

Nariz Artificial Para Detecção De Gases Oriundos Da Compostagem De Resíduos Sólidos

Carla Maria da Silva

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - Campus Recife
Av. Prof Luiz Freire, 500, Cidade Universitária - Recife-PE
cms28@discente.ifpe.edu.br

Rebeca Beatriz de Luna Oliveira Silva

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - Campus Recife
Av. Prof Luiz Freire, 500, Cidade Universitária - Recife-PE
rblos@discente.ifpe.edu.br

Romero Barbosa de Assis

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - Campus Recife
Av. Prof Luiz Freire, 500, Cidade Universitária - Recife-PE
romeroassis@recife.ifpe.edu.br

Gilmar Gonçalves de Brito

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - Campus Recife
Av. Prof Luiz Freire, 500, Cidade Universitária - Recife-PE
gilmarbrito@recife.ifpe.edu.br

Aida Araújo Ferreira

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - Campus Recife
Av. Prof Luiz Freire, 500, Cidade Universitária - Recife-PE
aidaferreira@recife.ifpe.edu.br

RESUMO

Este trabalho descreve o desenvolvimento de um Sistema Inteligente de Monitoramento de Odores para acompanhar os gases gerados durante a compostagem de resíduos orgânicos em uma empresa de Pernambuco. O sistema utiliza sensores eletroquímicos para detectar gases tóxicos e odoríferos, permitindo análises por meio de uma plataforma online conectada a componentes de *IoT*. Isso possibilita acesso remoto ao sistema via computadores ou dispositivos móveis. O protótipo em questão, foi desenvolvido com equipamentos de baixo custo e de fácil manuseio e manutenção e é capaz de detectar CO₂, umidade e temperatura. Além disso, os dados coletados pelos sensores são mantidos na Plataforma de armazenamento em nuvem, Blynk. Com isso, o trabalho destaca a importância de soluções sustentáveis e tecnológicas para promover eficiência na compostagem e reduzir impactos sociais e ambientais.

PALAVRAS CHAVE: Compostagem. Monitoramento de odores. Sustentabilidade.

Tópicos: Introdução, Metodologia, Resultados e Discussões e Conclusões.

ABSTRACT

This paper describes the development of an Intelligent Odor Monitoring System to track the gases generated during the composting of organic waste at a company in Pernambuco. The system uses electrochemical sensors to detect toxic and odorous gases, allowing for analysis through an online platform connected to IoT components. This enables remote access to the system via computers or mobile devices. The prototype in question was developed with low-cost and easy-to-handle and maintain equipment and is capable of detecting CO₂, humidity, and temperature. Additionally, the data collected by the sensors is stored on the cloud storage

platform, Blynk. Thus, the work highlights the importance of sustainable and technological solutions to promote efficiency in composting and reduce social and environmental impacts.

KEYWORDS: Composting. Odor monitoring. Sustainability.

Paper topics: Introduction, Methodology, Results and Discussions and Conclusions

1. Introdução

O crescimento populacional tem sido responsável pelo desencadeamento de uma série de problemas, como a escassez de recursos, mudanças climáticas e degradação ambiental. No que diz respeito a esse último, pode-se citar como um dos agravantes a geração excessiva de resíduos sólidos urbanos, o que, nas últimas décadas, tem sido o foco de preocupação da comunidade pesquisadora [Martha *et al.* 2023]. A partir disso, a compostagem surge como uma abordagem sustentável para gestão de resíduos sólidos urbanos.

A Resolução nº 481 de 03 de outubro de 2017, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, define a compostagem como: “processo de decomposição biológica controlada dos resíduos orgânicos, efetuado por uma população diversificada de organismos, em condições aeróbias e termofílicas, resultando em material estabilizado, com propriedades e características completamente diferentes daqueles que lhe deram origem; sendo denominado composto o produto estabilizado, oriundo do processo de compostagem, podendo ser caracterizado como fertilizante orgânico, condicionador de solo e outros produtos de uso agrícola” [CONAMA, 2017, art. 2º].

