



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

SIMULAÇÃO: INTEGRAÇÃO DE SENSORES DO TIPO CÉLULA DE CARGA E SOFTWARE ELIPSE E3 NO MONITORAMENTO DE SILOS DE GRANALHA

SIMULATION: INTEGRATION OF LOAD CELL TYPE SENSORS AND ELIPSE E3 SOFTWARE IN THE MONITORING OF BULK SILOS

SIMULACIÓN: INTEGRACIÓN DE SENSORES DE TIPO CELDA DE CARGA Y SOFTWARE ELIPSE E3 EN EL MONITOREO DE SILOS DE GRANEL

João Pedro Manzini¹, Danilo Carlos Rossetto Minhoni¹, Fabiana Florian¹

e5125943

<https://doi.org/10.47820/recima21.v5i12.5943>

PUBLICADO: 12/2024

RESUMO

Este trabalho tem o objetivo de simular a implementação de um sistema de monitoramento automatizado para um silo de armazenagem de granalha de aço, utilizando sensores indutivos do tipo célula de carga. Foi realizado um estudo em uma empresa do setor de pré-tratamento de superfícies e pintura, e pesquisa bibliográfica com foco na tecnologia de monitoramento de silos. Os resultados da simulação evidenciam que a integração dos sensores com um Controlador Lógico Programável (CLP) e o uso do *software* Elipse E3 permitem a simulação da medição contínua e em tempo real dos níveis de granalha, resultando em dados mais confiáveis e na otimização da gestão de estoques. Conclui-se a importância da automação no processo de monitoramento, minimizando os riscos de interrupções na produção e proporcionar uma abordagem mais eficiente e precisa na administração dos recursos.

PALAVRAS-CHAVE: Controlador Lógico Programável. Elipse E3. Monitoramento automatizado. Célula de carga. Silo de granalha.

ABSTRACT

This study aims to simulate the implementation of an automated monitoring system for a steel shot storage silo, using load cell-type inductive sensors. A study was conducted in a company from the surface pre-treatment and painting sector, along with bibliographic research focusing on silo monitoring technology. The simulation results demonstrate that the integration of sensors with a Programmable Logic Controller (PLC) and the use of the Elipse E3 software enable the real-time simulation of continuous shot level measurements, leading to more reliable data and optimized inventory management. The conclusion highlights the importance of automation in the monitoring process, minimizing production interruptions and providing a more efficient and accurate approach to resource management.

KEYWORDS: Automated monitoring. Elipse E3. Granalha silo. Load cell. Programmable Logic Controller.

RESUMEN

*El objetivo del trabajo es simular la implementación de un sistema de monitoreo automatizado para un silo de almacenamiento de granalla de acero, utilizando sensores de celdas de carga inductivas. Se realizó un estudio en una empresa del sector de pretratamiento de superficies y pintura, y la investigación bibliográfica se centró en la tecnología de monitorización de silos. Los resultados de la simulación muestran que la integración de sensores con un Controlador Lógico Programable (PLC) y el uso del *software* Elipse E3 permiten la simulación de la medición continua y en tiempo real de los niveles de arena, lo que resulta en datos más confiables y una gestión optimizada de los stocks. Se concluye la importancia de la automatización en el proceso de monitoreo, minimizando los riesgos de*

¹ UNIARA - Universidade de Araraquara.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

SIMULAÇÃO: INTEGRAÇÃO DE SENSORES DO TIPO CÉLULA DE CARGA E SOFTWARE
ELIPSE E3 NO MONITORAMENTO DE SILOS DE GRANALHA
João Pedro Manzini, Danilo Carlos Rossetto Minhoni, Fabiana Florian

interrupciones en la producción y brindando un enfoque más eficiente y preciso en la gestión de recursos.

PALABRAS CLAVE: *Controlador Lógico Programable. Elipse E3. Monitoreo automatizado. Celda de carga. Silo de perdígonos.*

1. INTRODUÇÃO

O monitoramento preciso e eficiente dos níveis de materiais em silos industriais é de suma importância para garantir operações eficazes e evitar interrupções na produção. Nos setores que lidam com materiais a granel, como granalha de aço, a capacidade de monitorar com precisão o nível de estoque é fundamental para otimizar processos e minimizar desperdícios.

No caso específico da granalha de aço, utilizada em processos de jateamento e tratamento de superfícies, uma gestão inadequada pode resultar em perdas significativas de tempo e recursos, além de comprometer a qualidade dos produtos finais.

Em pesquisa realizada em uma empresa do setor de pré-tratamento de superfícies e pintura, constatou-se que ainda há uma dependência significativa de métodos manuais e sistemas de monitoramento que não oferecem a precisão necessária para a gestão dos níveis de granalha nos silos. O método tradicional utilizado consiste em sensores indutivos, que apenas indicam se o silo está cheio ou vazio, resultando em uma visão limitada do nível real de estoque. Essa abordagem frequentemente leva a estimativas imprecisas, gerando problemas operacionais, como interrupções na produção devido à falta de material ou desperdício por excesso.

A literatura aponta que sistemas de monitoramento rudimentares, como os sensores indutivos, apresentam desafios consideráveis em termos de eficiência e precisão. Conforme destacado por Plantera (2020), a falta de um sistema mais avançado compromete a capacidade de resposta das empresas a variações na demanda, resultando em decisões inadequadas de abastecimento.

Lauzier (2022) evidencia que a automação no monitoramento de estoques é crucial para a minimização de riscos e otimização dos processos produtivos, pois possibilita um acompanhamento contínuo e em tempo real dos níveis de inventário.

Diante desse cenário, é evidente a necessidade de implementar um sistema de monitoramento automatizado para o silo de granalha. A proposta deste trabalho é apresentar uma simulação de um sistema de medição de nível automatizado, desenvolvido utilizando sensores do tipo célula de carga como principal componente de monitoramento. A integração dos sensores ao Controlador Lógico Programável (CLP) permitirá uma medição contínua e em tempo real dos níveis de granalha, garantindo dados mais confiáveis e uma atualização constante.

A utilização do *software* Elipse E3 proporcionará uma interface intuitiva e poderosa para a análise e visualização dos dados coletados. Com recursos avançados de geração de gráficos e relatórios, o *software* permitirá aos operadores monitorarem o consumo de matéria-prima ao longo do



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

SIMULAÇÃO: INTEGRAÇÃO DE SENSORES DO TIPO CÉLULA DE CARGA E SOFTWARE ELIPSE E3 NO MONITORAMENTO DE SILOS DE GRANALHA
João Pedro Manzini, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian

tempo de trabalho e identificar padrões de uso que podem orientar decisões de abastecimento e manutenção do estoque.

Para o desenvolvimento deste sistema em simulação, foi realizada uma pesquisa bibliográfica utilizando o Google Acadêmico, com as palavras-chave "monitoramento de silos" e "granalha de aço". A pesquisa descritiva e qualitativa foi complementada por um estudo observacional, resultando no desenvolvimento de um sistema de monitoramento automatizado para um silo graneleiro.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção apresenta as principais características do sistema de monitoramento do silo graneleiro, incluindo as especificações do sensor do tipo célula de carga, como faixa de medição e precisão. Também será discutido o uso do *software* Elipse E3 para criar interfaces que facilitam a interação entre o operador e o sistema. Além disso, abordaremos como os dados coletados pelo sensor serão armazenados e a integração com o Controlador Lógico Programável (CLP), com o objetivo de melhorar a gestão dos níveis de estoque e aumentar a eficiência operacional.

Sensor de Nível

O LNX-SC-PD6100 apresentado na figura 1, fabricado pela empresa LENOX, é uma célula de carga altamente sensível, desenvolvida para medir a tensão ou deformação em estruturas mecânicas, sendo amplamente utilizada em sistemas de monitoramento estrutural e controle industrial. O sensor opera com a tecnologia de *strain gauge*, onde pequenas extensões resistivas são fixadas a superfícies que, ao se deformarem sob tensões aplicadas, alteram a resistência elétrica dos *gauges*. Essas variações são então convertidas em sinais elétricos, que podem ser lidos e processados por sistemas de controle, como CLPs ou SCADA.

