



PROJETO DE AUTOMAÇÃO PARA MONITORAMENTO E BOMBEAMENTO DE VINHAÇA EM USINA DE CANA-DE-AÇÚCAR

Acadêmico do Curso de Engenharia de Controle e Automação: Renato
Penteado Machado Papini

Acadêmico do Curso de Engenharia de Controle e Automação: Tadeu Barcelos
Ferreira

Docente Orientador do Curso de Engenharia de Controle e Automação:
Marcelo Lucas

Universidade de Uberaba – Uniube, Uberaba – MG, Brasil
E-mail do autor correspondente: papinirenato2@gmail.com
E-mail do autor correspondente: tadeu1barcelos@gmail.com

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema automatizado para monitoramento e bombeamento de vinhaça em uma usina de cana-de-açúcar. A vinhaça, um subproduto da destilação do etanol rico em nutrientes, é utilizada na fertirrigação, promovendo a sustentabilidade agrícola. O sistema proposto substitui a operação manual e local das bombas, que era ineficiente e suscetível a falhas humanas, por um controle automatizado baseado em sensores e tecnologia LoRa.

A automação inclui transmissores de nível que monitoram as piscinas de vinhaça e enviam dados a um CLP, que controla o acionamento de oito bombas equipadas com inversores de frequência. Esse controle otimiza a distribuição do subproduto, evita desperdícios e reduz o consumo energético. A Interface Homem-Máquina (IHM) e o sistema supervisório permitem o gerenciamento remoto e em tempo real, aumentando a eficiência operacional e a segurança.

Resultados mostram uma redução significativa nas manutenções das bombas e melhorias na gestão da vinhaça. O projeto exemplifica como a automação pode integrar tecnologias modernas para tornar os processos agrícolas mais sustentáveis, reduzindo custos e impactos ambientais, ao mesmo tempo que melhora a ergonomia e a eficácia operacional dos sistemas industriais.

Palavras-chave: Automação; Sensores; Monitoramento de Nível; IHM



ABSTRACT

This study presents the development of an automated system for monitoring and pumping vinasse in a sugarcane mill. Vinasse, a byproduct of ethanol distillation rich in nutrients, is used in fertigation, promoting agricultural sustainability. The proposed system replaces the inefficient and error-prone manual and local operation of pumps with an automated control system based on sensors and LoRa technology.

The automation includes level transmitters that monitor the vinasse pools and send data to a PLC, which controls the operation of eight pumps equipped with frequency inverters. This control optimizes the distribution of the byproduct, prevents waste, and reduces energy consumption. The Human-Machine Interface (HMI) and supervisory system enable remote and real-time management, increasing operational efficiency and safety.

Results show a significant reduction in pump maintenance and improvements in vinasse management. The project exemplifies how automation can integrate modern technologies to make agricultural processes more sustainable, reduce costs and environmental impacts, while improving the ergonomics and operational effectiveness of industrial systems.

Keywords: Automation; Sensors; Level Monitoring; IHM

1. INTRODUÇÃO

A vinhaça é um subproduto gerado durante a destilação do etanol, especialmente na etapa de fermentação da cana-de-açúcar. Rica em nutrientes como potássio, nitrogênio e fósforo, é amplamente utilizada como fertilizante natural no cultivo da cana, contribuindo para a redução do uso de adubos químicos e aumentando a sustentabilidade da produção agrícola. Após sua geração, a vinhaça é armazenada em três piscinas na usina, de onde é transportada para os campos de plantio através de tubulações para a fertirrigação. Esse transporte é realizado por oito bombas, cada uma equipada com inversores de frequência.

Anteriormente, o acionamento dessas bombas era feito manualmente e de forma local, diretamente nos inversores instalados no Centro de Controle de Motores (CCM). Esse processo dependia da presença física dos operadores e exigia que cada bomba fosse controlada individualmente, o que tornava a operação das bombas complexa, demorada e suscetível a falhas humanas, além de dificultar o ajuste dinâmico das condições operacionais. Ademais, a ausência de monitoramento automatizado dos níveis das piscinas de vinhaça aumentava o risco de falhas no transporte e subutilização dos recursos.

