



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA MESTRADO
ACADÊMICO EM AGROENERGIA

FELIPE CALIXTA OLIVEIRA

**ELABORAÇÃO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO COMPOSTO POR
SENSORES E COMPONENTES ELETRÔNICOS POR MEIO DA PLATAFORMA
ARDUINO PARA ACOMPANHAMENTO DE CARACTERÍSTICAS
ESPECÍFICAS DO BIOGÁS**

PALMAS - TO

2023

FELIPE CALIXTA OLIVEIRA

**ELABORAÇÃO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO COMPOSTO POR
SENSORES E COMPONENTES ELETRÔNICOS POR MEIO DA PLATAFORMA
ARDUINO PARA ACOMPANHAMENTO DE CARACTERÍSTICAS
ESPECÍFICAS DO BIOGÁS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agroenergia, da Universidade Federal do Tocantins, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Agroenergia.

Orientadora: Prof^a Dr^a. Yolanda Vieira de Abreu.

PALMAS - TO

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

O48e Oliveira, Felipe Calixta.

Elaboração de um sistema de monitoramento composto por sensores e componentes eletrônicos por meio da plataforma Arduino para acompanhamento de características específicas do biogás. / Felipe Calixta Oliveira. – Palmas, TO, 2023.

61 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em Agroenergia, 2023.

Orientadora : Yolanda Vieira de Abreu

1. Biogás. 2. Matéria orgânica. 3. composição do biogás. 4. Arduino. I. Título

CDD 333.7

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FELIPE CALIXTA OLIVEIRA

**ELABORAÇÃO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO COMPOSTO POR
SENSORES E COMPONENTES ELETRÔNICOS POR MEIO DA
PLATAFORMA ARDUINO PARA ACOMPANHAMENTO DE
CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DOBIOGÁS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agroenergia, da Universidade Federal do Tocantins, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Agroenergia.

Data de aprovação: 24 / 02 / 2023

Banca Examinadora



Prof.^a. Dr.^a. Yolanda Vieira de Abreu (presidente da comissão)

PPGA- UFT



Prof. Dr. Joel Carlos Zukowski Junior (Examinador interno)

PPGA- UFT



Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza (examinador externo)

IFTO

Palmas, 2023

*Dedico esse trabalho primeiramente a Deus
e a todos que contribuíram de alguma forma
para a conclusão do mesmo*

AGRADECIMENTOS

Ao observar de onde eu vim, e onde cheguei não poderia deixar de agradecer a Deus em primeiro lugar, por ter conseguido algo tão grandioso quanto o título de Mestre, sem Ele nada disso seria possível.

Gostaria de agradecer em especial a Profa. Dra. Flávia Lucila Tonani Siqueira minha primeira orientadora, que me apoiou em todas as decisões e sempre esteve a frente da coordenação com muito engajamento e responsabilidade.

Agradeço a Prof^a Dra. Yolanda Vieira de Abreu minha querida orientadora que é uma profissional excepcional e bastante comprometida com o meio científico.

Agradeço a família pelo dom da vida, e ao meu amigo Gerlon Paes por todo o apoio em um ano muito difícil.

Agradeço ao Jhonathan Morais Resplandes por todo o apoio e por ter me incentivado a entrar no mundo da pesquisa científica, jamais estaria aqui sem ele, essa conquista também é sua obrigado por tudo, hoje e sempre.

RESUMO

Objetivou-se neste trabalho verificar a eficiência de um dispositivo eletrônico composto por uma série de sensores capazes de aferir a composição presente no biogás. Em primeiro momento foi necessário construir um biodigestor com 200 litros de capacidade com finalidade de abrigar dentro do biodigestor matéria orgânica proveniente de dejetos de bovinos coletados em uma propriedade particular. Os sensores possuem características resistivas, ou seja, conforme a resistência do material impede a passagem de corrente elétrica o sensor é capaz de medir a variação da concentração de gás, é importante ressaltar que as medições foram feitas em um ambiente limpo e controlado para uma maior precisão. Após gerar o biogás no biodigestor o sensor foi utilizado com o auxílio da câmara de gás, após esse procedimento foi realizado um segundo experimento com Alfakit da EMBRAPA com a finalidade de comparar as concentrações de gás metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) tais gases representam a maior parte da composição do biogás, sendo o metano o mais importante. Após realizar a comparação foi possível verificar que o sensor é promissor tendo em vista os resultados apresentados pelo Alfakit, sendo a variação dos resultados mínima ao comparar os dois métodos.