Conforme descrição no manual do fabricante LENOX, o LNX-SC-PD6100 oferece uma alta capacidade de medir forças de compressão e tensão com precisão, sendo indicado para aplicações que requerem a captação contínua de dados de forças aplicadas a uma estrutura. Ele também se destaca pela sua durabilidade em condições adversas, além da capacidade de operar em ambientes industriais complexos.

A tecnologia *bolt-on* do sensor permite uma instalação fácil e não invasiva, fixando-o diretamente em estruturas existentes com parafusos, o que facilita a implementação sem a necessidade de modificações significativas.

O LNX-SC-PD6100 é um sensor de alta precisão, capaz de medir deformações mínimas em estruturas com baixa margem de erro, com cerca de 2% de tolerância, garantindo confiança nos dados e estabilidade do monitoramento contínuo, mesmo em condições adversas. Ele opera na faixa de 4mA a 20mA, sendo amplamente aplicado em indústrias como sistemas de pesagem de silos, monitoramento de cargas estruturais e automação, onde a medição de forças e tensões é essencial.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

SIMULAÇÃO: INTEGRAÇÃO DE SENSORES DO TIPO CÉLULA DE CARGA E SOFTWARE ELIPSE E3 NO MONITORAMENTO DE SILOS DE GRANALHA
João Pedro Manzini, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian

Sua versatilidade, durabilidade e confiabilidade fazem dele uma solução ideal para ambientes industriais que exigem controle rigoroso e robusto.

O indicador/transmissor microprocessado é utilizado para medir o nível e o peso em silos, tanques, *hoppers*, moendas e outras aplicações similares. Ele recebe os sinais dos sensores de deformação estrutural de última geração, modelo LNX-SC, e proporciona uma indicação local do peso ou nível medido por meio de um *display* (Lenox, 2024).



**Figura 1 – Sensor de Nível LNX-SC-PD6100
Fonte: LENOX, 2024.**

Controlador Lógico Programável (CLP)

O CLP, ilustrado na figura 2, como exemplo, desempenha um papel fundamental na automação de processos industriais, fornecendo controle preciso e confiável para uma ampla gama de aplicações, desde sistemas simples até sistemas altamente complexos e distribuídos.

Seu funcionamento é semelhante à um “cérebro”, controlando os mecanismos atrelados a ele (podendo ser elétricos e mecânicos que compõem determinada máquina ou até mesmo uma linha de produção inteira) por meio de linguagens de programação dedicadas (Pereira, 2023).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

SIMULAÇÃO: INTEGRAÇÃO DE SENSORES DO TIPO CÉLULA DE CARGA E SOFTWARE ELIPSE E3 NO MONITORAMENTO DE SILOS DE GRANALHA
João Pedro Manzini, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian



Figura 2 – CLP S7 1200
Fonte: o Autor, 2024.

O CLP é composto por uma estrutura parecida com a de um computador comum, contendo um microprocessador para executar as instruções dos programas, memórias para leitura *ROM* (*Read Only Memory*) que armazenam o programa de controle, memórias de gravação *RAM* (*Random Access Memory*) que armazenam dados temporários e cálculos necessários para executar a programação, e portas de comunicação que permitem a conexão entre os demais dispositivos que compõem o sistema, sendo sensores, atuadores, computadores, sistemas de supervisão e controle *SCADA* (*Supervisory Control and Data Acquisition*) e redes industriais (Siemens, 2020).

Um sistema *SCADA* é uma solução que monitora e controla processos industriais em tempo real. Ele coleta dados de sensores, permite o controle remoto de equipamentos, registra informações para análises futuras e gera alarmes em caso de problemas. Sua interface gráfica facilita a visualização e gestão das operações, sendo crucial para a eficiência e segurança em setores como energia, água e manufatura (Vicente; Gonçalves, 2022).

Os programadores criam sequências de instruções que controlam as portas de comunicação do CLP de acordo com a lógica desejada para automatizar o processo.

Os CLPs são programados utilizando linguagens de programação dedicadas, as mais comumente usadas são: linguagem *ladder*, diagrama de blocos funcionais (*FBD*) e instruções de texto estruturado (ST).

Os CLPs podem ser integrados com outros dispositivos e sistemas, como sensores, atuadores, sistemas de supervisão e controle (*SCADA*) e redes industriais, para formar sistemas complexos de automação.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

SIMULAÇÃO: INTEGRAÇÃO DE SENSORES DO TIPO CÉLULA DE CARGA E SOFTWARE ELIPSE E3 NO MONITORAMENTO DE SILOS DE GRANALHA
João Pedro Manzini, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian

As soluções CLPs integradas operam usando protocolos de comunicação como *Modbus*, *Profibus* e *Ethernet/IP*. Esses protocolos trocam informações entre dispositivos conectados e permitem integração e comunicação entre dispositivos (Siemens, 2020).

Software Elipse E3

O Elipse E3 é uma plataforma robusta e flexível desenvolvida para automação e supervisão de processos industriais. Este programa se encaixa no sistema de supervisão e controle *SCADA*.

Este *software* oferece uma interface gráfica intuitiva e amigável que permite aos usuários criarem, configurarem e monitorarem sistemas de automação de forma eficiente.

A interface é altamente personalizável, permitindo que os usuários criem telas de visualização personalizadas com gráficos, indicadores, botões, relatórios e outros elementos de controle (Elipse Software, 2020).

Conforme os desenvolvedores Elipse *Software*, o Elipse E3 suporta uma ampla gama de protocolos de comunicação industrial, incluindo *Modbus*, OPC, DNP3, IEC 60870, entre outros.

Isso permite a integração do Elipse E3 com uma variedade de dispositivos de automação, como controladores programáveis (CLPs), sistemas de controle distribuído (*DCS*), sistemas de aquisição de dados (*SCADA*) e dispositivos de monitoramento.

O *software* fornece recursos abrangentes de gerenciamento de alarmes e eventos, incluindo alarmes de alta prioridade, alarmes de baixa prioridade, alarmes de processo, alarmes de sistema, entre outros.

Além disso, o Elipse E3 mantém um histórico de dados detalhado que permite aos usuários analisarem o desempenho do sistema ao longo do tempo e identificar tendências e padrões.

Este programa inclui recursos avançados de segurança que permitem aos administradores controlarem o acesso dos usuários às diferentes funcionalidades e áreas do sistema.

Isso inclui autenticação de usuário, permissões de acesso configuráveis, registro de atividades e auditoria de segurança.

O Elipse E3 é altamente escalável e pode ser implantado em sistemas de automação de pequena, média ou grande escala.

Ele é projetado para ser robusto e confiável, garantindo operações contínuas e sem falhas em ambientes industriais exigentes (Elipse Software, 2020).

3. DESENVOLVIMENTO

Esta seção apresenta o desenho técnico do silo em que será feita a implementação do sistema de monitoramento automatizado de nível e o cálculo de seu volume. Foi apresentado o local de instalação dos sensores do tipo célula de carga e como foi feita a conexão com o Controlador Lógico Programável (CLP), explicando como essas interações são realizadas para garantir medições precisas e em tempo real. Também foi abordado o armazenamento dos dados coletados, que



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

SIMULAÇÃO: INTEGRAÇÃO DE SENSORES DO TIPO CÉLULA DE CARGA E SOFTWARE ELIPSE E3 NO MONITORAMENTO DE SILOS DE GRANALHA
João Pedro Manzini, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian

possibilitará a gestão eficiente das informações. Foi apresentada de forma intuitiva e com foco para testes, as telas desenvolvidas no *software* Elipse E3 em conjunto com o Banco de Dados *Microsoft Access*, que facilitam a visualização e análise dos dados, otimizando a operação do sistema.

