



XXX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica
19 a 23 de agosto de 2024, Uberaba, Minas Gerais, Brasil

ASSOCIAÇÕES ENTRE TELEMETRIA, MACHINE LEARNING E CONSUMO DE COMBUSTÍVEL EM MÁQUINAS AGRÍCOLAS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Fernanda dos Santos Silva, fernanda_santos@discente.ufg.br¹
João Paulo da Silva Fonseca, jpsfonseca@ufg.br¹

¹Universidade Federal de Goiás (UFG), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGMEC) – Av. Ingá, Quadra B, s/n, Campus Samambaia, CEP: 74.690-900 – Goiânia – Goiás – Brasil.

Resumo. O estudo apresentado é uma revisão sistemática da literatura, com foco na otimização do consumo de combustível em máquinas agrícolas por meio da integração de telemetria e aprendizado de máquina (ML). A metodologia adotada incluiu uma busca na base de dados Scopus, seguida de análises bibliométricas e estabelecimento de critérios de inclusão e exclusão. Os resultados compilados fornecem uma visão abrangente das pesquisas recentes sobre o tema, destacando abordagens, desafios e avanços significativos. Essa revisão sistemática busca oferecer insights valiosos para futuras pesquisas e aplicações práticas na agricultura de precisão, com foco na redução dos custos operacionais e impactos ambientais.

Palavras-chave: Consumo de combustível. Máquinas Agrícolas. Telemetria. Aprendizado de máquina.

Abstract. The presented study is a systematic literature review, focusing on optimizing fuel consumption in agricultural machinery through the integration of telemetry and machine learning (ML). The methodology included a search in the Scopus database, followed by bibliometric analyses and the establishment of inclusion and exclusion criteria. The compiled results provide a comprehensive overview of recent research on the topic, highlighting approaches, challenges, and significant advances. This systematic review aims to offer valuable insights for future research and practical applications in precision agriculture, with a focus on reducing operational costs and environmental impacts.

Keywords: Fuel Consumption. Agricultural machinery. Telemetry. Machine Learning.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, há uma atenção significativa voltada para o aquecimento global, impulsionada pelo uso intenso de combustíveis fósseis, especialmente no setor agrícola. As máquinas agrícolas, vitais para a produção em larga escala, consomem grandes quantidades desses combustíveis, contribuindo assim para as emissões de gases de efeito estufa (GEEs). No entanto, há maneiras de mitigar esse impacto, como o uso de tecnologias e métodos técnicos, que podem reduzir as emissões dessas máquinas (Savickas, 2024).

A análise dos dados de telemetria pode ajudar a otimizar o uso dessas máquinas, reduzindo o tempo ocioso e de transporte, o que pode resultar em uma redução significativa nas emissões de CO₂ (Savickas, 2024). A otimização do consumo de energia de veículos agrícolas pode trazer benefícios financeiros e ambientais, compensando as emissões de poluição (Vahdanjoo, 2024).

O *Machine Learning (ML)* é uma ferramenta poderosa que pode ser utilizada para otimizar o consumo de combustível em máquinas agrícolas. Pode ser utilizada para analisar padrões complexos nos dados operacionais, prever o consumo de combustível em diferentes situações e ajustar dinamicamente o desempenho das máquinas, consequentemente reduzindo os custos e emissões.

O objetivo deste estudo é realizar uma revisão sistemática da literatura sobre a otimização do consumo de combustível em máquinas agrícolas por meio da integração de telemetria e do ML. A análise abordará pesquisas que exploram como os dados obtidos por sistemas de telemetria podem ser utilizados para informar modelos de ML, permitindo previsões precisas e aprimoramento das estratégias de operação das máquinas. Essa revisão busca identificar as principais abordagens, desafios e avanços nesta área, visando fornecer insights valiosos para futuras pesquisas e aplicações práticas na agricultura de precisão.

