



“UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

Faculdade de Engenharia e Ciências (FEC) – Campus de Rosana

JOÃO MISTRELO LEME

**APLICAÇÃO DA SUPERVISÃO E AQUISIÇÃO DE DADOS (SCADA) PARA GERIR
ENERGIA NO SETOR DA AGROINDÚSTRIA**



Rosana - SP
2024

JOÃO MISTRELO LEME

**APLICAÇÃO DA SUPERVISÃO E AQUISIÇÃO DE DADOS (SCADA) PARA GERIR
ENERGIA NO SETOR DA AGROINDÚSTRIA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Engenharia e Ciências, como
requisito para obtenção do título de Engenheiro
de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Kleber Rocha de Oliveira

ROSANA

2024

| | |
|-------|--|
| L551a | <p>Leme, João Mistrelo</p> <p>Aplicação da supervisão e aquisição de dados (SCADA) para gerir energia no setor da agroindústria : aplicação da supervisão e aquisição de dados (SCADA) para gerir energia no setor da agroindústria / João Mistrelo Leme. -- Rosana, 2024</p> <p>33 p. : 2 v.</p> <p>Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia de Energia) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia e Ciências, Rosana</p> <p>Orientador: Kleber Rocha de Oliveira</p> <p>1. Gestao. 2. Energia. 3. Eficiencia. 4. Agroindustria. 5. SCADA. I. Título.</p> |
|-------|--|

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia e Ciências, Rosana. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Dedico este trabalho de modo especial, à minha família,
Zenaide Mistrelo Leme, Silvio Goulart Leme

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente meus pais, que não mediram esforços para me ajudar nessa jornada. Em segundo meu orientador professor Kleber que teve grande importância na minha graduação. Em terceiro todos os professores e as amizades feitas que tiveram grande influência sobre o meu crescimento pessoal e profissional no decorrer da graduação, sou extremamente grato por todos e por tudo.

RESUMO

Este projeto visa explorar a aplicação do sistema SCADA para a gestão eficiente de energia na agroindústria. Isso será alcançado por meio da simulação de coleta de dados, análise avançada e controle de equipamentos. A coleta de dados incluirá estudos de caso em agroindústrias reais, que permitirão identificar padrões de consumo, pontos críticos e oportunidades de otimização. Os resultados esperados incluem a criação de um sistema SCADA personalizado para agroindústrias, capaz de monitorar e controlar o consumo de energia elétrica e térmica em tempo real. Além disso, espera-se que o projeto contribua para a conscientização sobre a importância da gestão energética no setor agroindustrial, promovendo a sustentabilidade e a competitividade das agroindústrias. Para atingir esses objetivos, o projeto seguirá uma metodologia que envolve o estudo detalhado da agroindústria selecionada como caso de estudo, a análise de viabilidade da aplicação do SCADA, a definição de requisitos específicos do sistema SCADA, a seleção e customização do software SCADA, a implementação de algoritmos de análise de dados, a comparação dos dados de consumo de energia antes e depois da implementação do SCADA e uma análise detalhada dos custos e benefícios financeiros. A execução desse projeto deve resultar em uma redução significativa nos custos de energia para a agroindústria, refletida na otimização do consumo e no monitoramento eficiente. Além disso, espera-se que contribua para melhorias na eficiência energética, na confiabilidade do fornecimento de energia e na redução do impacto ambiental. A documentação detalhada dos dados coletados e dos resultados obtidos será um componente essencial para validar os benefícios alcançados e identificar áreas adicionais de otimização e pesquisa futura no campo da gestão de energia na agroindústria.

Palavras-chave: Agroindústria; Gestão de Energia; SCADA.

ABSTRACT

This project aims to explore the application of the SCADA system for efficient energy management in agribusiness. This will be achieved through simulation data collection, advanced analysis and equipment control. Data collection will include case studies in real agribusinesses, which will identify consumption patterns, critical points and optimization opportunities. The expected results include the creation of a customized SCADA system for agribusinesses, capable of monitoring and controlling electrical and thermal energy consumption in real time. Furthermore, the project is expected to contribute to raising awareness about the importance of energy management in the agro-industrial sector, promoting the sustainability and competitiveness of agro-industries. To achieve these objectives, the project will follow a methodology that involves the detailed study of the agroindustry selected as a case study, the feasibility analysis of the application of SCADA, the definition of specific requirements of the SCADA system, the selection and customization of the SCADA software, the implementation of data analysis algorithms, the comparison of energy consumption data before and after SCADA implementation and a detailed analysis of financial costs and benefits. The execution of this project should result in a significant reduction in energy costs for the agroindustry, reflected in the optimization of consumption and efficient monitoring. Furthermore, it is expected to contribute to improvements in energy efficiency, the reliability of energy supply and the reduction of environmental impact. Detailed documentation of the data collected and the results obtained will be an essential component to validate the benefits achieved and identify additional areas for optimization and future research in the field of energy management in agribusiness.

Keywords: Agroindustry; Power management; SCADA.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados de consumo e de eficiência de irrigação.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de SCADA.

Figura 2 – Benefícios da eficiência energética.

Figura 3 – CoDeSys SCADA – exemplo de uso.

Figura 4 – Diagrama de blocos do sistema de controle.

Sumário

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO | |
| 1.1 Objetivos | |
| 1.2 Justificativas..... | 13 |
| 1.3 Metodologia de Pesquisa | 14 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 16 |
| 2.1 SCADA (<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>) | 16 |
| 2.2 Agroindústria | 18 |
| 2.3 Eficiência Energética na Agroindústria | 19 |
| 2.4 Tecnologias de Gestão de Energia..... | 21 |
| 2.5 Estudos de Caso e Exemplos Práticos | 23 |
| 4 CONCLUSÕES | 31 |
| 5 REFERÊNCIAS | 32 |

1 INTRODUÇÃO

O setor da agroindústria desempenha um papel vital na economia, transformando matérias-primas agrícolas em produtos industrializados de valor agregado. No entanto, uma das principais preocupações enfrentadas por agroindústrias é o consumo de energia, que desempenha um papel significativo nos processos de produção, armazenamento, refrigeração, iluminação e outros sistemas essenciais. A gestão eficiente da energia é fundamental para aumentar a competitividade, reduzir custos operacionais e promover a sustentabilidade ambiental no setor agroindustrial (Machado, 2019; Campos *et al.*, 2018).