Nesse sentido, diferentes métodos de compostagem, como compostagem aeróbica coberta por membrana e vermicompostagem, foram considerados mais eficazes na melhoria da biodiversidade do solo e da qualidade geral do composto em comparação com os métodos tradicionais. Além disso, o uso de aditivos, como agentes microbianos e biocarvão, desempenha um papel significativo no controle de substâncias nocivas durante a compostagem, garantindo a produção de composto de alta qualidade adequado para uso agrícola [Mingyue *et al.* 2023].

No entanto, apesar da compostagem se apresentar como uma medida viável para gestão de resíduos sólidos urbanos, o processo gera impactos ambientais adversos que precisam ser avaliados [Reyes *et al.*, 2020]. Agravantes como gases e odores expelidos durante o processo, se destacam como impactos negativos da implementação de estações de compostagem. Dependendo dos valores de concentração, os compostos odorantes não são necessariamente tóxicos ou perigosos para a saúde humana, entretanto, seus efeitos adversos nos cidadãos podem influenciar negativamente seu bem-estar psicofísico e comportamental. Mal estar, desconforto, irritação, raiva, depressão, náusea, dores de cabeça podem ser gerados pela exposição prolongada ao odor [Capelli *et al.* 2019]. Além disso, segundo [Capelli *et al.* 2019], os odores são hoje, entre os poluentes atmosféricos, a maior causa das reclamações às autoridades locais.

Durante o processo de compostagem, ocorre uma série de emissões de gases para a atmosfera, sendo os principais o gás amônia (NH₃), Compostos Orgânicos Voláteis (COVs), sulfeto de hidrogênio (H₂S) e gases de efeito estufa, como dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O) e metano (CH₄). Os odores desagradáveis são originários do NH₃, H₂S e COVs, enquanto o N₂O e CH₄ desempenham um papel significativo nas mudanças climáticas e aquecimento global. O potencial de aquecimento global do metano e do óxido nitroso é 20 e 310 vezes maior do que CO₂, respectivamente [Andraskar *et al.*, 2021].

Tendo em vista as problemáticas envolvendo a implementação de estações de compostagem, ainda de acordo com a Resolução nº 481 do CONAMA, as unidades de compostagem devem adotar medidas de controle ambiental necessárias para minimizar a emissão de odores. No entanto, a gestão do odor é complexa e envolve, entre outros, desenvolvimento científico e tecnológico, qualificação de recursos humanos e custos, muitas vezes elevados [Cantarelli 2020].

Nesse contexto, a empresa Lógica Ambiental¹, responsável pelo tratamento de efluentes e resíduos orgânicos da Região Metropolitana do Recife, encontrou-se sob alvo de reclamações da população circundante por conta do forte odor exalado da estação. Em contrapartida, como alternativa para solucionar o problema, a empresa instalou um biofiltro feito de palha, responsável por purificar o ar expelido pelas leiras de compostagem. No entanto, a instalação do biofiltro não se apresentou como medida suficiente, tornou-se necessário computar e comparar a quantidade de odores antes e após o filtro biológico.

Com isso, deu-se início a este projeto, tendo como objetivo o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de odores, denominado Nariz Artificial, capaz de detectar gases oriundo do processo de compostagem e por meio da implementação de tecnologias de apoio, armazenar e analisar os dados coletados a partir dessa detecção. Além disso, a utilização de tecnologias e equipamentos de menor custo, também foi estabelecida como prioridade, tendo em vista que os equipamentos medidores de gases presentes no mercado possuem um alto valor agregado. Essa medida, além de eficaz, também conferiu ao projeto a democratização do desenvolvimento tecnocientífico.

2. Metodologia

Para o desenvolvimento do projeto, trabalhou-se com a hipótese de que o nariz artificial será capaz de detectar gases oriundo da compostagem, responsáveis pela emissão de odores fortes e característicos, e analisar os dados obtidos para comprovação de eficiência da aplicação do biofiltro na diminuição da emissão de gases odoríferos.

2.1 Revisão bibliográfica

Inicialmente realizou-se pesquisas aprofundadas sobre os equipamentos e tecnologias a serem utilizadas na prototipação do modelo pensado pela equipe. Quesitos como, preço, manutenção, manuseio e qualidade foram avaliados. Além disso, também foram feitas pesquisas sobre os gases expelidos durante o processo de compostagem, análise que também interferiu na escolha dos sensores e demais equipamentos.