Palavras-chaves: Biogás, Matéria orgânica, composição do biogás, Arduino.

ABSTRACT

The objective of this work was to verify the efficiency of an electronic device composed of a series of sensors capable of measuring the composition present in biogas. At first, it was necessary to build a biodigester with a capacity of 200 liters in order to house inside the biodigester organic matter from cattle manure collected on a private property. The sensors have resistive characteristics, that is, as the resistance of the material prevents the passage of electric current, the sensor is able to measure the variation in gas concentration. precision. After generating the biogas in the biodigester, the sensor was used with the aid of the gas chamber, after this procedure a second experiment was carried out with Alfakit from EMBRAPA in order to compare the concentrations of methane gas (CH₄) and carbon dioxide (CO₂) such gases represent most of the biogas composition, with methane being the most important. After performing the comparison, it was possible to verify that the sensor is promising in view of the results presented by Alfakit, with minimal variation in the results when comparing the two methods.

Keywords: Biogas, Organic matter, biogas composition, Arduino.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema das etapas bioquímicas presentes no processo de biodigestão, com indicação das reações específicas existentes em cada etapa.	20
Figura 2 - Biodigestor modelo indiano.....	22
Figura 3 - Arduino Mega.....	24
Figura 4 - Componentes dos sensores da família MQ-x	25
Figura 5 - Circuito elétrico de um sensor MQ.....	26
Figura 6 - Representação do circuito divisor de tensão.....	26
Figura 7 - Sensores MQ 135 e MQ 4	27
Figura 8 – Reação do sensor MQ-4 diante de diferentes gases	28
Figura 9- Reação do sensor MQ-135 diante de diferentes gases.....	29
Figura 10 - Regressão não linear dos pontos do datasheet do sensor MQ-04	30
Figura 11 - Reação do sensor MQ-4 diante de diferentes gases.....	31
Figura 12 - Protoboard e cabos de conexão.....	33
Figura 13 - LED's	33
Figura 14 - Localização do local de realização do experimento	34
Figura 15 - Fluxograma experimento	37
Figura 16 - Protótipo de análise de gás	38
Figura 17 - Biodigestor e sistema de análise de gás	39
Figura 18 - Alfakit Embrapa para análise de biogás	39
Figura 19 - Acessórios para experimento 2.....	40
Figura 20 - Conjunto de conexão para coleta de biogás.....	41
Figura 21 - Amostrador para coleta de biogás.....	42
Figura 22 - Seringa coletora	42
Figura 23 - Válvula aberta e válvula fechada.....	43
Figura 24 - Procedimento para agitar o reagente.....	43
Figura 25 - Resultado de amostras do experimento	44
Figura 26 - Posição da válvula de conexão	45
Figura 27 - Seringas e kit de medição de gás carbônico e metano	46
Figura 28 - Procedimento de visualização da concentração de gás.....	47
Figura 29 - Modelo do biodigestor	48
Figura 30 - Modelo do biodigestor	49
Figura 31 - Coleta de resíduos.....	50
Figura 32 - Mistura do substrato	50
Figura 33 - Regressão do percentual de Amônia (NH ₃) em biogás monitorado com Alfakit Embrapa®, p < 0,05.....	53
Figura 34 - Regressão do percentual de Sulfeto de Hidrogênio (H ₂ S) em biogás monitorado com Alfakit Embrapa®, p < 0,05.....	54
Figura 35 - Médias e erro-padrão das médias do percentual de Metano (CH ₄) mensurado com diferentes protocolos de determinação, p > 0,05.....	54
Figura 36 - Médias e erro-padrão das médias do percentual de Gás Carbônico (CO ₂) mensurado com diferentes protocolos de determinação, p > 0,05.....	55

