilar é uma peça fina de tubulação que serve como um dispositivo de expansão. O refrigerante líquido é encaminhado através do tubo capilar e pulverizado no ambiente de baixa pressão do evaporador.

Evaporador - O evaporador está localizado dentro do refrigerador, sendo a parte que faz com que os itens no refrigerador fiquem frios. Conforme o refrigerante passa de líquido para gás através da evaporação, ele resfria a área em seu entorno.

Termostato - O termostato controla o processo de refrigeração ao monitorar a temperatura e, então, ligar e desligar o compressor. Quando o sensor percebe que está suficientemente frio dentro de um refrigerador, ele desliga o compressor. Se ele percebe que está muito quente, ele liga o compressor e recomeça o processo de refrigeração.

Um esquema simplificado do processo de funcionamento de uma geladeira é ilustrado na Figura 01.

FIGURA1 – ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DA GELADEIRA.



FONTE: Lara (2019).

2.4. FABRICAÇÃO DA GELADEIRA – INJEÇÃO DO FLUIDO REFRIGERANTE

O trabalho desenvolvido está focado na etapa de fabricação das geladeiras na qual é feita a preparação para injeção do fluido refrigerante no sistema. Esta é uma etapa crucial para garantia de qualidade do funcionamento do equipamento. Até este momento, no processo de fabricação, o circuito encontra-se aberto, em contato com o ar ambiente. Neste capítulo serão abordados os aspectos importantes desta etapa de fabricação.

2.4.1. Importância da Evacuação do Sistema de Refrigeração

O ar atmosférico é composto, aproximadamente, de 78% nitrogênio, 21% oxigênio e outros gases são 1%. O ar também sempre conta com um percentual de

umidade em equilíbrio, conforme condição ambiental. A presença de ar e umidade no sistema de refrigeração é altamente indesejável.

O nitrogênio é um gás não condensável. Conforme o site da Zhaouxue, a existência de gás não condensável juntamente com o gás refrigerante é muito prejudicial ao sistema de refrigeração, pois este gás irá circular no sistema, não condensando com o refrigerante e não produzindo um efeito de refrigeração. Além disto causa problemas como aumento da pressão de condensação do sistema, temperatura de condensação, temperatura de descarga do compressor e consumo de energia. O nitrogênio entra no evaporador e não pode evaporar com o refrigerante; também ocupa a área de troca de calor do evaporador, de modo que o refrigerante não pode ser totalmente evaporado e a eficiência de resfriamento é reduzida.

O oxigênio também é um gás não condensável, apresentando o mesmo problema do nitrogênio, porém o oxigênio do ar reage quimicamente com o gás no sistema de refrigeração. Como explicado no site da Zhaouxue, oxigênio, refrigerante, vapor de água, etc. são propensos a reações químicas que formam ácidos e oxidam o óleo refrigerante. Esses ácidos danificam os componentes do sistema de refrigeração e danificam a camada isolante do motor; ao mesmo tempo, esses produtos ácidos permanecerão sempre no sistema de refrigeração. Pode ocorrer também a formação de matéria orgânica gerando impurezas que entram no sistema de refrigeração e causam consequências indesejadas, como entupimento.

O vapor de água é outra impureza que afeta o funcionamento normal do sistema de refrigeração. O primeiro efeito é na estrutura de estrangulamento / capilar. Quando o vapor de água entra no mecanismo de estrangulamento, a temperatura cai rapidamente e a água atinge o ponto de congelamento, resultando em formação de gelo, bloqueando os pequenos orifícios da estrutura de estrangulamento, resultando na falha do sistema.

O vapor de água também é corrosivo, atacando a tubulação no sistema de refrigeração, causando corrosão e entupimento da tubulação e equipamentos. No processo de compressão, o vapor d'água encontra alta temperatura e óleo refrigerante, e pode produzir uma série de reações químicas, resultando em danos aos enrolamentos do motor, corrosão do metal e formação de depósitos de lodo.

Lubrificante à base de óleo é usado no compressor dentro do sistema de refrigeração. A entrada de gotas de água indesejadas junto a este óleo faz com que um lodo ácido seja formado dentro do compressor, o que pode facilmente fazer com

que todo o sistema falhe. Um compressor normalmente pode ser uma das peças mais caras para substituir em um sistema de refrigeração.

