

Desenvolvimento e avaliação de um amostrador alternativo de gases de efeito estufa (GEE's)

Julia de Oliveira Merética²

João Vitor Santos Dias da Silva²

Kevin Denker da Silva²

Hugo Alberto Perlin¹

Everaldo dos Santos¹

[1] Docente Instituto Federal do Paraná – Campus Paranaguá

[2] Discente Instituto Federal do Paraná – Campus Paranaguá

Resumo

O presente trabalho apresenta, de forma detalhada, o desenvolvimento e avaliação de um amostrador alternativo de gases de efeito estufa (GEE 'S), em específico, o gás o metano (CH_4). Este protótipo permite a leitura de amostras ambientais, como solos, para determinar a concentração de gases. O acesso a dados referentes às emissões, temperatura e umidade das amostras de solo avaliado, possibilita pesquisas e análises de baixo custo. Atualmente equipamentos semelhantes a este protótipo possuem custos bastante elevados, inibindo algumas instituições de utilizar estes equipamentos para pesquisas e avaliações. Muitos dos amostradores de gases oferecidos atualmente possuem tamanho relativamente grande, o que dificulta seu transporte. Desta maneira foi desenvolvido um protótipo de amostrador de gases de efeito estufa portátil, de baixo custo e fácil leitura dos dados com sensores eletroquímicos em plataforma de prototipação rápida. Além de ser um equipamento desenvolvido de maneira econômica, pode ser utilizado por qualquer pessoa sem formação específica, pois o mesmo foi programado para visualização de forma simples no *display* LCD, e possibilita também análises comparativas devido que todos os dados recolhidos pelo protótipo ficam registrados em uma planilha *on-line*. Foram realizados testes comparativos da leitura dos gases emitidos em amostras de esterco equino e cama de frango com o sensor de gás metano. Foi encontrado padrões similares de leitura para validação do modelo. O protótipo se mostra promissor e permite o desenvolvimento de um equipamento alternativo de baixo custo para pesquisas com emissão de gases de efeito estufa (GEE's).

Palavras-chave: Efeito estufa. GEE's. Metano. amostrador de gases. Protótipo ambiental.

Abstract

This work presents, in detail, the development and evaluation of an alternative sampler of greenhouse gases (GHG'S), specifically, methane gas (CH₄). This prototype allows the reading of environmental samples, such as soils, to determine the concentration of gasses. The access to data referring to emissions, temperature and humidity of the evaluated soil samples, enables low-cost research and analysis. Currently, equipment similar to this prototype has very high costs, inhibiting some institutions from using this equipment for research and evaluations. Many of the gas samplers currently offered are relatively large in size, which makes them difficult to transport. In this way, a prototype of a portable greenhouse gas sampler was developed, with low cost and easy to read data with electrochemical sensors in a rapid prototyping platform. In addition to being a piece of equipment developed in an economical way, it can be used by anyone without specific training, as it has been programmed to be viewed in a simple way on the LCD display, and also enables comparative analyzes since all data collected by the prototype are recorded in an online spreadsheet. Comparative tests of the reading of gasses emitted in samples of horse manure and poultry litter with the methane gas sensor were carried out. Similar reading patterns were found for model validation. The prototype shows promise and allows the development of a low-cost alternative equipment for research with greenhouse gas (GHG) emissions.

Keywords: Greenhouse effect. GHG's. Methane. gas sampler. Environmental prototype.

Introdução

O efeito estufa é a concentração de gases opacos à radiação eletromagnética que retém o calor emitido pela superfície antes que ele alcance o espaço exterior, contudo a alta concentração destes gases ocasionaria na elevação da temperatura do planeta, tendo em vista que a radiação está sendo retida e não dispersa. (GOODY; WALKER, 1996). Sendo as mudanças climáticas a principal consequência do efeito estufa, e foi considerado um dos maiores desafios do século XXI por provocar perdas socioeconômicas, ambientais e afetar a saúde da população global (LEITE; DEBONE; MIRAGLIA, 2020).

O metano (CH_4) é um gás de efeito estufa (GEE's), conjuntamente com o gás carbônico (CO_2) e óxido nitroso (N_2O), é um grande contribuinte para o aquecimento global, sendo ele um composto que apresenta um rápido aumento por ano na atmosfera proveniente de atividades humanas (MANAHAN, 2013). O metano está diretamente ligado à agropecuária, já que 76,1% das emissões de CH_4 provêm da agropecuária, e 5,4% provêm do uso da terra e mudanças no uso da terra e florestas (BRASIL, 2021). Tendo em vista o dado sobre a principal fonte emissora de metano é possível entender seu grande impacto devido que o Brasil possui o segundo maior rebanho bovino do mundo e também o primeiro maior rebanho comercial (BARBOSA et al., 2015). O metano também possui potencial de aquecimento global 25 vezes maior que o dióxido de carbono (MACHADO et al., 2011).

