

SENSOR DE BAIXO CUSTO PARA AMÔNIA GASOSA: Resultados Preliminares da Validação Experimental do MQ-137

Ludmilla Borges Fontoura¹, Marcos Vinícius Rodrigues¹, Tania Regina Giraldi
Andrade¹, Laos Alexandre Hirano¹

¹Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas,
Brasil(ludmilla.fontoura@sou.unifal-mg.edu.br)

Resumo: Este trabalho apresentou os resultados preliminares do desenvolvimento e da validação experimental de um sistema portátil e de baixo custo para detecção de amônia gasosa utilizando o sensor MQ-137 integrado à plataforma Arduino. O sistema permitiu monitoramento em tempo real e aquisição automática de dados. Os resultados preliminares indicaram resposta satisfatória do sensor e evidenciaram a viabilidade inicial da plataforma desenvolvida, apontando seu potencial para futuras etapas de calibração e validação experimental.

Palavras-chave: amônia; sensor MQ-137; monitoramento gasoso; sensor semiconductor; sistema de baixo custo.

INTRODUÇÃO

Sistemas embarcados consistem em sistemas computacionais compostos por hardware e software destinados à execução de tarefas específicas, sendo amplamente utilizados em automação, Internet das Coisas (IoT), robótica e monitoramento ambiental devido ao baixo custo e facilidade de integração com sensores e atuadores (HIRANO, 2025). Nesse contexto, plataformas microcontroladas têm possibilitado o desenvolvimento de dispositivos compactos para aquisição e transmissão de dados em tempo real, ampliando aplicações industriais, acadêmicas e educacionais.

Entre os gases frequentemente monitorados em aplicações ambientais e industriais, destaca-se a amônia (NH_3), empregada em processos químicos, sistemas de refrigeração, tratamento de resíduos, produção agrícola e monitoramento da qualidade da água. Em elevadas concentrações, a amônia pode apresentar riscos à saúde humana e ao meio ambiente, tornando necessária sua detecção em ambientes industriais, laboratoriais e agropecuários. Entretanto, sua elevada volatilidade e dependência de fatores como temperatura e umidade tornam sua detecção um desafio experimental relevante.

Apesar da importância do monitoramento da amônia, muitos sistemas comerciais apresentam elevado custo de aquisição, manutenção e calibração especializada, além de frequentemente exigirem infraestrutura dedicada. Dessa forma, sensores semicondutores de baixo custo tornam-se alternativas promissoras para aplicações experimentais e educacionais.

Entre esses dispositivos, destaca-se o sensor MQ-137, desenvolvido para detecção de amônia gasosa utilizando uma camada sensorial baseada em dióxido de estanho (SnO_2). Segundo estudos sobre interações NH_3 - SnO_2 , espécies adsorvidas na superfície do material influenciam diretamente a resposta elétrica do sensor, afetando sua sensibilidade e dinâmica de detecção.

Entretanto, a calibração de sensores para amônia gasosa normalmente requer sistemas experimentais baseados em cilindros de gases padrão, controladores de vazão, câmaras de mistura e instrumentos capazes de controlar rigorosamente a pressão parcial do gás, infraestrutura que apresenta elevado custo de aquisição, maior complexidade operacional e riscos associados à manipulação do gás. Como alternativa, este trabalho adota uma estratégia baseada na Lei de Henry e nos princípios do equilíbrio químico, utilizando soluções aquosas de hidróxido de amônio em recipientes fechados para estimar a concentração de NH_3 na fase gasosa. Essa abordagem permite reproduzir condições controladas de exposição utilizando uma infraestrutura significativamente mais simples, tornando a metodologia potencialmente aplicável em atividades experimentais e de ensino.

Embora o fabricante disponibilize curvas de sensibilidade e parâmetros gerais de operação do MQ-137 por meio de seu manual técnico, as informações disponíveis são limitadas e obtidas sob condições experimentais específicas, havendo escassez de estudos que descrevam procedimentos independentes de calibração, validação experimental e caracterização metrológica desse sensor. Essa limitação dificulta a avaliação de sua confiabilidade em diferentes

condições de operação e evidencia a necessidade de estudos que ampliem o conhecimento sobre seu comportamento experimental.