2.4.2. Processo de Evacuação do Sistema

Conforme discutido no capítulo anterior, a eliminação de presença de ar, umidade e impurezas do circuito de gás refrigerante é essencial ao correto funcionamento e manutenção da vida útil de um equipamento de refrigeração.

Segundo o site da Zhaouxue, o processo consagrado na indústria de equipamentos para realizar esta etapa é a aspiração do sistema com uma bomba de vácuo especial de duplo efeito. Este é considerado o único método confiável de remover todas as impurezas indesejadas do sistema. A aspiração – também chamada de evacuação – tem como objetivo remover todo o ar e a umidade do sistema de refrigeração. Durante o processo de evacuação, o sistema é mantido a pressão negativa, ou vácuo, que remove umidade, ar e impurezas – todos os quais são inimigos conhecidos do sistema de refrigeração.

Pode-se dividir o processo em duas etapas distintas: Primeiro, o sistema entrará no que é chamado de estágio de desgaseificação; aqui, o sistema é desocupado de todo ar ou vapores com o uso de vácuo, o que prova ser um processo bastante rápido. Em seguida, entra no estágio de desidratação. A bomba de vácuo é usada para alterar a pressão dentro do sistema para que a pressão do ambiente fique abaixo da pressão de vapor da água à temperatura ambiente. Essencialmente, esta etapa faz com que qualquer água em forma líquida que esteja dentro do sistema ferva, o que permite que ela seja removida completamente do sistema (Etimmins, 2013).

A evacuação do sistema é imperativa antes de carregar um novo sistema de refrigeração com novo fluido refrigerante, ou ainda em caso de perda de refrigerante devido a um vazamento ou após qualquer reparo que exija a abertura do sistema (Etimmins, 2013).

A medida usual na indústria para acompanhar o nível de vácuo gerado pela bomba é o mícron de Hg. O vácuo ideal indicado pela maior parte das fabricantes de sistemas de refrigeração está entre 700 e 500 mícrons, sendo inúmeras as referências ao valor 500 mícrons. É por isso que o processo de vácuo não deve ser medido pelo tempo e sim acompanhado atentamente por um vacuômetro. Quando o medidor de

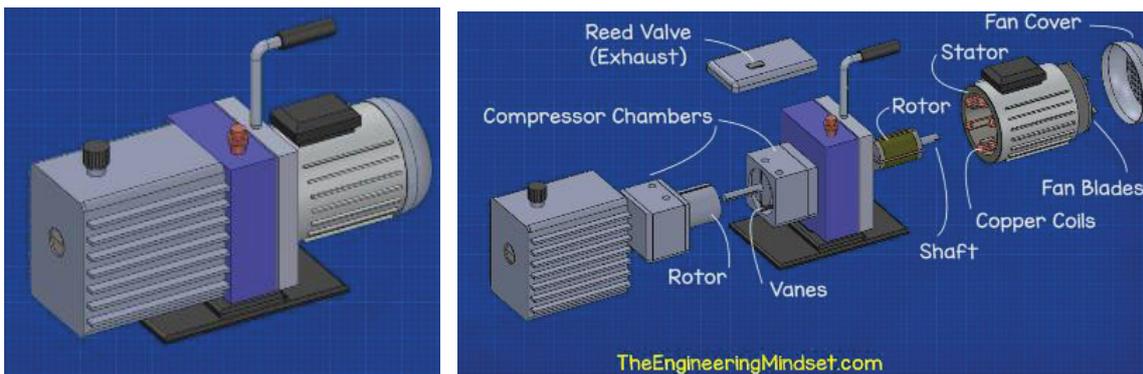
vácuo atingir a leitura desejada, a bomba fez seu trabalho e o processo de evacuação está concluído. Quanto mais profundo e completo o vácuo, mais umidade é removida e a probabilidade de complicações no sistema causadas por água indesejada ou outros contaminantes é reduzida.

2.4.3. Bombas de Vácuo

As bombas de vácuo são amplamente utilizadas por engenheiros de ar-condicionado e refrigeração para remover ar, não condensáveis e água, do circuito de refrigeração. Em um sistema típico, essas bombas de vácuo são conectadas por meio de uma tubulação flexível no lado de alta e baixa pressão do sistema, ou em somente um dos pontos (Evans, 2019).