Uma das problemáticas presentes nos estudos relacionados ao efeito-estufa é a falta de recursos para medição e coleta dos dados das emissões de gases. Isso motiva o desenvolvimento de soluções tecnológicas para equipamentos de medição. Os equipamentos de amostragem de emissões de gases de efeito estufa encontram-se bastante escassos, e os disponíveis atualmente no mercado possuem custos elevados, o que dificulta o acesso aos pesquisadores e instituições. Além de serem relativamente grandes e pesados, dificultando o transporte, dando uma maior ênfase nessa dificuldade em casos da análise ser comparativa, ou seja, em diferentes locais avaliados. Contudo, o protótipo desenvolvido a partir deste trabalho,

apresenta-se de forma simples e funcional, possuindo baixo custo e ofertando fácil leitura dos dados obtidos pelo amostrador. Em muitos países a preocupação com o monitoramento dos gases poluentes já vem sendo constante, motivando desenvolvimento científico para soluções e equipamentos de medição (STEFAN; FERREIRA; SOUSA, 2020). Nesse contexto, o desenvolvimento de alternativas para medição de gases de efeito estufa (GEE's) com baixo custo e fácil operação é importante para ampliar estudos de monitoramento e diagnósticos de emissão dos gases e seus efeitos ambientais.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi desenvolver e testar um protótipo para leitura de metano (CH_4) a partir de uma plataforma *Open Source*.

Material e métodos

1. Desenvolvimento do protótipo

A organização e construção do protótipo cuja função é medir a emissão de gases de efeito estufa, metano, a partir de amostragens teste foi desenvolvida com plataforma ESP 32, sensores de metano, umidade e temperatura, display e banco de dados, fig. 1.

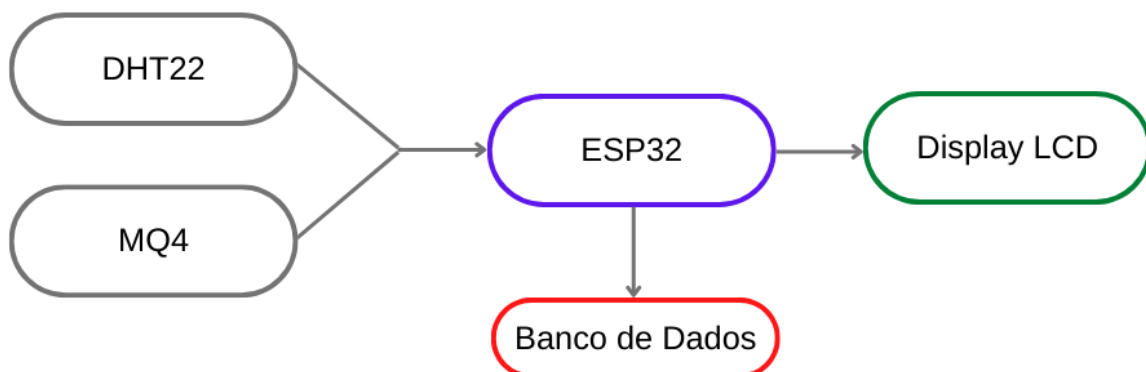


Figura 1 - Diagrama ilustrativo do amostrador de gás metano desenvolvido.
Fonte: Autor.

1. 2 Estrutura do protótipo

ESP-32

ESP32 é um microcontrolador onde se processa toda a programação do protótipo. O módulo ESP-32 possui alta performance para aplicações envolvendo wifi, contando com um baixo consumo de energia. Com 4 MB de memória *flash*. (FILIPEFLOP, 201-).

Módulo Sensor MQ-4

O sensor de gás MQ-4 possui alta sensibilidade ao Metano. O material sensível do sensor de gás MQ-4 é o SnO_2 , com menor condutividade em ar limpo. Quando existe gás combustível alvo, a condutividade do sensor é mais alta junto com a concentração de gás (HANWEI ELECTRONICS, 201-).

Módulo Sensor DHT22

O módulo digital de temperatura e umidade do sensor de umidade capacitivo AM2302 contém o composto que foi calibrado com saída de sinal digital dos sensores de temperatura e umidade. O sensor inclui um sensor capacitivo molhado componentes e dispositivos de medição de temperatura de alta precisão, e conectado com um desempenho microcontrolador de 8 bits. Cada sensor é uma calibração de câmara de calibração de umidade. Possui tamanho pequeno, baixo consumo de energia e distância de transmissão de sinal de até 20 metros (AOSONG [REDACTED])

Display LCD 20x4

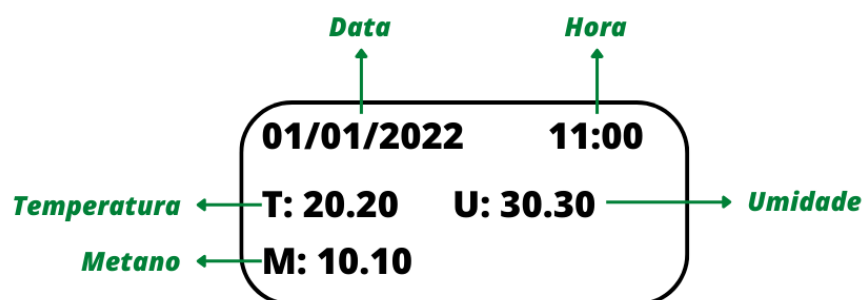


Figura 2 - Imagem ilustrativa exemplo dos dados exibidos no *display*.
Fonte: Autor.