Materiais E Métodos

Os materiais utilizados foram: um silo graneleiro, um sensor do tipo célula de carga denominado LNX-SC-PD6100, um CLP S7 1500 da SIEMENS, o *software* AUTOCAD *Autodesk* versão 2024 para ser feito o desenho técnico e o *software* elipse E3 para visualização do monitoramento em tempo real do silo.

A decisão de manter o Controlador Lógico Programável (CLP) no sistema de monitoramento e controle do silo foi fundamentada em três fatores principais: segurança de dados, controle local e preparação para futuras expansões.

Primeiramente, o CLP proporciona uma camada adicional de segurança para o armazenamento e controle dos dados. Em situações em que o *SCADA* possa falhar ou ficar offline temporariamente, o CLP continua a monitorar e registrar os dados dos sensores, prevenindo a perda de informações críticas sobre o nível do silo e o estado do sistema, e garantindo a integridade dos dados.

Além disso, o controlador oferece a capacidade de controle local independente. Mesmo com a conexão direta entre o sensor LNX-SC-PD6100 e o *SCADA* Elipse E3, o CLP permite que funções de controle, como alarmes e interrupção automática do abastecimento, operem localmente. Isso é essencial para manter a autonomia do sistema e garantir a operação contínua, sem depender exclusivamente do *SCADA* para decisões críticas.

Por fim, a presença do CLP facilita futuras expansões do sistema, como a automação do abastecimento da máquina associada ao silo. O controlador existente na linha de produção pode ser usado para implementar lógicas de controle mais avançadas, permitindo a automação do fluxo de material do silo para a máquina de processamento. Dessa forma, o CLP não só mantém a infraestrutura atual, mas simplifica a integração de novos processos e a automação futura.

Silo Graneleiro

As figuras 3A e 3B apresentam o silo graneleiro que será sujeito a implementação de um sistema de monitoramento automatizado. Para uma avaliação mais precisa, o volume do silo foi calculado em unidades de metros cúbicos.

Por ser uma base quadrada com suas dimensões laterais e uma altura iguais à 2 (dois) metros, o equipamento apresenta um volume de 8 (oito) metros cúbicos.

- O volume do silo foi calculado dessa maneira:

$$V_{\text{cubo}} = a^3 \quad (1).$$

Como $a = 2$, substituindo na equação (1), tem-se: $2^3 = 8 \text{ m}^3$.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

SIMULAÇÃO: INTEGRAÇÃO DE SENSORES DO TIPO CÉLULA DE CARGA E SOFTWARE ELIPSE E3 NO MONITORAMENTO DE SILOS DE GRANALHA
João Pedro Manzini, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian

Calculando sua base em formato de pirâmide e multiplicando por sua quantidade de acordo com as medidas do desenho da figura 3, totalizando 4 (quatro) unidades, obteremos um valor de 0,6 (zero vírgula seis) metros cúbicos.

- O volume da pirâmide foi calculado dessa maneira:

$$V_{\text{pirâmide}} = AB * h / 3 \quad (2).$$

Como $AB = 1$, $h = 0,435$ e são no total 4 pirâmides, substituindo na equação (2), tem-se: $(1 * 0,435 / 3) * 4 = 0,6 \text{ m}^3$.

O volume total do silo é estimado através da soma dos dois volumes calculados anteriormente:

$V_{\text{cubo}} + V_{\text{pirâmide}} =$ totalizando 9 (nove) metros cúbicos, aproximadamente.

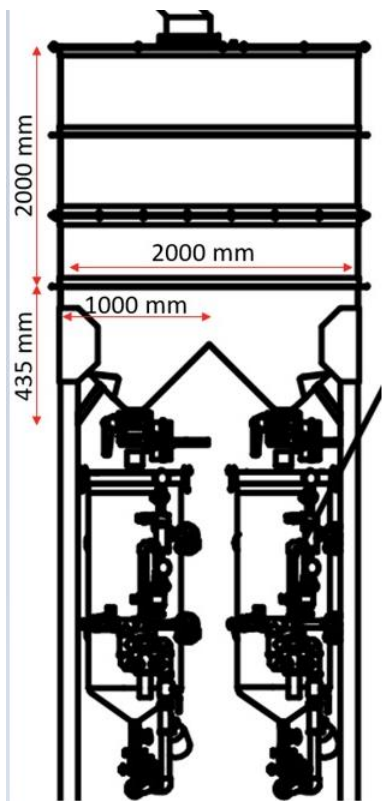


Figura 3A



Figura 3B

Figura 3A e 3B - Silo Graneleiro e apresentação dos cálculos de seu volume
Fonte: o Autor, 2024.

Granalha de ferro e sua densidade

Com base nos dados apresentados pelo fornecedor, a densidade da matéria-prima a ser armazenada no silo, no caso granalha de aço apresentada na figura 4, sendo 7,3 (sete vírgula três) gramas por centímetro cúbico ou 7.300 (sete mil e trezentos) quilogramas por metro cúbico, a



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

SIMULAÇÃO: INTEGRAÇÃO DE SENSORES DO TIPO CÉLULA DE CARGA E SOFTWARE
ELIPSE E3 NO MONITORAMENTO DE SILOS DE GRANALHA
João Pedro Manzini, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian

conversão para saber a capacidade de armazenamento do silo é obtida multiplicando seu volume total pela densidade da matéria-prima apresentada.

Através dos cálculos realizados, concluímos que o silo suporta aproximadamente 65,70 (sessenta e cinco vírgula setenta) toneladas de matéria-prima.



Figura 4 – Granalha de aço
Fonte: o Autor, 2024.

Software Elipse E3

A decisão de utilizar o Elipse E3 versão 6.6 – 32 bits para o monitoramento do silo de granalha de ferro se fundamentaram em várias vantagens que esse *software* proporciona:

- Flexibilidade - O Elipse E3 apresenta uma alta flexibilidade, possibilitando a personalização das interfaces e telas de monitoramento conforme as demandas do projeto. Isso torna mais fácil a adaptação do sistema a diferentes tipos de processos e operações industriais, como o monitoramento de um silo de granalha de ferro.
- Apoio a Múltiplos Protocolos de Comunicação - O Elipse E3 oferece compatibilidade com uma ampla gama de protocolos de comunicação, entre os quais se destacam *Modbus*, OPC e DNP3. Essa funcionalidade é fundamental para assegurar uma integração eficiente com o Controlador Lógico Programável (CLP) presente no sistema, possibilitando uma comunicação estável e eficaz entre o hardware e o *software*.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

SIMULAÇÃO: INTEGRAÇÃO DE SENSORES DO TIPO CÉLULA DE CARGA E SOFTWARE ELIPSE E3 NO MONITORAMENTO DE SILOS DE GRANALHA
João Pedro Manzini, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian

- Facilidade de Integração com CLPs e Sistemas de Bancos de Dados - Um dos principais benefícios do Elipse E3 é a sua habilidade de se conectar de forma simples a CLPs, essenciais para os processos de controle e automação na indústria. Adicionalmente, o *software* permite a ligação a diferentes tipos de bancos de dados, o que é vital para o armazenamento e análise dos dados de monitoramento adquiridos em tempo real. Durante a simulação, essa integração demonstrou eficiência ao utilizar o banco de dados *Access*, e na fase de implementação real, poderá ser adaptada facilmente para trabalhar com bancos de dados mais robustos.

4. DISCUSSÃO

Funcionalidades principais do sistema de monitoramento do silo de granalha de aço

O sistema de monitoramento desenvolvido para o silo de granalha de aço utilizando o Elipse E3 possui diversas funcionalidades principais que garantem a operação eficiente e segura do processo. Estas funcionalidades incluem a coleta, armazenamento, e análise dos dados em tempo real com uma forte interação entre os componentes do sistema (figura 5).