Figura 37 - Médias e erro-padrão das médias do percentual de Metano (CH ₄) mensurado com diferentes protocolos de determinação e distintos tempos de amostragem. Barras acompanhadas por asterisco (*) diferem entre si ($p < 0,05$) em cada dia de amostragem	55
Figura 38 - Médias e erro-padrão das médias do percentual de Gás Carbônico (CO ₂) mensurado com diferentes protocolos de determinação e distintos tempos de amostragem. Barras acompanhadas por asterisco (*) diferem entre si ($p < 0,05$) em cada dia de amostragem	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Potencial de geração de biogás a partir de diferentes resíduos orgânicos animais.....	23
Tabela 2 – Resultados para o experimento realizado com o Alfakit EMBRAPA.....	51
Tabela 3 – Resultados para o experimento realizado com o protótipo.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PPGA	Programa de Pós-Graduação em Agroenergia
UFT	Universidade Federal do Tocantins
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de carbono
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
VC	Tensão de alimentação do sensor
VH	Tensão de alimentação do aquecedor
RL	Resistência de carga
VRL	Tensão da resistência de carga
GND	Referência de tensão
RO	Resistência medida
ROF	Resistência corrigida
RS/ROAR	Razão constante fornecida pelo datasheet
NH ₄	Amônia
H ₂ S	Ácido Sulfídrico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Justificativa	17
2 OBJETIVOS	18
2.1 Geral.....	18
2.2 Especifico.....	18
3 REFERÊNCIAL TEÓRICO	19
3.1 O funcionamento do biodigestor e geração do biogás.....	19
3.2 Condições de funcionamento	19
3.2.1 Condições de temperatura	19
3.2.2 Etapa de formação do biogás.....	19
3.3 Biofertilizante e potencial geração de eletricidade.....	21
3.4 Biodigestor	21
3.5 Potencial de geração de biogás em resíduos distintos	22
3.6 Componentes e Arduino.....	23
3.6.1 Placa Arduino Mega.....	23
3.6.2 Sensores MQ	24
3.6.3 Sensor MQ-4	27
3.6.4 Sensor MQ-135	28
3.7 Calibração e aferição da concentração de gases.....	29
3.8 Componentes secundários e de monitoramento	32
4 MATERIAIS E MÉTODOS	33
4.1 Local do experimento.....	33
4.2 Materiais.....	34
4.2.1 Materiais do dispositivo eletrônico	34
4.2.2 Materiais disponíveis no Alfakit	35
4.3 Metodologia	36
4.3.1 Experimento utilizando dispositivo eletrônico.....	36
4.3.4 Experimento utilizando Alfakit.....	39
4.3.5 Construção do biodigestor.....	48
4.5 Análise de dados.....	50
5 RESULTADOS.....	51
5.1 Metodologia de análise estatística.....	53
5.1.2 Análise e percepções	53

6 CONCLUSÃO	57
REFERENCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o desenvolvimento econômico e tecnológico da civilização provocou um aumento na demanda de produção de energia e de combustíveis, tal desenvolvimento foi patrocinado em sua maioria pela utilização de combustíveis fósseis. Todavia, os problemas em torno da variação do preço de fontes fósseis e até mesmo fatores relacionados a finitude do mesmo contribuiu para a exploração de fontes de geração alternativas, diante do cenário, as chamadas fontes renováveis, iniciaram um processo emersão, a biomassa ganha destaque a cada ano e se expõe em condição de evidência na atualidade (PRINCIVAL, 2016).

Dentre as fontes alternativas se encontra o biogás, tal gás é subproduto da decomposição de matéria orgânica, através de bactérias anaeróbias, o processo de geração do biogás envolve equipamentos específicos onde a matéria se decompõe em um dispositivo onde é vedada a entrada de oxigênio, essa prática minimiza impactos ambientais e a liberação de gases nocivos ao meio ambiente, como o Metano (CH_4) (FERREIRA, 2013).

O biogás é composto de uma série de gases, porém os que apresentam maiores concentrações são: Metano (CH_4). e dióxido de carbono (CO_2). Para um bom aproveitamento do gás é preciso que a quantidade de metano presente no gás seja satisfatória, pois esse gás é o responsável pelo poder calorífico do biogás. A concentração de cada gás presente no biogás depende de alguns quesitos, tais como: biodigestor utilizado, temperatura, umidade e tipo de substrato. Para que o gás possa ser utilizado em quaisquer que seja a fonte de conversão é preciso monitorar sua composição química e poder calorífico, para que o sistema funcione corretamente (SOUZA, 2019).

Diante da necessidade de realizar o controle das características do biogás, o presente projeto tem como finalidade desenvolver um equipamento (*Hardware e software*) composto por sensores e componentes eletrônicos, módulos e placa programação da plataforma Arduino, o sistema terá capacidade de determinar a presença de Gás metano (CH_4) e Dióxido de carbono (CO_2) fatores bastante importantes no processo de geração de biogás.

