

Monitoramento da Silagem no Cocho por Meio de Nariz Eletrônico (e-Nose) e Técnicas de Inteligência Artificial

Éder de Oliveira¹, Mara Andrea Dota², Roger Resmini², Maria Fernanda Alves Lopes³, Eloá Lima de Oliveira Portela³

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso (IFMT)
Rua Ananias Martins de Souza, 861, Res. Vila Mineira, Rondonópolis - MT, CEP:
78721-520 – Brazil

²Instituto de Ciências Exatas e Naturais – Universidade Federal de Rondonópolis (UFR)
Av. dos Estudantes, 5055 - Cidade Universitária, Rondonópolis - MT, 78736-900 –
Brazil

³Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas – Universidade Federal de Rondonópolis
(UFR)

ederoli@gmail.com, {mara, roger}@ufr.edu.br,
(alves.fernanda, eloa.lima)@aluno.ufr.edu.br

Abstract. *Aerobic deterioration of silage at the feed bunk negatively affects feed quality and efficiency in cattle feedlot systems. This work proposes an Artificial Intelligence-based monitoring architecture using an electronic nose (e-Nose) composed of low-cost gas sensors. The system is designed to capture multivariate signals related to volatile organic compounds emitted during silage deterioration and to support future machine learning models capable of classifying different conservation stages. The current stage of the research focuses on the development of the sensing architecture, sensor characterization, and the definition of a data acquisition framework for future model training. The proposed approach contributes to the development of intelligent sensing systems for precision livestock farming.*

Resumo. *A deterioração aeróbica da silagem no cocho afeta negativamente a qualidade do alimento e a eficiência alimentar em sistemas de confinamento bovino. Este trabalho propõe uma arquitetura de monitoramento baseada em Inteligência Artificial utilizando um nariz eletrônico (e-Nose) composto por sensores de gases de baixo custo. O sistema é projetado para capturar sinais multivariados relacionados aos compostos orgânicos voláteis emitidos durante a deterioração da silagem e apoiar o desenvolvimento futuro de modelos de aprendizado de máquina capazes de classificar diferentes estágios de conservação. A fase atual da pesquisa concentra-se no desenvolvimento da arquitetura do sistema, na caracterização dos sensores e na definição de um framework de aquisição de dados para treinamento futuro dos modelos. A abordagem proposta contribui para o desenvolvimento de sistemas inteligentes de sensoriamento aplicados à pecuária de precisão.*

1. Introdução

A aplicação de técnicas de Inteligência Artificial (IA) em sistemas de sensoriamento tem possibilitado a análise automática de processos biológicos a partir de dados multivariados coletados por sensores químicos. Nesse contexto, sistemas de olfação eletrônica (electronic nose – e-Nose) têm sido utilizados para detectar compostos orgânicos voláteis (VOCs) e identificar padrões associados a processos de fermentação e deterioração de materiais orgânicos.

Na produção pecuária, a deterioração aeróbica da silagem ocorre principalmente durante o fornecimento do alimento no cocho, quando a exposição ao oxigênio favorece a atividade microbiana e a liberação de compostos voláteis, comprometendo a qualidade nutricional e a eficiência alimentar em sistemas de confinamento (SILVA, 2023; COSTA, 2025). A avaliação dessa deterioração ainda é, em grande parte, realizada de forma subjetiva, baseada em observações visuais e sensoriais.

Diante desse cenário, este trabalho propõe o uso de um sistema de nariz eletrônico (e-Nose) integrado a técnicas de Inteligência Artificial para identificar padrões de compostos voláteis associados à deterioração da silagem no cocho. A abordagem utiliza uma matriz de sensores de gases de baixo custo e dados experimentais coletados em ambiente controlado, com o objetivo de apoiar o desenvolvimento de modelos de classificação automática aplicáveis ao monitoramento da qualidade da silagem.

2. Trabalhos Relacionados

O uso de sensores de gases e sistemas de olfação eletrônica tem sido investigado como ferramenta para a avaliação de processos biológicos e de deterioração na agricultura e na nutrição animal, fornecendo base tecnológica para o monitoramento da qualidade da silagem. Sun et al. (2025) demonstram a eficácia de uma abordagem multissensorial para o monitoramento da deterioração aeróbica da silagem, associando-a à dinâmica conjunta de parâmetros gasosos e físico-químicos.

Em outro contexto, Herrmann Junior et al. (2024) evidenciam a capacidade do nariz eletrônico em distinguir estados biológicos distintos a partir de perfis de compostos voláteis, enquanto Campagnoli e Dell’Orto (2013) destacam, em revisão da literatura, o potencial do e-Nose como alternativa aos métodos tradicionais na avaliação da qualidade de forragens. Em conjunto, esses trabalhos confirmam a viabilidade do uso de narizes eletrônicos, ao mesmo tempo em que apontam a necessidade de arquiteturas mais simples e de baixo custo, com potencial de aplicação em tempo real na pecuária de precisão.