O *display* LCD (*Liquid Crystal Display* — *Display* de Cristal Líquido) é um visor onde os dados captados pelos sensores e processados pela ESP32 são

exibidos, oferecendo acesso aos dados imediatamente após a coleta, como mostra no exemplo da figura 2.

Montagem Final

Foi necessário conectar os sensores e o display na placa ESP32 utilizando fio de conexão, seguindo o esquema de ligação definido no modelo.

Para que o dispositivo realize as funções desejadas, foi também necessário criar o programa para controlar todas as ações, sendo realizada a implementação do software. Para isso foi utilizada a linguagem de programação C++ e bibliotecas que contém as instruções para a leitura dos dados dos sensores, exibição de dados no display, conexão e envio de dados para a internet. O processo de implementação seguiu um modelo iterativo e incremental, onde uma funcionalidade foi especificada, implementada e testada.

Obtenção da Concentração dos Gases

O microcontrolador ESP-32 executa a programação para determinar o valor da concentração dos gases obtidos, para isso a cada intervalo de 10 segundos o protótipo recolhe os dados. A média proporciona mais precisão na hora da análise dos resultados, pois evita erros de picos causados devido às circunstâncias adversas, como vento ou movimentos bruscos.

Funcionamento

Para o funcionamento do protótipo é necessário conexão a uma fonte de alimentação, neste caso foi utilizado um cabo USB, conectado a um computador, mas pode também ser ligado diretamente à uma tomada e estar conectado à uma rede Wi-Fi.

Banco de Dados

O banco de dados utilizado foi a plataforma de desenvolvimento Firebase, onde todos os dados recolhidos pelo protótipo foram encaminhados para uma planilha na plataforma. Com isso gerou funcionalidade durante os testes, pois o mesmo oferece uma planilha onde especifica os dados recolhidos do gás CH_4 , da temperatura e umidade além do horário da coleta.

2. Preparo das amostras

Foram utilizadas amostras de cama de frango e esterco de equino para testar a leitura de gás metano (CH_4). As amostras de cama de frango e esterco foram pesadas com 100 g por amostra umedecidas com três repetições em frascos de vidro hermeticamente fechados. Posteriormente as amostras foram incubadas em estufa a 28°C por 504 horas para estimular a produção de gás metano.



Figura 3 - Amostras de 100g de cama de frango e esterco equino na estufa a 28°C .
Fonte: Autor.



Figura 4 - Amostras de 100g de cama de frango e esterco equino na estufa a 28°C.
Fonte: Autor.

2.1 1° Teste de leitura de gases das amostras

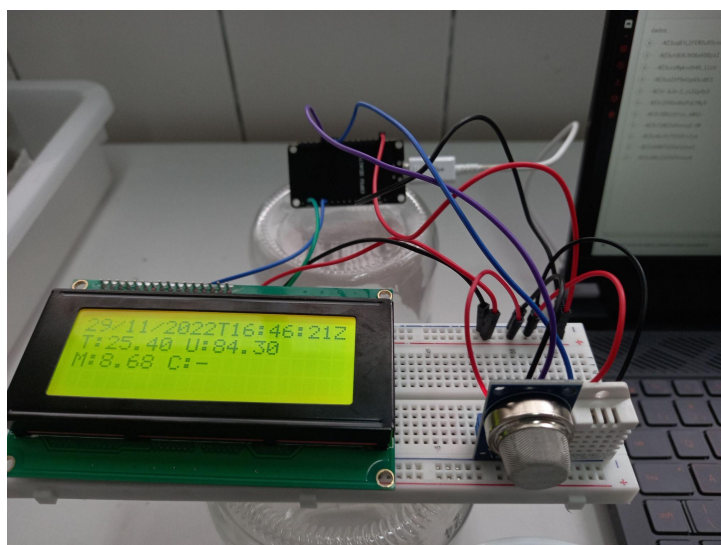


Figura 5 - Protótipo coletando dados do ambiente plugado em um notebook.
Fonte: Autor.

