



## Avaliação de Sensores Eletroquímicos Perante Variações de Umidade e Gás Amônia

### Evaluation of Electrochemical Sensors Due to Variations in Humidity and Ammonia Gas

João Pedro Cardoso Amâncio de Sá<sup>1</sup>, Leila Droprinchinski Martins<sup>2</sup>,  
Cleber Antonio Lindino<sup>3</sup>, Edson Tavares Camargo<sup>4</sup>

#### RESUMO

Gases como amônia e sulfato de hidrogênio geralmente estão presentes na produção agropecuária e em altas concentrações podem ser nocivos para a saúde humana. Além disso, esses gases geralmente estão presentes no mal cheiro emitido pelas agroindústrias que tanto incomoda a população e impacta na sensação de qualidade do ar. Este artigo avalia sensores eletroquímicos para detectar e medir os níveis de amônia (NH<sub>3</sub>) e sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S) em condições variadas de umidade. Um protótipo foi desenvolvido para avaliar o desempenho de sensores em ambiente controlado. Os resultados mostram a capacidade dos sensores de detectar e medir os gases em diferentes condições ambientais e a influência da umidade nas medidas.

**PALAVRAS-CHAVE:** eletroquímico; gases; protótipo; sensores.

#### ABSTRACT

Gases such as ammonia and hydrogen sulfate are generally present in agricultural production and in high concentrations can be harmful to human health. Furthermore, these gases are generally present in the bad smell emitted by agricultural industries, which bothers the population and impacts the feeling of air quality. This article evaluates electrochemical sensors to detect and measure ammonia (NH<sub>3</sub>) and hydrogen sulfide (H<sub>2</sub>S) levels under varying humidity conditions. A prototype was developed to evaluate the performance of sensors in a controlled environment. The results show the sensors' ability to detect and measure gases in different environmental conditions and the influence of humidity on the measurements.

**KEYWORDS:** electrochemical; gases; prototype; sensors.

#### INTRODUÇÃO

Estudos têm mostrado consistentemente uma profunda ligação entre a saúde humana e a poluição do ar urbano, abrangendo diversos componentes gasosos e material particulado, como poeira, fumaça e outros tipos de sólidos e líquidos suspensos no ar (WHO REGIONAL PUBLICATIONS, 2020). Particularmente a detecção dos níveis de amônia (NH<sub>3</sub>) e sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S) desempenham um papel crítico na preservação da saúde humana e na integridade do meio ambiente (YULIARTI, 2021).

<sup>1</sup> Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, Toledo, Paraná, Brasil. E-mail: joaosa@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1086070909913210>.

<sup>2</sup> Docente no Curso de Licenciatura em química. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil. E-mail: leilamartins@utfpr.edu.br. ID Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8069461151838819>.

<sup>3</sup> Docente no Curso de Licenciatura Plena e Bacharelado em química. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil. E-mail: lindino99@gmail.com. ID Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5882513103054906>.

<sup>4</sup> Docente no Curso de Tecnologia de Sistemas para a Internet. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil. E-mail: edson@utfpr.edu.br. ID Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3434910548756014>.



A amônia, predominantemente originária de fontes agrícolas, representa um desafio em relação à eutrofização - enriquecimento de corpos d'água com nutrientes, gerando crescimento excessivo de plantas aquáticas - e acidificação do solo, exigindo controle para evitar perturbações nos ciclos biogeoquímicos e promover a diversidade e estabilidade do ecossistema ([AIR POLLUTION INFORMATION SYSTEM, 2016](#)). Por outro lado, o sulfeto de hidrogênio, frequentemente emitido na indústria de extração de petróleo, processos industriais e ocorrências naturais, apresenta toxicidade aguda, exigindo monitoramento rigoroso devido aos riscos à saúde pública, como problemas respiratórios e irritações oculares ([CALIFORNIA AIR RESOURCE BOARD, 2023](#)).