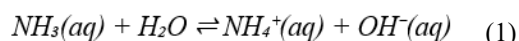
Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo desenvolver uma plataforma experimental de baixo custo para monitoramento de amônia gasosa utilizando o sensor MQ-137 e apresentar os resultados preliminares de sua validação experimental. Nesta etapa da pesquisa, buscou-se avaliar a viabilidade da plataforma, sua resposta inicial ao gás e seu potencial para futuras etapas de calibração quantitativa. O projeto envolveu a implementação de interfaces de monitoramento em tempo real utilizando PLX-DAQ e Arduino IDE, aquisição automática de dados experimentais e construção de curvas de resposta baseadas nos princípios do equilíbrio químico e da Lei de Henry, visando estabelecer uma metodologia de baixo custo que subsidie futuras etapas de calibração quantitativa e contribua para a caracterização experimental do sensor MQ-137.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho apresenta os resultados preliminares da avaliação experimental de um sistema de baixo custo para monitoramento de amônia gasosa utilizando o sensor semicondutor MQ-137. Como etapa inicial da pesquisa, buscou-se verificar a viabilidade da plataforma desenvolvida por meio da análise qualitativa da resposta do sensor em condições laboratoriais controladas.

O sensor MQ-137 é um dispositivo semicondutor baseado em dióxido de estanho (SnO_2), cuja resposta elétrica varia em função da adsorção de moléculas de amônia sobre sua superfície sensível. Embora o fabricante disponibilize curvas de sensibilidade para diferentes concentrações de NH_3 , tais informações são obtidas em condições específicas de temperatura e umidade, tornando necessária a realização de ensaios experimentais para avaliação do comportamento do sensor em condições controladas.

Em solução aquosa, a amônia estabelece equilíbrio químico com o íon amônio, conforme a Equação (1):



Além disso, a distribuição da amônia entre as fases líquida e gasosa é governada pela Lei de Henry. Segundo Dasgupta e Dong (1986), a constante de Henry para a amônia apresenta valor próximo de $57 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{atm}^{-1}$ a 25°C , valor também reportado por Stumm e Morgan (1996), conforme mostrado na figura 1. Esses fundamentos permitiram utilizar soluções aquosas de hidróxido de amônio como fonte controlada de NH_3 gasosa durante os experimentos.