2. METODOLOGIA

A convergência entre telemetria e aprendizado de máquina representa uma oportunidade significativa para aprimorar a gestão do consumo de combustível em máquinas agrícolas de maneira remota e preditiva. Estas tecnologias oferecem a capacidade de monitorar e otimizar o uso de combustível de forma mais eficiente, contribuindo assim para melhorias na eficiência operacional e na sustentabilidade das práticas agrícolas. Nesse sentido, esta pesquisa se propõe a explorar o seguinte questionamento: “Qual o estado da arte sobre o consumo de combustível em máquinas agrícolas, especialmente no contexto da integração entre telemetria e aprendizado de máquina?”.

A pesquisa foi conduzida utilizando a base de dados Scopus da Elsevier (2024) como fonte primária de dados. Para o tratamento dos dados, empregou-se a ferramenta pyBibx, desenvolvida por Pereira (2024), uma ferramenta que automatiza a análise e extração de informações dos documentos selecionados.

2.1 Estratégia de busca

A estratégia adotada como direcionamento para definir as palavras-chave que nortearam o estudo, foi a divisão de quatro grupos principais:

- 1) Definição do problema principal: Consumo de combustível
- 2) Delimitação de onde está localizado o problema: Máquinas Agrícolas
- 3) Meio utilizado para a coleta de dados: Telemetria
- 4) Método de análise dos dados: Machine learning

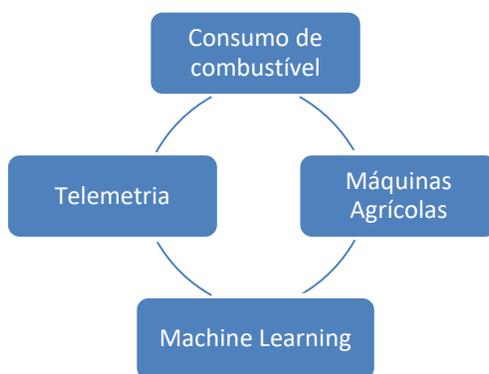


Figura 1. Grupos norteadores principais para a pesquisa (Autores)

O objetivo do estudo é encontrar documentos que tenha a intersecção dos quatro grupos.

Para cada grupo, foram definidas as seguintes palavras-chave agrupadas como mostrado na Tabela 1. Em seguida, foram realizadas pesquisas na base de dados Scopus. Os resultados mostrados foram obtidos no dia 15/04/2024. Foram encontrados um total de 332 documentos.

Tabela 1. Resultado da pesquisa Scopus das combinações de palavras-chave (Autores)

Grupos	Palavras	Scopus
#1	"Agricultural machinery" OR "Farm equipment" OR "Tractors" OR "harvesters" OR "agricultural vehicles" OR "farming machinery" OR "agricultural equipment"	237.237
#2	"Fuel consumption" OR "fuel efficiency" OR "fuel prediction" OR "Fuel forecasting" OR "diesel consumption" OR "energy efficiency" OR "fuel estimation" OR "fuel consumption prediction" OR "fuel consumption forecasting"	667.285
#3	telemetry OR "remote monitoring" OR "remote sensing" OR "remote tracking" OR "remote surveillance"	1.392.049
#4	machine learning OR regression OR "neural networks" OR "ARTIFICIAL INTELLIGENCE" OR "AI" OR "DEEP LEARNING"	3.168.460
União dos grupos	#1 AND #2 AND #3 AND #4	332

Tabela 2. Quantidade de arquivos por tipo (PyBibx, 2024)

Tipo	Quantidade de arquivos
Article	188
Book	26
Book chapter	13
Conference paper	20
Conference review	2
Editorial	1
Proceedings Paper	0
Review	75
Short survey	2

2.3 Critérios de inclusão e exclusão

Considerando o grande volume de dados encontrados, e tendo em vista que o volume de estudos relacionados ao tema começou a subir de maneira significativa após o ano de 2019, foram excluídos todos os documentos publicados anteriormente ao ano de 2019.

