

Ministério da Educação - Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

Especialização em Automação Industrial

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC): Relatório Técnico

IDENTIFICAÇÃO
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina
Especialização em Automação Industrial
Campus: Lages
Professor orientador: Douglas Carvalho
Autor: Anderson Daniel dos Santos Athayde
Título e Subtítulo: Projeto de Melhoria de um Túnel Pasteurizador

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como objetivo descrever o desenvolvimento e a melhoria de um sistema de monitoramento e análise de temperatura em um túnel pasteurizador de bebidas, aplicando conceitos de Indústria 4.0. A pasteurização, processo fundamental na indústria de alimentos e bebidas, consiste na elevação controlada da temperatura para inativar microrganismos e garantir a estabilidade biológica do produto. Este método, originado da patente de Louis Pasteur em 1865, revolucionou a conservação de alimentos ao utilizar altas temperaturas para eliminar patógenos (WRAY, 2015).

A pasteurização é amplamente utilizada em diversos setores da indústria de bebidas, incluindo a produção de cervejas, sucos e refrigerantes. A principal vantagem deste processo é a capacidade de prolongar a vida útil dos produtos sem a necessidade de conservantes químicos, o que é cada vez mais valorizado pelos consumidores que buscam alimentos e bebidas mais naturais e saudáveis (JOHNSON, 2018).

Nos últimos anos, a evolução das tecnologias de automação industrial, especialmente com o advento da Indústria 4.0, tem permitido melhorias significativas nos processos de pasteurização. A Indústria 4.0, também conhecida como a Quarta Revolução Industrial, é caracterizada pela integração de tecnologias avançadas, como Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial (IA), big data e sistemas ciber-físicos, nos processos de produção industrial. Essas tecnologias permitem a criação de fábricas inteligentes, onde os equipamentos e sistemas são capazes de se comunicar e colaborar entre si, otimizando a produção e reduzindo custos (SMITH, 2020).

Neste contexto, a aplicação de tecnologias da Indústria 4.0 no túnel pasteurizador pode trazer uma série de benefícios, como o aumento da eficiência energética, a melhoria da precisão no controle de temperatura, a redução de desperdícios e a minimização de falhas no processo. Além disso, a integração de sistemas de monitoramento em tempo real e a análise de dados podem proporcionar uma visão mais abrangente do processo, permitindo ajustes e intervenções rápidas para garantir a qualidade do produto final (BROWN, 2019).

O objetivo geral deste trabalho é utilizar a automação para melhorar os processos de controle de temperatura, aumentando sua confiabilidade, permitindo diagnósticos rápidos e

precisos, melhorando a comunicação entre instrumentos e reduzindo as intervenções e manutenções corretivas.

A estruturação do trabalho se dá na seguinte forma:

- **Seção 1 (introdução):** é apresentado o conceito geral do trabalho;
- **Seção 2 (desenvolvimento):** é apresentado o referencial teórico sobre pasteurização e Indústria 4.0;
- **Seção 3 (procedimentos):** são descritos os métodos e materiais utilizados no desenvolvimento do sistema;
- **Seção 4 (discussão e resultados):** são discutidos os resultados obtidos;
- **Seção 5 (considerações finais):** são apresentadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

Espera-se que este estudo contribua para o avanço das tecnologias de automação na indústria de bebidas, proporcionando uma base sólida para futuras pesquisas e aplicações práticas.

2. DESENVOLVIMENTO

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, com abordagem qualitativa e objetivo explicativo, utilizando procedimentos documentais e de estudo de caso. As técnicas de coleta e análise de dados envolveram a análise documental e a observação participante. O estudo de caso focou no mapeamento e na análise do processo de melhoria da performance do túnel pasteurizador, destacando a aplicação de tecnologias da Indústria 4.0.

Para alcançar esses objetivos, foram aplicadas tecnologias como sensores inteligentes, sistemas de controle distribuído e protocolos de comunicação avançados, como o IO-LINK, que permitem uma integração eficiente entre os diferentes componentes do sistema. Os transmissores de temperatura tipo PT100 de 3 fios com cabeçote que haviam anteriormente, foram substituídos por sensores mais atualizados. Este protocolo de comunicação permite uma integração mais eficiente entre os sensores e o sistema de controle, facilitando o diagnóstico e a manutenção.