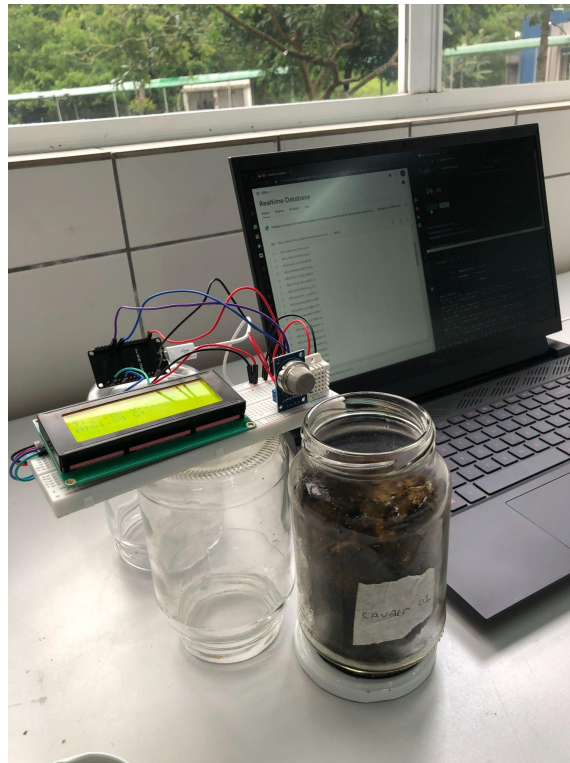


Figura 6 - Primeiro teste realizado com as amostras após permanecerem na estufa durante 21 dias.
Fonte: Autor.



Figura 7 - Aproximação da amostra aos sensores após 40 segundos de coleta de dados.
Fonte: Autor.

Foi realizado o primeiro teste com todas as amostras após terem permanecido 21 dias incubadas na estufa a 28°C, totalizando cerca de 504 horas. Na figura 5 mostra o funcionamento do protótipo coletando dados do

ambiente, o mesmo estava plugado como fonte de alimentação em um *notebook* por um cabo USB. Conforme mostrado na figura 6 desde o início da coleta de dados até seus 40 segundos a amostra manteve-se nessa distância dos sensores, ao visualizar a figura 7 é visto que se aproxima a amostra dos sensores depois de 40 segundos até que complete 2 minutos de coleta dos dados.

2.2 2º Teste de leitura de gases das amostras

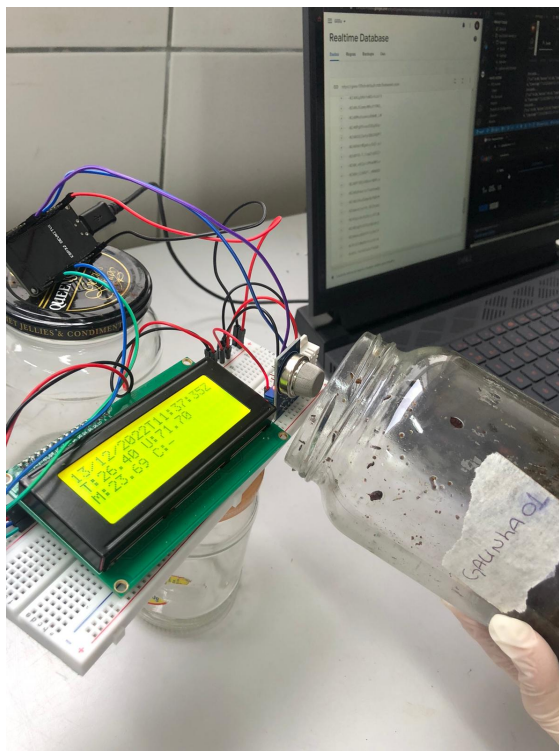


Figura 8 - 2ª fase dos testes com amostras após permanecerem mais 14 dias na estufa.
Fonte: Autor.



Figura 9 - 2ª fase do teste com amostras.
Fonte: Autor.

No segundo teste, diferente do primeiro, foram mantidas as amostras mais próximas dos sensores por dois minutos cada uma, para evitar a oscilação dos números coletados na planilha.

Resultados

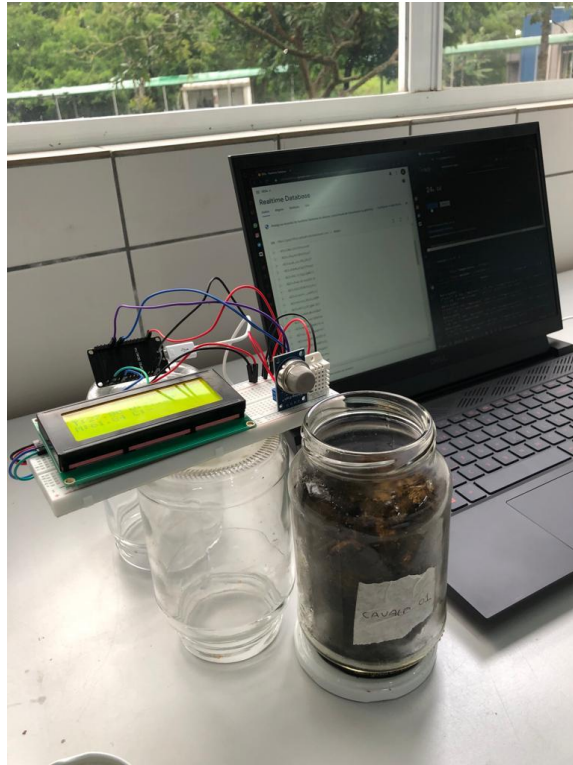


Figura 10 - 1ª fase do teste com amostras.
Fonte: Autor.