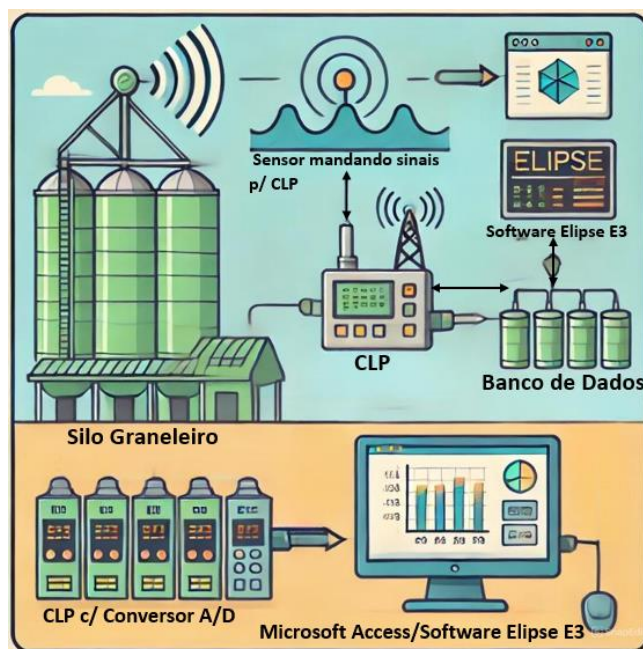


Figura 5 - Diagrama da Arquitetura Geral do Sistema
Fonte: o Autor, 2024.

Coleta de dados

O sensor LNX-SC-PD6100 fornece um sinal analógico na faixa de 4 mA a 20 mA. Esse sinal é proporcional à carga ou à deformação medida pelo sensor, onde 4 mA geralmente representa o



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

SIMULAÇÃO: INTEGRAÇÃO DE SENSORES DO TIPO CÉLULA DE CARGA E SOFTWARE ELIPSE E3 NO MONITORAMENTO DE SILOS DE GRANALHA
João Pedro Manzini, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian

valor mínimo (neste caso, a condição de carga mínima) e 20 mA representa o valor máximo (a condição de carga máxima).

O sinal analógico do sensor é enviado para a entrada analógica do CLP. Quando o sinal chega ao controlador, ele realiza a conversão de analógico para digital (A/D) feito através de um conversor A/D embutido no próprio equipamento, transformando o sinal analógico recebido em um valor digital que pode ser interpretado e processado pelo sistema.

Essa conversão é essencial para que o CLP possa executar lógicas de controle ilustrada na figura 6, gerar alarmes e armazenar os dados de forma eficiente.

Após a conversão, o CLP realiza várias funções, como:

- Monitorar o nível de granalha no silo.
- Comparar o valor lido com limites pré-estabelecidos (como os limites de alarmes).
- Armazenar os dados no banco de dados ou enviá-los para o sistema SCADA para visualização e análise.
- Executar ações de controle, como abrir ou fechar válvulas, iniciar ou parar transportadores, ou ativar alarmes.

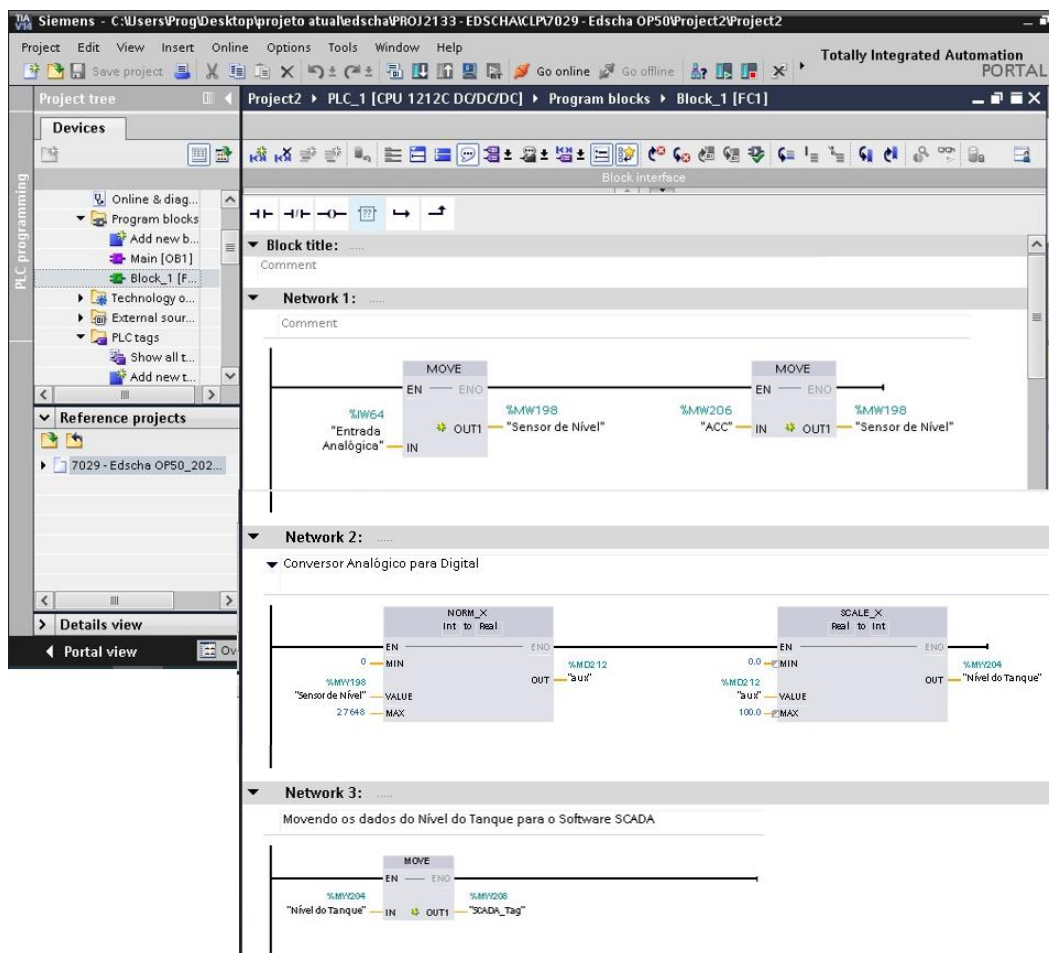


Figura 6 – Diagrama de Blocos para captura e conversão dos dados via CLP
Fonte: o Autor, 2024.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

SIMULAÇÃO: INTEGRAÇÃO DE SENSORES DO TIPO CÉLULA DE CARGA E SOFTWARE ELIPSE E3 NO MONITORAMENTO DE SILOS DE GRANALHA
João Pedro Manzini, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian

Local de instalação dos sensores

Quando instalado diretamente na estrutura que suporta o silo, utilizando o sistema *bolt-on*, o sensor mede as deformações nas “pernas” da estrutura de sustentação do silo conforme ilustrado nas figuras 7A e 7B, que são proporcionais à quantidade de produto armazenado. O sensor envia uma saída de tensão para a eletrônica de alta resolução, que oferece indicação local e sinais de saída para CLPs e sistemas supervisórios, possibilitando a automação do controle de processos.

Além disso, as características dos produtos armazenados, como pó, poeira, ângulo de repouso, abrasão e temperatura, não interferem na medição, pois o sistema será instalado de forma não intrusiva (Lenox, 2024).

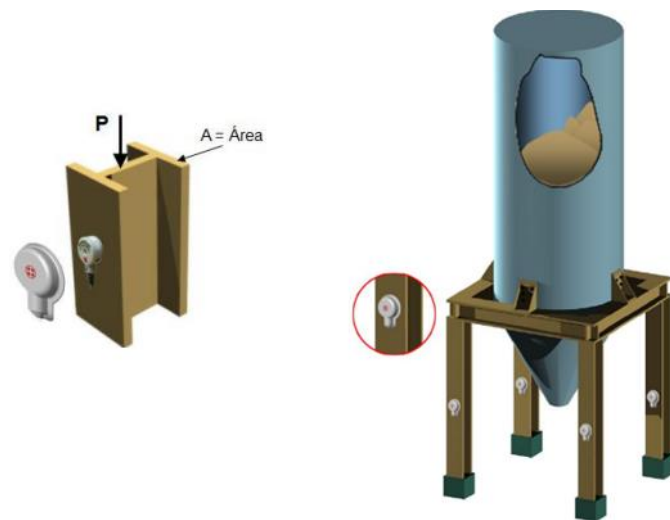


Figura 7A

Figura 7B

Figura 7A e 7B – Local de instalação dos sensores
Fonte: LENOX, 2024.