Table 5.2. Equilibrium Constants of Importance in Gas-Water Equilibria

Reactions		$K_{25^\circ\text{C}}^a$
1. $\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	$= \text{H}_2\text{CO}_3^*(\text{aq})$	3.39×10^{-2}
2. H_2CO_3^*	$= \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$	4.45×10^{-7}
3. HCO_3^-	$= \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$	4.69×10^{-11}
4. $\text{SO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	$= \text{SO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}(\text{aq})$	1.25
5. $\text{SO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	$= \text{H}^+ + \text{HSO}_3^-$	1.29×10^{-2}
6. HSO_3^-	$= \text{H}^+ + \text{SO}_3^{2-}$	6.24×10^{-8}
7. $\text{NH}_3(\text{g})$	$= \text{NH}_3(\text{aq})$	57
8. $\text{NH}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}$	$= \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$	1.77×10^{-5}
9. $\text{HNO}_3(\text{g})$	$= \text{H}^+ + \text{NO}_3^-$	3.46×10^6
10. $\text{HCl}(\text{g})$	$= \text{H}^+ + \text{Cl}^-$	2.00×10^6
11. $\text{HNO}_2(\text{g})$	$= \text{HNO}_2(\text{aq})$	49
12. HNO_2	$= \text{H}^+ + \text{NO}_2^-$	5.13×10^{-4}
13. $\text{H}_2\text{S}(\text{g})$	$= \text{H}_2\text{S}(\text{aq})$	1.05×10^{-1}
14. H_2S	$= \text{H}^+ + \text{HS}^-$	9.77×10^{-8}
15. HS^-	$= \text{H}^+ + \text{S}^{2-}$	1.00×10^{-19}
16. $\text{NO}(\text{g}) + \text{NO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	$= 2 \text{HNO}_2(\text{aq})$	1.24×10^1
17. $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{g})$	$= \text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$	7.66×10^2
18. CH_3COOH	$= \text{H}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$	1.75×10^{-5}
19. $\text{CH}_3\text{O}(\text{g})$	$= \text{CH}_3\text{O}(\text{aq})$	6.3×10^3
20. $\text{N}_2(\text{g})$	$= \text{N}_2(\text{aq})$	6.61×10^{-4}
21. $\text{O}_2(\text{g})$	$= \text{O}_2(\text{aq})$	1.26×10^{-3}
22. $\text{CO}(\text{g})$	$= \text{CO}(\text{aq})$	9.55×10^{-4}
23. $\text{CH}_4(\text{g})$	$= \text{CH}_4(\text{aq})$	1.29×10^{-3}
24. $\text{NO}_2(\text{g})$	$= \text{NO}_2(\text{aq})$	1.00×10^{-2}
25. $\text{NO}(\text{g})$	$= \text{NO}(\text{aq})$	1.9×10^{-3}
26. $\text{N}_2\text{O}(\text{g})$	$= \text{N}_2\text{O}(\text{aq})$	2.57×10^{-2}
27. $\text{H}_2\text{O}_2(\text{g})$	$= \text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$	1.0×10^5
28. $\text{O}_3(\text{g})$	$= \text{O}_3(\text{aq})$	9.4×10^{-3}

^aHenry constants are K_H values given in M atm^{-1} ; Henry constants for organic substances are given in Figures 5.3 and 5.15 and in Table 5.3.

Figura 1. Constantes de Equilíbrio de Henry.

O sistema experimental foi desenvolvido utilizando uma plataforma Arduino integrada a um sensor MQ-137 para detecção de amônia, um termopar tipo K acoplado ao módulo MAX6675 para monitoramento da temperatura e um display LCD com interface I²C para visualização local das leituras. Todos os componentes foram montados em protoboard e alimentados pela saída de 5 V da plataforma microcontrolada, como mostrado na Figura 2 a seguir.

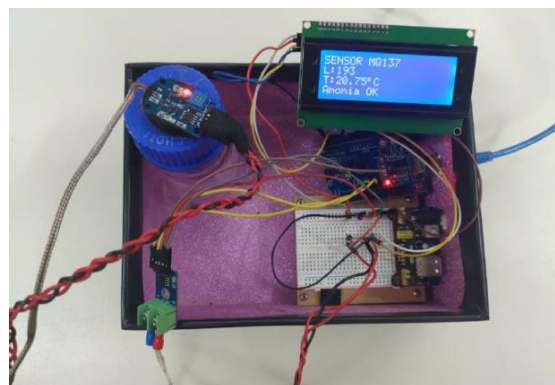
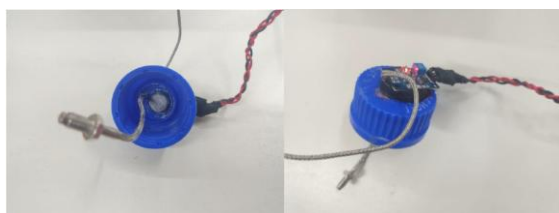


Figura 2. Sistema Embarcado na Protoboard.

O sensor MQ-137 e o termopar foram instalados na tampa de um frasco experimental contendo aproximadamente 50 mL de solução aquosa e volume de headspace de aproximadamente 120 mL, como apresentado nas figuras 3 e 4. O reduzido volume gasoso foi adotado com o objetivo de favorecer a estabilização da concentração de amônia durante os ensaios. Todo o conjunto experimental permaneceu no interior de uma capela química, enquanto o computador responsável pela aquisição dos dados permaneceu em ambiente externo, conectado ao sistema por meio de extensões elétricas.