A Figura 02 mostra uma bomba de vácuo típica. Ela é composta por um motor elétrico na parte traseira, o compressor na frontal, uma alça na parte superior e uma base de apoio na parte inferior. Existe uma entrada que se conecta ao equipamento que se deseja remover o ar do sistema e há um ponto da exaustão para dispersar o ar para a atmosfera.

FIGURA 2 – BOMBA DE VÁCUO.



FONTE: Evans (2019).

A entrada do compressor deve ser conectada ao sistema que se deseja aspirar. No centro do compressor existe o rotor de compressão e a câmara de compressão. O rotor é montado excêntricamente dentro da câmara, o que significa que não é perfeitamente central, esse é um recurso importante. O eixo se conecta ao rotor e fará com que ele gire. Montado dentro do rotor está um sistema de palhetas

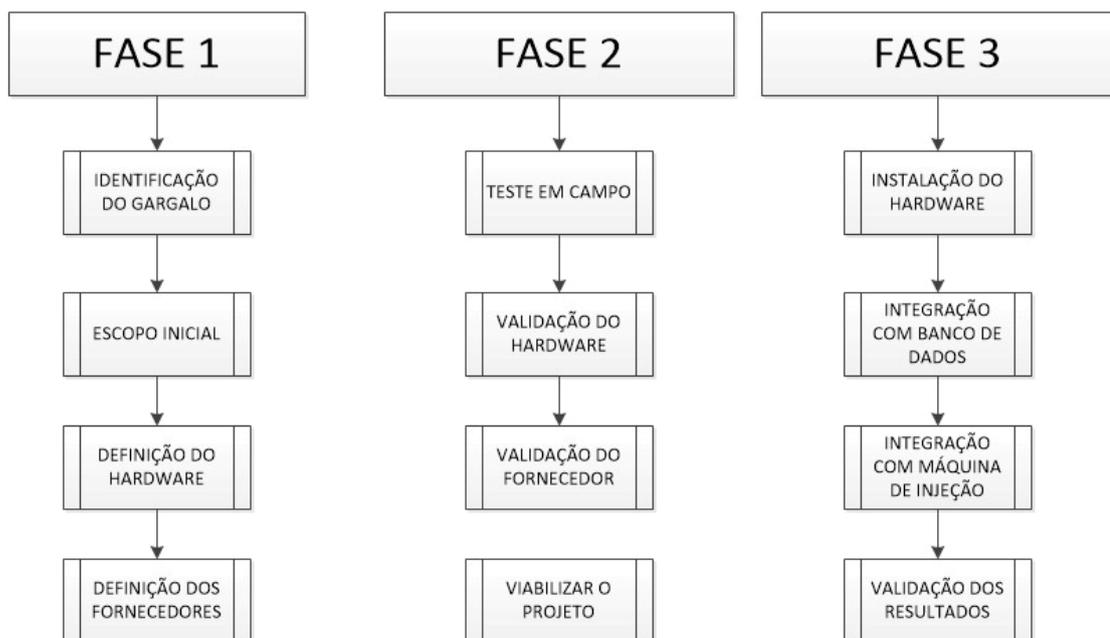
com molas. Este sistema rotativo de palhetas com molas em um sistema excêntrico é responsável por gerar o efeito de vácuo e conseguir então enviar os gases de um ponto de menor pressão para um ponto de maior pressão (Evans, 2019).

As bombas de vácuo utilizadas na indústria geralmente são de dois estágios, o que significa que existem duas câmaras de compressão ligadas em série, com a exaustão do primeiro compressor ligando-se diretamente à entrada da segunda câmara. Este projeto permite que a bomba atinja um vácuo mais profundo.

3. METODOLOGIA

A proposta do trabalho é estudar e propor a instalação de um sistema que seja capaz de medir e identificar qual o nível de vácuo ideal no processo em que cada geladeira fica conectada a uma bomba de vácuo para retirada das impurezas antes da injeção de gás refrigerante. Atualmente é utilizada uma premissa de tempo, esse processo tem duração de 17 minutos, mas não existe nenhum monitoramento para entender o comportamento da pressão de vácuo em função do tempo. As etapas de implantação do sistema proposto foram planejadas conforme fluxograma da Figura 03.

FIGURA 3 – FLUXOGRAMA DAS PRINCIPAIS ETAPAS DO TRABALHO.