2.2 Levantamento de Requisitos do Sistema

Em seguida, levantaram-se os requisitos necessários para a elaboração do protótipo proposto, tópicos que definem o que o sistema deve fazer e quais restrições o sistema deve adotar.

2.3 Criação do Circuito do Sistema

Nesta etapa, escolheram-se, de acordo com as pesquisas realizadas na revisão bibliográfica, os materiais necessários para a elaboração do protótipo e a estratégia de criação do circuito. Para isso, foram escolhidos os seguintes materiais: Placa de Prototipação ESP32 [HANWEI ELECTRONICS CO. ,LTD. [s.d.]], por possuir um módulo de conexão Wifi; os sensores MQ-4 e MQ-135 [HANWEI ELECTRONICS CO. ,LTD. 2008], para detecção dos gases, e o sensor DHT22 [AOSONG ELECTRONICS CO. ,LTD. [s.n.]], para o monitoramento da umidade e temperatura.

2.4 Desenvolvimento do Software do Sistema

Nesta etapa realizou-se o desenvolvimento do software para o protótipo proposto por meio da Plataforma de Desenvolvimento Arduino IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado) [Arduino 2024]. A plataforma foi escolhida por ser intuitiva e de fácil manuseio.

2.5 Testes do Sistema de Monitoramento

¹ <https://logicaambiental.negocio.site>

Durante o desenvolvimento do software do sistema realizaram-se testes de forma integrada (*hardware* e *software*), por meio de experimentos nos laboratórios de Tecnologia Ambiental e Bioprocessos e Engenharia e Desenvolvimento de *Software*.

2.6 Conexão em Nuvem

Por fim, de acordo com pesquisas realizadas, escolheu-se a Plataforma *Blynk*², por apresentar um conjunto integrado de *Software IoT*. Este fator, possibilita o gerenciamento de *hardware* conectado, visualização e análise de dados dos sensores.

3. Resultados e Discussões

Como resultado de aplicação da metodologia adotada para o desenvolvimento do sistema, obteve-se a montagem do protótipo proposto, testes em ambientes confinados, conexão em nuvem com a plataforma *Blynk* e mapeamento e disposição dos sensores nas leiras de compostagem.

3.1 Montagem do protótipo proposto

A tecnologia em questão, diz respeito a um sistema de monitoramento de odores, chamado Nariz Artificial. Apesar do nome, o equipamento não possui similaridade com a aparência física do órgão humano. No entanto, narizes artificiais possuem uma maior sensibilidade para determinadas substâncias em detrimento de outras, podendo ser usado como ferramenta analítica para qualquer sistema respiratório.

Com isso, para o desenvolvimento desse sistema inteligente, foram escolhidos materiais de prototipação como: Protoboard, Módulo ESP32, Sensores MQ-4 e MQ-135, Sensor DHT22 e *Jumpers*, como mostrado na **Figura 1**. A escolha dos equipamentos citados, também conferiu ao projeto uma democratização do acesso e desenvolvimento de novas tecnologias, uma vez que apresentaram baixo custo e facilidade de manuseio e manutenção.

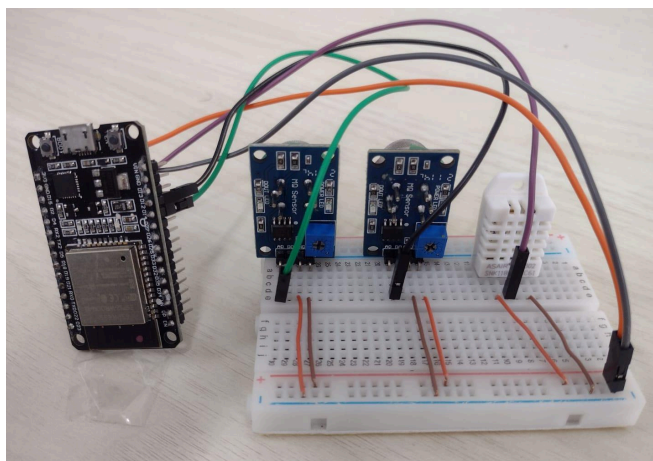


Figura 1: Protótipo montado com sensores de gases para detecção de CO₂ e amônia.