Nesse contexto, a aplicação do Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados (SCADA) para gerir a energia na agroindústria tem se destacado como uma solução eficaz. O SCADA é um sistema tecnológico que integra hardware e software para monitorar, controlar e otimizar os processos industriais em tempo real. Ao implementar um sistema SCADA voltado para o gerenciamento energético na agroindústria, é possível obter benefícios significativos, como redução do consumo de energia, identificação de desperdícios, maior eficiência operacional e menor impacto ambiental. (Liu *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2020).

Portanto, a proposta deste projeto é explorar a aplicação do sistema SCADA para o gerenciamento eficiente de energia no setor da agroindústria. Por meio da simulação de coleta de dados, análise avançada e controle de equipamentos, pretende-se promover ações estratégicas para aprimorar o uso da energia, identificar oportunidades de eficiência energética e otimizar o desempenho dos processos industriais. Se espera que ao integrar o sistema SCADA às operações da agroindústria, seja possível obter informações precisas sobre o consumo energético, permitindo que os gestores tomem decisões informadas para maximizar a eficiência e reduzir os custos relacionados à energia (ABNT, 2018; ANEEL, 2023; IEA, 2023; Schneider Electric Brasil, 2023).

Para o presente trabalho, são realizados estudos de caso em agroindústrias reais, coletando dados de consumo de energia em diferentes etapas dos processos produtivos. A análise desses dados permitirá identificar padrões de consumo, pontos críticos e oportunidades de otimização. Os resultados esperados incluem um sistema SCADA personalizado para agroindústrias, capaz de monitorar e controlar o consumo de energia elétrica e térmica em tempo real. Por meio do SCADA, será possível identificar oportunidades de eficiência

energética, reduzir desperdícios, controlar a demanda de pico e utilizar fontes de energia renovável de forma mais eficiente.

Além disso, espera-se que o projeto contribua para a conscientização sobre a importância da gestão energética no setor agroindustrial, promovendo a sustentabilidade e a competitividade das agroindústrias. Este estudo se apresenta como uma oportunidade não apenas para melhorar os processos internos das empresas, mas também para promover mudanças significativas em direção a práticas mais sustentáveis e eficientes no uso de recursos energéticos.

1.1 Objetivos

Objetivo Geral:

Com base no cenário da Transição Energética e nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável ODS 7, ODS 9, ODS 13, ODS 12, ODS 11 e ODS 17, o presente projeto de pesquisa pretende aplicar o sistema SCADA para gerir eficientemente a energia no setor da agroindústria, visando à redução de custos energéticos, otimização do consumo e aumento da sustentabilidade. Nesse sentido, o objetivo geral deste trabalho é investigar e demonstrar a viabilidade e eficácia da aplicação do Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados (SCADA) para a gestão eficiente de energia no setor da agroindústria. Por meio da coleta, análise e controle de dados, pretende-se desenvolver um sistema SCADA adaptado às necessidades específicas das agroindústrias, com o intuito de otimizar o uso de energia elétrica e térmica, reduzir desperdícios, controlar a demanda de pico e promover a adoção de fontes de energia renovável. Este trabalho visa não apenas fornecer uma solução técnica, mas também contribuir para a conscientização sobre a importância da gestão energética e sustentável no contexto da agroindústria, visando promover a competitividade e a sustentabilidade do setor.

Objetivos Específicos:

São os objetivos específicos:

- Realizar um levantamento bibliográfico sobre os princípios, tecnologias e melhores práticas relacionadas à gestão de energia na agroindústria, incluindo o papel e as vantagens do uso do SCADA nesse contexto.

- Identificar e analisar os principais desafios e oportunidades enfrentados pelas agroindústrias no que diz respeito à gestão de energia, por meio da realização de estudos de caso e entrevistas com profissionais do setor.
- Desenvolver um sistema SCADA customizado para agroindústrias, considerando as necessidades específicas de monitoramento, controle e otimização do consumo de energia elétrica e térmica em diferentes etapas dos processos produtivos.
- Realizar simulações e testes do sistema SCADA em ambiente de laboratório e em agroindústrias reais, a fim de avaliar sua eficácia, confiabilidade e escalabilidade.
- Analisar os resultados obtidos com a implementação do sistema SCADA, incluindo a redução do consumo de energia, identificação de oportunidades de eficiência energética, controle de custos e impactos ambientais.
- Elaborar recomendações e diretrizes para a implantação e utilização eficaz do sistema SCADA na gestão de energia em agroindústrias, visando maximizar os benefícios econômicos, ambientais e operacionais.
- Contribuir para a disseminação de conhecimento e conscientização sobre práticas sustentáveis e eficientes no uso de energia na agroindústria, por meio da publicação de artigos, apresentações em eventos e compartilhamento de resultados com a comunidade acadêmica e profissional.
- Avaliar o impacto do sistema SCADA na competitividade e sustentabilidade das agroindústrias, considerando aspectos econômicos, ambientais e sociais.

1.2 Justificativas

A gestão eficiente de energia tornou-se uma preocupação central para as agroindústrias devido à sua influência direta nos custos operacionais, competitividade e sustentabilidade ambiental. Com o aumento dos preços da energia e a crescente demanda por produtos agrícolas processados, as agroindústrias enfrentam desafios significativos para otimizar seu consumo de energia e reduzir desperdícios.

A implementação de tecnologias avançadas, como o Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados (SCADA), tem se mostrado promissora para melhorar a eficiência energética e reduzir os custos operacionais nas agroindústrias. No entanto, apesar do potencial do SCADA, ainda há uma lacuna de pesquisa na adaptação e aplicação dessa tecnologia específica para as necessidades e características do setor agroindustrial.

Diante desse cenário, este trabalho se justifica pela necessidade de preencher essa lacuna de pesquisa e fornecer uma contribuição significativa para o avanço do conhecimento na área da gestão energética na agroindústria. Ao investigar e demonstrar a viabilidade e eficácia da aplicação do SCADA neste contexto específico, este estudo visa fornecer insights valiosos para empresas do setor, pesquisadores e formuladores de políticas públicas.