Armazenamento de dados

Uma vez que os dados chegam ao Elipse E3, eles podem ser armazenados em um banco de dados para fins de histórico e análise posterior.

Durante a fase de simulação, foi utilizado o Microsoft Access para esse propósito. Na implementação final, pode ser utilizado um banco de dados mais robusto, como *SQL Server* ou *Oracle*, dependendo das necessidades do projeto.

O armazenamento histórico permite que os dados sejam mantidos por longos períodos, possibilitando análises retroativas e a geração de relatórios que ajudem na tomada de decisões operacionais.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

SIMULAÇÃO: INTEGRAÇÃO DE SENSORES DO TIPO CÉLULA DE CARGA E SOFTWARE ELIPSE E3 NO MONITORAMENTO DE SILOS DE GRANALHA
João Pedro Manzini, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian

Configuração com o banco de dados

O Elipse E3 foi configurado para comunicação com o sistema de monitoramento usando *Modbus* RTU e a extensão Elipse E3 *Modbus*. No protocolo *Modbus* RTU, as mensagens seguem um formato padrão composto por quatro partes principais:

- Endereço do Dispositivo (1 *byte*): identifica o escravo na rede *Modbus*.
- Código da Função (1 *byte*): define a ação que o dispositivo deve realizar, como ler ou escrever registradores.
- Dados (tamanho variável): contém informações específicas para a operação, como endereços de registradores e valores a serem transmitidos.
- CRC (2 *bytes*): código de verificação que assegura a integridade da mensagem.

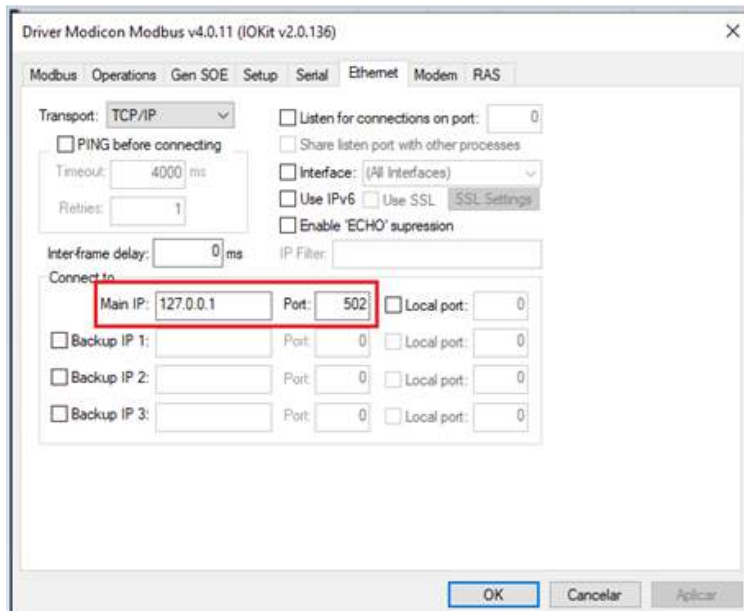


Figura 8A

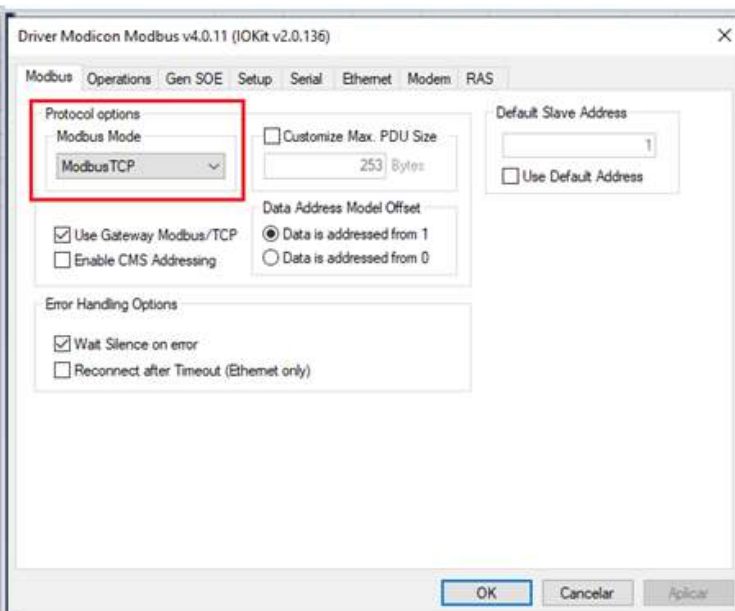


Figura 8B

Figura 8A e 8B – Definição do protocolo de comunicação e endereço IP
Fonte: o Autor, 2024.

Esse formato garante uma comunicação eficiente e confiável entre o mestre (*SCADA*) e os dispositivos escravos (Miranda, 2024).

A configuração utilizada no projeto incluiu a definição do driver *Modbus* RTU no Elipse E3, ajustando parâmetros como taxa de *baud*, paridade e número de bits, para garantir uma comunicação eficiente. Além disso, foram mapeados os registros *Modbus* do sensor, configurando endereços e tipos de dados para assegurar a precisão e integridade das informações, como mostrado na Figura 8A e 8B.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

SIMULAÇÃO: INTEGRAÇÃO DE SENSORES DO TIPO CÉLULA DE CARGA E SOFTWARE ELIPSE E3 NO MONITORAMENTO DE SILOS DE GRANALHA
João Pedro Manzini, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian

Conexão com o banco de dados

Para validar a configuração e o funcionamento da integração, foi realizado uma simulação usando a extensão Elipse E3 *Modbus*, conforme ilustrado na Figura 9. Esta simulação testou a comunicação entre o *SCADA* e o banco de dados *Access*, assegurando que os dados fossem capturados, armazenados e visualizados corretamente.

Utilizado a funcionalidade de conexão com banco de dados do Elipse E3 para estabelecer uma interface entre o *SCADA* e o *Access*, permitindo a gravação e recuperação de dados em tempo real. Os dados de medição do sensor, transmitidos via *Modbus*, são registrados no banco de dados *Access*. Este armazenamento facilita a análise histórica e a geração de relatórios detalhados sobre o nível do silo e o desempenho do sistema.

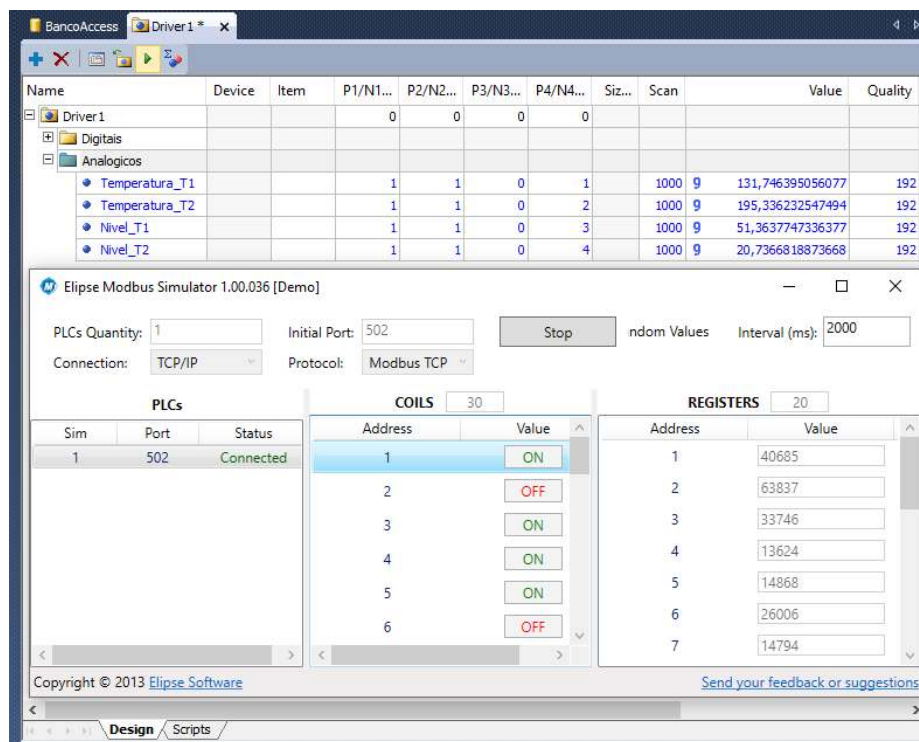


Figura 9 - Tela do simulador *MODBUS* com os valores captados pelo sensor e teste de conexão com o *Software*
Fonte: o Autor, 2024.