Com a instalação do módulo contendo os sensores a hipótese é que exista possibilidade de analisar o processo de geração do gás, de forma mais rápida e reduzindo custos mediante processos de análise mais complexos (OLIVEIRA, 2018).

O problema de pesquisa gira em torno de: existe a possibilidade de analisar o biogás e seu meio de geração por meio de componentes eletrônicos, de forma a obter dados em tempo ágil, onde a análise de tais dados possibilite tomada de providências de correção em dispositivos de produção biogás (PRINCIVAL, 2016).

Segundo Rodrigues (2019), com a implantação do sistema em biodigestores espera-se que sejam inúmeras as contribuições, pois o cenário atual da Agroenergia mediante movimentos como a agricultura 4.0 impõe o desenvolvimento tecnológico em processos de obtenção de biocombustíveis assim como monitoramento de processos relacionados ao agronegócio. O implemento do dispositivo pode proporcionar uma série de benefícios tais como:

- Avaliação dos gases compostos no biogás, principalmente o metano (CH_4), que demonstra o poder calorífico e possibilita a viabilização ou não do gás gerado para processos de conversão de energia.
- Possibilitar testes com diversidades de substrato, ou seja, analisar interferência das características do substrato assim como os tratamentos primários do mesmo, fatores, como tempo de fermentação, concentração de água e temperatura, podem ser analisados em diferentes substratos, contribuindo com resultados relevantes para a comunidade científica.
- Possibilitar providências corretivas no sistema de biodigestão, uma vez que a acidez da diminuição do metano presente no gás assim como alterações no pH, permitem ao operador tomar decisões quanto ao substrato utilizado e as condições internas do biodigestor.

1.1 Justificativa

Nas últimas décadas a tecnologia tem se mostrado bastante presente em praticamente todos os setores da sociedade, tais como: economia, educação, logística, entre outros, o implemento da tecnologia promove alterações significativas em qualquer que seja o segmento, causando modificações que favorecem o desenvolvimento coletivo. O agronegócio assim como a Agroenergia se encontram em crescimento em países como o Brasil, onde as possibilidades de desenvolvimento e de emprego de processos tecnológicos em meio ao campo se mostram altamente viáveis.

Diante dos fatos surge à necessidade da integração de tecnologia, seja por hardwares ou por softwares, tais sistemas possibilitam aperfeiçoar processos relacionados à produção de biocombustíveis, assim como a indústria se desenvolveu, a agricultura também segue para o mesmo caminho e com ótimas perspectivas.

Tendo em vista que o desenvolvimento de tecnologias que auxiliem e otimizem processos na Agroenergia é a nova tendência do futuro, o dispositivo apresentado neste projeto configura uma grande inovação para análise e acompanhamento da produção de biogás, utilizando equipamentos de baixo custo e acessíveis a toda a comunidade, logo se encaixa nas novas diretrizes da agroenergia, onde se busca uma associação mediante a tecnologia.

Um ponto a ser elevado em consideração é a dificuldade na análise de biogás por parte dos pesquisadores, mesmo utilizando equipamento de maior confiança o processo de coleta do biogás torna o processo suscetível a falhas, causando possibilidade de resultados errôneos, logo com a utilização do dispositivo eletrônico esses problemas podem ser resolvidos.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Elaborar um sistema de monitoramento composto por sensores e componentes eletrônicos por meio da plataforma Arduino para monitoramento de características específicas da concentração de metano e comparar os dados com os dados obtidos com o Alfakit de análise de biogás.

2.2 Especifico

- Realizar levantamento bibliográfico acerca do processo de produção de biogás e sobre os dispositivos eletrônicos e componentes do processo;
- Desenvolver dispositivo de monitoramento e código de funcionamento do mesmo;
- Construir um biodigestor para realização do experimento;
- Analisar a fração dos seguintes gases CH₄, CO₂ utilizando sensor eletroquímico e Alfakit da EMBRAPA;
- Analisar os dados obtidos e eficiência do protótipo proposto;
- Comparar os dados obtidos com um experimento realizado utilizando o Alfakit para análise de Biogás

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 O funcionamento do biodigestor e geração do biogás

O processo de geração do biogás se inicia com a coleta dos resíduos orgânicos. Tais resíduos são homogeneizados com água a fim de realizar uma primeira limpeza para apenas adiante seguir para o biodigestor, uma espécie de câmara que comporta os resíduos. A geração de biogás dentro do sistema depende vários fatores como: inexistência de ar, temperatura adequada, nutrientes e teor de água, que devem ser observados para geração satisfatória do produto final. (FOLLE; SEIXAS; MARCHETTI 2015).