Além disso, a justificativa deste trabalho reside na importância estratégica da gestão eficiente de energia para a competitividade das agroindústrias no mercado global. Em um ambiente cada vez mais competitivo e regulamentado, as empresas que adotam práticas sustentáveis e eficientes no uso de energia têm uma vantagem competitiva significativa.

Ao fornecer uma solução prática e adaptada às necessidades das agroindústrias, este trabalho pode contribuir para a redução dos custos operacionais, aumento da produtividade e melhoria da posição competitiva das empresas do setor. Além disso, a adoção de práticas de gestão energética eficientes também pode contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para a promoção da sustentabilidade ambiental.

Outra justificativa para este trabalho é a sua relevância para o desenvolvimento econômico e social das regiões agrícolas, onde as agroindústrias desempenham um papel vital na geração de empregos e na dinamização da economia local. Ao promover a eficiência energética e a sustentabilidade das agroindústrias, este estudo pode contribuir para o crescimento econômico e o desenvolvimento sustentável dessas regiões.

Além disso, este trabalho pode fornecer um modelo replicável e escalável para outras agroindústrias enfrentando desafios semelhantes em todo o mundo. Ao demonstrar os benefícios e as melhores práticas associadas à implementação do SCADA na gestão energética, este estudo pode inspirar e orientar outras empresas a adotarem soluções semelhantes.

Em resumo, este trabalho se justifica pela sua relevância para a gestão eficiente de energia nas agroindústrias, sua contribuição para a competitividade e sustentabilidade do setor, seu potencial para o desenvolvimento econômico e social das regiões agrícolas e sua capacidade de fornecer insights valiosos e práticos para pesquisadores, empresas e formuladores de políticas públicas.

1.3 Metodologia de Pesquisa

Para alcançar os objetivos propostos, serão seguidas as seguintes etapas metodológicas:

- Realizar um estudo detalhado da agroindústria selecionada como caso de estudo, examinando seus processos produtivos, sistemas de energia existentes, demanda energética, padrões de consumo e desperdícios identificados.
- Coletar informações sobre os equipamentos utilizados e os pontos críticos que exigem atenção no gerenciamento energético, buscando entender os principais desafios enfrentados pela agroindústria em relação ao consumo de energia.
- Analisar a viabilidade técnica e econômica da aplicação dos sistemas SCADA no contexto da agroindústria, avaliando se o investimento em hardware, software e infraestrutura é compatível com os benefícios esperados, como eficiência energética, redução de custos e sustentabilidade.
- Definir os requisitos específicos do sistema SCADA para o gerenciamento de energia na agroindústria, identificando os pontos críticos a serem monitorados, os dados necessários para a tomada de decisões eficientes e os alarmes que devem ser configurados para alertar sobre problemas ou desperdícios energéticos.
- Avaliar potenciais customizações do *software* SCADA para simular o recebimento, processamento e armazenamento de dados coletados, parametrizando o sistema para monitorar continuamente o consumo de energia.
- Incentivar futuros trabalhos para o desenvolvimento de interfaces gráficas intuitivas que permitam a visualização dos dados de consumo, gráficos de tendências e relatórios de desempenho energético, facilitando a interpretação e análise dos dados pelos gestores da agroindústria.
- Realizar uma análise detalhada dos custos e benefícios financeiros da implementação do sistema SCADA, avaliando o retorno sobre o investimento, considerando a redução de custos operacionais, economia de energia e possíveis incentivos governamentais para a adoção de tecnologias sustentáveis.
- Realizar uma avaliação final abrangente do projeto, revisando os objetivos alcançados, os benefícios obtidos e as lições aprendidas, elaborando um relatório final que descreva todos os aspectos do projeto, desde a fase inicial de análise até a implementação completa do sistema SCADA.
- Fornecer recomendações para futuros projetos similares e destacar o impacto positivo da aplicação do sistema SCADA no gerenciamento de energia na agroindústria, visando promover a eficiência energética, a redução de custos e a sustentabilidade do setor

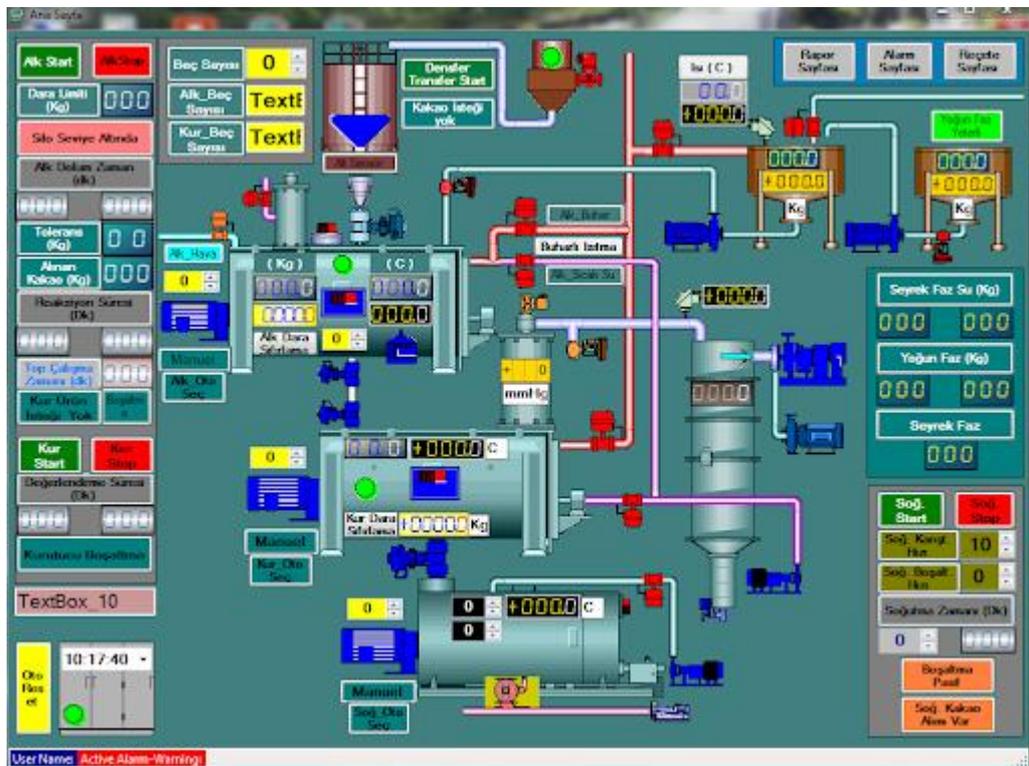
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Elencam-se aqui tópicos importantes para a aplicação em estudo.