FONTE: O autor (2022)

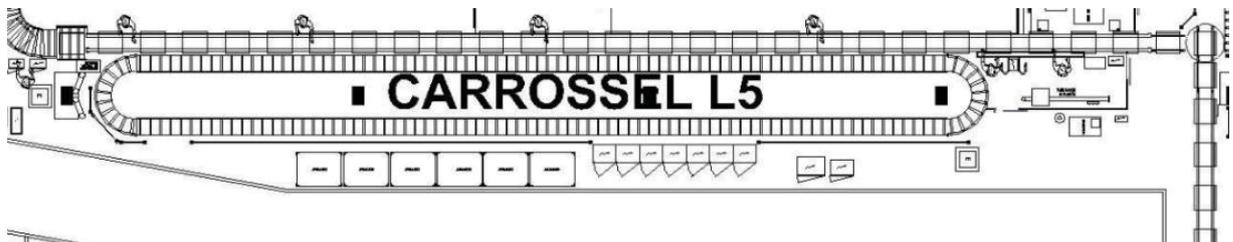
No Capítulo 1, já foram discutidos a identificação do gargalo na produção e o escopo inicial definido para este trabalho.

A Figura 04 mostra um desenho esquemático do carrossel onde estão instaladas as bombas de vácuo na fábrica, o mesmo conta com 45 bombas de vácuo. Esse carrossel acaba se tornando o gargalo da linha de produção pois se for aumentada a velocidade da esteira transportadora os produtos não ficam conectados nas bombas de vácuo por 17 minutos para atender a premissa de qualidade. Todos

os demais processos da linha de produção, por exemplo, montagem e teste de performance, atualmente comportam um aumento de capacidade.

Desta forma, a curva de aquisição em tempo real do vácuo em cada produto é muito importante para identificar o tempo de vácuo ideal, objetivando diminuir o tempo de exposição para que seja possível eliminar o gargalo e aumentar a velocidade da linha de produção.

FIGURA 4 – CARROSSEL DE BOMBAS DE VÁCUO.



3.1. DEFINIÇÃO DE HARDWARE E FORNECEDORES

Conforme discutido anteriormente, a premissa de tempo atualmente utilizada, de 17 minutos em que cada geladeira fica conectada a bomba de vácuo para retirada das impurezas faz com que não seja possível acelerar a linha de montagem e ganhar produtividade, pois o sistema em carrossel é o gargalo da linha de produção.

Com o monitoramento em tempo real da pressão de vácuo do sistema, que está sendo estudado, será possível estabelecer o tempo ideal de vácuo sem que o produto perda em qualidade, visando sempre diminuir a premissa de 17 minutos pré-estabelecida, para que seja possível acelerar a linha de montagem.

Assim, uma etapa chave para o trabalho é selecionar os fornecedores e o melhor hardware a ser utilizado na implementação do trabalho. Essa etapa do projeto é fundamental para que o resultado seja satisfatório, pois esse sistema deve ter uma ótima acurácia além de disponibilizar a possibilidade de integrar o sistema com o processo subsequente que é a carga de gás refrigerante nos produtos.

Nessa etapa do projeto foi definido que o hardware de aquisição dos dados de vácuo teria que ser um sensor de alta acurácia e precisão já que esse processo

tem elevada importância para qualidade do produto e por isso apenas duas empresas atenderam esses critérios por serem líderes no segmento.

3.2. TESTES DE CAMPO

Os testes de campo foram realizados com os dois fornecedores selecionados para participar dessa etapa, por possuir hardware com acurácia elevada e serem líderes de mercado no segmento de pressão de vácuo e injeção de gás refrigerante no mundo. Como esse processo é fundamental para manter a qualidade dos refrigeradores, não podem ser utilizados sensores que não consigam medir e disponibilizar os dados de forma precisa. Outra premissa do projeto é que o sistema de gestão dos dados gerados (curva de ensaio do vácuo em função do tempo) tenha conexão com a máquina de injeção de gás refrigerante.

Os testes de campo consistiram na instalação provisória do sensor de pressão de vácuo (Figuras 06) e do sistema de aquisição de dados de cada fornecedor em apenas uma bomba de vácuo de um total de 45 do carrossel. O hardware do fornecedor Agramkow foi testado em um dia e no outro dia o fornecedor Galileo, para comparação e validação.

Durante os testes foi feita a verificação de hardware com aquisição de dados de vácuo e geração da curva de ensaio (Figuras 05), sem realizar a conexão com banco de dados, apenas foi verificado a possibilidade, com os fornecedores, de seus respectivos sistemas atenderem esse requisito de conectividade.