Também foi realizada a exclusão de books, proceedings paper e short survey, devido a necessidade de obter resultados mais específicos em uma revisão sistemática, atualizados e revisados por pares que sejam diretamente relevantes para a questão de pesquisa em análise. Essas fontes frequentemente fornecem uma visão mais ampla e geral de um tópico, em vez de uma análise detalhada e atualizada sobre uma questão específica, o que pode comprometer a qualidade e a confiabilidade dos resultados apresentados. Além disso, revisar todos esses tipos de fontes pode ser impraticável em termos de tempo e recursos disponíveis. Portanto, ao excluir estes itens, a revisão sistemática prioriza estudos mais específicos, revisados por pares e atualizados, contribuindo para a qualidade e a credibilidade das conclusões do estudo.

2.4 Classificação de relevância do Scopus

A relevância no Scopus é como uma espécie de "pontuação de importância" que um documento recebe com base nos termos que são utilizados na busca. É como se fosse um sistema que avalia o quão bem um documento atende às suas necessidades de pesquisa. Ele leva em consideração a frequência com que os termos aparecem no documento, onde eles estão localizados (no título, resumo etc.), e até mesmo a ordem em que aparecem. Tudo isso é associado para criar uma classificação de relevância para cada documento, o que ajuda a organizar os resultados da busca. Porém, algumas buscas não podem ser classificadas assim, sendo elas quando são utilizados termos genéricos ou quando são procurados artigos que citam outros artigos. E, embora outros aspectos, como a popularidade de um artigo ou quando ele foi publicado possam ser importantes, elas não são usadas para calcular a relevância no Scopus neste momento (Elsevier, 2024).

2.5 Desenvolvimento da Fórmula de Priorização

A formulação de uma metodologia de priorização dos artigos em uma revisão sistemática é essencial para avaliar a importância e a pertinência de cada documento em relação à questão de pesquisa. Essa abordagem é fundamental para garantir uma seleção objetiva e consistente dos estudos, considerando diversos critérios que influenciam sua qualidade e contribuição para a área de estudo em questão.

A necessidade de criar pesos na fórmula decorre da importância de ponderar adequadamente cada critério considerado. Por exemplo, o número de citações recebidas por um artigo pode indicar sua influência e reconhecimento na comunidade acadêmica, sendo um indicador relevante de sua relevância. Da mesma forma, o ano de publicação pode refletir a atualidade dos resultados, sendo mais relevante em certos contextos de pesquisa.

A atribuição de pesos na fórmula permite levar em conta as nuances da área de estudo, os objetivos da revisão sistemática e as preferências dos pesquisadores. Assim, os pesos podem ser ajustados conforme a importância relativa de cada critério para a questão de pesquisa em análise, assegurando uma avaliação precisa e equilibrada dos documentos.

Portanto, a criação de uma metodologia de priorização dos artigos é essencial para estabelecer uma estrutura metodológica sólida e transparente para a seleção e classificação dos estudos, contribuindo para identificar os documentos mais relevantes e significativos para a análise.

Fórmulas para priorização dos artigos foi calculada de acordo com a Equação (1), o maior peso foi dado para a quantidade de citações que o documento recebeu (30%), a relevância e o ano da publicação receberam pesos iguais (20%), seguidos do CiteScore e o Percentil do periódico (15%). Todas as variáveis foram normalizadas antes de serem calculadas.

$$\text{Fator de priorização} = (Re \times 0,2) + (Ci \times 0,3) + (An \times 0,2) + (Cs \times 0,15) + (Pe \times 0,15) \quad (1)$$

Re: Relevância

Ci: Citações

An: Ano

Cs: CiteScore

Pe: Percentil

Após a classificação dos documentos, foram analisados os 30 artigos com maior fator de priorização.