3. Metodologia

A metodologia adotada neste trabalho segue uma abordagem experimental voltada ao desenvolvimento de um sistema de detecção baseado em sensores químicos e técnicas de Inteligência Artificial, com o objetivo de identificar padrões de compostos orgânicos voláteis (VOCs) associados à deterioração aeróbica da silagem.

O sistema proposto consiste em um nariz eletrônico (e-Nose) formado por uma matriz de sensores de gases de baixo custo, um módulo de aquisição baseado em microcontrolador e um módulo de processamento responsável pela análise dos sinais coletados. A arquitetura permite a captura contínua das respostas sensoriais e seu posterior processamento por técnicas de aprendizado de máquina.



Figura 1 - Representação conceitual do sistema de nariz eletrônico (e-Nose) instalado próximo ao cocho de alimentação em ambiente de confinamento bovino, realizando a detecção de compostos orgânicos voláteis (VOCs) emitidos pela silagem e o envio dos dados para processamento por técnicas de Inteligência Artificial, com o objetivo de monitorar a deterioração aeróbica do alimento.

A matriz sensorial inclui sensores sensíveis a diferentes classes de gases relacionados a processos fermentativos, como álcoois, amônia e outros VOCs. Sensores ambientais de temperatura e umidade também são utilizados para contextualizar as medições e reduzir interferências ambientais.

Os experimentos serão conduzidos em ambiente controlado, utilizando amostras de silagem submetidas a diferentes condições de exposição ao oxigênio, representando distintos estágios de conservação. Durante os futuros ensaios, os sinais dos sensores são registrados continuamente, formando um conjunto de dados multivariado rotulado conforme o estado da silagem.

Os dados coletados passaram por etapas de pré-processamento, incluindo filtragem de ruído, normalização e extração de características estatísticas básicas. Para a etapa de classificação, serão investigados algoritmos de aprendizado de máquina supervisionado, como **Decision Trees e Random Forest**, que serão escolhidos pela interpretabilidade e adequação a dados multivariados provenientes de sensores químicos. A avaliação dos modelos será realizada por meio de validação cruzada e métricas como acurácia e F1-score.

Nesta fase do trabalho, os experimentos concentram-se na caracterização do comportamento dos sensores e na construção do conjunto de dados inicial. Em etapas futuras, pretende-se ampliar o banco de dados experimental e integrar os modelos de Inteligência Artificial ao sistema embarcado, possibilitando o monitoramento automático

da qualidade da silagem em tempo real.

4. Resultados Esperados

Espera-se validar, em etapas futuras, o funcionamento da matriz de sensores de gases do nariz eletrônico (e-Nose) e caracterizar sua resposta à emissão de compostos orgânicos voláteis associados à silagem. Nesta fase da pesquisa, o trabalho concentra-se no estudo e na seleção dos sensores, bem como na análise de suas características e formas de integração ao sistema proposto, uma vez que o protótipo ainda está em desenvolvimento. Os experimentos de bancada serão realizados em etapas posteriores, com o objetivo de construir um conjunto de dados representativo que permita avaliar o potencial de classificação da qualidade da silagem por meio de técnicas de Inteligência Artificial

5. Considerações Parciais e Trabalhos Futuros

O presente trabalho apresenta a proposta de um sistema baseado em nariz eletrônico (e-Nose) para o monitoramento da deterioração aeróbica da silagem, integrando sensores de gases de baixo custo e técnicas de Inteligência Artificial. A arquitetura conceitual desenvolvida indica potencial para a detecção de padrões de compostos orgânicos voláteis associados a diferentes estágios de conservação da silagem. Como trabalhos futuros, prevê-se a implementação do protótipo, a realização de experimentos em bancada para coleta de dados e a aplicação de técnicas de aprendizado de máquina para classificação automática. **Dessa forma, a proposta contribui para o desenvolvimento de sistemas inteligentes de sensoriamento aplicados à pecuária de precisão.**

Referências

- CAMPAGNOLI, Anna; DELL'ORTO, Vittorio. Potential application of electronic olfaction systems in feedstuffs analysis and animal nutrition. *Sensors*, v. 13, n. 11, p. 14611–14632, 2013.
- COSTA, Angelina Milka Veras da. Fatores Que Interferem No Consumo Da Silagem. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Piauí. 2025.
- HERRMANN JUNIOR, Paulo Sergio de Paula; LUCCAS, Matheus Santos; FERREIRA, Ednaldo José; TORRE-NETO, André. Utilização do nariz eletrônico para o monitoramento de gases emitidos por plantas de soja sob estresse hídrico. In: *AGRICULTURA DE PRECISÃO: um novo olhar na era digital*. São Carlos: Editora Cubo, 2024. p. 286–293.
- SILVA, Matheus Mello. Impacto da inoculação bacteriana na qualidade da silagem de milho e na terminação de bovinos em confinamento. 2023.
- SUN, Y.; et al. Automated multisensor robotic system for monitoring aerobic deterioration of silage. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 221, p. 108709, 2025.