Nesse contexto, sensores eletroquímicos são uma alternativa importante para automatizar tanto a detecção quanto a medição desses gases ([WESTERDAHL; LOUIE, 2018](#)). Um dos principais aspectos dos sensores eletroquímicos é sua adaptabilidade a ambientes externos. A capacidade de operar em ambientes externos é viabilizada pela robustez e durabilidade desses sensores, que são constituídos geralmente por três eletrodos: um para manter o potencial estável; um que fica em contato com a solução eletrolítica; e outro que funciona como elemento de transdução na reação, sendo este o eletrodo de trabalho. Muitos sensores eletroquímicos modernos são projetados para resistir a condições desafiadoras, incluindo variações na umidade e exposição a vários produtos químicos. Essas características garantem sua confiabilidade em aplicações de campo, onde a coleta precisa de dados é fundamental para a tomada de decisões informadas.

A seleção de sensores requer criteriosa avaliação antes de serem incorporados em qualquer dispositivo eletrônico de medição. A construção de uma estação de monitoramento dedicada à avaliação constante dos níveis de amônia e sulfeto de hidrogênio emerge como uma iniciativa de suma importância.

Para concretizar esse projeto, a programação do Arduino UNO, microcontrolador utilizado neste estágio, foi realizada através da plataforma Arduino IDE, e todos os sensores empregaram leituras analógicas para efetuar as medições. Os sensores da Alphasense requerem cálculos específicos a serem aplicados para calibrar os resultados em relação à temperatura. Esses cálculos detalhados podem ser encontrados na nota de aplicação da Alphasense ([ALPHASENSE, 2023](#)).

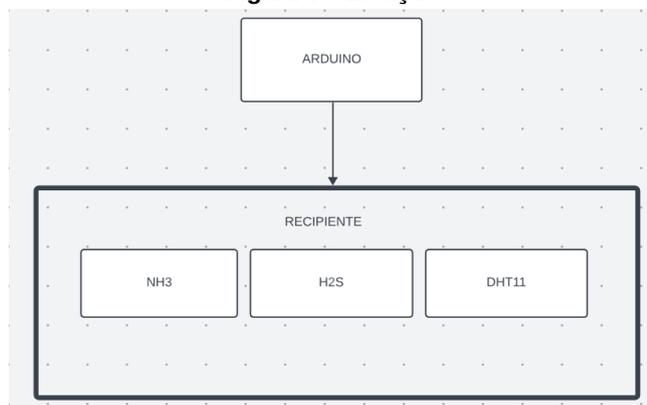
O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho de sensores eletroquímicos em condições variadas de umidade e concentração do gás amônia para assegurar a sua eficácia em ambientes desafiadores. Um protótipo foi desenvolvido para realizar as medições em ambiente controlado.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Um protótipo foi desenvolvido para conduzir testes laboratoriais que envolvem variações controladas de umidade e concentração dos gases. Equipada com sensores de amônia e sulfeto de hidrogênio da fabricante Alphasense, um sensor de temperatura e umidade DHT11, e operando sob o controle de um microcontrolador Arduino UNO, essa estação oferece um ambiente altamente configurável para investigar a eficácia de sensores eletroquímicos em cenários variados, de acordo com a Figura 1. A leitura nas placas da Alphasense utiliza seis pinos, sendo três para referência (GND), um para alimentar o sensor (5V) e outros dois pinos dedicados à leitura analógica do eletrodo principal e auxiliar. Já o sensor DHT11 utiliza apenas três pinos, sendo um pino de referência, um

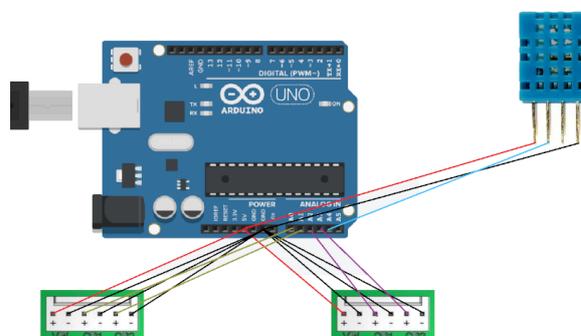
pino para alimentar o sensor e outro que realiza a leitura analógica. A pinagem completa do sistema pode ser verificada na Figura 2.

Figura 1 – Estação



Fonte: Do autor

Figura 2 – Diagrama de Pinos



Fonte: Do autor

Os sensores eletroquímicos traduzem informações químicas em sinais elétricos, sendo dispositivos altamente especializados na detecção e quantificação de substâncias químicas por meio de reações eletroquímicas que ocorrem na superfície do sensor. Esses sensores exploram as propriedades intrínsecas das reações químicas para gerar um sinal elétrico mensurável (WORSNOP; JAYNE, 2017).