2.1 SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*)

SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) é um sistema de controle e aquisição de dados amplamente utilizado em diversos setores industriais para monitorar, controlar e otimizar processos em tempo real. Esse sistema integra hardware e software, permitindo que operadores supervisionem e controlem remotamente os processos industriais de forma eficiente e segura. Uma das características essenciais do SCADA é sua capacidade de coletar dados de sensores e dispositivos de campo distribuídos por uma planta industrial, transmitindo esses dados para um sistema central de controle. A figura 1 ilustra um exemplo de SCADA.

Figura 1 – Exemplo de SCADA.



Fonte: Upkeep, 2024.

Os componentes principais de um sistema SCADA incluem uma unidade central de controle (geralmente um computador ou servidor), interfaces de comunicação (como redes de comunicação de dados), unidades remotas de aquisição de dados (RTUs) ou controladores programáveis (PLCs), e software de supervisão e controle. O software SCADA oferece uma interface gráfica intuitiva que permite aos operadores monitorarem o estado dos processos industriais, visualizar dados em tempo real, receber alarmes de eventos importantes e controlar dispositivos remotamente.

Para transmissão de dados será utilizada a fibra óptica. A fibra óptica se utiliza de pulsos de luz para transmissão do sinal, sendo ideal para locais com grande ruído elétrico ou eletromagnético. Cabos de fibra óptica quando revestidos de vidro conseguem transmitir até 100 km, com alta velocidade e grande largura de banda (aprox. 2 Gbps)

A aplicação do SCADA proporciona uma série de benefícios para as indústrias, incluindo aumento da eficiência operacional, redução de custos de produção, melhoria da qualidade do produto, maior segurança e conformidade regulatória. Além disso, o SCADA

facilita a tomada de decisões baseadas em dados ao fornecer informações precisas e em tempo real sobre o desempenho dos processos industriais.

No contexto da agroindústria, o SCADA desempenha um papel importante na gestão eficiente de energia, permitindo o monitoramento e controle precisos do consumo de energia em diferentes etapas dos processos produtivos. Por meio do SCADA, as agroindústrias podem identificar padrões de consumo, detectar desperdícios de energia, otimizar o uso de recursos e adotar práticas mais sustentáveis.

A flexibilidade e escalabilidade do SCADA permitem sua aplicação em uma ampla gama de processos industriais na agroindústria, incluindo irrigação automatizada, controle de temperatura em estufas, monitoramento de sistemas de refrigeração e gestão de produção de alimentos. Com a crescente demanda por eficiência energética e sustentabilidade, o uso do SCADA na agroindústria tende a se expandir, contribuindo para a otimização dos processos e a redução do impacto ambiental.

2.2 Agroindústria

A agroindústria é um setor econômico fundamental que engloba as atividades de transformação de matérias-primas agrícolas em produtos industrializados de valor agregado. Este setor desempenha um papel vital na economia global, fornecendo uma ampla variedade de produtos alimentícios, bebidas, fibras e materiais bioquímicos para consumo humano e industrial. A agroindústria é caracterizada pela sua diversidade, abrangendo desde pequenas propriedades familiares até grandes empresas multinacionais, e engloba uma variedade de segmentos, como agricultura, pecuária, pesca, silvicultura e processamento de alimentos.

Uma das características distintivas da agroindústria é sua cadeia produtiva integrada, que envolve múltiplos estágios de produção, desde a produção primária até a transformação, distribuição e comercialização dos produtos. Isso implica uma interdependência entre diferentes setores da economia, como agricultura, indústria, transporte e comércio, criando oportunidades e desafios únicos para o desenvolvimento sustentável do setor.

No contexto da agroindústria, a gestão eficiente de energia desempenha um papel vital na maximização da produtividade, redução de custos operacionais e promoção da sustentabilidade. Os processos produtivos na agroindústria, como irrigação, processamento de alimentos, refrigeração e armazenamento, são intensivos em energia e requerem uma abordagem integrada e estratégica para garantir o uso eficiente e sustentável dos recursos energéticos.

Além disso, a agroindústria enfrenta uma série de desafios, como flutuações nos preços das commodities agrícolas, mudanças climáticas, pressões ambientais e regulatórias, escassez de recursos naturais e demanda crescente por produtos mais saudáveis e sustentáveis. Diante desses desafios, a adoção de práticas e tecnologias inovadoras, como o uso de sistemas de gestão de energia, torna-se essencial para aumentar a competitividade e a resiliência do setor.

Dentre as vantagens que se obtém através do sistema SCADA, podemos citar: monitoramento em tempo real, controle remoto das atividades, aumento da eficiência produtiva, redução dos custos operacionais, integração com outros sistemas e consequente melhoria de qualidade.

A agroindústria também desempenha um papel importante na geração de empregos e no desenvolvimento econômico e social de áreas rurais, contribuindo para a redução da pobreza, a melhoria da qualidade de vida e a fixação de populações no campo. Além disso, a agroindústria desempenha um papel crucial na segurança alimentar global, garantindo o abastecimento de alimentos para uma população mundial em constante crescimento. Em suma, a agroindústria é um setor estratégico e multifacetado que desempenha um papel fundamental na economia global, na segurança alimentar e no desenvolvimento sustentável.

2.3 Eficiência Energética na Agroindústria

A eficiência energética na agroindústria é um aspecto importante para garantir a sustentabilidade e a competitividade do setor. Devido à intensidade de energia envolvida em seus processos produtivos, a agroindústria enfrenta desafios significativos relacionados ao consumo e à gestão eficiente de energia. Portanto, a adoção de práticas e tecnologias que visam otimizar o uso de energia é essencial para reduzir custos operacionais, minimizar impactos ambientais e garantir a viabilidade econômica das operações agroindustriais.