Na primeira fase do teste, onde a amostra manteve-se na distância do protótipo que mostra na figura 8, houve um aumento na emissão de metano coletado comparado quando o sensor estava coletando do ambiente.

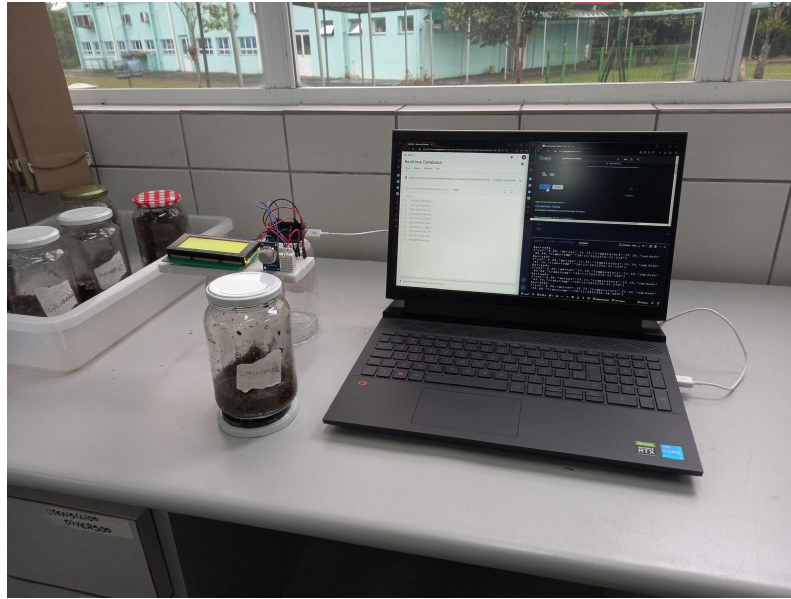


Figura 11 - Protótipo plugado no *notebook*.
Fonte: Autor.

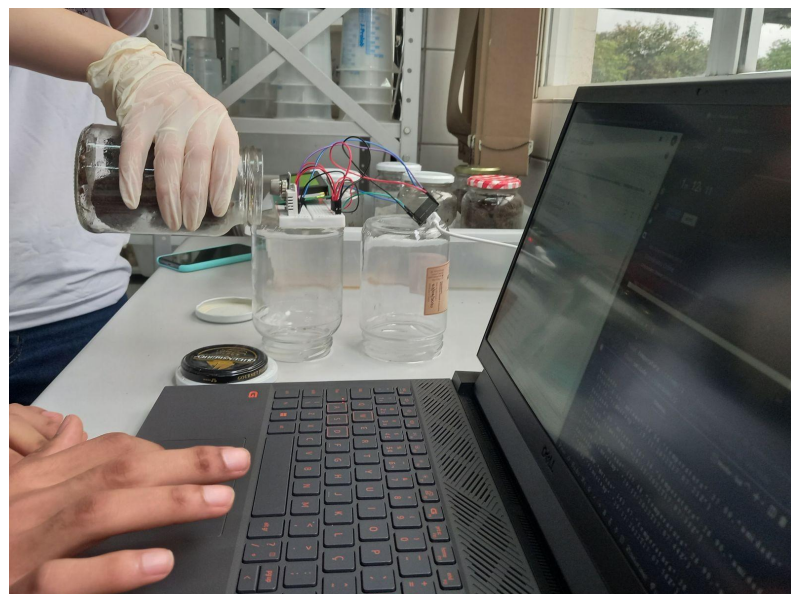


Figura 12 - 2ª fase do teste com amostras.
Fonte: Autor.

Na segunda fase do teste após 40 segundos de coleta dos dados da amostra, quando a amostra é aproximada dos sensores há um pico gerado ocasionando um valor maior, porém a partir da segunda coleta, o protótipo começa a recolher dados mais precisos que ficam semelhantes a cada 10 segundos, resultando em uma média.

Conforme a figura 9, foi cronometrado pelo computador o tempo da amostragem, e visto o histórico dos dados sendo obtidos pelo protótipo no notebook, o qual o protótipo estava plugado.