Tabela 3. 30 principais artigos de acordo com fator de priorização calculado (Autores)

Autor	TÍTULO	Fator 1
(Rolnick, 2023)	Tackling Climate Change with Machine Learning	0,571
(Hassani, 2024)	A systematic review of data fusion techniques for optimized structural health monitoring	0,565
(Zhai, 2024)	GAN-BiLSTM network for field-road classification on imbalanced GNSS recordings	0,563
(Ribeiro, 2021)	Machine learning technology in biodiesel research: A review	0,562
(Ribeiro, 2024)	Machine learning-enabled analysis of product distribution and composition in biomass-coal co-pyrolysis	0,543
(Savickas, 2024)	A novel approach for analysing environmental sustainability aspects of combine harvester through telematics data. Part I: evaluation and analysis of field tests	0,533
(Bian, 2024)	ConvTEBiLSTM: A Neural Network Fusing Local and Global Trajectory Features for Field-Road Mode Classification	0,532
(Savickas, 2024)	A novel approach for analysing environmental sustainability aspects of combine harvesters through telematics data. Part II: an IT tool for comparative analysis	0,532
(Vahdanjoo, 2024)	Three-dimensional area coverage planning model for robotic application	0,531
(Gautam, 2024)	Predictive modelling of sweep's specific draft using machine learning regression approaches	0,525
(Badgujar, 2023)	Deep neural networks to predict autonomous ground vehicle behavior on sloping terrain field	0,518
(Sharafi, 2023)	Estimating energy consumption and GHG emissions in crop production: A machine learning approach	0,514
(Jalilnezhad, 2023)	Use of a Convolutional Neural Network for Predicting Fuel Consumption of an Agricultural Tractor	0,505
(Al-Dosary, 2023)	Estimation of wheel slip in 2WD mode for an agricultural tractor during plowing operation using an artificial neural network	0,504

(Zeng, 2019)	Accessing from the Sky: A Tutorial on UAV Communications for 5G and beyond	0,497
(Gao, 2024)	Assessing carbon emission reduction benefits of the electrification transition of agricultural machinery for sustainable development: A case study in China	0,493
(Kaur, 2024)	Integrating Data Envelopment Analysis and Machine Learning Approaches for Energy Optimization, Decreased Carbon Footprints, and Wheat Yield Prediction Across North-Western India	0,487
(Molinaro, 2022)	From forest to finished products: The contribution of Industry 4.0 technologies to the wood sector	0,483
(Şahin, 2024)	Comparison of Engine Performance and Emission Values of Biodiesel Obtained from Waste Pumpkin Seeds with Machine Learning	0,483
(Abbas, 2023)	Revolutionizing Low-Carbon Marine Transportation: Prediction of Wave Energy via Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Framework in East China Sea	0,478
(Azzam, 2023)	Automated method for selecting optimal digital pump operating strategy	0,478
(Zhang, 2023)	CURI-YOLOv7: A Lightweight YOLOv7tiny Target Detector for Citrus Trees from UAV Remote Sensing Imagery Based on Embedded Device	0,478
(Ebrahimzadeh, 2023)	Estimating pre-compression stress in agricultural Soils: Integrating spectral indices and soil properties through machine learning	0,477
(Teng, 2024)	A Three-Transistor Energy Management Circuit for Energy-Harvesting-Powered IoT Devices	0,473
(Raza, 2024)	Smart home energy management systems: Research challenges and survey	0,471
(Xiao, 2023)	DR-XGBoost: An XGBoost model for field-road segmentation based on dual feature extraction and recursive feature elimination	0,471
(Cao, 2023)	Shovel-loading cooperative control of loader under typical working conditions	0,469
(Maraveas, 2023)	Application of Bio and Nature-Inspired Algorithms in Agricultural Engineering	0,467
(Kucova, 2023)	Thermoelectric energy harvesting for internet of things devices using machine learning: A review	0,467
(Zhang, 2023)	Novel Neural-Network-Based Fuel Consumption Prediction Models Considering Vehicular Jerk	0,466

3. RESULTADOS

Os estudos mencionados abordam uma ampla gama de questões relevantes em diversas áreas, incluindo agricultura, energia renovável e tecnologia de comunicação. Rolnick (2023) investigou as condições climáticas, enquanto Hassani (2024) focou na integridade estrutural, ambos empregando métodos de análise baseados em machine learning. Por outro lado, Zhai (2024) e Bian (2024) abordam a classificação da trajetória de operação de campo, uma área intimamente relacionada à eficiência operacional e, por conseguinte, ao consumo de combustível. Ao aplicar técnicas de ML e redes neurais, esses estudos demonstram como a análise da trajetória pode fornecer insights valiosos para otimizar o uso de combustível durante as operações agrícolas.