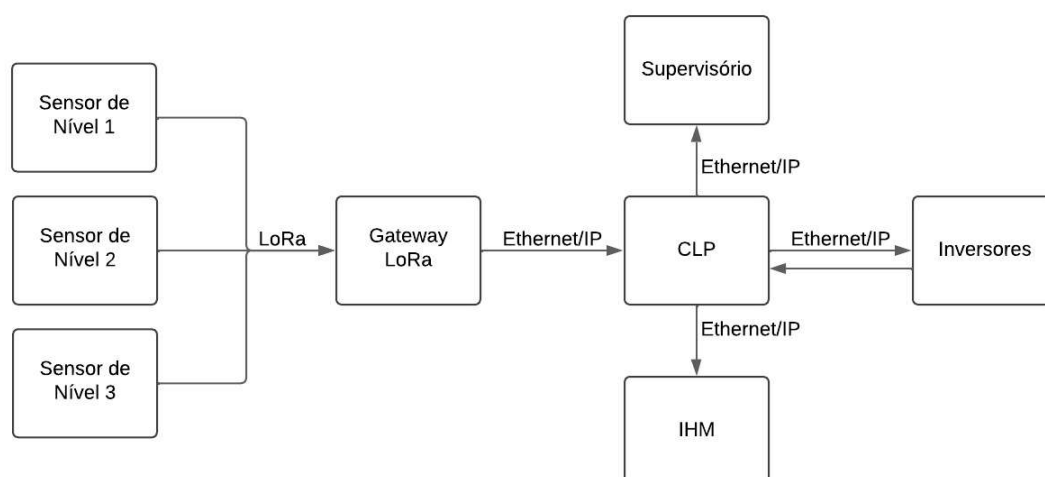
Diante desse cenário, foi projetado e implementado um novo sistema de automação, com o objetivo de modernizar a operação de transporte de vinhaça e superar as limitações do sistema anterior. O novo sistema introduz o monitoramento automatizado dos níveis nas piscinas, utilizando transmissores de nível que enviam informações via rádio por meio da tecnologia LoRa, conhecida por seu baixo consumo de energia e grande alcance. Além disso, o acionamento das bombas foi centralizado e agora pode ser realizado remotamente, tanto pelo sistema supervisor quanto por uma Interface Homem-Máquina (IHM). Essa modernização permite um controle mais ágil e eficiente, facilitando a operação e otimizando o uso da vinhaça na fertirrigação.

Baseado nos conceitos de automação industrial descritos por Macedo e Silva (2020), o novo sistema não apenas melhora a eficiência e reduz a

complexidade operacional, mas também contribui para a sustentabilidade, otimizando recursos e reduzindo custos e impactos ambientais.

Para uma melhor compreensão deste trabalho, será apresentado abaixo na Figura 1 um diagrama do projeto abaixo, e cada bloco será explicado logo em seguida.

Figura 1 – Diagrama de Blocos do Processo



Fonte: Próprio Autor

O sistema de automação para monitoramento e bombeamento de vinhaça foi desenvolvido com equipamentos modernos e de alta precisão, integrados para garantir eficiência e confiabilidade. Os sensores de nível utilizados são do modelo SN300LR, dispositivos ultrassônicos projetados para medições contínuas em ambientes industriais. Esses sensores possuem uma faixa de medição ajustável entre 0,2 m e 10 m, com uma precisão de $\pm 0,5\%$ do alcance total, permitindo leituras confiáveis mesmo em condições adversas. O invólucro é feito de polipropileno, resistente a agentes corrosivos como os vapores da vinhaça, enquanto sua temperatura de operação varia de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Utilizando comunicação LoRa, os sensores transmitem dados de nível a longas distâncias, com alcance de até 15 km e consumo energético inferior a 0,2 W, ideal para monitoramento remoto em grandes áreas.