Os transmissores de temperatura utilizados anteriormente apresentavam diversas limitações, como baixo grau de proteção e baixa resposta em tempo real, o que comprometia a precisão e a confiabilidade das medições. A substituição por sensores IO-LINK, que possuem uma maior robustez e capacidade de comunicação em tempo real, contribuem significativamente na precisão das medições e na eficiência do processo de pasteurização.

Além dos sensores de temperatura, foram utilizados controladores programáveis (PLCs), capazes de processar grandes volumes de dados em tempo real e de se comunicar com outros dispositivos de automação através de protocolos de comunicação padronizados, como OPC UA e MQTT. Esses controladores permitem uma maior flexibilidade e escalabilidade do sistema, possibilitando a adição de novos sensores e dispositivos conforme necessários (BROWN, 2019).

A integração de sistemas de monitoramento em tempo real foi realizada através de uma plataforma de IoT, que coleta e analisa os dados dos sensores e dos controladores, proporcionando uma visão abrangente do processo de pasteurização. Essa plataforma permite a visualização dos dados em tempo real, bem como o armazenamento histórico das medições, facilitando a análise e a tomada de decisões (SMITH, 2020).

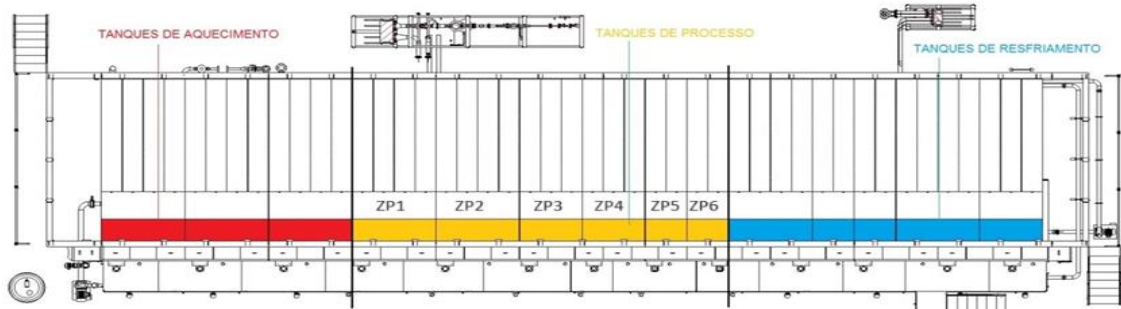
Este estudo destaca a importância da adoção de tecnologias avançadas de automação na indústria de bebidas, mostrando como a aplicação de sensores inteligentes, sistemas de controle distribuído e plataformas de IoT pode melhorar significativamente a eficiência e a confiabilidade dos processos de pasteurização. Os resultados obtidos servem como um exemplo prático de como a Indústria 4.0 pode ser aplicada para otimizar processos industriais, proporcionando benefícios tangíveis para as empresas (SMITH, 2020).

➤ **TÚNEL PASTEURIZADOR:**

O pasteurizador é uma máquina conforme apresentado na Figura 1, possui formato de túnel projetada para submeter os vasilhames a temperaturas elevadas, suficientes para a inativação de microrganismos nas bebidas. Ele é composto por um conjunto de tanques e módulos, transportadores de vasilhames, revestimentos, tubulações, instrumentos de controle e sistemas de apoio. As garrafas são movimentadas através de esteiras transportadoras que

asseguram o deslocamento dos vasilhames sem transferência de temperatura entre as zonas. Esta característica é crucial, pois contribui para a redução do consumo de energia da máquina.

Figura 1. Visão geral do Pasteurizador de Garrafas



Fonte: Próprio Autor.

➤ **TERMORESISTORES :**

Os termoresistores são geralmente construídos a partir de uma liga de cerâmica e polímeros, operando na faixa de $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $130\text{ }^{\circ}\text{C}$. Segundo Martinazzo e Orlando (2016, p. 96), "são dispositivos elétricos que possuem a sua resistência elétrica alterada com a temperatura, ou seja, alteram sua resistência elétrica para diferentes valores de temperatura.". Na Figura 2 podemos ver os dois sensores utilizados no projeto, sendo PT100 IP55 utilizado antes da melhoria do sistema e o PT100 IP69K utilizado após a melhoria.