3.2 Condições de funcionamento

Estão presentes nos resíduos sólidos orgânicos dois tipos de bactérias, as anaeróbias e anaeróbicas. Essas bactérias realizam o processo de degradação da matéria orgânica e o produto final dessa decomposição sem tratamento adequado são o gás carbônico (CO₂) e o gás metano (CH₄), gases altamente prejudiciais ao meio ambiente, porém quando tratada sem a presença de oxigênio, ou seja, sofrendo o processo de fermentação em biodigestores as bactérias anaeróbicas liberam os gases nas dependências do biodigestor, esse gás é rico em recursos para geração de energia, tanto térmica quanto elétrica possuindo em sua composição tanto gás metano quanto carbono (AMIN, 2018).

3.2.1 Condições de temperatura

A temperatura dentro do biodigestor deve ser controlada rigorosamente de acordo com a matéria orgânica que se encontra dentro do biodigestor. A temperatura não deve sofrer aumentos repentinos maiores ou iguais a 45° C em contrapartida também não deve haver redução brusca menor ou igual a 15° C no interior do biodigestor.

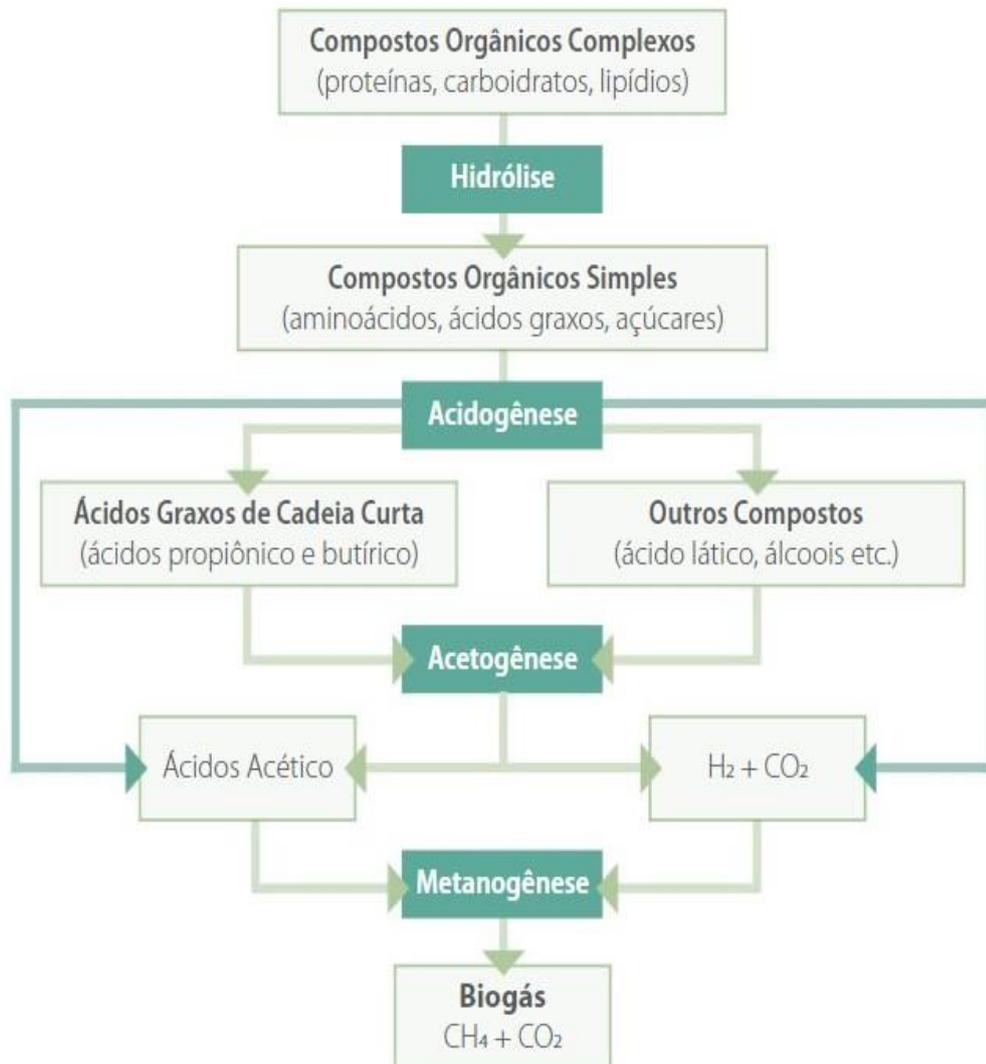
Quando não seguidas as recomendações citadas a produção estará comprometida podendo não haver biogás ou biogás de qualidade insatisfatória (OLIVEIRA, 2018).