Fluxo de dados

O fluxo de dados começa no sensor, que coleta as medições do nível de granalha e envia esses dados ao CLP, que por sua vez, processa e encaminha esses dados ao Elipse E3, onde são analisados e armazenados.

O operador interage com o sistema através das telas desenvolvidas no Elipse E3, onde ele pode monitorar o processo, responder a alarmes, e acessar relatórios e históricos de dados.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

SIMULAÇÃO: INTEGRAÇÃO DE SENSORES DO TIPO CÉLULA DE CARGA E SOFTWARE ELIPSE E3 NO MONITORAMENTO DE SILOS DE GRANALHA
João Pedro Manzini, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian

Essa interface é desenhada para ser intuitiva, permitindo uma resposta rápida e eficiente a quaisquer mudanças no processo.

5. RESULTADOS OBTIDOS

Esta seção apresenta as telas intuitivas desenvolvidas no *software* Elipse E3, que proporcionam uma interface gráfica completa para o monitoramento dos níveis de granalha. Com recursos para visualização de consumo em gráficos e alarmes automáticos configurados para alertar os operadores em situações de estoque crítico, essa interface facilita a tomada de decisões e o acompanhamento eficiente dos níveis de estoque.

Por meio da integração dos sensores de célula de carga ao CLP e ao *software* Elipse E3, foi possível simular uma medição contínua e em tempo real dos níveis de granalha, fornecendo dados precisos que auxiliam no controle e planejamento de abastecimento do silo. Dessa forma, a gestão do estoque é aprimorada, e o risco de interrupções na produção é minimizado.

Análise de dados em tempo real

Conforme figura 10, a tela desenvolvida pelo Elipse E3 processa e exibe os dados recebidos do CLP em tempo real, permitindo que o operador visualize o estado atual do silo de granalha de ferro. Incluindo a exibição de alarmes em caso de condições fora dos parâmetros normais, e outras informações relevantes como a navegação para outras telas, data e hora da operação e o login para ter acesso ao programa.

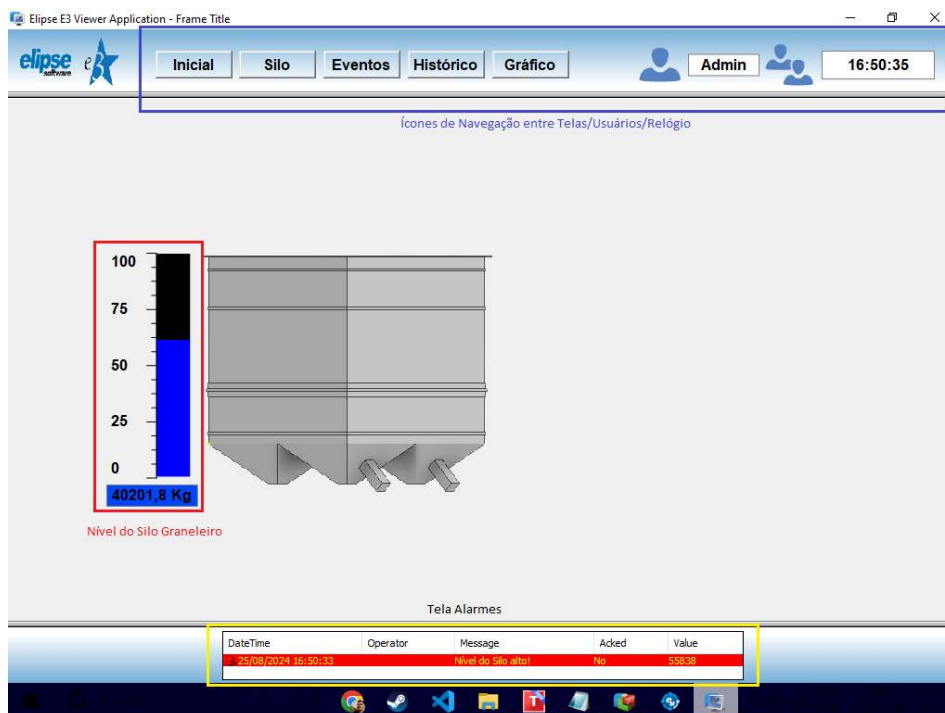


Figura 10 - Tela do *Software* exibindo o Nível do Silo
Fonte: o Autor, 2024.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

SIMULAÇÃO: INTEGRAÇÃO DE SENSORES DO TIPO CÉLULA DE CARGA E SOFTWARE ELIPSE E3 NO MONITORAMENTO DE SILOS DE GRANALHA
João Pedro Manzini, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian

Alarmes e notificações

Com base nos dados coletados em campo, os parâmetros e margens dos alarmes foram configurados para garantir que o operador tenha um tempo de resposta adequado para tomar decisões e evitar a parada do equipamento.

A Figura 11 apresenta a tela de configuração dos alarmes, onde foram definidos os valores que, ao serem atingidos, geram alertas. Por exemplo, foi configurada uma *subcondition LoLo* para um limite mínimo de 10.000 kg de volume no silo. Quando esse valor é atingido, o sistema dispara o alarme com a mensagem “Nível do Silo muito baixo!”.

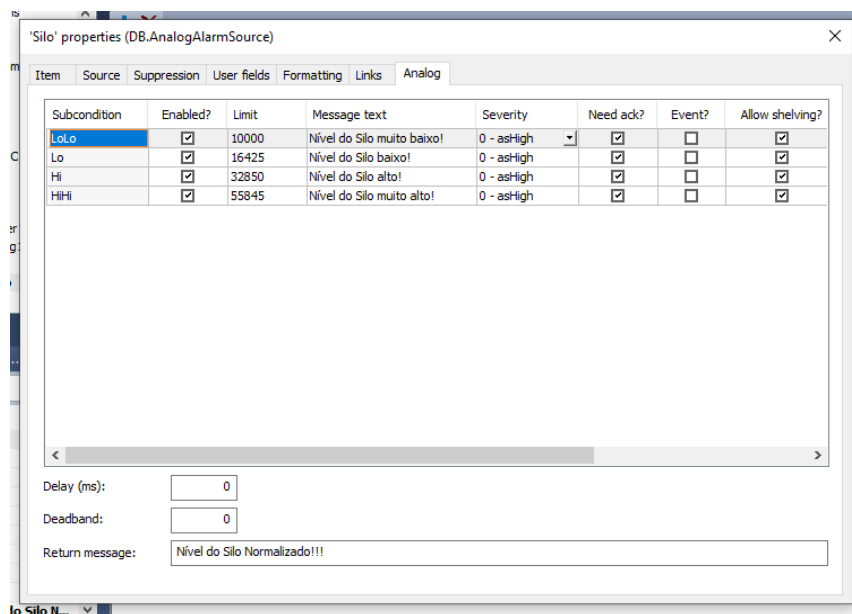


Figura 11 - Configuração de Alarmes do Software
Fonte: o Autor, 2024.

