

CONTROLE DE PARTICULADO NO TRANSPORTE DE GRÃOS NO PORTO DE SANTOS: SISTEMA DE MALHA FECHADA

PARTICULATE CONTROL IN GRAIN TRANSPORTATION IN THE PORT OF SANTOS: CLOSED-LOOP SYSTEM

Jefferson Rodrigues¹, i
Welton Santos Costa², ii
Regis Pimenta Alves³, iii
Wallace da Silva Abou Hamia⁴, iv
Tiago Akira Tashiro de Araújo⁵, v

RESUMO

O controle de material particulado durante o transporte de grãos em terminais portuários, torna-se essencial devido aos impactos ambientais e à proximidade com áreas urbanas densamente povoadas. Assim, este estudo propõe a implementação de um sistema de malha fechada em um Terminal Portuário localizado no Porto de Santos, utilizando um sensor de particulado para otimizar o sistema de aspersão de óleo vegetal (SAOV) atualmente utilizado. A proposta visa melhorar a eficiência do controle de particulado, ajustando automaticamente a vazão de óleo com base em medições em tempo real. Espera-se que a implementação desse sistema não apenas reduza a emissão de particulados, mas também diminua os custos operacionais associados ao consumo de óleo vegetal, proporcionando um controle mais preciso e eficaz das emissões de material particulado no Porto de Santos.

Palavras-chave: controle de particulado; transporte; grãos; sistema de aspersão.

ABSTRACT

The control of particulate matter during grain transportation in port terminals becomes essential due to environmental impacts and proximity to densely populated urban areas. This study proposes the implementation of a closed-loop system in a Port Terminal of the Port of Santos, using a particulate sensor to optimize the vegetable oil spraying system (VES) currently used. The proposal aims to improve the efficiency of particulate matter control by automatically adjusting the oil flow rate based on real-time measurements. The implementation is expected to not only reduce particulate matter emissions, but also decrease the operational costs, providing more accurate and effective control of particulate matter emissions in the Port of Santos.

¹ Estudante de graduação em Tecnologia de Automação Industrial na Faculdade SENAI de Tecnologia de Santos.
Email: jefferson.rodriques9@senaisp.edu.br

² Estudante de graduação em Tecnologia de Automação Industrial na Faculdade SENAI de Tecnologia de Santos.
Email: welton.costa2@senaisp.edu.br

³ Estudante de graduação em Tecnologia de Automação Industrial na Faculdade SENAI de Tecnologia de Santos.
Email: regis.pimenta@senaisp.edu.br

⁴ Estudante de graduação em Tecnologia de Automação Industrial na Faculdade SENAI de Tecnologia de Santos.
Email: wallace.hamia@senaisp.edu.br

⁵ Professor de Educação Superior na Faculdade SENAI de Tecnologia de Santos.
Email: tiago.araujo@sp.senai.br

Keywords: particulate control; transportation; grains; sprinkler system.

1 INTRODUÇÃO

Devido aos seus impactos na qualidade do ar, o controle de material particulado durante o transporte de grãos no Porto de Santos é uma prioridade ambiental devido ao fato do Porto de Santos situar-se no perímetro urbano, tendo ao seu redor uma grande concentração populacional (SANTOS, 2021).

1.1 Problema de pesquisa

Atualmente no setor portuário, o controle da vazão de aspersão do óleo se dá a partir de uma sala de controle, sendo realizado de forma manual e remota por um operador, o qual ajusta a vazão com base em suas observações visuais da quantidade de particulado em suspensão na saída de um *ship loader*, sendo, desta forma, tal procedimento facilmente suscetível à possíveis erros humanos de dosagem da quantidade de óleo aspergida, ocasionando por conseguinte um desperdício de produto utilizado gerando um alto custo *Opex* (do inglês, *Operational Expenditure*) para o terminal portuário (IOANNOU et al., 2018).

1.2 Objetivo

Este estudo propõe a implementação de um sistema de controle em malha fechada, utilizando para isto, um sensor de monitoramento contínuo de medição de material particulado, comercialmente disponível, a ser aplicado em um determinado terminal portuário localizado no Porto de Santos.

1.3 Justificativa

Através desse sistema automatizado, acredita-se que os parâmetros operacionais poderão ser ajustados automaticamente, com base no *feedback* em tempo real fornecido pelo referido sensor, o qual pretende-se instalar estrategicamente no *Ship Loader*, garantindo assim uma operação mais precisa e eficiente. Acredita-se que esta abordagem facilitará não apenas reduzir os custos associados ao consumo de óleo vegetal utilizado, como também assegurar um controle mais rigoroso e eficaz das emissões de material particulado no Porto de Santos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A geração de material particulado advindos de grãos, inicia-se desde o início de sua produção sendo influenciada por diversos fatores, os quais vão desde a qualidade do solo até as condições climáticas (SARRA; MÜLFARTH, 2021). Entretanto, pode-se afirmar que a maior parte da geração do particulado ocorre durante o processo de transporte dos grãos, seja este realizado por caminhões ou trens, onde os grãos são compactados em estruturas metálicas e somando-se à vibração contínua, ocorre o atrito entre os grãos e as paredes do compartimento, ocasionando abrasão e a consequente formação de material particulado (MARTINS, 2023).