Os dados dos sensores são coletados pelo Gateway LoRa V3, que atua como um hub de comunicação, integrando os sinais ao restante do sistema por meio do protocolo Ethernet/IP. O gateway é projetado para operar em



temperaturas de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$, com proteção contra surtos elétricos de até 4 kV e interferências eletromagnéticas, garantindo alta imunidade e estabilidade em ambientes industriais. Com latência inferior a 10 ms, ele assegura a transmissão rápida e precisa das informações para o CLP. Esse controlador, o modelo 1769-L35E da Allen-Bradley, é o núcleo central do sistema e processa todas as informações provenientes dos sensores. Ele possui uma capacidade de processamento de 0,8 ms por 1.000 instruções Booleanas, com suporte a até 30 módulos Compact I/O, entradas e saídas digitais e analógicas, e memória suficiente para programas complexos (512 KB para lógica e 1 MB para dados). O CLP integra múltiplos protocolos, como Ethernet/IP e Modbus TCP, garantindo compatibilidade com futuros sistemas e expansões. Sua operação é confiável mesmo em condições adversas, suportando vibração de até 5g e temperaturas de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Para o monitoramento em tempo real, o sistema utiliza o supervisório GE iFIX, que permite a visualização completa do processo, exibindo gráficos de tendências atualizados com taxas entre 100 ms e 1 s, além de armazenar históricos de dados por até 10 anos. Alarmes configurados no supervisório notificam os operadores sobre condições críticas, como níveis elevados ou falhas de comunicação, e sua interface é protegida por autenticação baseada em permissões. Essa segurança garante que apenas usuários autorizados possam alterar parâmetros críticos, promovendo maior controle e confiabilidade.

Complementando o supervisório, a Interface Homem-Máquina (IHM) Rockwell PanelView Plus 7 oferece um meio intuitivo e ergonômico para interação com o sistema. A IHM é equipada com uma tela widescreen de 10,4 polegadas, resolução de 800x600 pixels e capacidade touch-screen sensível ao toque, permitindo ajustes rápidos e precisos. Sua comunicação Ethernet/IP direta com o CLP garante uma resposta rápida, com tempo de atualização inferior a 200 ms. Além disso, a IHM exibe informações críticas, como o status operacional das bombas e níveis das piscinas, bem como alarmes sonoros e visuais em caso de falhas.

Os inversores de frequência Altivar 630, da Schneider Electric, são responsáveis pelo controle das bombas de vinhaça, ajustando a vazão de acordo



com a demanda. Eles suportam potências de 0,75 kW a 800 kW, sendo configurados para operar com bombas de 15 kW neste sistema. Os inversores integram-se ao CLP via Ethernet/IP e Modbus TCP, e oferecem funções avançadas como controle PID para ajustar pressão e vazão, proteção contra sobrecargas, subtensão e falhas de fase, além de um modo de economia de energia que reduz dinamicamente o consumo. A interface local dos inversores inclui um display LCD para diagnóstico e configuração, facilitando a manutenção e monitoramento local. Com proteção IP55, esses dispositivos são ideais para instalações sujeitas a poeira e umidade, características comuns em ambientes industriais.

Todos os dispositivos do sistema são conectados por um switch gerenciado Stratix 8000, que assegura a comunicação de alta velocidade e confiabilidade. Esse switch possui 10 portas Ethernet configuráveis e um módulo de expansão 1783-MX08T, adicionando mais 8 portas para atender à demanda de dispositivos no sistema. Ele também oferece suporte ao protocolo DLR (Device Level Ring), que garante redundância e recuperação automática em caso de falhas na rede. Com uma taxa de transmissão de até 1 Gbps, o switch reduz a latência de dados, promovendo sincronização eficiente entre todos os componentes, mesmo em situações de alta carga.

Esse conjunto de equipamentos integra-se de forma harmônica para proporcionar um sistema de automação robusto e eficiente. A tecnologia avançada empregada em cada componente, combinada à sua integração, garante o controle preciso do bombeamento de vinhaça, otimizando o consumo de energia, reduzindo custos operacionais e promovendo a sustentabilidade do processo. A automação também melhora significativamente a segurança e a confiabilidade do sistema, reduzindo a necessidade de intervenções manuais e aumentando a eficácia na gestão dos recursos da usina.