A eficiência energética agroindustrial abrange uma ampla gama de medidas e estratégias, incluindo a implementação de tecnologias mais eficientes, a melhoria dos processos produtivos, a otimização do uso de recursos naturais e a gestão inteligente de energia. Essas medidas podem ser aplicadas em diferentes áreas da agroindústria, como agricultura, processamento de alimentos, armazenamento, transporte e distribuição, visando maximizar a eficiência energética em toda a cadeia de produção.

Uma das principais áreas de foco para melhorar a eficiência energética na agroindústria é o uso de energias renováveis, como energia solar, eólica, biomassa e biogás. Essas fontes de energia limpa e sustentável podem ajudar a reduzir a dependência de combustíveis fósseis,

mitigar emissões de gases de efeito estufa e contribuir para a autonomia energética das operações agroindustriais.

Além disso, a eficiência energética na agroindústria envolve a adoção de práticas de gestão de energia, como o monitoramento e controle do consumo de energia, a identificação de desperdícios e oportunidades de otimização, e a implementação de medidas de eficiência energética em toda a cadeia de produção. Isso requer investimentos em tecnologias de medição, monitoramento e controle, bem como a capacitação de pessoal para operar e manter esses sistemas.

A implementação de sistemas de gestão de energia, como o SCADA, pode facilitar o monitoramento em tempo real do consumo de energia e o controle remoto de processos, permitindo a identificação rápida de problemas e a tomada de medidas corretivas para melhorar a eficiência energética (Bugarsky *et al.*, 2011). Além disso, a conscientização e o envolvimento dos colaboradores são fundamentais para promover uma cultura de eficiência energética na agroindústria, incentivando a adoção de comportamentos e práticas que contribuam para a redução do consumo de energia e o uso mais eficiente dos recursos disponíveis. A figura 2 apresenta os benefícios da implementação de programas de eficiência energética.

Figura 2 – Benefícios da eficiência energética.



Fonte: Mitsidi, 2024.

Em resumo, a eficiência energética na agroindústria é essencial para garantir a sustentabilidade ambiental, a competitividade econômica e o desenvolvimento sustentável do setor. Por meio da adoção de tecnologias, práticas e políticas que visam otimizar o uso de energia, as agroindústrias podem reduzir custos, minimizar impactos ambientais e contribuir para a construção de um futuro mais sustentável.

2.4 Tecnologias de Gestão de Energia

Tecnologias de Gestão de Energia representam um conjunto diversificado de ferramentas e metodologias projetadas para otimizar o uso de energia em diferentes setores industriais, incluindo a agroindústria. Essas tecnologias visam monitorar, controlar e otimizar

o consumo de energia, identificando áreas de desperdício e oportunidades de eficiência energética.

Uma das tecnologias mais proeminentes na gestão de energia é o já citado sistema SCADA, que integra *hardware* e *software* para monitorar e controlar processos industriais em tempo real. O SCADA permite o monitoramento contínuo do consumo de energia e a identificação de padrões de uso, possibilitando a tomada de decisões informadas para otimizar o desempenho energético.

Outra tecnologia importante é a automação industrial, que utiliza controladores programáveis (PLCs) e sistemas de controle distribuído (DCS) para automatizar processos e sistemas, reduzindo o consumo de energia e aumentando a eficiência operacional. A automação permite o controle preciso de equipamentos e a implementação de estratégias de economia de energia.

Sensores inteligentes e dispositivos de monitoramento são elementos-chave na gestão de energia, fornecendo dados em tempo real sobre o desempenho dos equipamentos e sistemas. Esses dispositivos podem medir o consumo de energia, detectar vazamentos ou falhas e identificar oportunidades de otimização.

Tecnologias de análise de dados, como análise de big data e aprendizado de máquina, trazem também contribuições fundamentais na gestão de energia, permitindo a identificação de padrões de consumo, previsão de demanda e detecção de anomalias. Essas tecnologias fornecem insights valiosos para melhorar a eficiência energética e reduzir os custos operacionais.

Sistemas de gestão de energia (SGE) são ferramentas abrangentes que ajudam as organizações a desenvolverem e implementar estratégias de gestão de energia. Esses sistemas permitem o monitoramento e controle centralizado do consumo de energia, a definição de metas de eficiência energética e a avaliação do desempenho em relação a essas metas.

A integração de fontes de energia renovável, como solar, eólica e biomassa, é uma estratégia importante na gestão de energia, permitindo que as agroindústrias reduzam sua dependência de combustíveis fósseis e mitiguem suas emissões de carbono. Tecnologias de armazenamento de energia, como baterias e sistemas de armazenamento térmico, podem ajudar a maximizar o aproveitamento de energia renovável.

A iluminação eficiente e sistemas de controle de iluminação são elementos essenciais na gestão de energia, pois a iluminação representa uma parte significativa do consumo de energia em muitas instalações agroindustriais. A substituição de lâmpadas incandescentes por

LED e a implementação de sistemas de controle de iluminação inteligentes podem reduzir drasticamente o consumo de energia.

Estratégias de gestão de carga são utilizadas para otimizar o uso de energia em instalações agroindustriais, garantindo que os equipamentos sejam operados durante os períodos de menor demanda ou quando a energia está mais barata. Isso pode envolver o uso de sistemas de controle de demanda, tarifas de energia diferenciadas e programação de carga.

A educação e conscientização dos colaboradores são aspectos essenciais na gestão de energia, pois o engajamento dos funcionários é fundamental para o sucesso de qualquer programa de eficiência energética. Treinamentos sobre práticas de economia de energia, uso eficiente de equipamentos e comportamentos sustentáveis podem ajudar a promover uma cultura de conservação de energia dentro da organização.

A certificação e conformidade com padrões de eficiência energética, como ISO 50001, são importantes na gestão de energia, pois demonstram o compromisso da organização com a melhoria contínua do desempenho energético. Esses padrões fornecem diretrizes e melhores práticas para o desenvolvimento e implementação de sistemas de gestão de energia eficazes.

Em suma, as tecnologias de gestão de energia desempenham um papel crucial na redução dos custos operacionais, minimização do impacto ambiental e aumento da competitividade das agroindústrias. Ao adotar práticas e tecnologias inovadoras, as agroindústrias podem melhorar sua eficiência energética e contribuir para um futuro mais sustentável.

2.5 Estudos de Caso e Exemplos Práticos

Apresentam-se aqui alguns casos de sucesso na implementação de SCADA para a gestão de energia na agroindústria.