Já nos terminais portuários, o transporte interno dos grãos, seja para armazenamento ou embarque nos navios, tende a acentuar o processo de geração do material particulado. A movimentação dos grãos por correias transportadoras, tende a intensificar o atrito entre estes e as superfícies das correias,

assim como entre os próprios grãos. Tal atrito, combinado com o impacto durante a transferência entre correias ou para os chamados “elevadores de caneca”.

3 METODOLOGIA

3.1 Implementação do sistema de malha fechada

Este estudo adota uma abordagem qualitativa e quantitativa de forma complementar. Em relação à abordagem qualitativa, será realizada a análise descritiva dos processos atuais de controle de particulado no terminal portuário, considerando observações diretas das operações, relatórios internos fornecidos pelo setor de manutenção e registros históricos de consumo de óleo vegetal no SAOV. Essa etapa qualitativa permitirá compreender os principais gargalos operacionais e mapear como o controle manual é realizado, além de levantar percepções dos operadores quanto às limitações do método visual de controle.

Já em relação à abordagem quantitativa, serão utilizados dados numéricos obtidos a partir do sensor Sintrol S303®, instalado no Ship Loader, para medir em tempo real a concentração de particulado. Também será realizada a análise comparativa da vazão de óleo vegetal antes e após a implementação do sistema em malha fechada. Para o tratamento quantitativo, propõe-se a elaboração e aplicação de um controle PID, com registro das variáveis (pressão, vazão e concentração de particulado) em planilhas e gráficos. Esses resultados serão submetidos a comparação estatística com os limites operacionais de referência, incluindo o parâmetro estabelecido pela FDA (200 mL/t).

3.2 Sensor de particulado Sintrol S303®

Para a implementação do sistema de malha fechada, optou-se neste trabalho pela utilização de um sensor de material particulado modelo *Sintrol S303*®, comercializado no Brasil pela empresa Grunn do Brasil. Sua escolha se deu, devido a sua já conhecida operacionalidade e eficácia de utilização (GRUNN,2024).

3.3 Válvula de controle *BURKERT TYPE 3280*®

Neste projeto, a válvula de controle terá como função permitir o ajuste automático e preciso da vazão de óleo vegetal, de acordo com a informação enviada pelo sensor de material particulado.

4 RESULTADOS PARCIAIS

A validação dos resultados será realizada por meio de uma análise comparativa dos dados coletados antes e após a implementação do sistema de malha fechada. O monitoramento contínuo, utilizando o sensor *Sintrol S303*, permitirá a obtenção de medições precisas da concentração de particulado em suspensão durante as operações de transporte de grãos. O volume de óleo vegetal utilizado no sistema de aspersão será monitorado, avaliando a diminuição do consumo em função do ajuste automático proporcionado pelo sistema de controle em malha fechada.

A eficiência do sistema será validada com base na redução de



óleo utilizado, mantendo a conformidade com os limites estabelecidos pela *Federal Drug Administration* (FDA), a qual estipula um limite de 200 mL/t (FDA HELP, 2024). Esses dados serão compilados e comparados com os registros históricos de emissões do terminal, utilizando relatórios como os quais são apresentados nas figuras 1 e 2, a fim de validar a eficácia da proposta e justificar a sua adoção em larga escala. As figuras 1 e 2, demonstram o modelo de um relatório do SAOV, adotado em no Terminal Portuário em estudo, o qual foi elaborado no ano de 2023 com o objetivo de monitorar a eficiência do sistema atual.

Figura 1– Relatório de eficiência do SAOV com aspersão de óleo vegetal.

ANÁLISE 01			
DATA:	11/07/2023		
EMPRESA:	TERMINAL DO PORTO DE SANTOS		
LOCAL:	TERMINAL DO PORTO DE SANTOS		
HORÁRIO:	14:16 ÀS 14:46		
TEMPERATURA:	25,4 °C		
UMIDADE DO AR	71,40%		
VELOCIDADE DO VENTO	0 a 0,4 m/s		
TIPO DE ASPERSÃO: Embarque direto de milho COM aspersão de óleo vegetal.			
Agente:	Químico - Poeira Total		
Identificação da amostra:	PVC25K21	Bomba:	Gilian, BDXII, 20170301063
Tipo de amostrador:	cassete c/ filtro PVC	Vazão:	2,0 L/min
Tempo de amostragem:	30 min	Volume:	60 L
RESULTADO OBTIDO			
0,6167 mg/m ³			
FOTOS DA MEDIÇÃO			
			

Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 2 – Relatório de eficiência do SAOV sem aspersão de óleo vegetal.