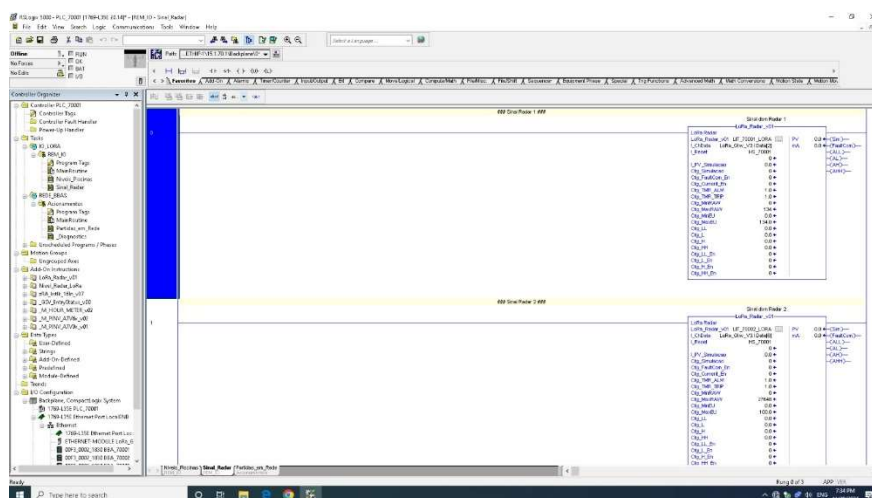
2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi projetado um sistema automatizado para o monitoramento e bombeamento de vinhaça, integrando componentes de hardware e software que garantem controle contínuo e preciso do processo. A comunicação entre os dispositivos foi estruturada utilizando o protocolo Ethernet/IP, conhecido por sua confiabilidade em aplicações industriais, conforme destacado por Pereira e Oliveira (2020). Essa escolha foi essencial para assegurar a interoperabilidade entre os equipamentos, permitindo a troca de dados em tempo real.

O sistema foi projetado com base em uma arquitetura de rede previamente planejada, onde foram definidos os dispositivos envolvidos, suas localizações físicas e o protocolo de comunicação a ser utilizado.

A centralização das informações e do controle foi realizada pelo controlador lógico programável (CLP) modelo 1769-L35E, que recebe os sinais de nível dos sensores SN300LR por meio do gateway LoRa V3. Esse gateway, além de integrar os sensores à rede sem fio, utiliza Ethernet/IP para transmitir os dados ao CLP, garantindo alta confiabilidade e desempenho na comunicação. Essa escolha foi determinante para atender à demanda de longas distâncias e alta resistência a interferências, comuns em ambientes industriais de grande porte. Abaixo, demonstramos alguns blocos lógicos, do RSLogix, utilizados no projeto para fazer a leitura dos dados transmitidos pelo gateway.

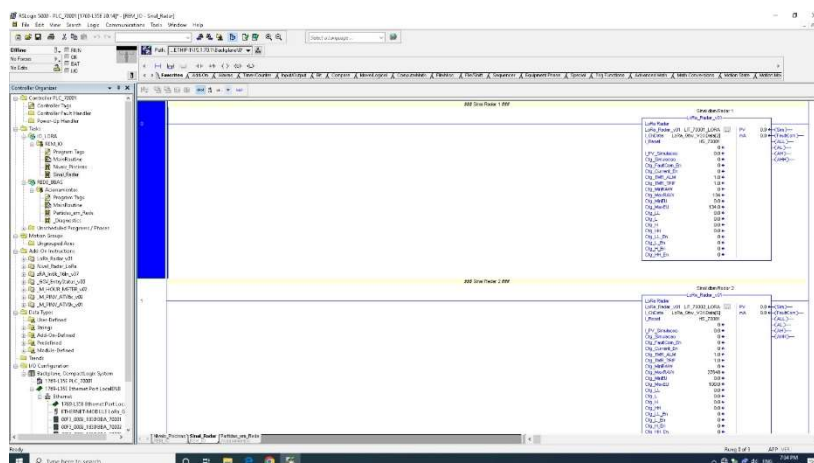
Bloco Lógico de Comunicação Utilizado no RSLogix



Fonte: Próprio Autor

Seguindo o raciocínio, por se tratar de uma tecnologia de um fabricante diferente do fornecedor, é necessário um conjunto de blocos, para que haja o devido acionamento da bomba. Segue abaixo, a imagem demonstrativa dos blocos utilizados no projeto.

