ESTIMATIVA VOLUMÉTRICA AUTOMATIZADA: UMA SOLUÇÃO BASEADA EM SENSORES DE DISTÂNCIA E CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

Pedro Henrique Dorneles Zanatta (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Lucas Lima Provensi (Coorientador), Camila de Brito Miranda Faia (Orientadora). E-mail: cbmiranda2@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Maringá, PR.

Área e subárea do conhecimento: Engenharia Elétrica, Eletrônica Industrial e Sistemas e Controles Eletrônicos

Palavras-chave: Sensores; Controlador Lógico Programável; Medição Volumétrica.

RESUMO

Este projeto teve como objetivo desenvolver e validar um sistema automatizado para estimar o volume de materiais em movimento sobre uma esteira transportadora, utilizando um sensor de distância integrado a um controlador lógico programável (CLP), atuando como alternativa econômica às células de carga. A metodologia consistiu no processamento matemático de dados geométricos via CLP, calculando o volume por meio de medições do perfil transversal de grãos a cada avanço linear do eixo. Os ensaios experimentais avaliaram o impacto de diferentes massas e espalhamentos físicos do material na precisão da medição. Os resultados apontaram uma tendência sistemática do sistema em superestimar o volume real, sendo este desvio fortemente influenciado pela disposição do material na esteira. O desempenho superior ocorreu na configuração de menor espalhamento e menor massa, resultando em um erro relativo médio de 14,17%. Em contraste, o aumento do fator de espalhamento elevou o erro médio para 43,74%, indicando que arranjos mais dispersos e cargas maiores ampliam significativamente as distorções de leitura. Conclui-se que o método proposto é promissor para controle automatizado em setores agroindustriais, no entanto, para assegurar a sua confiabilidade, é indispensável o ajuste do algoritmo de leitura por meio de uma calibração baseada em cenários de menor espalhamento, corrigindo as distorções geométricas e mitigando o viés inerente de superestimação.

INTRODUÇÃO

A automação industrial desempenha um papel fundamental na melhoria da eficiência, na redução de custos e no aumento da precisão dos processos produtivos, por meio do uso de tecnologias capazes de controlar processos sem intervenção humana direta (Roggia; Fuentes, 2016). Um dos desafios recorrentes nesses ambientes, especialmente sob restrições orçamentárias, é a medição do volume de materiais ou produtos transportados em linhas de produção contínuas (Pessanha, 2023).

Como alternativa aos métodos tradicionais, as células de carga, destacam-se os sensores de distância, que apresentam potencial para aplicações de menor custo (Bayano-Tejero et al., 2023). Posicionados sobre as esteiras, esses sensores permitem medir a altura dos materiais em movimento e estimar seu volume a partir da combinação dessas medidas com as características geométricas da estrutura. Nesse processo, os Controladores Lógicos Programáveis (CLP) recebem e processam os sinais dos sensores, realizando o cálculo volumétrico em tempo real (Petruzella, 2013).

Nesse contexto, o objetivo deste projeto é desenvolver e avaliar uma solução automatizada para a estimativa do volume de materiais em movimento sobre uma esteira transportadora. A pesquisa envolve a integração de sensores de distância a um CLP e a aplicação de equações físicas e matemáticas aos dados coletados. Dessa forma, busca-se desenvolver uma alternativa viável e de baixo custo para a estimativa volumétrica no setor industrial, reduzindo a dependência de sistemas tradicionais de pesagem.

MATERIAIS E MÉTODOS

A estrutura da esteira transportadora foi construída com perfis metálicos, rolamentos, tubos de PVC e lona, sendo acionada por um motor de indução controlado por inversor de frequência. A aquisição de dados foi realizada por meio de um sensor de distância (IFM O1D100), utilizado para mensurar o perfil do material, e de um sensor indutivo, responsável por detectar o avanço do eixo. Os componentes de controle foram alimentados por uma fonte de 24 V.

Os dispositivos foram integrados a um Controlador Lógico Programável (WAGO CC100), programado no ambiente CODESYS. O cálculo do volume contínuo foi realizado pelo produto da área transversal do material pelo avanço linear do eixo a cada pulso, assumindo um formato de triângulo para a seção geométrica dos grãos. Via código, implementou-se um filtro condicional de altura mínima para ignorar ruídos de vibração da lona vazia. Para validar o equipamento, foram utilizadas amostras de feijão, avaliando-se a precisão do algoritmo sob diferentes massas e configurações de espalhamento.