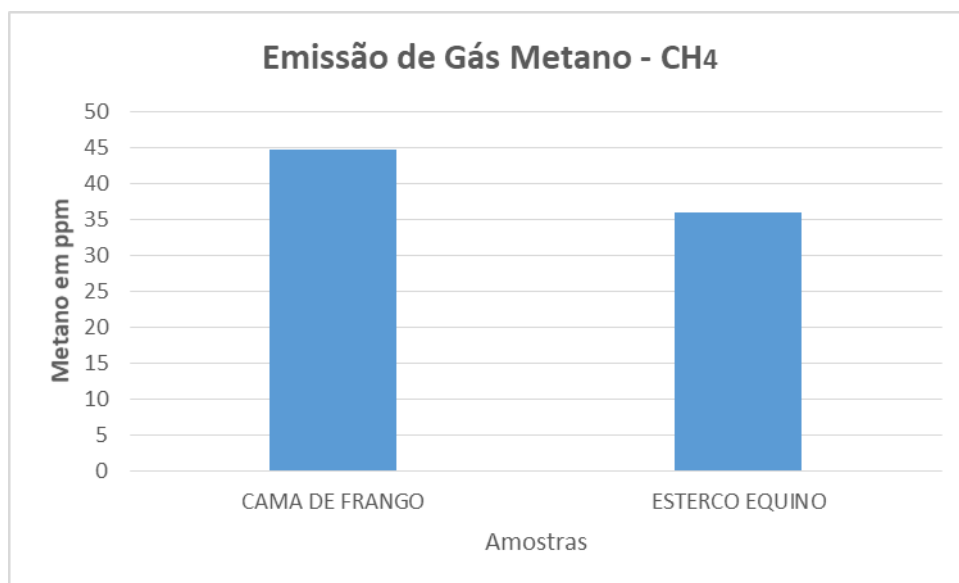


Figura 14 - Gráfico dos resultados das emissões de CH₄ na 1ª fase dos testes.
Fonte: Autor.

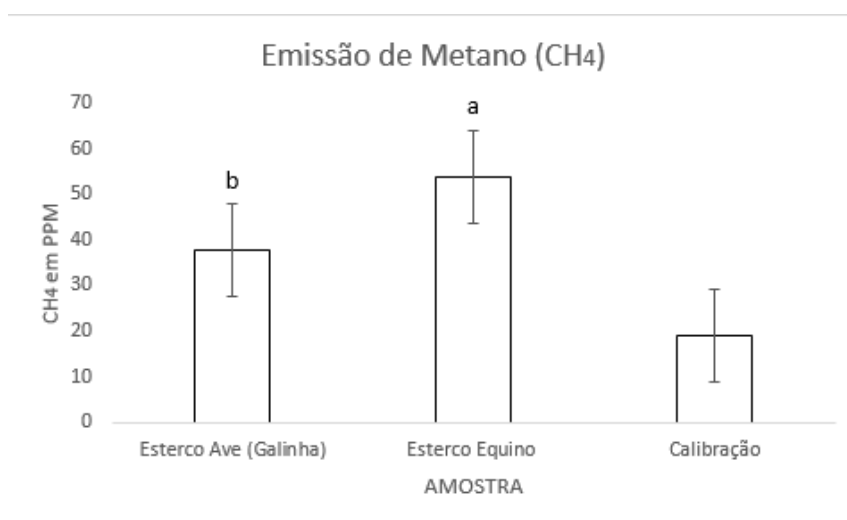


Figura 15 - Gráfico dos resultados das emissões de CH₄ na 2ª fase dos testes.
Fonte: Autor.

Foram realizados em cada fase seis testes, sendo três de cama de galinha e três de esterco equino, contendo cerca de 16 coletas de dados para cada amostra, resultando em cerca de 96 coletas no total. Tendo uma planilha gerada pela plataforma de desenvolvimento *Firestore* com todos os dados recolhidos das amostragens feitas no teste, gerou-se um gráfico onde é

possível identificar o nível de emissão de metano das amostras conforme a figura 14 e 15.

Na figura 14 é visto que as amostragens feitas com cama de frango alcançaram uma média de 45 ppm (partes por milhão), já as amostragens feitas com esterco equino alcançaram uma média de 35 ppm.

Na figura 15 é visto que as amostragens feitas com cama de frango alcançaram uma média de 35 ppm, já as amostragens feitas com esterco equino alcançaram uma média de 50 ppm.

Discussão

No projeto realizado por Calderón e González (2018) foi utilizado o sensor de Metano TGS 3870-F00, enquanto no presente trabalho foi utilizado o sensor de Metano MQ-4.

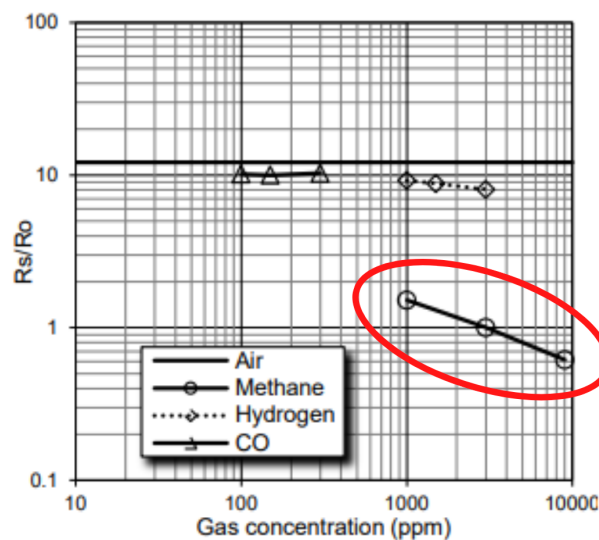


Figura 16: Curva característica Sensor TGS 3870-F00

Fonte: FIGARO, 2022.