3.2.2 Etapa de formação do biogás

Em condições ideais de biodigestão, o processo de obtenção do biogás se dá em várias etapas. Cada etapa possui reações e iterações químicas específicas, de acordo com a figura 1.

Figura 1 -

Figura 1 - Esquema das etapas bioquímicas presentes no processo de biodigestão, com indicação das reações específicas existentes em cada etapa.



Fonte: NOVAK et al (2016).

Hidrólise: Diz respeito a decomposição de compostos orgânicos complexos, podendo ser: carboidratos, proteínas e lipídios, tal decomposição torna os compostos complexos substâncias de aspecto mais simples, como aminoácidos, açúcares e ácidos graxos, as reações bioquímicas se dão através das bactérias hidrolíticas e suas enzimas (BEJARANO, 2021).

Acidogênese: Momento em que ocorre a reação das bactérias acidogênicas, ocorre o processo de metabolização das moléculas provenientes da etapa anterior, acarretando no

aparecimento de inúmeros ácidos, como por exemplo, o propionico, butírico, láctico, entre outros (ARBEX, 2004).

Acetogênese: A partir dos compostos intermediários formados e devido a ação das bactérias fermentativas acetogênicas ocorre o processo de obtenção de ácidos acéticos, dióxido de carbono e hidrogênio (DO AMARAL, 2007).

Metanogênese: Momento em que o metano é gerado devido a conversão realizada pelas bactérias arqueometanogênicas exclusivamente anaeróbias, se originando principalmente do ácido acético, o hidrogênio e o dióxido de carbono (BATISTA, 2022).

Existem dois tipos de metanogênicos, os hidrogenotróficos e os acetoclasticos, os hidrogenotróficos geram metano a partir do hidrogênio e dióxido de carbono, e os acetoclasticos geram biogás a partir do processo de redução do ácido acético (OLIVEIRA, 2016).

3.3 Biofertilizante e potencial geração de eletricidade

Após passar por todo o processo de biodigestão o material orgânico não é consumido por inteiro dentro do biodigestor, porém esses restos desempenham um papel satisfatório, visto que não são mais prejudiciais ao meio ambiente, pelo contrario, no fim de tudo esse material poderá ser usado como biofertilizante na adubação de plantações no setor de agricultura, contendo excelentes quantidades de nutrientes (INSTRUTHERM, 2019).

3.4 Biodigestor

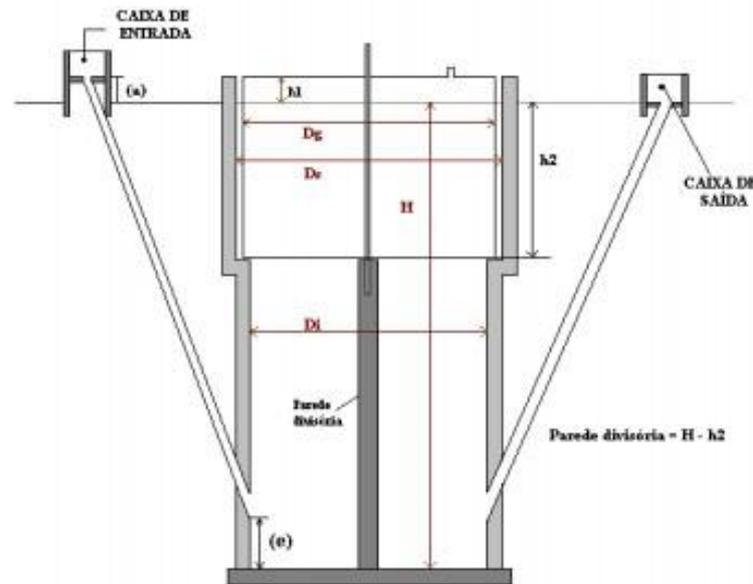
Os biodigestores configuram equipamentos utilizados no processo de transformação de matéria orgânica em biogás, o processo de digestão anaeróbia durante a decomposição da matéria orgânica utilizada é responsável pelo sucesso do processo, esse processo também resulta na destruição dos microrganismos patogênicos, o que possibilita a utilização do efluente como biofertilizante rico em nutrientes (FERREIRA, 2013).