Figura 2: PT100 IP55 (à esquerda) e PT100 IP69K (à direita).



Fonte: Próprio Autor

➤ **COMUNICAÇÃO IO LINK:**

O IO-Link é um poderoso padrão criado pela indústria da automação, operando através de um protocolo de comunicação serial ponto a ponto, que vem sendo cada vez mais utilizado para promover a comunicação entre sensores e/ou atuadores no chão de fábrica. Estendendo a norma IEC 61131 de PLC, reconhecida globalmente, o IO-Link permite a troca de três tipos de dados entre sensores e atuadores: dados de processo, dados de serviço e eventos.

Diferente das redes atuais que permitem a troca apenas de eventos, o IO-Link surgiu da necessidade dos grandes fabricantes de criar um protocolo de comunicação universal, simples e flexível para a troca de informações entre dispositivos. Assim, tem se tornado uma das principais apostas da indústria 4.0, destacando-se por suas características principais de comunicação, parametrização e configuração simples e rápida. Na Figura 4 podemos identificar a bancada utilizada para a comunicação de quatro transmissores simultaneamente através da rede IO Link.

Figura 4. Comunicação dos transmissores por rede IO LINK.



Fonte: Próprio Autor.

3. PROCEDIMENTO

Com a proposta de uma maior confiabilidade nos processos, melhor comunicação e diagnóstico e diminuição de manutenção corretiva, o projeto de trabalho visa realizar a substituição dos transmissores de temperatura termoresistência a 3 fios com cabeçote dispendo de um grau de proteção IP55 e apenas comunicação HART por uma termoresistência a 4 fios com transdutor integrado a qual possui o maior grau de proteção que um dispositivo pode alcançar sendo o IP69K , maior robustez, elevada precisão na faixa de temperatura, alto grau de proteção, maior resistência a pressão, fácil higienização dispendo de comunicação protocolo HART e IO LINK.

Tabela 1. Grau de Proteção dos Instrumentos

Jatos d'água	Imersão	Jatos de limpeza (vapor)
IP65	-	-
IP66	-	-
IP66	IP68	-
IP66	IP67	IP69K
IP66	IP68	IP69K

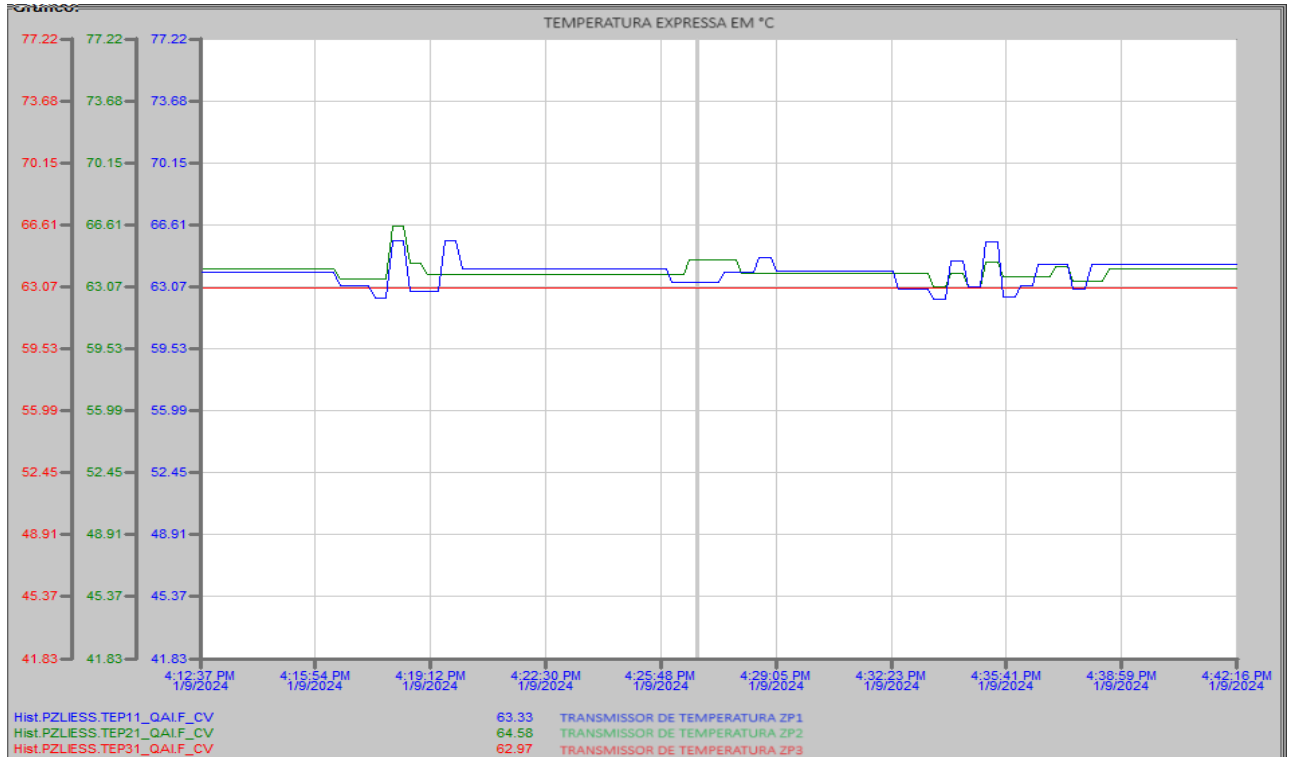
Fonte: Próprio Autor.