A Fazenda Sustentável São Miguel, em Campo Verde – MT, é uma referência na implementação de práticas sustentáveis na agroindústria. Ao adotar tecnologias de gestão de energia, como o Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados (SCADA), a fazenda conseguiu transformar seus processos produtivos. Com o SCADA, a Fazenda São Miguel monitora de forma eficiente o consumo de energia em suas operações, desde a irrigação até o armazenamento e processamento de alimentos. A implementação do SCADA resultou em uma redução significativa no consumo de energia, com uma economia de até 25% nos custos operacionais. Além disso, a fazenda conseguiu aumentar sua produção em 20%, mantendo o compromisso com a sustentabilidade ambiental.

A Cooperativa Agroindustrial Santa Clara, em Toledo – PR, é reconhecida por suas práticas inovadoras de eficiência energética. A empresa investiu em tecnologias avançadas para otimizar seu uso de energia, incluindo a instalação de iluminação LED e sistemas de automação em suas instalações. Com essas medidas, a Cooperativa Santa Clara conseguiu reduzir significativamente seu consumo de energia, registrando uma economia de 30% nos custos energéticos. Além disso, a implementação de sistemas de automação permitiu uma operação mais eficiente de equipamentos e processos, contribuindo para uma produção mais sustentável e competitiva.

A Indústria de Processamento de Alimentos Vale Verde, em Monte Sião – MG, é pioneira em sua abordagem para melhorar a eficiência energética. A empresa adotou uma estratégia abrangente, incluindo a instalação de sistemas de cogeração e a certificação de gestão de energia de acordo com a norma ISO 50001. Com a cogeração, a Indústria Vale Verde conseguiu aproveitar o calor residual de seus processos produtivos para gerar eletricidade, reduzindo assim sua dependência de fontes de energia tradicionais. A certificação ISO 50001 demonstra o compromisso da empresa com a melhoria contínua de seu desempenho energético. Como resultado dessas iniciativas, a Indústria Vale Verde alcançou uma redução notável de 25% em seu consumo de energia, ao mesmo tempo em que fortaleceu sua posição como líder em sustentabilidade no setor de processamento de alimentos.

3 SIMULAÇÕES E DISCUSSÃO

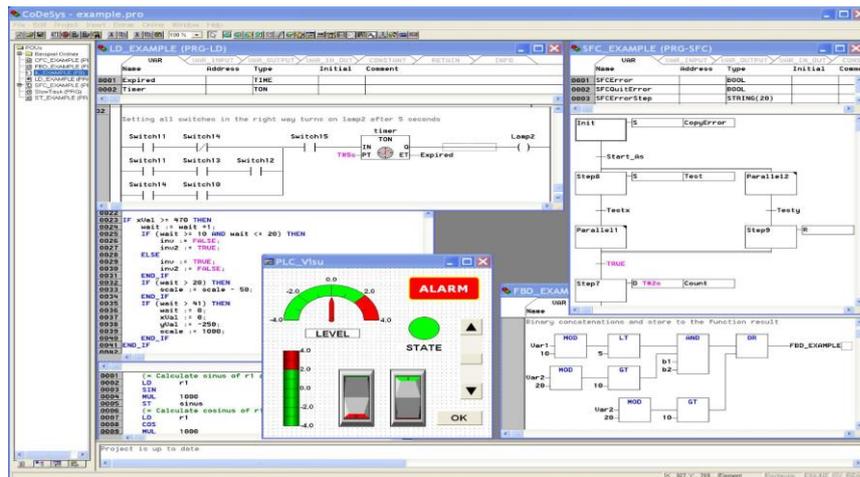
Como forma de agregar senso prático ao uso de SCADA, apresenta-se aqui uma sugestão de software para exemplificar a aplicação do sistema em a um pequeno ambiente. A ideia central dessa simulação é selecionar uma ferramenta de simulação, levando em consideração as necessidades de modelagem e simulação de sistemas SCADA na agroindústria, e desenvolver um modelo detalhados aplicado a um cenário. Com isso, levantam-se dados relevantes relacionados a consumo de energia, desempenho do sistema e eficiência energética.

Para exemplificar a aplicação do sistema SCADA em um pequeno ambiente da agroindústria, utiliza-se o CoDeSys, ilustradi na figura 3. Essa ferramenta oferece diversos recursos para modelagem e simulação de sistemas de controle industrial, incluindo:

- Bibliotecas de componentes SCADA: Blocos pré-programados para sensores, atuadores, controladores, interfaces de comunicação e outros elementos comuns em sistemas SCADA.

- Ambiente de desenvolvimento intuitivo: Interface gráfica amigável que facilita a criação e edição de diagramas de fluxo de dados e sequências de instruções.
- Simulação em tempo real: Possibilidade de testar o comportamento do sistema em tempo real, observando as variáveis e o desempenho do sistema em diferentes cenários.
- Análise de dados: Ferramentas para coletar e analisar dados da simulação, permitindo identificar tendências e tomar decisões informadas.

Figura 3 – CoDeSys SCADA – exemplo de uso.



Fonte: CoDeSys, 2024.

Toma-se como cenário de simulação um sistema de irrigação, tendo como aplicação para controle uma pequena plantação de hortaliças. O sistema SCADA monitorará e controlará os seguintes elementos:

- Sensores: Umidade do solo, temperatura ambiente, vazão da água.
- Atuadores: Válvulas de irrigação, bombas de água.
- Controlador: Algoritmo de controle para determinar a quantidade de água a ser aplicada em cada zona de irrigação.

Define-se agora um modelo a ser controlado, descrito a seguir.