Figuras 3 e 4. Montagem da Tampa.

A programação da plataforma foi desenvolvida na Arduino IDE utilizando as bibliotecas *Wire.h*, *LiquidCrystal_I2C.h* e *max6675.h*. A aquisição automática dos dados foi realizada por meio do software PLX-DAQ Release 2.0, permitindo a comunicação serial entre o Arduino e o Microsoft Excel para registro contínuo das leituras do sensor MQ-137 e da temperatura do sistema.

Para os ensaios experimentais foi preparada uma solução aquosa de hidróxido de amônio com concentração de $0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, utilizando como solução padrão uma amostra comercial de NH_4OH com concentração de $10,5296 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. O preparo foi realizado por diluição volumétrica em frasco contendo volume final de 50 mL, utilizando pipeta volumétrica e micropipeta de precisão para minimizar erros experimentais.

Inicialmente, o sistema permaneceu energizado até a estabilização da resposta basal do sensor na ausência de amônia gasosa. Em seguida, realizou-se o preparo da solução experimental sob resfriamento em banho de gelo, reduzindo a volatilização da amônia durante a manipulação. Após a adição da solução concentrada ao frasco contendo água destilada, o sistema foi imediatamente vedado utilizando a tampa contendo o sensor MQ-137 e o termopar.

A resposta elétrica do sensor foi monitorada continuamente durante a exposição à amônia até a estabilização do sinal. Posteriormente, o frasco foi aberto para promover a ventilação do sistema, registrando-se também a curva de recuperação do sensor durante a dispersão da amônia gasosa.

Os dados obtidos nesta etapa da pesquisa foram utilizados para uma análise preliminar do comportamento temporal do MQ-137, permitindo avaliar qualitativamente sua resposta à presença de amônia gasosa e verificar a viabilidade da plataforma experimental para futuras etapas de calibração quantitativa e validação metrológica.

DISCUSSÃO

Os ensaios realizados nesta etapa da pesquisa tiveram como objetivo avaliar preliminarmente o comportamento do sistema experimental desenvolvido, verificando sua capacidade de detectar qualitativamente a presença de amônia gasosa em condições laboratoriais controladas. Os resultados

obtidos constituem uma etapa inicial da validação experimental da plataforma proposta e permitem discutir sua viabilidade para aplicações futuras.

Inicialmente, o sistema permaneceu em operação até a estabilização das leituras do sensor MQ-137 na ausência de amônia gasosa. Observou-se um período de estabilização de aproximadamente **3 minutos e 58 segundos**, durante o qual a resposta do sensor reduziu de cerca de **113 para 103 unidades de leitura**, permanecendo posteriormente estável nessa faixa para temperatura média próxima de **16 °C**. Esse comportamento indicou adequada estabilidade da linha de base antes da realização dos ensaios de exposição ao gás.

Após a vedação do sistema e a geração de amônia gasosa a partir da solução de hidróxido de amônio, observou-se aumento imediato da resposta do sensor, conforme apresentado na Figura 5. Nos instantes iniciais ocorreu crescimento acentuado da leitura, seguido por redução gradual da taxa de crescimento até a aproximação de um regime estacionário.

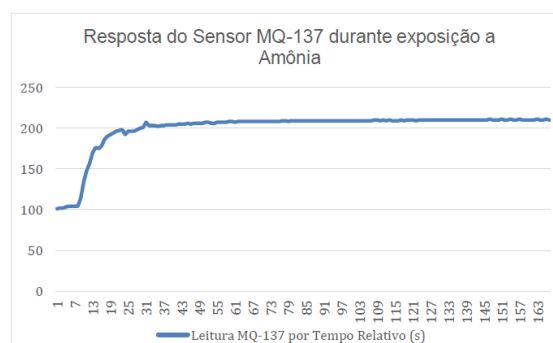


Figura 5 – Resposta do sensor MQ-137 durante a exposição à amônia.