Blocos de Acionamento



Fonte: Próprio Autor

Além disso, é válido ressaltar a importância de uma boa organização, dos equipamentos em um meio físico, haja visto que dimensionar bem os componentes do sistema, garante um prolongamento da vida útil deles. Abaixo é mostrado o painel elétrico, no qual será montado o esquema de acionamento.

Painel Elétrico do Sistema



Fonte: Próprio Autor

A seguir é demonstrado, a aparência física do sensor utilizado, demonstrando seu tamanho compacto.

Sensor de Nível SN300LR



Fonte: Próprio Autor

Os inversores de frequência altivar 630 foram integrados ao sistema utilizando arquivos EDS (Electronic Data Sheet), configurados diretamente no RSLogix 5000. Esse processo permitiu que o CLP reconhecesse os inversores e recebesse suas variáveis de operação, como frequência, corrente e status de funcionamento. Paralelamente, foi desenvolvido no RSLogix 5000 um conjunto de Add-Ons específicos para organizar as entradas e saídas dos sensores e dos inversores, facilitando o monitoramento e a detecção de falhas, como perda de comunicação ou condições críticas de operação.

Na figura a seguir, será exibido os painéis que irão conter os inversores utilizados no projeto:

Painel De Instalação dos Inversores



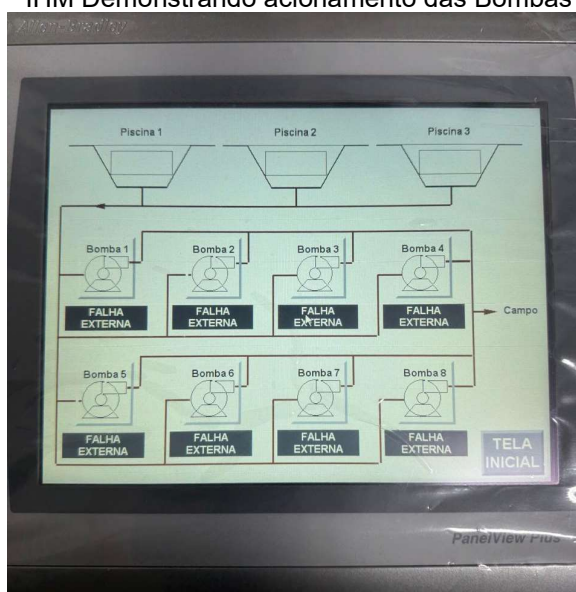
Fonte: Próprio Autor

Para suportar a comunicação entre todos os dispositivos, foi utilizado o switch gerenciado Stratix 8000, expandido com o módulo 1783-MX08T, que garantiu a conectividade contínua e de alta velocidade entre o CLP, o gateway LoRa, os inversores de frequência e os sistemas de supervisão. A confiabilidade e baixa latência do protocolo Ethernet/IP foram fundamentais para a sincronização do sistema, conforme destacado por Silva (2020), que enfatiza a importância de tecnologias robustas em redes industriais críticas.

A etapa seguinte consistiu na configuração do sistema de monitoramento e controle. A Interface Homem-Máquina (IHM), desenvolvida no Rockwell PanelView Plus 7, foi programada para exibir os diagnósticos do sistema, incluindo o status de operação das bombas, alarmes de falhas e condições de rede. Além disso, o sistema foi integrado ao supervisório GE iFIX, que permitiu