O desempenho de um sensor eletroquímico é frequentemente avaliado com base em sua sensibilidade e capacidade de resposta. O sensor Alphasense exibe uma faixa de sensibilidade considerável, variando de 1450 a 2600 nanoampère por partícula por milhão (nA/ppm), a 2 ppm de H<sub>2</sub>S de resolução. A resolução é a habilidade que um sistema possui de distinguir entre respostas que são semelhantes ou próximas, garantindo dados detalhados e confiáveis. Essa amplitude de sensibilidade permite a detecção precisa de diferentes concentrações de H<sub>2</sub>S no ambiente.

A sensibilidade do sensor em relação à amônia é medida em nA/ppm em uma concentração de 50 ppm de NH<sub>3</sub>. Este sensor exibe uma faixa de sensibilidade de 20 a 60 nA/ppm, o que permite uma detecção precisa e sensível da amônia em diferentes concentrações.

O monitoramento da umidade é crucial em várias aplicações, especialmente em sensores eletroquímicos para detecção de gases. A umidade interfere diretamente nas reações químicas do sensor, alterando as correntes elétricas geradas por reações de oxidação ou redução, afetando a interpretação dos dados. Sensores como o DHT11 são populares para medir umidade, com um amplo alcance de medição (20% a 90% RH) e precisão de  $\pm 5\%$ , além de resolução de 1 unidade. (OSEPP ELECTRONICS, 2023).

Os sensores foram submetidos a condições de umidade extrema, assim como a variações no nível do gás NH<sub>3</sub> como parte do nosso estudo experimental. Para aumentar a umidade no ambiente de teste, introduzimos um papel filtro umedecido dentro do recipiente fechado, proporcionando um aumento significativo na umidade relativa do ar. Para reduzir a umidade, empregamos sílica gel, um agente que eficientemente absorve a umidade do ambiente. Já o gás amônia foi inserido em pequenas frações de 10 microlitros, retornando o recipiente às condições iniciais por meio da adição de gás limpo após a estabilização dos sensores Alphasense.



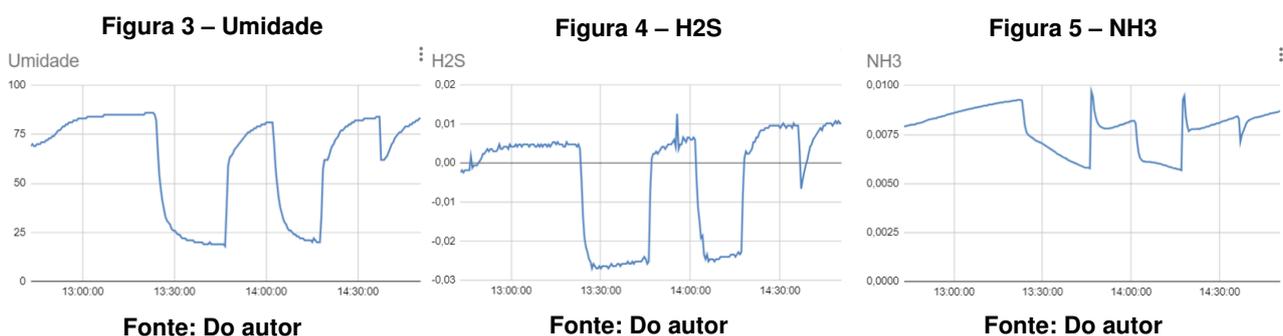
Os testes foram conduzidos em um recipiente hermeticamente selado para evitar a interferência do ar externo. Dentro desse ambiente controlado, apenas as partes sensoriais dos dispositivos foram colocadas, e os valores de umidade e gás amônia foram ajustados através de um tubo de alimentação.