Fonte: Próprios autores.

3.2 Teste em ambiente confinado

O teste em questão, evidenciado na **Figura 2**, foi realizado a partir da concentração de altas quantidades de Dióxido de Carbono (CO₂) em um Kitassato, vidraria utilizada em laboratórios. Para isso, um extintor de CO₂ foi conectado ao Kitassato por meio de uma mangueira de silicone, vedada por uma pinça de Mohr para que não houvesse extravasamento do conteúdo dentro do recipiente de estudo.

² <https://blynk.io/>

Com isso, adicionaram-se sensores de umidade, temperatura e o sensor MQ-135 dentro do recipiente e jatos constantes de CO₂ foram introduzidos para que todo o ar contido na vidraria pudesse sair e se concentrasse apenas o CO₂ em seu interior. Desse modo, os sensores conseguiram captar coeficientes constantes que posteriormente foram registrados e analisados.

O dióxido de carbono, por conta de suas características incolor e inodora, é de difícil detecção. Por esse motivo, todo o experimento foi realizado dentro de uma Capela Fluxo Laminar para evitar possíveis acidentes, tendo em vista que o composto é um asfixiante. O processo de calibração dos sensores do protótipo é uma etapa dependente do processo de obtenção do coeficiente de calibração, obtido através do procedimento de concentração de gases.



Figura 2: Realização do teste de concentração de CO₂ e equipamentos no recipiente.

Fonte: Próprios autores.

3.3 Conexão com a Plataforma IoT

A integração da Arduino IDE com a Plataforma Blynk, tornou-se essencial para o sucesso do projeto. Por meio de bibliotecas e códigos específicos, os dados de detecção dos gases foram enviados da placa ESP32 para a Plataforma, onde são apresentados de forma clara e intuitiva, como evidenciado na **Figura 3**. Isso permitiu o acompanhamento em tempo real do processo de detecção dos gases da compostagem e a tomada de decisões com base nos dados coletados.



Figura 3: Captura dos gauges com dados de temperatura, umidade e CO₂.

Fonte: Próprios autores.

3.4 Mapeamento e disposição dos sensores nas leiras de compostagem

Inicialmente serão utilizadas 5 leiras de compostagem, cobertas por lonas com uma pequena abertura na qual estão introduzidos canos, por onde os gases são sugados para o filtro. A tubulação será conectada a um motor de sucção, fazendo com que os gases se movimentem em

direção a um biofiltro de palha. Serão instalados dois protótipos, um na tubulação de saída da bomba (ESP1) e outro no orifício de saída da caixa d'água, onde estará localizado o filtro (ESP2), que irão medir o nível de emissão dos gases antes e depois da passagem pelo filtro, como evidenciado na **Figura 3**.

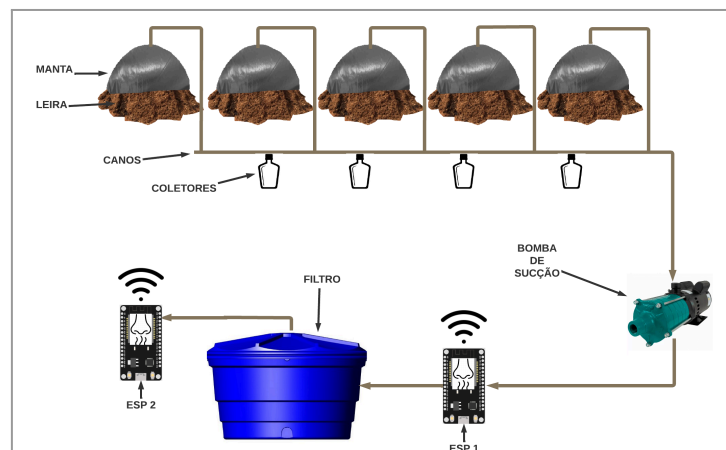


Figura 4: Fluxograma da coleta e análise dos gases.

Fonte: Próprios autores.