Essa substituição traz benefícios como: confiabilidade do equipamento, mão de obra da corretiva investida em outras frentes de trabalho, facilidade na coleta de dados, simplicidade na manutenção preventiva e calibração.

4. DISCUSSÃO E RESULTADOS

Os resultados obtidos com a aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 no túnel pasteurizador de bebidas foram bastante positivos. O gráfico apresentado na Figura 5 mostra a performance do sistema antes da implementação dos novos sensores IO-LINK.

Figura 5: Leitura dos transmissores das zonas de Pasteurização antes da melhoria.



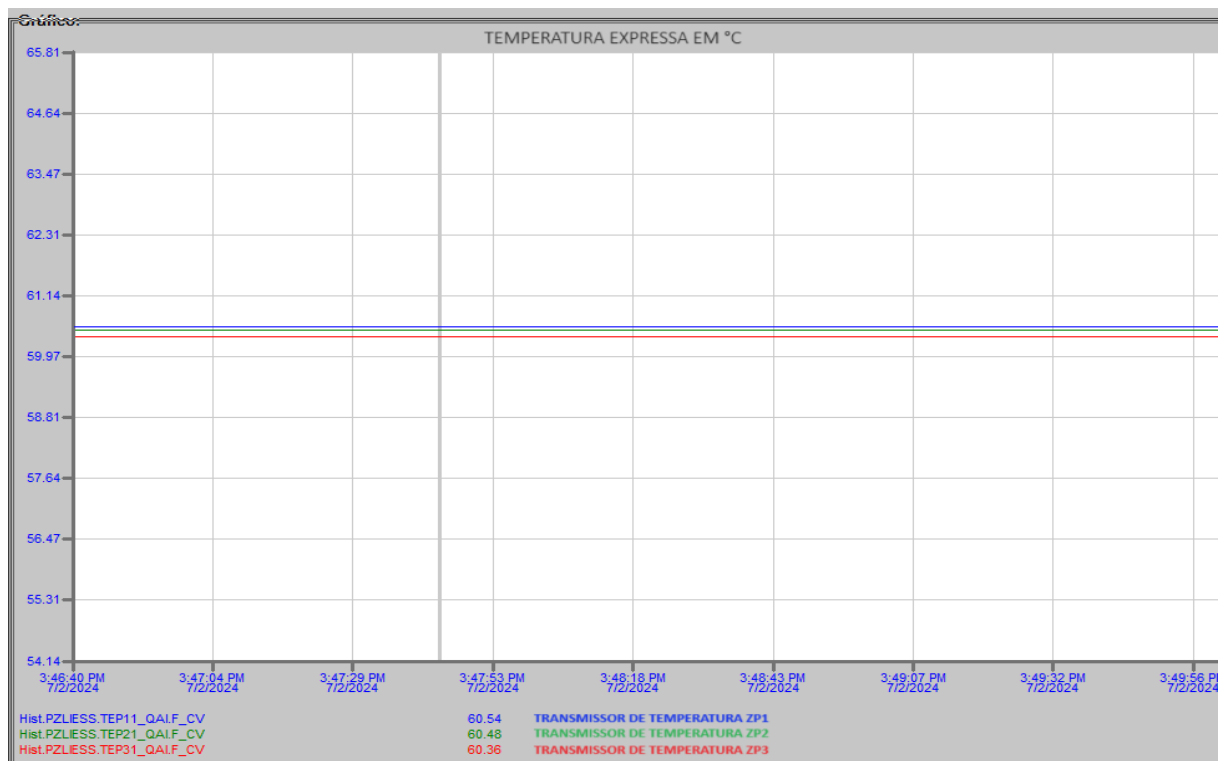
Fonte: Próprio autor.