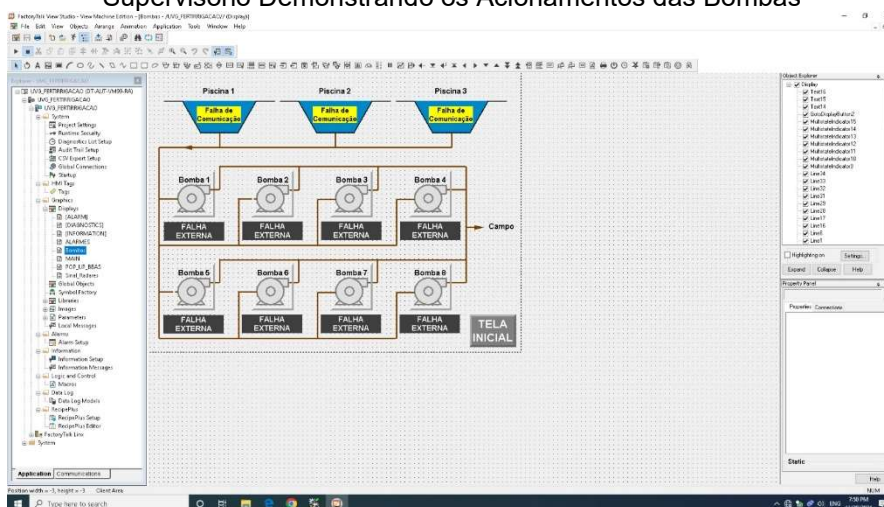
a visualização global do processo, o armazenamento de dados históricos e a emissão de notificações automáticas em casos de falhas ou anomalias. Segundo Macedo e Silva (2020), a integração de IHMs intuitivas e supervisórios robustos é essencial para aumentar a eficiência operacional e reduzir o tempo de resposta a problemas. Demonstramos com as figuras abaixo, as imagens da IHM e do Supervisório desenhados, destacando a facilidade de visualização.

IHM Demonstrando acionamento das Bombas



Fonte: Próprio Autor

Supervisório Demonstrando os Acionamentos das Bombas



Fonte: Próprio Autor

A implementação do sistema seguiu uma sequência estruturada, onde cada componente foi configurado e validado de forma integrada. Inicialmente, o CLP foi programado para processar os sinais provenientes dos sensores de nível e acionar as bombas de vinhaça de acordo com a demanda. Os motores das bombas, controlados pelos inversores Altivar 630, foram ajustados para oferecer um fluxo de bombeamento contínuo e adaptado às necessidades do sistema, evitando desperdícios de energia e garantindo a eficiência operacional. Em seguida, foram realizados testes para verificar a comunicação entre os dispositivos, simulando cenários de falhas e verificando a capacidade do sistema de responder a condições críticas de operação. Com os ajustes finais, o sistema foi validado para operação contínua, garantindo o alinhamento com os objetivos de automação sustentável e eficiência energética.

Sistema de Bombeamento de Água



Fonte: Próprio Autor

Com essa abordagem estruturada, o sistema automatizado demonstrou alto desempenho e confiabilidade, alinhando-se às boas práticas recomendadas por Silva (2020) e às metas de sustentabilidade ambiental, reduzindo