ANÁLISE 02			
DATA:	11/07/2023		
EMPRESA:	TERMINAL DO PORTO DE SANTOS		
LOCAL:	TERMINAL DO PORTO DE SANTOS		
HORÁRIO:	14:17 ÀS 14:47		
TEMPERATURA:	25,7 °C		
UMIDADE DO AR	71,60%		
VELOCIDADE DO VENTO	0,0 m/s		
TIPO DE ASPERSÃO: Embarque direto de milho SEM aspersão de óleo vegetal.			
Agente:	Químico - Poeira Total		
Identificação da amostra:	PVC47K22	Bomba:	Gilian, BDXII, 20170301048
Tipo de amostrador:	cassete c/ filtro PVC	Vazão:	2,0 L/min
Tempo de amostragem:	30 min	Volume:	60 L
RESULTADO OBTIDO			
27,9333 mg/m ³			
FOTOS DA MEDIÇÃO			
			

Fonte: Elaborado pelos autores.

5 CONCLUSÕES PRELIMINARES

A implementação de um sistema de malha fechada para o controle de particulado no transporte de grãos em um terminal portuário de Santos, se configura como uma estratégia promissora tanto do ponto de vista ambiental quanto operacional. Ao integrar um sensor de material particulado com o SAOV, acredita-se ser possível alcançar um ajuste mais preciso da vazão de óleo, otimizando a mitigação das emissões de material particulado e os custos operacionais.

REFERÊNCIAS

BORGES, J. L. B.; ÁVILA, M. T.; RALISCH, R.; INNOCENTINI, M. D. de M. **Emissão de material particulado por misturas ternárias compostas de biodiesel, etanol e óleo vegetal: uma comparação com o óleo diesel convencional**. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 32, supl. 1, p. 1667-1676, 2011.

BURKERT. *Tipo 3280 – Válvula proporcional de alta precisão*. Disponível em: <https://www.burkert.com.br/pt/type/3280>. Acesso em: 02 julho. 2025.

FDA HELP. **FDA registration services and regulatory assistance**. Disponível em: <https://www.fdahelp.us>. Acesso em: 5 ago. 2025.

GRUNN. Sintrol – **Medidores de poeira**. Disponível em: <https://grunn.com.br/sintrol-medidores-de-poeira/>. Acesso em: 25 jul. 2025.

MARTINS, Isabella Silva. **Utilização de supressor de poeira em pátios de estocagem de minério**. 2023. 53 p. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) — Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2023. Disponível em: <https://monografias.ufop.br/handle/35400000/5294>. Acesso em: 2 agosto. 2025.

NASCIMENTO, Isabela Santana do. **Filtro manga, análise de eficiência no processo de filtração**. 2020. [Trabalho de conclusão de curso – Curso Técnico em Mecatrônica, Centro Paula Souza]. Disponível em: https://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/10265/1/20202S_NASCIMENTOIsabelaSantanado_OD1031.pdf. Acesso em: 05 jul. 2025.

OLIVEIRA, Igo dos Santos. **Uniformidade de irrigação por aspersão em mudas de dendê: horário e posição na linha lateral**. 2021. 60 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônoma) — Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2021. Disponível em: <https://bdta.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/2878>. Acesso em: 2 junho. 2025.

SILVA, Leonardo Rodrigues da; CAMARGOS, Mateus Almeida; PEREIRA, Victor Menezes; ANDRADE, Christiano Lima Lobo de; CABRAL FILHO, Fernando Rodrigues; TEIXEIRA, Marconi Batista; MORAIS, Wilker Alves; VENTURA, Matheus

Vinicius Abadia. **Características físico-químicas da adição do óleo vegetal na calda de pulverização**. Revista Brasileira de Pulverização Agrícola, v. 1, n. 1, p. 24-36, 2024. Disponível em: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>. Acesso em: 12 junho 2025.

SINTROL. *S303 Dust Monitor*. Disponível em: <https://sintrol.com/product/s303-dust-monitor/>. Acesso em: 14 julho. 2025.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos professores do curso de Automação Industrial da Faculdade SENAI Santos, os quais deram todo o auxílio necessário para elaboração deste projeto, bem como aos demais envolvidos que participaram das pesquisas pela colaboração disposição no processo de obtenção de dados.

SOBRE O(S)AUTOR(ES)

ⁱ Jefferson Rodrigues



Cursando o último semestre do curso Superior em Automação Industrial no Senai de Santos. Atua como eletricista em uma empresa do setor portuário de Santos.

ⁱⁱ Welton Santos Costa



Cursando o último semestre do curso Superior em Automação Industrial no Senai de Santos. Atua como técnico em manutenção na Escola Senai de Santos.

ⁱⁱⁱ Régis Pimenta Alves



Cursando o último semestre do curso Superior em Automação Industrial no Senai de Santos. Atua como técnico especializado em manutenção industrial no setor portuário de Santos.

iv **Wallace da Silva Abou Hamia**



Cursando o último semestre do curso Superior em Automação Industrial no Senai de Santos. Atua como técnico em instrumentação na Usina Termelétrica de Cubatão.

v **Tiago Akira Tashiro de Araújo**



Bacharel e Licenciado em Química com atribuições tecnológicas pela Universidade Católica de Santos (UNISANTOS), Mestre e Doutorando em Ciências (PPG em Bioprodutos e Bioprocessos - UNIFESP). Atua como docente junto à Faculdade de Tecnologia SENAI-Santos e ao Centro Paula Souza - ETEC. <https://orcid.org/0000-0003-2960-8186>