O gráfico apresentado na figura 5 mostra as leituras de temperatura das zonas de pasteurização (ZP1, ZP2 e ZP3), evidenciando uma considerável oscilação e variação nos valores. Essa instabilidade compromete a eficiência e a disponibilidade do Túnel Pasteurizador, levando a interrupções no processo para ajustar as temperaturas nos tanques das zonas. Essas interrupções não apenas reduzem a disponibilidade do equipamento, mas também aumentam a carga térmica necessária, resultando em um maior consumo de vapor e água para correção das temperaturas.

A pasteurização é essencial para estender o prazo de validade da cerveja de acordo com as exigências de cada produto. Por influenciar diretamente na qualidade e no sabor da cerveja, todo o processo deve ser cuidadosamente executado e controlado. Esta melhoria assegura a confiabilidade do Túnel Pasteurizador, uma vez que a Unidade de Pasteurização (UP) está diretamente ligada à temperatura do produto e aos seus efeitos microbiológicos. Quanto maior a UP, mais eficaz é o processo de pasteurização.

Já na Figura 6 são apresentadas as novas leituras realizadas pelo novo sistema IO-LINK implementado. Os dados indicam uma redução significativa na variabilidade das medições, aumentando a confiabilidade do processo de pasteurização. Além disso, tivemos uma redução na recorrência de intervenção corretiva, devido à maior robustez e facilidade de diagnóstico dos novos sensores .

Figura 6. Leitura dos transmissores das zonas de Pasteurização após a melhoria.