O sensor atingiu valores próximos de estabilização após aproximadamente **9 minutos e 14 segundos**, alcançando leituras próximas de **210 unidades**. Embora estes resultados sejam preliminares, eles indicam que o sistema desenvolvido foi capaz de responder de forma consistente à presença de NH_3 , evidenciando o funcionamento integrado da plataforma experimental.

O comportamento observado sugere influência do equilíbrio entre as fases líquida e gasosa da amônia. À medida que ocorre a volatilização da solução aquosa, a concentração de NH_3 disponível no headspace tende a aumentar rapidamente nos instantes iniciais e, posteriormente, aproxima-se de uma condição de equilíbrio dinâmico, reduzindo progressivamente a taxa de crescimento da resposta do sensor.

Durante a aquisição dos dados foi identificada uma limitação operacional do software **PLX-DAQ**, relacionada ao número máximo de linhas registradas por arquivo. Essa limitação exigiu a divisão do experimento em múltiplos registros, ocasionando

pequenos intervalos sem aquisição de dados. Entretanto, essas interrupções não comprometeram a análise qualitativa do comportamento do sistema, uma vez que as tendências de crescimento e estabilização permaneceram preservadas.

Após a estabilização da resposta, foram observadas pequenas oscilações em torno do valor máximo registrado. Essas variações podem estar associadas ao próprio comportamento dinâmico do equilíbrio $\text{NH}_3(\text{aq})/\text{NH}_3(\text{g})$, bem como às características inerentes aos sensores semicondutores, cuja resposta pode sofrer influência de fatores ambientais como temperatura, umidade relativa do ar e processos de adsorção superficial.

Na etapa seguinte foi registrada a curva de recuperação do sensor durante a ventilação do sistema experimental (Figura 6). Observou-se redução gradual da resposta elétrica do MQ-137, indicando diminuição progressiva da concentração de amônia presente no headspace após a abertura do frasco.

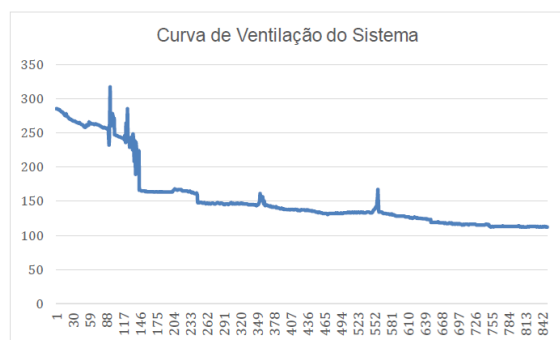


Figura 6 – Curva de ventilação do sistema experimental.

Considerando o intervalo principal registrado, a leitura do sensor reduziu de aproximadamente **285 para valores próximos de 113** entre **10:58:23 e 11:24:00**, correspondendo a aproximadamente **25 minutos e 37 segundos** até o retorno à linha de base inicial.

A redução da resposta não ocorreu de maneira perfeitamente linear. Durante a ventilação foram observadas oscilações transitórias, especialmente nas regiões de maior concentração de amônia. Esses comportamentos podem estar relacionados à circulação de massas gasosas no interior da capela química, ao restabelecimento do equilíbrio entre as fases líquida e gasosa da solução, à possível liberação de espécies previamente adsorvidas na superfície do sensor e às condições ambientais durante o experimento.

Também deve ser considerada a elevada sensibilidade dos sensores semicondutores às condições de temperatura e umidade. Durante a realização dos ensaios, a temperatura ambiente variou aproximadamente entre **15 °C e 28 °C**, acompanhada por elevada umidade relativa do ar, fatores que podem

influenciar os processos de adsorção e dessorção na superfície do dióxido de estanho e contribuir para pequenas flutuações na resposta elétrica observada.

Apesar dessas oscilações, o comportamento global obtido durante os ensaios mostrou-se coerente com o esperado para um sistema submetido a ciclos de exposição e ventilação de amônia gasosa. A resposta inicial, seguida da estabilização e posterior recuperação do sensor, constitui uma evidência preliminar de que a plataforma desenvolvida apresenta comportamento compatível com o monitoramento qualitativo de NH_3 em condições controladas.