## RESULTADOS

É importante notar que ambos os sensores possuem um período inicial de calibração, que vem de fábrica e ocorre a cada vez que esses são desligados e religados. Existem diferenças entre os equipamentos no tempo necessário para essa etapa. Enquanto o sensor de H<sub>2</sub>S requer apenas alguns segundos para se calibrar adequadamente, o sensor de NH<sub>3</sub> demanda mais de 8 horas para completar com sucesso o processo de calibração inicial. Essa disparidade no tempo de calibração precisa ser considerada ao planejar experimentos e avaliações, visando garantir a precisão e confiabilidade das leituras obtidas.

### VARIAÇÕES DE UMIDADE

Como demonstrado nos gráficos abaixo, nos quais o eixo X representa o horário da medida, no formato de 24 horas, e o eixo Y representa a umidade na Figura 3, a concentração de H<sub>2</sub>S na Figura 4 e a concentração de NH<sub>3</sub> na Figura 5, os sensores responderam às flutuações na umidade com alterações nas concentrações dos gases. No entanto, destaca-se que as respostas dos sensores divergiram significativamente. O sensor de H<sub>2</sub>S (Figura 4) mostrou uma relação mais proeminente com a umidade, exibindo variações em resposta às mudanças na umidade relativa do ambiente. Por outro lado, as flutuações nas concentrações de NH<sub>3</sub> (Figura 5) foram menos acentuadas, indicando uma resposta proporcionalmente menor em relação às mudanças na umidade.



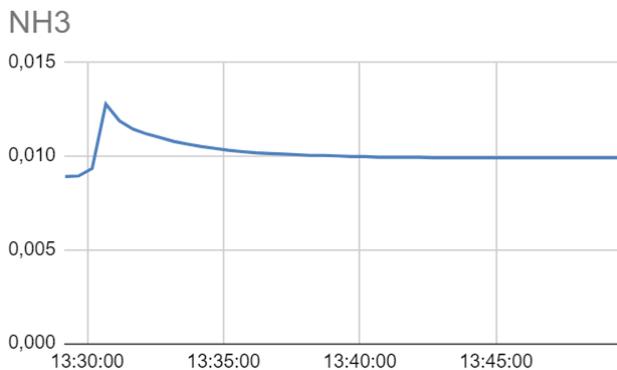
### VARIAÇÃO DO GÁS AMÔNIA

O comportamento do sensor de amônia em relação às variações nas concentrações desse gás, bem como a influência dele na sensibilidade cruzada do sensor de sulfeto de hidrogênio, são aspectos de interesse a serem analisados. O primeiro pode ser observado nos gráficos das Figuras 6 e 7, em que o eixo das abscissas representa o horário da medida, no formato de 24 horas, e o eixo das ordenadas representa, na Figura 6, a concentração do NH<sub>3</sub> em ppm e, na Figura 7, a concentração do



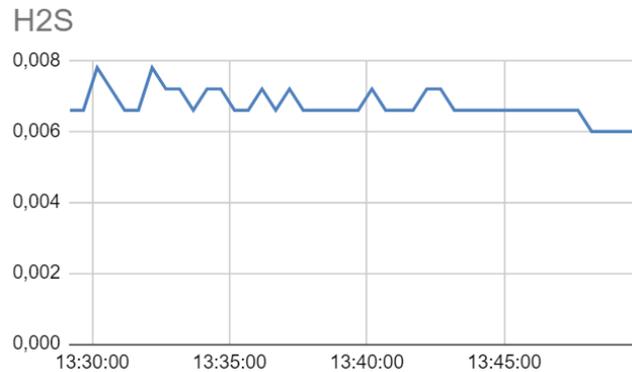
H<sub>2</sub>S em ppm. Como evidenciado pelos gráficos, durante os testes realizados em ambiente controlado pôde-se observar uma resposta peculiar do sensor de NH<sub>3</sub>. Inicialmente, o sensor indicou uma rápida ascensão na concentração do gás, atingindo um pico de concentração irreal. No entanto, posteriormente, foi possível observar uma redução gradual, convergindo para níveis mais próximos do valor real (Figura 6). Já a sensibilidade cruzada do gás amônia no sensor de sulfeto de hidrogênio mostrou-se irrelevante (Figura 7), o que é altamente vantajoso para a precisão das medições. Este resultado possibilita eliminar o risco de confusão na identificação dos gases detectados, garantindo a capacidade do sensor de H<sub>2</sub>S de se concentrar exclusivamente na detecção do sulfeto de hidrogênio, sem ser influenciado pela presença de amônia. Essas observações substanciam a importância da compreensão detalhada do comportamento dos sensores em diferentes cenários, contribuindo para aprimorar a confiabilidade e eficiência dos sistemas de monitoramento de gases.