Complementando essas configurações, a Figura 12 exhibe as mensagens visuais enviadas ao operador. Essas mensagens são disparadas quando os níveis de granalha atingem valores críticos, seja por estarem muito baixos ou muito altos. O sistema, ao detectar essas condições, exhibe alarmes visuais que permitem ao operador tomar as ações necessárias para corrigir a situação, garantindo a continuidade do processo e a segurança operacional.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

SIMULAÇÃO: INTEGRAÇÃO DE SENSORES DO TIPO CÉLULA DE CARGA E SOFTWARE ELIPSE E3 NO MONITORAMENTO DE SILOS DE GRANALHA
João Pedro Manzini, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian

DateTime	Operator	Message	Acked	Value
25/08/2024 17:31:50		Nível do Silo muito alto!	No	55950
25/08/2024 17:31:06		Nível do Silo alto!	No	33218
25/08/2024 17:30:16		Nível do Silo Normalizado!!!	No	32462
25/08/2024 17:28:19		Nível do Silo baixo!	No	15242
25/08/2024 17:29:20		Nível do Silo muito baixo!	No	9770

Figura 12 - Tipos de alarmes presentes na programação
Fonte: o Autor, 2024.

Relatórios e gráficos

Além do monitoramento em tempo real, o Elipse E3 permite a geração de relatórios e gráficos baseados nos dados coletados. Esses relatórios podem ser usados para analisar tendências, detectar anomalias ou otimizar o processo de operação do silo.

Conforme figura 13, a tela de gráfico vai permitir que o operador visualize e analise os dados em tempo real, facilitando a tomada de decisões e o monitoramento contínuo do processo e poderá ser feita a impressão dele, clicando no botão "IMPRIMIR".

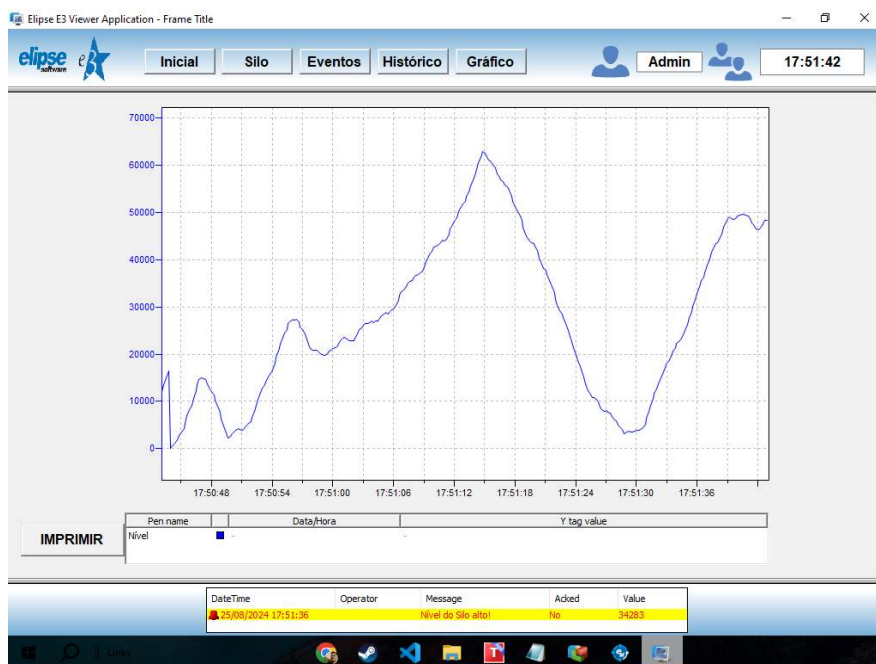


Figura 13 - Gráfico de consumo
Fonte: o Autor, 2024.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

SIMULAÇÃO: INTEGRAÇÃO DE SENSORES DO TIPO CÉLULA DE CARGA E SOFTWARE
ELIPSE E3 NO MONITORAMENTO DE SILOS DE GRANALHA
João Pedro Manzini, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian

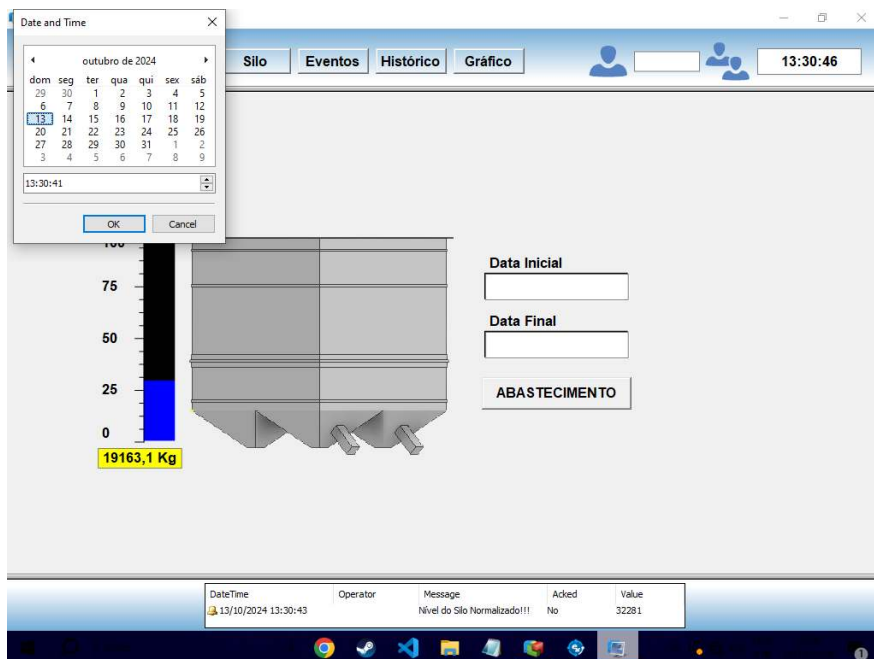


Figura 15 – Definindo o intervalo de tempo em que a máquina operou
Fonte: o Autor, 2024.

Uma vez definidas as datas, o sistema Elipse E3 processa as informações para calcular a quantidade total de granalha consumida dentro desse intervalo. Com base nesses dados, a tela fornece uma mensagem ao operador descrevendo a quantidade exata que deve ser abastecida para suprir o consumo, conforme mostrado na figura 16, garantindo que a operação mantenha um nível adequado de estoque.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

SIMULAÇÃO: INTEGRAÇÃO DE SENSORES DO TIPO CÉLULA DE CARGA E SOFTWARE
ELIPSE E3 NO MONITORAMENTO DE SILOS DE GRANALHA
João Pedro Manzini, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian