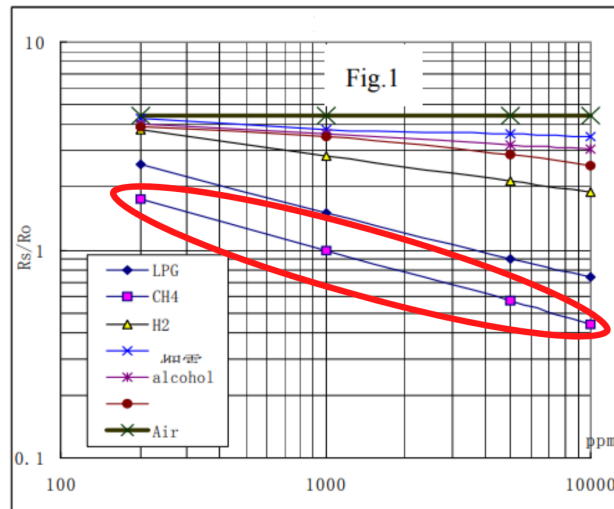


Figura 17: Curva característica Sensor MQ-4

Fonte: HANWEI ELECTRONICS, 201-.

Conforme as figuras 16 e 17 é possível verificar a curva característica de ambos sensores, entende-se que o sensor MQ-4 (figura 17) pode realizar menores operações a partir de 300 ppm com relação ao sensor TGS 3870-F00 (figura 16) que opera apenas a partir de 1000 ppm. Ou seja, o sensor utilizado no presente trabalho pode captar a emissão de metano em menor quantidade comparado ao sensor TGS 3870-F00.

Model number		TGS3870-F00	
Sensing principle		MOS type	
Standard package		Plastic base and metal can	
Target gases		Methane and Carbon Monoxide	
Typical detection range		Methane 1~25% LEL Carbon monoxide 50~1,000ppm	
Standard circuit conditions	Heater voltage	V_H	$V_{HH} = 0.9V \pm 3\%$ for 5 sec. $V_{HL} = 0.2V \pm 3\%$ for 15sec.
	Circuit voltage	V_C	$5.0 \pm 0.2V$ DC pulse (refer to Technical Information for TGS3870-F00)
	Load resistance	R_L	variable ($>0.75k\Omega$)
Electrical characteristics under standard test conditions	Heater resistance	R_H	$3\Omega \pm 0.3\Omega$ at room temp.
	Heater power consumption	P_H	120mW $V_{HH} = 0.9V$ DC
			11mW $V_{HL} = 0.2V$ DC
			38mW average
	Sensor resistance	R_S	$0.3k\Omega \sim 5.0k\Omega$ in 3000ppm methane
			$2k\Omega \sim 40k\Omega$ in 200ppm CO
Standard test conditions	Sensitivity (change ratio of R_S)	β	$0.44 \sim 0.7$ $\frac{R_S(3000ppm CH_4)}{R_S(1000ppm CH_4)}$
			$0.3 \sim 0.8$ $\frac{R_S(300ppm CO)}{R_S(200ppm CO)}$
	Test gas conditions	Target gas in air at $20 \pm 2^\circ C$, $65 \pm 5\% RH$	
Standard test conditions	Circuit conditions	$V_{HH} = 0.9V \pm 2\%$ for 5 sec. $V_{HL} = 0.2V \pm 2\%$ for 15 sec. $V_C = 5.0 \pm 0.02V$ DC pulse (refer to Technical Information for TGS3870-F00)	
	Preheating period before test	≥ 5 days	

Figura 18: Especificações Sensor TGS 3870-F00

Fonte: FIGARO, 2022.

Model No.		MQ-4	
Sensor Type		Semiconductor	
Standard Encapsulation		Bakelite (Black Bakelite)	
Detection Gas		Natural gas/ Methane	
Concentration		300-10000ppm (Natural gas / Methane)	
Circuit	Loop Voltage	V_C	$\leq 24V$ DC
	Heater Voltage	V_H	$5.0V \pm 0.2V$ AC or DC
	Load Resistance	R_L	Adjustable
Character	Heater Resistance	R_H	$31\Omega \pm 3\Omega$ (Room Tem.)
	Heater consumption	P_H	$\leq 900mW$
	Sensing Resistance	R_S	$2K\Omega \sim 20K\Omega$ (in 5000ppm CH_4)
	Sensitivity	S	$R_S(\text{in air})/R_S(5000ppm CH_4) \geq 5$
	Slope	α	$\leq 0.6(R_{5000ppm}/R_{3000ppm CH_4})$
Condition	Tem. Humidity	$20^\circ C \pm 2^\circ C$; $65\% \pm 5\% RH$	
	Standard test circuit	$V_C: 5.0V \pm 0.1V$; $V_H: 5.0V \pm 0.1V$	
	Preheat time	Over 48 hours	

Figura 19: Especificações Sensor MQ-4

Fonte: HANWEI ELECTRONICS, 201-.