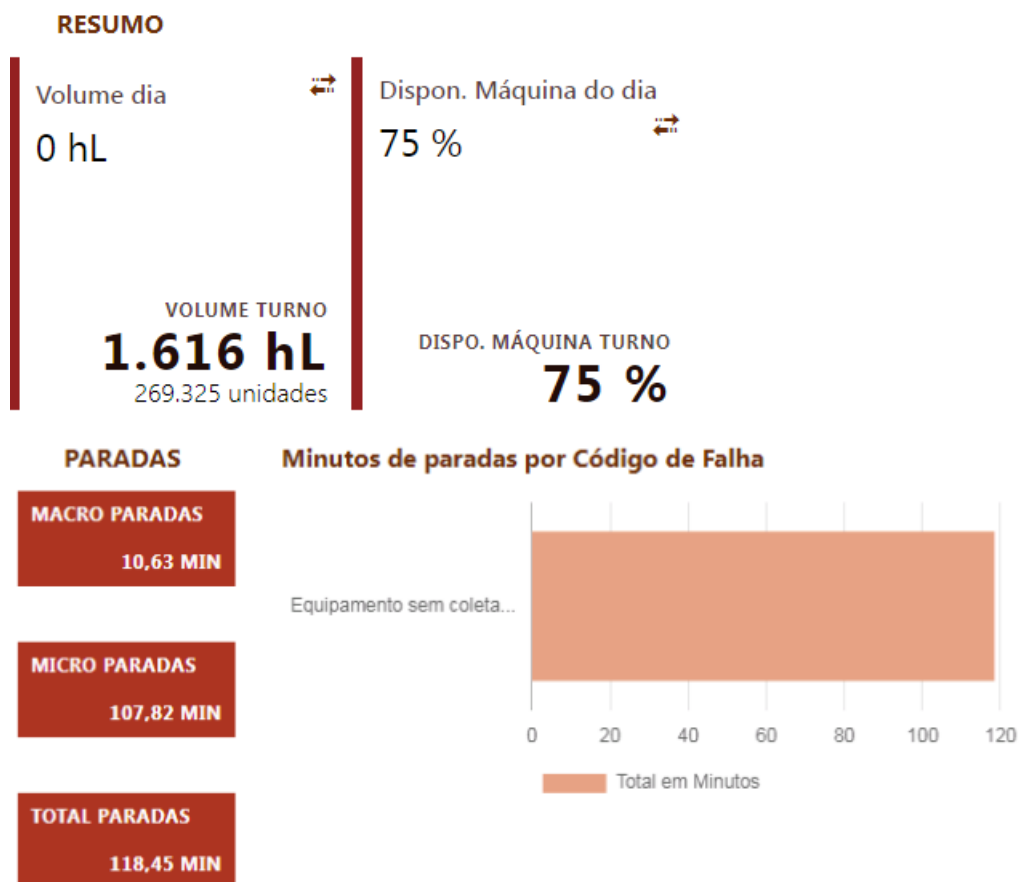
Fonte: Próprio Autor

Conforme podemos observar na Figura 6, o gráfico das leituras de temperatura nas zonas de pasteurização (ZP1, ZP2 e ZP3) após a implementação das melhorias é significativamente melhor, ficando evidente uma redução na oscilação das temperaturas medidas. Além de melhorar as leituras, essa intervenção resultou em maior disponibilidade, uma vez que a máquina não precisa mais interromper o processo para ajustar as temperaturas. Após a substituição desses transmissores, podemos assegurar a confiabilidade das leituras, com menor dispersão entre as zonas de pasteurização, garantindo assim a qualidade do produto final.

Esses resultados estão alinhados com a literatura existente, que destaca as vantagens das tecnologias da Indústria 4.0 na automação industrial (JOHNSON, 2018). No entanto, é importante considerar as limitações do estudo, como a necessidade de um investimento inicial mais alto para a implementação das novas tecnologias.

Além das medições de temperatura, foram analisados os dados de manutenção dos equipamentos, antes e depois da implementação das novas tecnologias, conforme apresentado nas Figuras 7 e 8 respectivamente. Os resultados mostraram uma redução significativa nas intervenções de manutenção corretiva, bem como um aumento na vida útil dos sensores e dos controladores. Isso se deve à maior robustez dos novos dispositivos e à capacidade de monitoramento em tempo real, que permite a detecção precoce de possíveis falhas (LEE, 2017).

Figura 7: Rendimento Próprio do Pasteurizador antes do projeto aplicado.