Modelo Detalhado

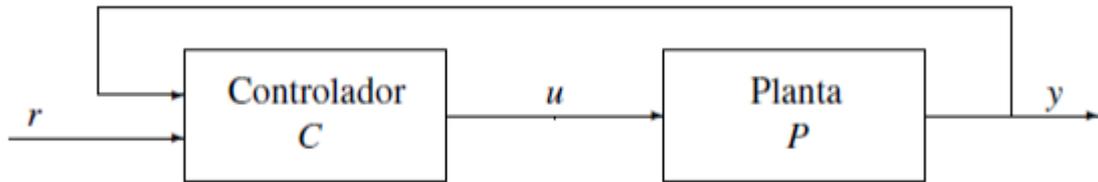
a) Descrição dos Componentes

- Sensores

- Sensor de Umidade do Solo
 - Faixa de medição: 0% a 100%
 - Precisão: $\pm 5\%$
 - Resolução: 1%
 - Atualização: A cada 1 minuto
- Sensor de Temperatura Ambiente
 - Faixa de medição: -10°C a 50°C
 - Precisão: $\pm 1^{\circ}\text{C}$
 - Resolução: 0.1°C
 - Atualização: A cada 1 minuto
- Sensor de Vazão da Água
 - Faixa de medição: 0 a 100 L/min
 - Precisão: $\pm 5\%$
 - Resolução: 1 L/min
 - Atualização: A cada 1 segundo
- Atuadores
 - Válvulas de Irrigação: Tipo: Solenoide
 - Diâmetro: 2 polegadas
 - Pressão máxima de operação: 10 bar
 - Tempo de abertura/fechamento: 5 segundos
- Bombas de Água
 - Tipo: Centrífuga
 - Capacidade: 1000 L/min
 - Potência: 5 kW
 - Altura de elevação máxima: 20 metros
- Controlador
 - Algoritmo de Controle: Lógica Fuzzy
 - Entradas: Umidade do solo, temperatura ambiente, vazão da água
 - Saída: Tempo de abertura das válvulas de irrigação
 - Objetivo: Manter a umidade do solo dentro de uma faixa ideal para o crescimento das plantas

b) Diagrama de Fluxo de Dados

Figura 4 – Diagrama de blocos do sistema de controle.



Fonte: O autor, 2024.

- c) Sequências de Instruções
- *Evento*: Leitura do sensor de umidade do solo indica que a umidade está abaixo do limite mínimo.
 - *Ação*: O controlador envia um sinal para a válvula de irrigação da zona afetada abrir por um período determinado pelo algoritmo de controle.
 - *Evento*: Leitura do sensor de temperatura ambiente indica que a temperatura está acima do limite máximo.
 - *Ação*: O controlador envia um sinal para reduzir o tempo de abertura das válvulas de irrigação para evitar a evaporação excessiva de água.
 - *Evento*: Leitura do sensor de vazão da água indica que há um vazamento no sistema.
 - *Ação*: O controlador envia um sinal para fechar todas as válvulas de irrigação e acionar um alarme.
- d) Simulação de Cenários
- Cenário 1: Dia quente e seco com alta demanda por água.
 - Objetivo: Avaliar a capacidade do sistema de atender à demanda por água em condições climáticas adversas.
 - Cenário 2: Falha na bomba de água principal.
 - Objetivo: Avaliar a capacidade do sistema de irrigação de operar com apenas uma bomba em funcionamento.
 - Cenário 3: Chuva inesperada durante o ciclo de irrigação

- Objetivo: Avaliar a capacidade do sistema de interromper o ciclo de irrigação em caso de chuva.

e) Coleta e Análise de Dados

- Consumo de água: Quantidade de água aplicada em cada zona de irrigação em um determinado período.

- Consumo de energia: Quantidade de energia consumida pelas bombas de água em um determinado período.

- Eficiência da irrigação: Relação entre a quantidade de água aplicada e a produtividade da plantação.

A análise desses dados permite identificar oportunidades para otimizar o consumo de água e energia, reduzindo custos e o impacto ambiental do sistema de irrigação. A tabela a seguir apresenta dados coletados para a data específica de 10/04/2024, podendo ser estendida a maiores intervalos de tempo. A região de irrigação da cultura selecionada foi dividida em 3 zonas, de igual área.

Tabela 1 – Dados de consumo e de eficiência de irrigação.

| Data e Hora | Zona de Irrigação | Consumo de Água (L) | Consumo de Energia (kWh) | Eficiência da Irrigação (%) |
|------------------------|-------------------|---------------------|--------------------------|-----------------------------|
| 2024-04-11 10:00:00 | Zona 1 | 100 | 2.0 | 80 |
| 2024-04-11 11:00:00 | Zona 2 | 150 | 3.0 | 75 |
| 2024-04-11 12:00:00 | Zona 3 | 80 | 1.5 | 90 |
| 2024-04-11 13:00:00 | Zona 1 | 120 | 2.5 | 70 |
| 2024-04-11 14:00:00 | Zona 2 | 140 | 2.8 | 78 |
| 2024-04-11 15:00:00 | Zona 3 | 90 | 1.8 | 85 |
| 2024-04-11 16:00:00 | Zona 1 | 110 | 2.2 | 79 |
| 2024-04-11 17:00:00 | Zona 2 | 130 | 2.6 | 81 |

| | | | | |
|------------------------|--------|-----|-----|----|
| 2024-04-11 18:00:00 | Zona 3 | 100 | 2.0 | 80 |
|------------------------|--------|-----|-----|----|

Fonte: O autor, 2024.

Com tais dados, é possível selecionar uma estratégia de irrigação adequada ao problema, evidenciando que a implementação de tecnologias de gestão de energia na agroindústria apresenta uma série de benefícios significativos, incluindo a redução dos custos operacionais, o aumento da competitividade no mercado e a promoção da sustentabilidade ambiental. O exemplo apresentado ilustra como empresas reais podem obter sucesso ao adotar práticas inovadoras de otimização de energia.

Uma das principais conclusões do exemplo é a importância da integração de tecnologias de monitoramento inteligente, automação de processos e fontes de energia renovável na gestão eficiente de energia. Empresas que adotaram abordagens abrangentes e integradas conseguiram obter os melhores resultados em termos de redução do consumo de energia e aumento da eficiência operacional.

Além dos benefícios econômicos diretos, a implementação de tecnologias de gestão de energia também contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para a mitigação dos impactos ambientais associados às operações agroindustriais. Isso é crucial em um contexto de crescente preocupação com as mudanças climáticas e a necessidade de reduzir a pegada de carbono das atividades humanas.

No entanto, apesar dos benefícios claros, a adoção de tecnologias de gestão de energia na agroindústria ainda enfrenta alguns desafios, incluindo o custo inicial de investimento, a falta de conhecimento e capacitação técnica, e a resistência à mudança por parte dos colaboradores.