No contexto da agricultura, diversos estudos se destacam. Aghbashlo (2021), Shafizadeh (2024), Jalilnezhad (2023) e Savickas (2024) examinaram o consumo de combustível em máquinas agrícolas, aplicando técnicas de machine learning em análises de dados de telemetria, fornecendo insights valiosos sobre os fatores que influenciam esse consumo e as estratégias



XXX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica
19 a 23 de agosto de 2024, Uberaba, Minas Gerais, Brasil

para melhorá-lo. Utilizando experimentos de campo e telemetria, esses estudos oferecem dados cruciais sobre o desempenho real das máquinas em diferentes condições operacionais e ambientais.

Al-Dosary (2023) utilizou redes neurais artificiais (ANN) e regressão linear múltipla (MLR) para investigar o escorregamento das rodas traseiras de tratores agrícolas em diferentes condições operacionais. Bian (2024) propôs um método baseado em rede ConvTEBiLSTM para classificação de trajetória em modo campo-estrada em máquinas agrícolas, enquanto Gao (2024) analisou emissões de poluentes em máquinas agrícolas empregando análise de cluster e modelos de difusão de Bass.

Outros estudos exploram problemas como a predição da produção de trigo em larga escala (Kaur, 2024), o uso de óleo de semente de abóbora na produção de biodiesel (Şahin, 2024), e a eficiência energética em dispositivos IoT alimentados por energia colhida (Teng, 2024). Métodos de análise, como machine learning, regressão e modelos neuro-fuzzy adaptativos, são empregados em diferentes contextos, evidenciando a diversidade de abordagens para resolver problemas complexos em diferentes áreas de pesquisa, incluindo na otimização do consumo de combustível em máquinas agrícolas.

No campo da energia, trabalhos como os de Şahin (2024) e Abbas (2023) oferecem perspectivas sobre fontes alternativas de energia, como biodiesel e energia renovável, que podem ser integradas às máquinas agrícolas para reduzir ainda mais o consumo de combustível e melhorar a sustentabilidade das operações.

Essa análise coletiva dos documentos fornece uma base sólida de conhecimento e insights que podem ser aplicados no estudo sobre o uso de telemetria e ML para otimização do consumo de combustível em máquinas agrícolas. A partir desse estudo, é possível desenvolver modelos preditivos mais precisos e estratégias de otimização mais eficazes, contribuindo para a redução dos custos operacionais e o impacto ambiental das atividades agrícolas.

4. CONCLUSÃO

A análise sistemática da literatura sobre a otimização do consumo de combustível em máquinas agrícolas, através da integração de telemetria e aprendizado de máquina, revelou uma vasta gama de pesquisas e avanços significativos nessa área. A convergência dessas tecnologias oferece oportunidades promissoras para melhorar a eficiência operacional e a sustentabilidade das práticas agrícolas.

Os estudos examinados demonstraram que o uso de técnicas de machine learning, aliado à coleta e análise de dados de telemetria, pode fornecer insights valiosos sobre o consumo de combustível em diferentes contextos operacionais. Desde a análise da trajetória de operação até a previsão do consumo em diversas condições ambientais, as abordagens baseadas em ML estão se mostrando essenciais para entender e otimizar o desempenho das máquinas agrícolas.

Além disso, a diversidade de temas abordados nos estudos, que vão desde a classificação da trajetória até o uso de fontes alternativas de energia, destaca a amplitude de aplicações e a interdisciplinaridade dessa área de pesquisa. A incorporação de fontes de energia renovável, como o biodiesel, e o desenvolvimento de dispositivos IoT alimentados por energia colhida, mostram um compromisso crescente com a sustentabilidade e a redução do impacto ambiental da agricultura.

Em suma, os resultados desta revisão sistemática oferecem uma base sólida para futuras pesquisas e aplicações práticas na agricultura de precisão. Ao integrar telemetria e aprendizado de máquina, é possível desenvolver estratégias mais eficazes para otimizar o consumo de combustível em máquinas agrícolas, contribuindo para uma agricultura mais sustentável e eficiente.