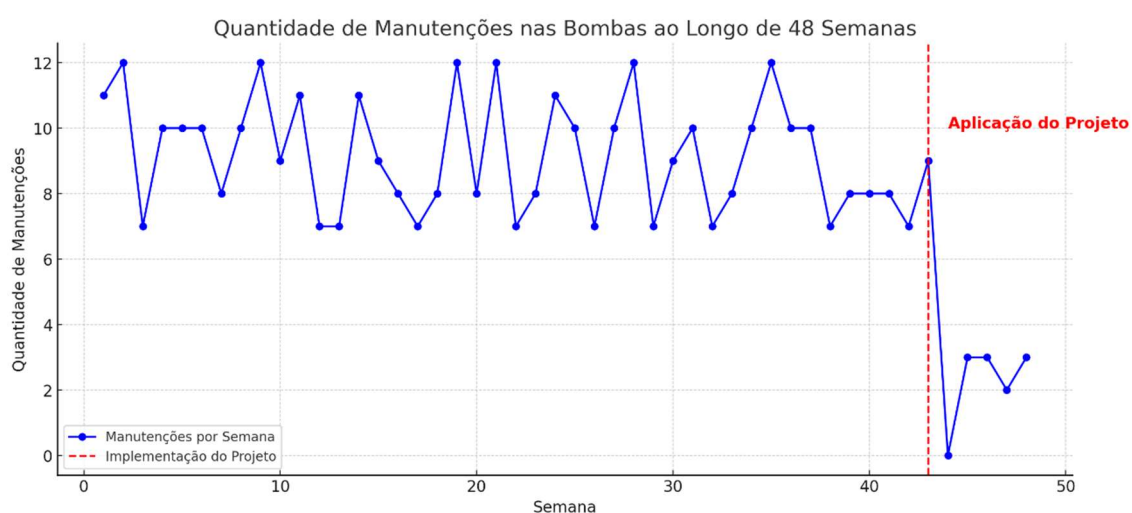


significativamente as intervenções manuais e otimizando o consumo de recursos naturais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A implementação do sistema de automação para monitoramento dos níveis de vinhaça e acionamento das bombas trouxe avanços substanciais na gestão deste subproduto, otimizando seu uso no processo de fertirrigação. O sistema conta com transmissores de nível SN300LR, integrados ao Wireless LoRa Gateway V3 e ao CLP 1769-L35, que permitem monitoramento contínuo e preciso dos níveis de vinhaça nas piscinas. Esse controle rigoroso ajuda a evitar transbordamentos e a garantir que a vinhaça seja utilizada de maneira eficaz, sem desperdícios e em conformidade com as exigências de fertirrigação. Oliveira (2017) destaca que a automação de processos industriais proporciona ganhos expressivos em precisão e eficiência operacional, o que se comprova neste caso com a capacidade do sistema de responder automaticamente a variações nos níveis de vinhaça, ajustando o processo conforme necessário.

No gráfico abaixo, podemos observar a quantidade de manutenções nas bombas ao longo de 48 semanas, destacando a diferença antes e depois da implementação do projeto de automação.



Fonte: Próprio Autor

A implementação do sistema de automação trouxe melhorias substanciais na operação e manutenção das bombas de vinhaça. Antes da automação, as manutenções semanais variavam entre 7 e 12. Após o projeto, essa média caiu



para 0 a 3, demonstrando a eficiência do controle automatizado no prolongamento da vida útil dos equipamentos. Este resultado corrobora estudos de Costa (2018), que destacam a contribuição dos inversores de frequência na redução do desgaste mecânico e no consumo energético dos motores industriais.

A implementação de inversores de frequência Altivar71 nas bombas foi fundamental para um controle preciso da vazão, permitindo que o fluxo fosse ajustado às demandas de cada piscina de vinhaça. Como afirma Costa (2018), o uso de inversores de frequência não só contribui para a economia de energia, mas também aumenta a durabilidade dos equipamentos, reduzindo a frequência de manutenção necessária. Esse benefício é evidente neste sistema, que apresentou uma diminuição no consumo energético das bombas e uma maior vida útil dos equipamentos, fatores que impactam diretamente nos custos operacionais e na sustentabilidade do processo.

A comunicação confiável, essencial para a eficiência do sistema, foi garantida por tecnologias como o switch gerenciado Stratix 8000 e a tecnologia LoRa, enquanto a centralização do controle no CLP assegurou respostas rápidas às variações nos níveis de vinhaça, otimizando a fertirrigação e minimizando perdas. Segundo Oliveira (2017), sistemas que integram sensores de nível e CLPs oferecem maior precisão no controle de processos, reduzindo desperdícios. Além disso, a Interface Homem-Máquina (IHM) desenvolvida com FactoryTalk proporcionou uma operação ergonômica e segura, alinhando-se aos princípios descritos por Nascimento (2019), que enfatiza a importância de interfaces amigáveis e intuitivas para a eficácia operacional e a redução de falhas humanas. Essa IHM simplificou a operação, permitindo que a equipe da usina monitore os níveis de vinhaça em tempo real e ajuste o funcionamento das bombas com agilidade, contribuindo para a prevenção de erros e para a segurança operacional.

Em síntese, o projeto de automação promoveu avanços expressivos na eficiência e segurança no manejo da vinhaça, ao mesmo tempo que proporcionou benefícios econômicos e sustentáveis para a usina. Alinhado às melhores práticas da automação industrial descritas na literatura técnica, esse



sistema exemplifica como a integração de tecnologias e processos automatizados pode impactar positivamente a gestão de recursos em indústrias agrícolas.

5. CONCLUSÕES

O desenvolvimento do sistema automatizado de monitoramento e bombeamento de vinhaça representa um avanço significativo na modernização de processos agrícolas industriais. Com a implementação de sensores de nível, comunicação via LoRa e controle centralizado por CLPs, foi possível superar desafios históricos como o alto consumo energético, falhas humanas frequentes e a falta de precisão no manejo de recursos. O projeto resultou em benefícios tangíveis, como a redução significativa das manutenções nas bombas, menor consumo de energia e otimização do uso da vinhaça, promovendo a sustentabilidade agrícola. Esses avanços estão em linha com as observações de Oliveira (2017), que destaca a importância da automação na melhoria da eficiência operacional e na redução de desperdícios.