Como resultado, foi verificado que os dois fornecedores de forma geral atendem os critérios pré-estabelecido. Um deles se destacou por uma aquisição e interface mais eficiente.

FIGURA 5 – HARDWARE TESTADO

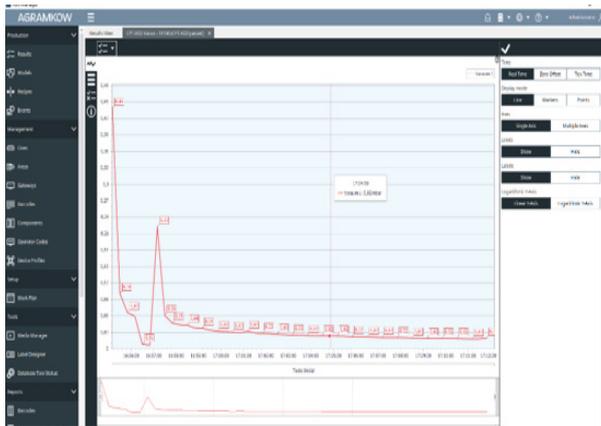
Hardware Agramkow



Hardware Galileo



Curva ensaio software Agramkow



Curva ensaio software Galileo

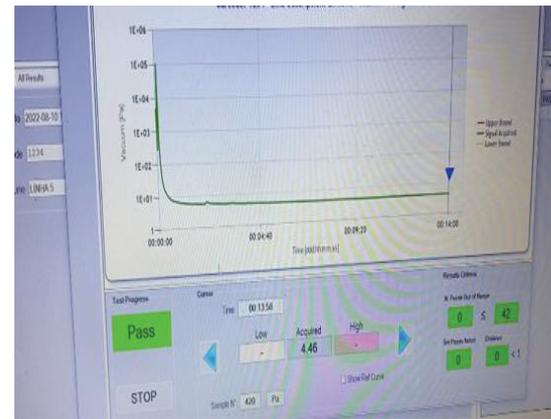


FIGURA 6 – SENSORES DE PRESSÃO DO FORNECEDOR AGRAMKOW



4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes de campo, conforme apresentado no Capítulo 3, foram concluídos. Como resultado verificou-se ambos os fornecedores atendem os requisitos inicialmente estipulados para o serviço, porém um dos fornecedores levou vantagem devido a seu produto utilizar o mesmo software de gestão de dados da máquina que faz injeção do gás refrigerante nos produtos. Este fornecedor foi selecionado para a continuidade do estudo pois a conectividade em banco de dados é fundamental para a tomada de decisão de injetar ou não gás no processo subsequente ao carrossel das bombas de vácuo, atendendo de forma mais efetiva o objetivo proposto.

O sensor testado e validado foi o modelo PSG500 da empresa Inficon, esse será interligado ao CPT-XD2 da marca Agramkow (Figura 06), essa fará a aquisição dos dados de pressão de vácuo e conectividade com o sistema de forma geral, uma vantagem é que esse equipamento possui uma excelente precisão e é do mesmo fabricante da máquina que faz a inserção do gás refrigerante nas geladeiras, isso facilita o gerenciamento dos dados e integração dos dois sistemas, já que esses utilizam o mesmo software de gerenciamento do processo.

Com os testes realizados, pode-se afirmar que com a instalação do sistema completo no carrossel de bombas de vácuo será possível gerar conhecimento e valor agregado para empresa, pois a curva de teste será salva em um banco de dados e o processo subsequente que é a carga de gás refrigerante vai consultar esse banco de dados para verificar se a pressão de vácuo de cada produto está de acordo ou não. Então, a máquina será programada para somente dar a carga de gás se o produto tiver passado no teste de vácuo, certificando que o sistema de refrigeração não possui impurezas.