Figura 6 – NH<sub>3</sub>



Fonte: Do autor

Figura 7 – H<sub>2</sub>S



Fonte: Do autor

## TRABALHOS FUTUROS

Foi observado que os sensores apresentaram desempenho satisfatório no ambiente de testes, mesmo diante das variações de umidade e concentração de amônia. Agora, é necessário avançar para a próxima fase do projeto, levando a estação para avaliação externa, a fim de verificar a confiabilidade dos dados coletados. O protótipo poderá ser instalado em proximidade a uma estação de referência para assegurar a precisão das leituras de gases e umidade.

## CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo se revelaram promissores. O sensor de H<sub>2</sub>S não demonstrou sensibilidade cruzada em relação à amônia, enquanto o sensor de amônia detectou de maneira eficaz a presença desse gás, resultando em um aumento dos valores de referência. No entanto, é importante destacar que variações de umidade, que afetam ambos os sensores, ainda representam uma consideração relevante que requer investigações adicionais e medidas de correção.

Em resumo, os sensores de NH<sub>3</sub> e H<sub>2</sub>S demonstraram eficiência na medição das variações de concentração de gases, com o sensor de NH<sub>3</sub> exibindo um bom desempenho ao detectar aumentos



de amônia no ambiente. Já o sensor de H<sub>2</sub>S permaneceu inalterado nesses cenários, como previsto, mantendo-se insensível à presença do gás. Essas observações iniciais sugerem que esses sensores têm o potencial de medir os valores de partículas por milhão (ppm) de seus determinados alvos. No entanto para validar completamente essa capacidade, testes comparativos, com os sensores em paralelo a sensores de referência de alta precisão, precisam ser conduzidos.

Além disso, a questão das variações de umidade representa um desafio que precisa ser abordado de forma eficaz. A capacidade de mascarar as flutuações na umidade, por meio de cálculos que recalibram os dados com base no percentual de umidade do ar, é uma das soluções para melhorar a precisão das medições. Isso é especialmente relevante, visto que as variações de umidade podem influenciar nas leituras dos sensores. Portanto, é evidente que, embora tenhamos feito avanços significativos na compreensão do desempenho desses sensores em condições controladas, há uma necessidade de investigações mais aprofundadas e validações práticas para garantir a confiabilidade e precisão de tais sistemas de monitoramento de gases em ambientes do mundo real.

## REFERÊNCIAS

- AIR POLLUTION INFORMATION SYSTEM. **Ammonia**. [S.l.: s.n.], 2016. Disponível em: [↗](#).
- ALPHASENSE. **Alphasense Application Note**. [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em: [↗](#).
- CALIFORNIA AIR RESOURCE BOARD. **Hydrogen Sulfide And Health**. [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em: [↗](#).
- OSEPP ELECTRONICS. **DHT11 Humidity And Temperature Sensor**. [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em: [↗](#).
- WESTERDAHL, Peng Wei; Zhi Ning; Sheng Ye; Li Sun; Fenhuan Yang; Ka Chun Wong; Dane; LOUIE, Peter K. K. Impact Analysis of Temperature and Humidity Conditions on Electrochemical Sensor Response in Ambient Air Quality Monitoring. **sensors**, 2018.
- WHO REGIONAL PUBLICATIONS. **Air quality guidelines for Europe, 2nd ed.** [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: [↗](#).
- WORSNOP, Eben S. Cross; Leah R. Williams; David K. Lewis; Gregory R. Magoon; Timothy B. Onasch; Michael L. Kaminsky; Douglas R.; JAYNE, John T. Use of electrochemical sensors for measurement of air pollution: correcting interference response and validating measurements. **European Geoscience Union**, 2017.
- YULIARTI, Rina. Risk Analysis of Exposure to NH<sub>3</sub> And H<sub>2</sub>S Gas to Workers in The Small Industrial Environment of Magetan Regency in 2021. **International Journal of Advanced Health Science and Technology**, 2021.