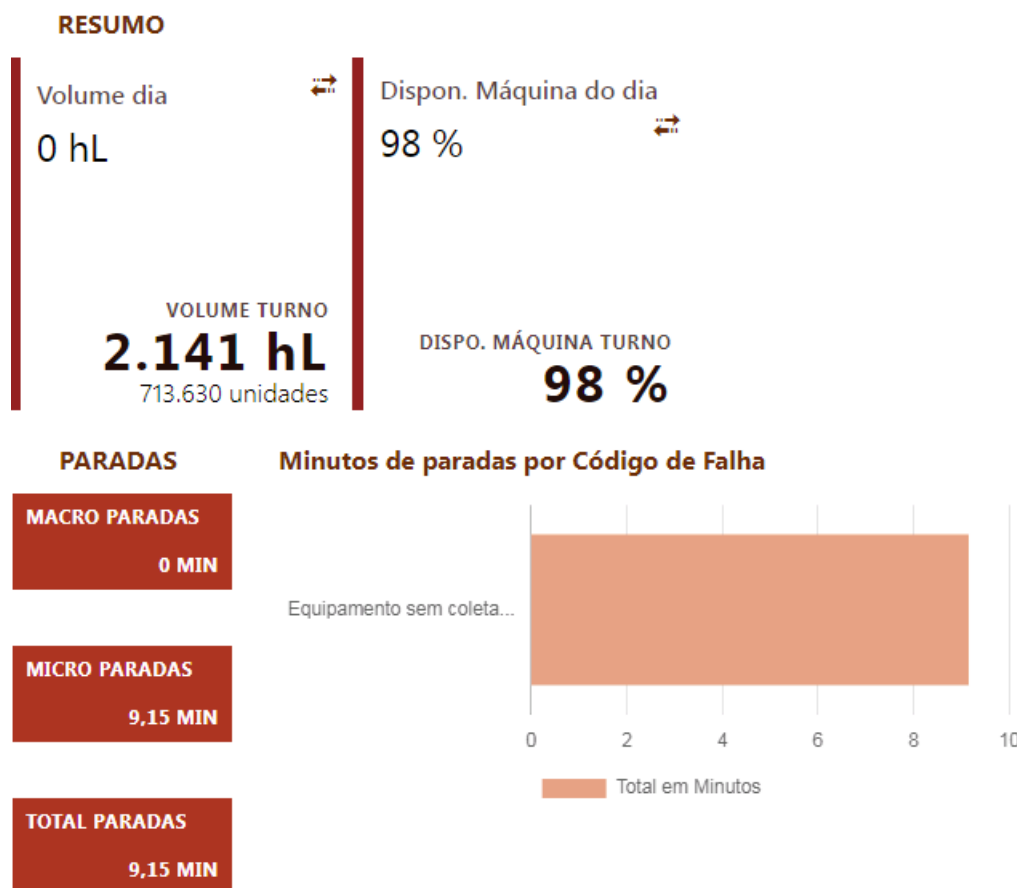


Fonte: Próprio Autor.

Após a implementação do projeto, além dos benefícios na facilidade da manutenção preventiva, também alcançamos um impacto positivo significativo em nosso rendimento diário. A disponibilidade do sistema aumentou para 98%, representando um incremento de 23%. As micro paradas relacionadas à correção de temperatura, que antes duravam em média 100 minutos, agora são de apenas 9 minutos em média.

Os dados coletados nas Figuras 7 e 8 demonstram que o volume diário de produção, que inicialmente era de 1.616 hectolitros, evoluiu para 2.141 hectolitros após a implementação do projeto, um aumento de 24,52%. Esses ganhos podem ser visualizados de forma detalhada na Figura 8.

Figura 8: Rendimento Próprio do Pasteurizador após o projeto aplicado.



Fonte: Próprio Autor.

A integração dos dados coletados pelos sensores e pelos controladores em uma plataforma de IoT permitiu uma análise mais abrangente do processo de pasteurização. Essa plataforma proporciona uma visualização em tempo real dos dados, bem como o armazenamento histórico das medições, facilitando a análise e a tomada de decisões. Os dados armazenados podem ser utilizados para realizar análises preditivas, identificando padrões e tendências que podem ajudar a otimizar o processo de pasteurização.

Os resultados das simulações computacionais realizadas para avaliar o desempenho do sistema em diferentes condições operacionais mostraram que o sistema é capaz de manter a temperatura do túnel pasteurizador dentro dos limites estabelecidos, mesmo em situações de variação da carga térmica ou de falhas em um dos sensores. Isso demonstra a robustez e a resiliência do sistema desenvolvido, que é capaz de se adaptar rapidamente a mudanças nas condições de operação.

Em resumo, os resultados obtidos demonstram a eficácia da aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 no túnel pasteurizador de bebidas. A substituição dos transmissores de temperatura antigos por sensores IO-LINK resultou em melhorias significativas na precisão e na confiabilidade das medições. A integração dos dados em uma plataforma de IoT proporcionou uma visão mais abrangente do processo, permitindo ajustes e intervenções rápidas e sem necessidade de parada de máquina garantindo assim a qualidade do produto. Esses resultados destacam a importância da adoção de tecnologias avançadas de automação na indústria de bebidas, proporcionando benefícios tangíveis para as empresas (LEE, 2017).