No entanto, o projeto também enfrentou desafios. A escolha de tecnologias, como o protocolo Ethernet/IP e a integração de dispositivos industriais, exigiu adaptações complexas para garantir confiabilidade em um ambiente sujeito a interferências e distâncias significativas. Conforme Silva (2020), o uso de protocolos robustos é essencial para garantir a interoperabilidade e o desempenho de sistemas industriais em larga escala. Além disso, a capacitação da equipe para operar as novas IHMs e sistemas supervisórios foi um aspecto crítico para o sucesso da transição do modelo manual para o automatizado. Nascimento (2019) destaca que interfaces amigáveis não apenas reduzem o risco de falhas humanas, mas também melhoram a ergonomia e a segurança operacional, ambos contemplados no projeto.

Os impactos positivos do sistema vão além da eficiência operacional. A automação contribuiu para a sustentabilidade ambiental, reduzindo o desperdício de recursos naturais e os custos operacionais, como também aponta Costa (2018) ao tratar do papel dos inversores de frequência na conservação energética e na durabilidade dos equipamentos industriais. A centralização das operações e o monitoramento remoto aprimoraram a segurança e a



previsibilidade do processo, permitindo que decisões críticas fossem tomadas com maior rapidez e embasamento técnico.

Olhando para o futuro, recomenda-se explorar tecnologias emergentes, como manutenção preditiva baseada em inteligência artificial, que podem reduzir ainda mais os custos operacionais e melhorar a confiabilidade do sistema. Além disso, a integração com plataformas de análise de dados pode trazer novos insights para a gestão de recursos agrícolas. Em síntese, o projeto não apenas exemplifica o potencial transformador da automação industrial, mas também destaca o papel crucial da engenharia de controle e automação na inovação tecnológica, na promoção da sustentabilidade e na modernização das indústrias agrícolas.



REFERÊNCIAS

COSTA, A.L. Princípios de Automação Industrial. Rio de Janeiro: Editora Científica, 2018.

NASCIMENTO, R.T. Tecnologia da Informação Aplicada à Automação Industrial. Belo Horizonte: Editora Universitária, 2019.

OLIVEIRA, M.F. Sistemas de Controle e Automação: Teoria e Prática. Porto Alegre: Editora Acadêmica, 2017.

SILVA, J.R. Automação Industrial e Controle de Processos. São Paulo: Editora Técnica, 2020.

MACEDO, L. R.; SILVA, C. S. Aplicações da automação industrial para otimização de processos agrícolas. Revista Brasileira de Automação, v. 15, n. 3, p. 45-58, 2020.

COSTA, A. L. Eficácia dos inversores de frequência na economia de energia e manutenção de equipamentos industriais. Revista de Eficiência Energética, v. 5, n. 2, p. 80-92, 2018.

NASCIMENTO, R. P. Ergonomia e segurança em sistemas de automação industrial. Revista Brasileira de Segurança e Saúde no Trabalho, v. 8, n. 1, p. 22-36, 2019.

OLIVEIRA, J. M. Automação de processos industriais e seus impactos na precisão e na eficiência operacional. Revista de Automação e Controle, v. 12, n. 4, p. 101-115, 2017.

COSTA, A. L. Princípios de Automação Industrial. Rio de Janeiro: Editora Científica, 2018.

MACEDO, L. R.; SILVA, C. S. Aplicações da automação industrial para otimização de processos agrícolas. Revista Brasileira de Automação, v. 15, n. 3, p. 45-58, 2020.

NASCIMENTO, R. P. Ergonomia e segurança em sistemas de automação industrial. Revista Brasileira de Segurança e Saúde no Trabalho, v. 8, n. 1, p. 22-36, 2019.

OLIVEIRA, J. M. Automação de processos industriais e seus impactos na precisão e na eficiência operacional. Revista de Automação e Controle, v. 12, n. 4, p. 101-115, 2017.

SILVA, J. R. Automação Industrial e Controle de Processos. São Paulo: Editora Técnica, 2020.