4. Conclusões

Com isso, de acordo com as pesquisas realizadas e resultados obtidos, propõe-se que o protótipo de Nariz Artificial seja capaz de detectar temperatura, umidade e CO₂ de maneira satisfatória. No entanto, apresenta alguns pontos que necessitam de melhorias. Um dos passos futuros para o protótipo, é inserir novos testes, desta vez, para detecção de amônia, responsável por grande parte dos incômodos olfativos gerados pelas estações de compostagem e aplicar o Nariz Artificial diretamente nas leiras de compostagem para detecção em tempo real. Além disso, a possibilidade de criar um molde 3D para o equipamento está em fase de estudo.

Para além dos aspectos técnicos, também é possível observar que a idealização e aplicação do protótipo traz benefícios para a preservação ambiental, uma vez que se apresenta como possível ferramenta de auxílio para Estações de Tratamento de Efluentes (ETE'S) e Usinas de Compostagem na análise de concentrações gasosas para contenção de odores, e para o aprimoramento de soluções inovadoras na gestão de resíduos sólidos urbanos. Por fim, o sistema de monitoramento de odores confere uma nova possibilidade, mais barata, em relação às opções presentes no mercado, em suma, mais caras.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem à FACEPE e ao Instituto Federal de Pernambuco - IFPE (*campus* Recife) pelas bolsas de iniciação científica concedidas ao projeto. Também agradecemos à Lógica Ambiental pelo apoio financeiro e espaço para nossos testes de campo.

Referências

Martha, M. M. R.; Mayes-Ramírez, F. J. Gálvez-Sánchez, A.; Ramos-Ridao, Á.; Molina-Moreno, V. (2023). Urban Waste: Visualizing the Academic Literature through Bibliometric Analysis and Systematic Review. *Sustainability*, doi: 10.3390/su15031846.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 481, de 03 de outubro de 2017. Estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, edição 194, p. 93, 09 out. 2017. Disponível em: <https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/19344546/DiarioOficialdaUniao>. Acesso em: 4 jun. 2024.

Xu, M.; Sun, H.; Yang, M.; Wu, C.; Sun, X.; Wang, Q. (2023). From waste to wealth: Innovations in organic solid waste composting. **Environmental Research**, doi: 10.1016/j.envres.2023.115977.

REYES, J. et al. Desempenho ambiental de um biofiltro industrial: Relação entre a oxidação fotoquímica e os impactos odoríferos. **Environmental Research**, Volume 183, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109168>>.

CAPELLI, L. et al. Revisão sobre poluição por odor, medição de odor, técnicas de redução, D-NOSES, H2020-SwafS-23-2017-789315. 2019. Disponível em: <<https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5c7d97c30&appId=PPGMS>>. Acesso em: 6 jun. 2024.

ANDRASKAR, J.; YADAV, S.; KAPLEY, A. Desafios e estratégias de controle da emissão de odor na operação de compostagem. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 193, p. 2331–2356, 2021. doi: 10.1007/s12010-021-03490-3.

CANTARELLI, Andréa Caribé Fialho. Melhores práticas em gestão de odor para uma usina de compostagem. 2021. 21 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Sustentabilidade Urbana) - Departamento Acadêmico de Cursos Superiores, Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Recife, 2021.

ESPRESSIF. **ESP32 Technical Reference Manual**. 2023. Disponível em: <https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2024.

ARDUINO. **Arduino**. 2024. Disponível em: <<http://arduino.cc>>. Acesso em: 15 abr. 2024.

ADAFRUIT. DHT11, DHT22 and AM2302 Sensors. 2021. Disponível em: <<https://www.mouser.com/datasheet/2/737/dht-932870.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2024.

MQ-4. Technical Data MQ-4 Gas Sensor. Hanwei Electronics Co., Ltd. 2008. Disponível em: <<https://www.winsen-sensor.com/d/files/MQ-4.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2024.

MQ-135. Technical Data MQ-135 Gas Sensor. Hanwei Electronics Co., Ltd. 2008. Disponível em: <https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MQ-135_Hanwei.pdf>. Acesso em: 08 mai. 2024.

BLYNK. Blynk. 2024. Disponível em: <<https://blynk.io/>>. Acesso em: 08 mai. 2024.

LÓGICA AMBIENTAL. 2005. Disponível em: <<https://logicaambiental.negocio.site/>>. Acesso em: 12 mai. 2024.