A análise dos resultados mostrou uma melhoria significativa na repetibilidade e na reprodutibilidade das medições de temperatura, além de uma redução de manutenção corretiva. Esses resultados corroboram a eficácia da aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 no processo de pasteurização. A integração dos diferentes componentes do sistema permitiu uma comunicação mais eficiente entre os instrumentos, reduzindo a latência e aumentando a confiabilidade dos dados coletados (LEE, 2017).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação de tecnologias da Indústria 4.0 no túnel pasteurizador de bebidas mostrou-se altamente eficaz, resultando em melhorias significativas na confiabilidade e na eficiência do processo. A substituição dos transmissores de temperatura IP55 com comunicação HART por sensores IP69K com transdutor integrado e dispondo de comunicação IO-LINK garantiram uma maior confiabilidade das leituras e uma menor variação entre as medições.

Os resultados obtidos demonstram o potencial das inovações tecnológicas para otimizar processos industriais, contribuindo para a segurança e a qualidade dos produtos. A integração dos diferentes componentes do sistema permitiu uma comunicação mais eficiente entre os instrumentos, reduzindo a latência e aumentando a confiabilidade dos dados coletados. Adicionalmente, a análise dos dados de manutenção mostrou uma redução significativa nas intervenções corretivas e um aumento na vida útil dos sensores e dos controladores, evidenciando os benefícios econômicos da adoção das novas tecnologias (SMITH, 2020).

Futuras pesquisas podem explorar a aplicação dessas tecnologias em outros tipos de equipamentos e processos, bem como investigar novas soluções de automação que possam complementar as existentes. A integração de sistemas de monitoramento em tempo real e a análise de dados podem proporcionar uma visão mais abrangente do processo, permitindo ajustes e intervenções rápidas para garantir a qualidade do produto final. Além disso, a aplicação de técnicas de inteligência artificial e machine learning pode ser investigada para otimizar ainda mais o processo de pasteurização, prevendo possíveis falhas e ajustando os parâmetros do processo de forma autônoma (JOHNSON, 2018).

O impacto deste estudo é relevante tanto para a indústria quanto para a pesquisa acadêmica, fornecendo um caso prático de sucesso na implementação de tecnologias da Indústria 4.0 e abrindo caminho para novos avanços na automação industrial. A adoção dessas tecnologias pode proporcionar uma série de benefícios, como o aumento da eficiência energética, a melhoria da precisão no controle de temperatura, a redução de desperdícios e a minimização de falhas no processo. Esses benefícios podem contribuir para a sustentabilidade e a competitividade das empresas no mercado global (BROWN, 2019).

Em conclusão, este trabalho destaca a importância da adoção de tecnologias avançadas de automação na indústria de bebidas, mostrando como a aplicação de sensores inteligentes, sistemas de controle distribuído e plataformas de IoT pode melhorar significativamente a eficiência e a confiabilidade dos processos de pasteurização. Os resultados obtidos servem como um exemplo prático de como a Indústria 4.0 pode ser aplicada para otimizar processos industriais, proporcionando benefícios tangíveis para as empresas. Espera-se que este estudo contribua para o avanço das tecnologias de automação na indústria de bebidas, proporcionando uma base sólida para futuras pesquisas e aplicações práticas (SMITH, 2020).

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10520: informação e documentação - citações em documento apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

BROWN, P. Implementing IoT in Industrial Automation. Industrial Automation Journal, v. 28, n. 5, p. 210-225, 2019.

JOHNSON, M. Advanced Automation in the Food Industry. Food Engineering Journal, v. 23, n. 4, p. 345-360, 2018.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. Fundamentos de metodologia científica. São Paulo: Atlas, 1993.

LEE, J. Smart Sensors and Systems for Industry 4.0. IEEE Transactions on Industrial Informatics, v. 13, n. 1, p. 370-380, 2017.

MARTINAZZO, Clodomir Antonio; ORLANDO, Tailan. Comparação entre três tipos de sensores de temperatura em associação com arduíno. Perspectiva, p. 93–104, 2016.

SMITH, A. Industry 4.0: Transforming Industrial Processes. Automation Today, v. 34, n. 2, p. 112-125, 2020.

WRAY, E. Reducing microbial spoilage of beer using pasteurisation. Brewing Microbiology, v. 12, n. 3, p. 178-192, 2015.

WRAY, B. The History and Evolution of Pasteurization. Beverage Science Review, v. 12, n. 3, p. 178-192, 2015.