O percurso metodológico compreendeu revisão bibliográfica, montagem elétrica e mecânica, programação e realização de testes práticos. A validação da solução foi realizada por meio da comparação entre o volume teórico das amostras e os valores medidos pelo protótipo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A construção da esteira transportadora e a integração do CLP com os sensores permitiram a validação prática do conceito de estimativa volumétrica. Na Figura 1, apresenta-se a estrutura física do sistema desenvolvido, evidenciando o posicionamento do sensor de distância sobre a lona e a disposição dos componentes elétricos e mecânicos.



Figura 1 - Estrutura física da esteira transportadora

A análise dos ensaios com amostras de feijão considerou duas configurações de espalhamento (1,5 cm e 2,0 cm) e duas de massas (0,1 kg e 0,2 kg). Os resultados demonstraram melhor desempenho para o menor espalhamento e menor massa. Na configuração de 1,5 cm, levando em consideração as duas massas medidas, o erro relativo médio foi de 18,64% (mediana de 15,50%), enquanto, para 2,0 cm, o erro relativo médio alcançou 43,74% (mediana de 40,25%). Esses resultados indicam que uma disposição mais compacta do material reduz as distorções de leitura e aumenta a confiabilidade da estimativa volumétrica.

A massa também apresentou influência direta no erro de medição, conforme apresentado na Figura 2. O aumento de 0,1 kg para 0,2 kg elevou o erro médio em ambas as configurações.

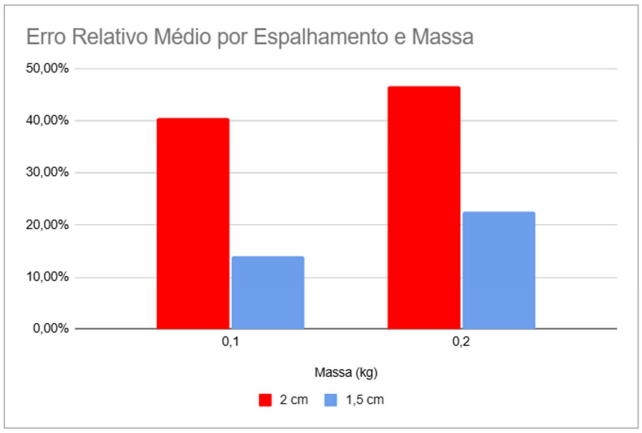


Figura 2 - Erro Relativo Médio por Configuração e Massa Pesada

O aumento da massa (de 0,1 kg para 0,2 kg) elevou o erro médio de 14,17% para 22,66% no espalhamento de 1,5 cm, e de 40,50% para 46,66% no de 2,0 cm. Assim, para o modelo construído, as configurações de menor espalhamento e massa se mostraram mais próximas ao volume teórico. Levando em consideração a

superestimação das medições, com o intuito de obter um resultado mais satisfatório, a troca da leitura pontual por uma leitura transversal seria vantajosa.

CONCLUSÕES

O projeto validou um sistema automatizado e de baixo custo para a estimativa volumétrica em tempo real, utilizando sensores e CLP como alternativa às células de carga. Os testes indicaram que a exatidão é influenciada pela disposição e pela massa do material, com melhor desempenho em condições de menor espalhamento e menor massa. Constatou-se uma tendência sistemática de superestimação das leituras, evidenciando a necessidade de calibração do algoritmo com base nesses cenários.

Como trabalhos futuros, sugere-se substituir o sensor de ponto fixo por um mecanismo de varredura transversal, permitindo o mapeamento tridimensional do perfil do material, além da incorporação de dispositivos de segurança operacional para adequação do equipamento às normas industriais.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao programa PIBIC/CNPq-FUNDAÇÃO ARAUCÁRIA-UEM pelo fomento à pesquisa e à empresa March Automação Industrial pelo apoio prestado.

REFERÊNCIAS

BAYANO-TEJERO, S. et al. Estimation of harvested fruit weight using volume measurements with distance sensors: A case study with olives in a big box. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 205, p. 107620, 2023.

PESSANHA, M. **Sensores aplicados na automação industrial**. 26 abr. 2023. Manual da automação. Disponível em: https://manualdaautomacao.com/sensores-aplicados-na-automacao-industrial/. Acesso em: 14 setembro 2025.

PETRUZELLA, F. D. **Controladores lógicos programáveis**. 4. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

ROGGIA, L.; FUENTES, R. C. **Automação Industrial**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, Rede e-Tec Brasil, 2016.