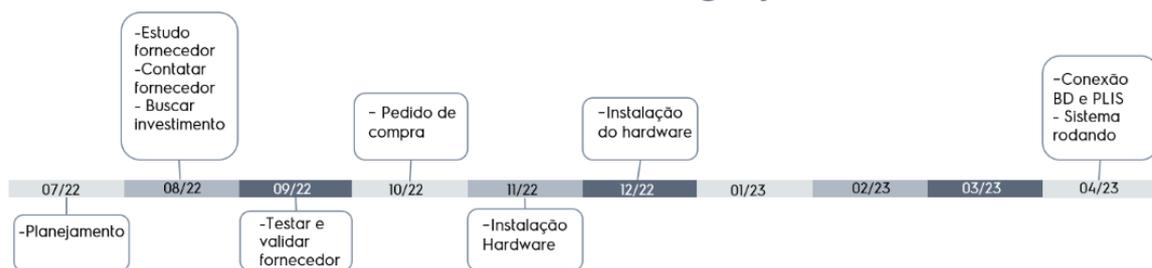
Atualmente, para continuidade do trabalho, está sendo realizado estudo de viabilidade econômica e cotação dos equipamentos, para na sequência iniciar a etapa de implementação na linha de produção.

Na próxima etapa será feita toda a implementação do hardware nas 45 bombas de vácuo do sistema de carrossel, integração dele com banco de dados e posteriormente com a máquina de injeção de gás refrigerante, tornando um sistema totalmente integrado, com isso será possível diminuir o tempo que os produtos ficam conectados com a bomba de forma assertiva objetivando ganhar 3% de produtividade com eliminação do gargalo para que seja possível acelerar a linha de produção como

um todo. Esta estimativa de ganho é preliminar e conservativa, baseada nos testes realizados, pois ainda passará por validação da área de qualidade.

Esse projeto depois de implementado na sua totalidade tem como objetivo obter ganho de produtividade de 3% que é a principal meta, também trará outros benefícios para companhia como rastreabilidade, controle estatístico do processo e conhecimento através da utilização dos dados no banco para a tomada de decisão.

FIGURA 7 – LINHA DO TEMPO DO PROJETO



A Figura 07 demonstra a linha do tempo da implementação do projeto, no momento está no processo de compras de hardware e serviços de implementação de todo sistema. Como foi realizado simulação de produção confrontando o atual tempo de vácuo a que são submetidos os produtos com o sugerido após o monitoramento online e capacidade produtiva da linha de montagem, isso demonstrou um possível ganho de aproximadamente de 3% de produção, o que pode gerar um lucro elevado, pois a ideia é aumentar a capacidade de produção com os mesmos recursos existentes, sem aumentar a quantidade de mão de obra ou processo, conforme cálculos preliminares o projeto se paga em 12 meses.

A linha de produção que está sendo estudada é considerada o projeto piloto deste trabalho dentro da fábrica. Após implementação deste, verificado e validado os ganhos, a ideia é replicar esse projeto para as demais linhas da planta.

5. CONCLUSÕES

Foi estudado e proposto um sistema inteligente para monitoramento em tempo real do vácuo no sistema de refrigeração, na linha de produção de geladeiras. O sistema proposto contempla a instalação de sensores de pressão de alta precisão acoplados a um sistema de aquisição de dados que se comunicará com a máquina de injeção de gás refrigerante, fazendo a automação do sistema.

Nos testes de campo foi comprovada viabilidade técnica da aplicação proposta, com dois diferentes fornecedores. A viabilidade econômica também foi comprovada e atualmente o projeto encontra-se na fase de aquisição dos equipamentos para implementação em toda a linha de produção em estudo.

Uma vez implementado o sistema nesta linha de produção, o estudo demonstrou um ganho de aproximadamente de 3% de produção - ganho de produtividade de 2 produtos por hora, com a eliminação do gargalo nesta linha.

Outro ganho mensurável desse trabalho vai em encontro as diretrizes da empresa no setor de conectividade, IOT, banco de dados para tomada de decisão, rastreabilidade do produto e no futuro até mesmo gerar um digital twin da linha de montagem com todos os processos monitorados.

Os grandes destaques do estudo até a presente fase são:

- conectividade dos processos;
- incremento do grau tecnológico da companhia;
- incremento do grau de automação da companhia;
- utilização de banco de dados para gerar conhecimento;
- mapeamento de um sistema gargalo para entender melhor o processo e otimizá-lo de forma precisa e assertiva;
- abertura de novas possibilidades para digitalização da manufatura para que seja possível gerar um digital twin posteriormente.

5.1. Sugestões de trabalhos futuros

Após a conclusão de todas as etapas do projeto, quando toda a integração do sistema proposto estiver implementada e operando, gerando conhecimento para

empresa e comprovado os ganhos, será possível e recomenda-se refinar os resultados preliminares:

- financeiro;
- qualidade dos produtos fabricados;
- rastreabilidade dos produtos fabricados.