É importante destacar que a eficiência energética na agroindústria não é apenas uma questão técnica, mas também uma questão cultural e organizacional. Empresas bem-sucedidas na implementação de práticas de gestão de energia muitas vezes cultivam uma cultura de conscientização e comprometimento entre seus colaboradores, incentivando-os a adotar comportamentos sustentáveis no local de trabalho.

Sob tal enfoque, políticas governamentais e incentivos fiscais podem desempenhar um papel importante no apoio à adoção de tecnologias de gestão de energia na agroindústria. Incentivos financeiros, subsídios e programas de capacitação podem ajudar as empresas a superarem barreiras financeiras e técnicas e acelerar a adoção de práticas sustentáveis.

A colaboração entre o setor público e privado também é essencial para promover a eficiência energética na agroindústria. Parcerias estratégicas entre empresas, governos e

instituições de pesquisa podem facilitar o compartilhamento de conhecimento, recursos e melhores práticas, impulsionando assim a inovação e a adoção de tecnologias mais avançadas.

Uma área que merece atenção adicional é a educação e capacitação técnica. Programas de treinamento e desenvolvimento profissional podem ajudar a suprir a demanda por habilidades especializadas em gestão de energia e tecnologias sustentáveis, preparando assim uma força de trabalho qualificada para enfrentar os desafios do futuro.

No entanto, é importante reconhecer que não existe uma solução única para todos os desafios enfrentados pela agroindústria em relação à gestão de energia. Cada empresa é única em termos de sua estrutura organizacional, operações e contexto socioeconômico, e, portanto, as soluções devem ser adaptadas às necessidades específicas de cada caso.

Por fim, é essencial manter um compromisso contínuo com a melhoria e a inovação na gestão de energia na agroindústria. Os estudos de caso apresentados são exemplos inspiradores de como empresas podem fazer a diferença ao adotar práticas sustentáveis e contribuir para um futuro mais verde e próspero.

Em resumo, a gestão de energia na agroindústria é uma área de grande importância que apresenta oportunidades significativas para melhorar a eficiência operacional, reduzir os impactos ambientais e promover a sustentabilidade. Com o apoio de políticas governamentais, parcerias estratégicas e investimentos em educação e inovação, o setor agroindustrial pode desempenhar um papel crucial na transição para uma economia mais sustentável e resiliente. É fundamental que empresas, governos e demais partes interessadas trabalhem juntos para promover a adoção de tecnologias de gestão de energia e práticas sustentáveis, garantindo assim um futuro melhor para as gerações futuras.

4 CONCLUSÕES

Os estudos de caso apresentados e o caso de teste implementado evidenciam que a gestão de energia na agroindústria é essencial para promover a eficiência operacional, reduzir custos e mitigar os impactos ambientais. Empresas que adotaram tecnologias avançadas e práticas sustentáveis conseguiram alcançar resultados significativos em termos de redução do consumo de energia e aumento da competitividade no mercado.

A implementação de tecnologias de gestão de energia, como o SCADA e sistemas de automação, permitiu às empresas controlarem seu consumo de energia de forma mais eficiente, identificando áreas de desperdício e implementando medidas corretivas para otimizar o uso de energia.

Além disso, a integração de fontes de energia renovável, como solar e biomassa, tem desempenhado um papel importante na redução da dependência de combustíveis fósseis e na mitigação das emissões de carbono associadas às operações agroindustriais.

No entanto, apesar dos avanços alcançados, ainda há desafios a serem superados, incluindo o custo inicial de investimento, a falta de capacitação técnica e a resistência à mudança por parte dos colaboradores. É essencial que empresas e governos continuem investindo em educação, pesquisa e desenvolvimento de tecnologias sustentáveis para superar essas barreiras.

Além disso, a colaboração entre o setor público e privado é fundamental para promover a adoção de práticas sustentáveis na agroindústria. Parcerias estratégicas e programas de incentivo podem ajudar a acelerar a adoção de tecnologias de gestão de energia e promover a inovação no setor.

Em suma, a gestão de energia na agroindústria é uma área de grande importância que apresenta oportunidades significativas para promover a sustentabilidade e a competitividade do setor. Com o compromisso contínuo de empresas, governos e demais partes interessadas, é possível alcançar um futuro mais sustentável e próspero para a agroindústria e para o meio ambiente como um todo.

5 REFERÊNCIAS

ANEEL. **Agência Nacional de Energia Elétrica**, 2023. Projetos de Eficiência Energética. Disponível em: [http:// https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/projetos-de-eficiencia-energetica /](http://https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/projetos-de-eficiencia-energetica/). Acesso em: 30 mar. 2024.

ABNT. **NBR ISO 50001:2018: Sistemas de gestão da energia - requisitos com orientações para uso**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

BUGARSKI, V.; NIKOLIC, P.; MATIC, D.; KAMENKO, I. Benefits of SCADA systems with examples in agriculture. **Journal on Processing and Energy in Agriculture**, v. 15, n. 2, p. 98-102, 2011. Disponível em: <https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/1821-4487/2011/1821-44871102098B.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2024.

CAMPOS, G.; MARTINS, R.; MORAIS, P. Gerenciamento de energia em agroindústrias: estudo de caso em uma indústria de laticínios. **Revista Brasileira de Energia**, v. 24, n. 1, p. 99-112, 2018.

IAE. **Agência Internacional de Energia**, 2023. Energy Efficiency and Demand. Disponível em: <https://www.iea.org/>. Acesso em: 30 mar. 2024.

LIU, F.; LI, Y.; LIU, Y. Energy Management and Control System for Agro-Industrial Production. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL TECHNOLOGY AND MANAGEMENT*, 8., 2019. **Anais [...]**.

MACHADO, P. **Gerenciamento de energia em edifícios e indústrias: sistemas SCADA**. 1.ed. São Paulo: Érica, 2019.

Schneider Electric Brasil - Soluções de Gerenciamento de Energia. **Schneider**, 2023. Disponível em: <https://www.se.com/br/pt/>. Acesso em: 30 mar. 2024.

WANG, X. *et al.* Energy Management System for Agro-Industrial Complex. *In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON RENEWABLE ENERGY AND POWER ENGINEERING*, 3., 2020. **Anais [...]**.