Dessa forma, os resultados obtidos nesta etapa da pesquisa não representam uma validação definitiva do sensor MQ-137, mas apontam a viabilidade experimental da plataforma proposta, fornecendo subsídios para as próximas etapas do projeto, que envolverão calibração quantitativa, avaliação da repetibilidade das medições e caracterização metrológica do sistema em diferentes concentrações de amônia.

CONCLUSÃO

Os resultados preliminares obtidos nesta etapa da pesquisa evidenciaram a viabilidade da plataforma experimental desenvolvida para o monitoramento qualitativo de amônia gasosa em condições laboratoriais controladas. O sistema baseado no sensor MQ-137 integrado à plataforma Arduino foi capaz de detectar variações na concentração de NH_3 , permitindo a aquisição e o acompanhamento das leituras em tempo real por meio do display LCD e da interface PLX-DAQ.

As curvas experimentais obtidas durante as etapas de exposição e ventilação apresentaram comportamento compatível com os processos de adsorção, dessorção e equilíbrio entre as fases líquida e gasosa da amônia, indicando que a metodologia empregada foi adequada para a obtenção de resultados experimentais consistentes.

Embora tenham sido observadas limitações relacionadas à aquisição de dados e oscilações transitórias na resposta do sensor, essas ocorrências não comprometeram a análise qualitativa do sistema, permitindo identificar fatores relevantes para o aperfeiçoamento da plataforma, como a influência da temperatura, da umidade e da dinâmica do *headspace* experimental.

Dessa forma, os resultados apresentados não constituem uma validação definitiva do sistema, mas apontam sua viabilidade técnica e experimental, fornecendo subsídios para a continuidade da pesquisa. As próximas etapas do projeto serão direcionadas à calibração quantitativa do sensor, à avaliação da repetibilidade das medições e à caracterização metrológica da plataforma, visando ampliar sua



confiabilidade e seu potencial de aplicação em atividades experimentais, acadêmicas e educacionais.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao financiamento FAPEMIG, processo APQ-07015-24.

REFERÊNCIAS

CIRCUITDIGEST. *Arduino MQ137 ammonia sensor interface*. Disponível em: <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/arduino-mq137-ammonia-sensor>. Acesso em: 11 maio 2026.

DASGUPTA, P. K.; DONG, S. Solubility of ammonia in liquid water and generation of trace levels of standard gaseous ammonia. *Atmospheric Environment*, v. 20, n. 3, p. 565–570, 1986.

HANWEI ELECTRONICS CO., LTD. *MQ-137 Gas Sensor: Technical Data*. Zhengzhou, China: Hanwei Electronics Co., Ltd., [s.d.].

HIRANO, Laos Alexandre. *Introdução aos Sistemas Embarcados – Módulo I*. Versão 2.0. Poços de Caldas: Universidade Federal de Alfenas, 2025.

INTEL MARKET RESEARCH. *Ammonia Sensor Market*. Disponível em: <https://www.intelmarketresearch.com/ammonia-sensor-market-35580>. Acesso em: 12 maio 2026.

MSA SAFETY. *Chillgard® 5000 Amônia*. Disponível em: <https://br.msasafety.com/p/000070000500021111?locale=pt>. Acesso em: 12 maio 2026.

PARALLAX INC. *PLX-DAQ: Parallax Microcontroller Data Acquisition for Excel*. Manual técnico. [S.l.]: Parallax Inc., 2007.

SHARMA, N. et al. Nanocrystal tuned ammonia gas sensing technique via impedance spectroscopy. *arXiv*, 2025. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/2503.22845>. Acesso em: 12 maio 2026.

STUMM, Werner; MORGAN, James J. *Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters*. 3. ed. New York: Wiley-Interscience, 1996.

WINSEN. *NH3 Sensor Applications and Working Principles*. Disponível em: <https://pt.winsen-sensor.com/nh3-sensor.html>. Acesso em: 12 maio 2026.