5. REFERÊNCIAS

- Abbas, M., & Zhang, D. (2023). Revolutionizing low-carbon marine transportation: Prediction of wave energy via adaptive neuro-fuzzy inference framework in East China Sea. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 48(11), 15353-15375.
- Aghbashlo, M., Peng, W., Tabatabaei, M., Kalogirou, S. A., Soltanian, S., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., ... & Lam, S. S. (2021). Machine learning technology in biodiesel research: A review. *Progress in Energy and Combustion Science*, 85, 100904.
- Al-Dosary, N. M. N., Alnajjar, F. Z. M., & Aboukarima, A. E. W. M. (2023). Estimation of wheel slip in 2WD mode for an agricultural tractor during plowing operation using an artificial neural network. *Scientific Reports*, 13(1), 5975.
- Bian, C., Bai, J., Cheng, G., Hao, F., & Zhao, X. (2024). ConvTEBiLSTM: A Neural Network Fusing Local and Global Trajectory Features for Field-Road Mode Classification. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 13(3), 90.
- Elsevier, B., 2024. "Scopus". www.scopus.com.

- Gao, D., Zhi, Y., & Yang, X. (2024). Assessing carbon emission reduction benefits of the electrification transition of agricultural machinery for sustainable development: A case study in China. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 63, 103634.
- Hassani, S., Dackermann, U., Mousavi, M., & Li, J. (2023). A systematic review of data fusion techniques for optimized structural health monitoring. *Information Fusion*, 102136.
- Jalilnezhad, H., Abbaspour-Gilandeh, Y., Rasooli-Sharabiani, V., Mardani, A., Hernández-Hernández, J. L., Montero-Valverde, J. A., & Hernández-Hernández, M. (2023). Use of a convolutional neural network for predicting fuel consumption of an agricultural tractor. *Resources*, 12(4), 46.
- Kaur, G., & Sivia, J. S. (2024). Integrating Data Envelopment Analysis and Machine Learning Approaches for Energy Optimization, Decreased Carbon Footprints, and Wheat Yield Prediction Across North-Western India. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 1-24.
- Pereira, V., 2022. "Project pybibx". <https://github.com/Valdecy/pyBibX>
- Rolnick, D., Donti, P. L., Kaack, L. H., Kochanski, K., Lacoste, A., Sankaran, K., ... & Bengio, Y. (2022). Tackling climate change with machine learning. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 55(2), 1-96.
- Şahin, S., & Torun, A. (2024). Comparison of Engine Performance and Emission Values of Biodiesel Obtained from Waste Pumpkin Seeds with Machine Learning. *Agriculture*, 14(2), 227.
- Savickas, D., Steponavičius, D., & Kemzūraitė, A. (2024). A novel approach for analysing environmental sustainability aspects of combine harvester through telematics data. Part I: evaluation and analysis of field tests. *Precision Agriculture*, 25(1), 100-118.
- Shafizadeh, A., Shahbeik, H., Rafiee, S., Fardi, Z., Karimi, K., Peng, W., ... & Aghbashlo, M. (2024). Machine learning-enabled analysis of product distribution and composition in biomass-coal co-pyrolysis. *Fuel*, 355, 129464.
- TENG, Li et al. A Three-Transistor Energy Management Circuit for Energy-Harvesting-Powered IoT Devices. *IEEE Internet of Things Journal*, 2023.
- Vahdanjoo, M., Gislum, R., & Sørensen, C. A. G. (2024). Three-dimensional area coverage planning model for robotic application. *Computers and Electronics in Agriculture*, 219, 108789.
- Zhai, W., Mo, G., Xiao, Y., Xiong, X., Wu, C., Zhang, X., ... & Pan, J. (2024). GAN-BiLSTM network for field-road classification on imbalanced GNSS recordings. *Computers and Electronics in Agriculture*, 216, 108457.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGMEC) pelo apoio e pela oportunidade de crescimento que tem me proporcionado.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.