Seguindo as figuras 18 e 19, no campo “condições” é possível identificar o tempo necessário para que o sensor comece a detectar valores reais e precisos, logo, o sensor TGS 3820-F00 demora cerca de 5 dias - 120 horas,

enquanto o sensor MQ-4 demora cerca de 2 dias - 48 horas. No campo de consumo nas especificações dos sensores, o sensor MQ-4 consome cerca de 900mW, enquanto o sensor TGS 3870-F00 consome apenas cerca de 38mW, concluindo que o sensor TGS 3870-F00 é mais econômico em recursos comparado ao sensor MQ-4, porém sua precisão e sensibilidade é menor com relação ao MQ-4, visto no campo “detecção de resistência”.

Nos objetivos do presente trabalho, é pressuposto o desenvolvimento de um amostrador de gases de efeito estufa de baixo custo, contudo o sensor MQ-4 custa cerca de R\$21,90, enquanto o sensor TGS 3870-F00 presente no trabalho de Calderón e González (2018) custa cerca de R\$700,06.

Conclusões

O protótipo se mostrou eficiente pois houve diferença nos dados com relação ao ambiente e as amostras. O mesmo poderá ser amplificado, com mais sensores de gases de efeito estufa. O protótipo cumpre com o objetivo de possuir custo menor com relação a outros equipamentos com a mesma funcionalidade.

Referências bibliográficas

GOODY, Richard M.; WALKER, J. C. G.. **Atmosferas Planetárias**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1996.

In: BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Brasília, DF, 2021. cap. 2, p. 80-181.

LEITE, Vinicius Pazini; DEBONE, Daniela; MIRAGLIA, Simone Georges El Khouri. **Emissões de gases de efeito estufa no estado de São Paulo: análise do setor de transportes e impactos na saúde**. Vittalle - Revista de Ciências da Saúde, [S.L.], v. 32, n. 3, p. 143-153, 22 dez. 2020. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/vittalle.v32i3.12220>. Disponível em: <https://periodicos.furg.br/vittalle/article/view/12220>. Acesso em: 02 ago. 2022.

MANAHAN, Stanley E.. **Química Ambiental**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman Editora Ltda, 2013.

BARBOSA, Fabiano Alvim *et al.* **Cenários para a Pecuária de Corte Amazônica**. Belo Horizonte: Editora Igc, 2015. Disponível em: https://csr.ufmg.br/pecuaria/wp-content/uploads/2015/03/relatorio_cenarios_para_pecuaria_corte_amazonica.pdf. Acesso em: 25 out. 2022.

MACHADO, Fernanda Samarini *et al.* **Emissões de metano na pecuária: conceitos, métodos de avaliação e estratégias de mitigação**. Juiz de Fora: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2011. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/895247/1/Doc147Emissoesmetano.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2022.

STEFAN, Igor Alexandre; FERREIRA, Paulo Ixtânio Leite; SOUSA, Aldeni Sudário. Protótipo de medidor de gases poluentes usando tecnologia de baixo custo. **Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, João Pessoa, n. 49, p. 31-42, jun. 2020. ISSN 2447-9187. Disponível em: <<https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/3872>>. Acesso em: 01 ago. 2022. doi:<http://dx.doi.org/10.18265/1517-03062015v1n49p31-42>.

FILIPEFLOP. **Módulo WiFi ESP32 Bluetooth**. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/modulo-wifi-esp32-bluetooth/#tab-description>. Acesso em: 04 nov. 2022.

HENAN HANWEI ELECTRONICS. **MQ-4 Semiconductor Sensor for Natural Gas**. Disponível em: https://www.filipeflop.com/img/files/download/Datasheet_Sensor_Gas_MQ4.pdf. Acesso em 04 nov. 2022.

AOSONG ELETRONICS. **DHT 22 Temperature and Humidity Module.**

Disponível em:

https://www.filipeflop.com/img/files/download/Datasheet_DHT22_AM2302.pdf.

Acesso em: 04 nov. 2022.

CALDERÓN, Antonio José; GONZÁLEZ, Isaías. Biogas Analyzer Based on Open Source Hardware: Design and Prototype Implementation. **Ifsa Publishing**, Badajoz, v. 220, p. 31-36, 28 fev. 2018. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/329842049_Biogas_analyzer_based_on_open_source_hardware_Design_and_prototype_implementation. Acesso em:

11 jan. 2023.

FIGARO. **TGS 3870-F00 - for the detection of both Methane and Carbon Monoxide.** Disponível em:

https://www.figarosensor.com/product/docs/tgs3870-f00_product%20information%28fusa%29_rev03.pdf. Acesso em: 11 jan. 2023.

RS InfoZone. **Figaro TGS3870-B00, Carbon Monoxide, Methane Air Quality Sensor for Combination Methane & Carbon Monoxide Detectors.**

Disponível em:

<https://br.rsdelivers.com/product/figaro/tgs3870-b00/figaro-tgs3870-b00-carbon-monoxide-methane-air-for/1346655>. Acesso em 29. jan. 2023.

MAKERHERO. **Sensor de Gás MQ-4 Metano.** Disponível em:

<https://www.makehero.com/produto/sensor-de-gas-mq-4-metano/>. Acesso em:

2 fev. 2023.