Concluídas todas as etapas será possível fazer essa melhoria de processo e de tecnologia da indústria 4.0 nas demais linhas de produção da fábrica em estudo, contribuindo para gerar dados para trabalhos futuros de digitalização das linhas de produção como um digital twin para verificar mais ganhos que não foram visualizados nesse trabalho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Boletim da Engenharia 15 - Instalação, operação e manutenção dos sistemas de refrigeração comercial. Friotech. Disponível em: <http://www.friotech.com.br/pdf/be15.pdf> Acesso em: 12 de out. de 2022

Chegue aos 500 microns com sua Bomba de Vácuo. Eletrofrigor. Disponível em: <https://www.eletrofrigor.com.br/blog/post/cheque-aos-500-microns-com-sua-bomba-de-vacu> Acesso em: 12 de out. de 2022

Como funciona um refrigerador? Danfloss. Disponível em: <https://www.danfoss.com/pt-br/about-danfoss/our-businesses/cooling/the-fridge-how-it-works/> Acesso em: 12 de out. de 2022.

CORONEL, Carlos; Peter, Robert. **Sistema de Banco de Dados. Projeto, Implementação e Administração.** 1 ed. São Paulo: Cengage, 2010.

DATE, Christopher J. **Introdução a sistemas de bancos de dados.** Elsevier Brasil, 2004.

Etimmins, Jason. **Vacuum That Refrigeration System!** Tripont Refrigeration, 2013. Disponível em: <https://www.tripointrefrigeration.com/post/vacuum-that-refrigeration-system> Acesso em: 12 de out. de 2022

Evans, Paul. **Vacuum Pumps Explained.** The Engineering Mindset .com, 2019. Disponível em: <https://theengineeringmindset.com/vacuum-pumps-explained/> Acesso em: 12 de out. de 2022

ITO, Giani C. **Bancos de dados móveis: uma análise de soluções propostas para gerenciamento de dados.** Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

Lara, Rodrigo. **Sugando o calor para gerar frio: entenda como as geladeiras funcionam.** Tilt Uol, 2019. Disponível em: <https://www.uol.com.br/tilt/noticias/redacao/2019/10/10/a-tecnologia-por-tras-das-geladeiras.htm> Acesso em: 12 de out. de 2022.

SCHREIBER, Jonas F. et al. **Técnicas de imputação de dados aplicadas ao ambiente dassmart grids: uma revisão.** Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics, v. 8, n. 1, 2021.

The Buzz Newsletter - Moisture: How Just One Small Drop Dampens Your Profits, And The Vacuum Pump That Ensures Efficiency. Yellow Jacket. Disponível em: <https://yellowjacket.com/2017/08/moisture-just-one-small-drop-dampens-profits-vacuum-pump-ensures-efficiency/> Acesso em: 12 de out. de 2022

WENDLING, Marcelo. Sensores. **Universidade Estadual Paulista.** São Paulo, v. 2010, p. 20, 2010.

Why should the refrigeration system be vacuumed? Zhaouxue, 2021. Disponível em: <https://www.chinacoldroom.com/news/why-should-the-refrigeration-system-be-vacuumed.html> Acesso em: 12 de out. de 2022

CARDOSO, Marcelo de Oliveira. **Indústria 4.0: a quarta revolução industrial**. 2016. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Automação Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

RIBEIRO, Joaquim Meireles. **O conceito da indústria 4.0 na confecção: análise e implementação**. 2017. Tese de Doutorado.

Teixeira de Souza, M., & Almada Santos, F. C. (2020). **Operational Skills and Industry 4.0: Systematic Literature Review**. Future Studies Research Journal: Trends and Strategies, 12(2), 264–288. Disponível em <https://doi.org/10.24023/FutureJournal/2175-5825/2020.v12i2.499>

Tessarini, G., & Saltorato, P. (2018). **Impactos da indústria 4.0 na organização do trabalho: uma revisão sistemática da literatura**. Revista Produção Online, 18(2), 743–769. Disponível em <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v18i2.2967>

O que é um sensor de pressão? Pahc. Disponível em: <https://www.pahautomacao.com.br/o-que-e-um-sensor-de-pressao/> Acesso em: 10 de nov. de 2022.