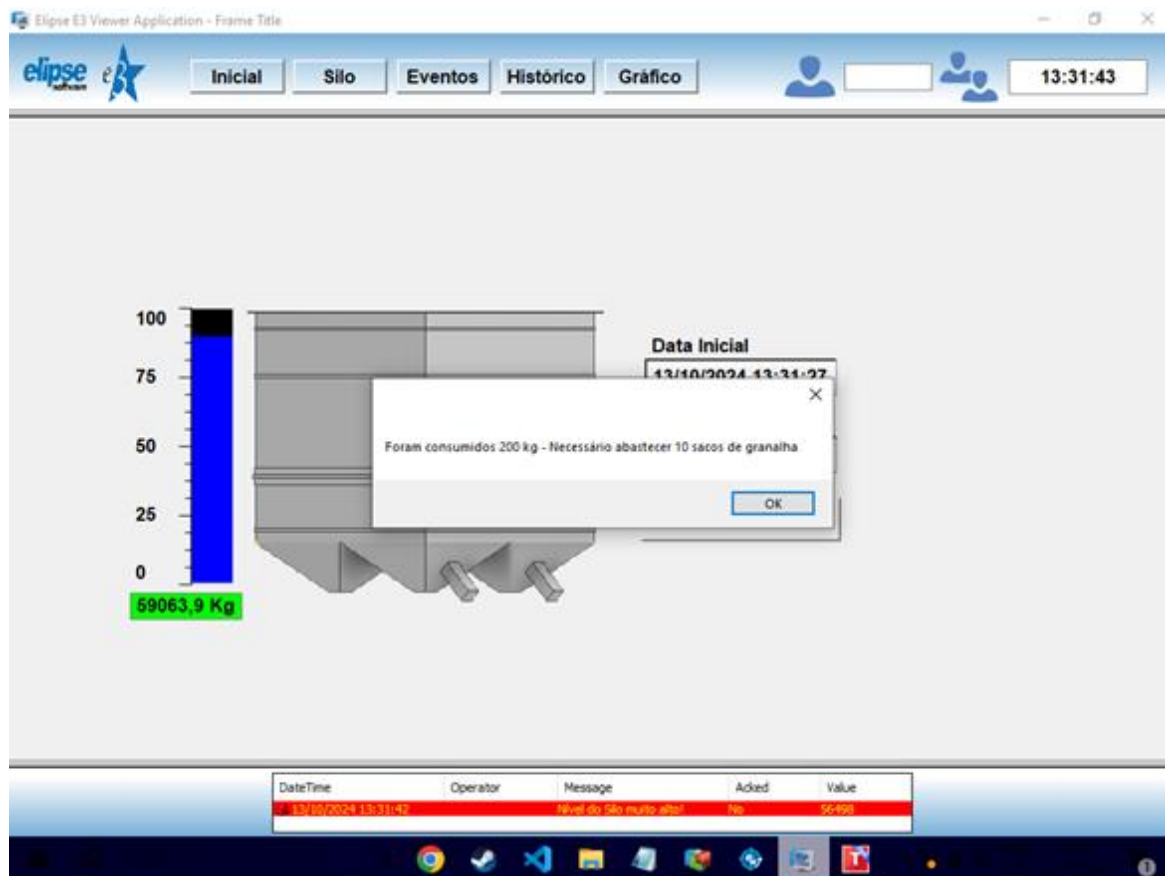


Figura 16 – Caixa de mensagem identificando a quantidade consumida e a quantidade necessária para abastecimento

Fonte: o Autor, 2024.

Essa funcionalidade não apenas otimiza o processo de reabastecimento, mas também proporciona um controle detalhado sobre o consumo diário e os gastos de granalha, possibilitando uma gestão financeira mais eficiente e uma redução de desperdícios.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

SIMULAÇÃO: INTEGRAÇÃO DE SENSORES DO TIPO CÉLULA DE CARGA E SOFTWARE ELIPSE E3 NO MONITORAMENTO DE SILOS DE GRANALHA
João Pedro Manzini, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian

6. CONSIDERAÇÕES

A simulação do sistema de monitoramento automatizado para o silo de granalha demonstrou-se fundamental para a melhoria da eficiência operacional e da precisão na gestão dos níveis de estoque. A integração de sensores do tipo célula de carga com um Controlador Lógico Programável (CLP) e o *software* Elipse E3 possibilitou a simulação da medição em tempo real, reduzindo a margem de erro e minimizando os riscos de interrupções na produção.

O *software* Elipse E3, com seus recursos avançados, como gráficos de consumo e alarmes que alertam os operadores sobre níveis críticos de granalha, oferece uma interface eficiente para o monitoramento. Além disso, a simulação incluiu um botão de reabastecimento, que indica a quantidade exata necessária para a reposição do material, facilitando uma gestão ainda mais precisa dos estoques.

A programação do CLP e a montagem das telas no Elipse E3 reforçam a importância prática do desenvolvimento deste trabalho, simulando soluções automatizadas que podem ser aplicadas em operações industriais. A empresa parceira, onde a implementação está prevista, possui outros projetos em andamento, mas já está em planejamento a implantação futura deste sistema, o que permitirá o estudo prático dos resultados obtidos.

Em suma, o sistema simulado representa um avanço significativo em relação aos métodos tradicionais de monitoramento, promovendo uma gestão mais eficaz e contribuindo para a sustentabilidade e rentabilidade das operações no setor. Futuras pesquisas podem explorar melhorias adicionais e a aplicação dessa tecnologia em outros contextos industriais, ampliando ainda mais os benefícios da automação.

REFERÊNCIAS

CORREA, G. C.; ÁVILA, N. A.; SILVA, J. G. O.; CARR, C. N.; CARR, R. F. Microsoft Access: tudo o que você precisa saber para gerenciar seu banco de dados de maneira eficaz. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 5, p. e4512541324-e4512541324, 2023. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/41324>. Acesso em: 6 out. 2024.

DIAS, M. A. P. **Administração de materiais**: princípios, conceitos e gestão. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2009. Disponível em: https://www.academia.edu/40043206/Administração_de_Materiais_Uma_Abordagem_Logística_Marc_o_Aurélio_P_Dias. Acesso em: 26 mai. 2024.

ELIPSE SOFTWARE. **Manual do Usuário do Elipse E3**. [S. l.]: Elipse Software, 2020. Disponível em: <https://docs.elipse.com.br/documents/pt-br/e3/latest/manual/e3/>. Acesso em: 26 maio 2024.

GARCIA, F. S. **Automação**: CLP (Comando Lógico Programável). 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade Anhanguera de Osasco, Osasco, 2020. Disponível em: https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/31524/1/FELIPESOUZAGARCIA_Controla_dor+Lógico+Programável.pdf. Acesso em: 26 maio 2024.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

SIMULAÇÃO: INTEGRAÇÃO DE SENSORES DO TIPO CÉLULA DE CARGA E SOFTWARE ELIPSE E3 NO MONITORAMENTO DE SILOS DE GRANALHA
João Pedro Manzini, Danilo Carlos Rosseto Minhoni, Fabiana Florian

INDUSTRY SUPPORT SIEMENS. **What is RFC1006 and what do I need this service for?**. [S. l.]: INDUSTRY SUPPORT SIEMENS, 2017. Disponível em: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/15048962/what-is-rfc1006-and-what-do-i-need-this-service-for-?dti=0&lc=en-BR>. Acesso em: 29 maio 2024.

LAMB, F. **Industrial Automation: Hands On**. [S. l.]: Kobo, s. d. em: https://www.kobo.com/ww/en/ebook/industrialautomationhandson?srsId=AfmBOooDopUO0Xd1IZITXp5E4zB2nmRvVyWIHrqr_b5hgBVcEO_YPtI3. Acesso em: 15 set. 2024.

LAUZIER, J. **Manual Data Collection: Manufacturing's Biggest Problem**. [S. l.: s. n.]: 2022. Disponível em: <https://www.machinemetrics.com/blog/manual-data-collection>. Acesso em: 13 out. 2024.

LENOX. **Manual técnico LENOX**. [S. l.]: Lenox, 2024. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/343665980/LNX-SC>. Acesso em: 6 out. 2024.

LOVE, J. **Process Automation Handbook: A Guide to Theory and Practice**. [S. l.: s. n.], s. d. Disponível em: <https://pdfcoffee.com/process-automation-handbook-2-pdf-free.html>. Acesso em: 15 set. 2024.

MIRANDA, C. L. B. **Desenvolvimento de protótipo didático de aplicação do protocolo de rede modbus RTU para controle de temperatura**. 2024. TCC (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/255776>. Acesso em: 6 out. 2024.

PEREIRA, J. A. **Comunicação bidirecional entre CLP e aplicativo móvel para automação de processos industriais**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/50265/1/TCC-JayltonAlencarPereira.pdf>. Acesso em: 26 maio 2024.

PLANTERA, F. **Machine Data Collection in Manufacturing**. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: <https://evocon.com/articles/manual-vs-automated-data-collection-in-manufacturing/>. Acesso em: 13 out. 2024.

VICENTE, L.; GONÇALVES, C. M. M. J. Projeto de sistema SCADA para o novo paradigma da indústria 4.0. **Revista Mecânica Experimental**, p. 1-12, 2022. Disponível em: <https://www-ext.lnec.pt/APAET/paginas/Revista/publicacao.html>. Acesso em: 13 out. 2024.