Na utilização de resíduos rurais, o alvo desse projeto, existem três modelos mais empregados, que são eles: Indiano, chinês e canadense, cada modelo possui características e peculiaridades específicas de cada projeto (CRUZ, 2018).

Modelo indiano: O modelo chinês tem como principal característica a existência de uma campânula que funciona como um gasômetro, essa estrutura possui a possibilidade de estar submersa na biomassa durante o processo de fermentação, ou pode se apresentar em um selo de água no exterior do biodigestor (RODRIGUES, 2019).

Uma característica marcante do biodigestor indiano é a pressão de operação constante, esse fenômeno faz com que o volume de gás gerado não seja consumido de maneira imediata, fazendo com que o gasômetro se desloque verticalmente ocasionando o crescimento do volume do mesmo e conservando a pressão interior (DUANGSUWAN, 2018).

Figura 2 - Biodigestor modelo indiano



Fonte: Scielo, 2002

3.5 Potencial de geração de biogás em resíduos distintos

Como já mencionado, uma série de fatores contribuem para o processo de digestão anaeróbia, tais como: temperatura, pH e até mesmo o biodigestor utilizado, porém existem mais características, entre elas o tipo de resíduo utilizado, meio onde crescem os microrganismos no biodigestor (PRINCIVAL, 2016).

Se tratando de resíduos de animais, uma série de fatores podem influenciar, o funcionamento do sistema digestivo e a dieta ocasionam em diferenças no resíduo produzido assim como causam alterações no potencial de geração de biogás (MUKHOPADHYAY, 2017).

Na Tabela 1 é possível observar as potencialidades dos resíduos de bovinos, suínos e aves, observando essas medidas foi possível determinar qual resíduo melhor se adequa ao projeto em questão.

Tabela 1 - Potencial de geração de biogás a partir de diferentes resíduos orgânicos animais.

Animal (peso vivo)	Kg esterco/Animal/dia	m ³ biogás/kg esterco	m ³ biogás/kg SV	m ³ biogás/ animal/dia
Bovino (500 kg)	10-15	0,038	0,094-0,31	0,36
Suíno (90 kg)	2,3-2,8	0,079	0,37-0,50	0,24
Aves (2,5 kg)	0,12-0,18	0,050	0,31-0,62	0,014

Fonte: Oliveira (1993), SV: Sólidos voláteis

De acordo com os dados analisados, o resíduo bovino é o que mais se adequa ao experimento, pois a região de realização do experimento abriga diversos animais do segmento, além de possuir elevado e maior facilidade de obtenção e deslocamento.

3.6 Componentes e Arduino

3.6.1 Placa Arduino Mega

A placa Arduino Mega é uma das placas fornecidas pela plataforma Arduino, possui emprego em projetos de prototipagem mais sofisticados e elaborados. O micro controlador ATmega2560 serviu como base para a criação dessa placa. Sua estrutura conta com 4 portas de comunicação serial, 16 entradas categoria analógica, 54 pinos divididos entre entradas e saídas analógicas sendo que 15 destas possuem possibilidade de utilização como saídas PWM. (LUCAS, 2021).

Se comparada com outras placas do segmento Arduino demonstra vantagem em quesitos como memória e processamento. Na figura 3 o é possível observar o dispositivo (PINZÓN, 2018)

Figura 3 - Arduino Mega



Fonte: Usinainfo, 2020

3.6.2 Sensores MQ

Como já mencionado, a plataforma Arduino conta com uma serie de sensores a disposição, entre eles se encontra a variedade sensores MQ, esses sensores são capazes de detectar a presença de inúmeros gases, entre eles os gases presentes na composição do biogás, objeto de estudo desse projeto (YANG, 2019).

Os sensores são modernos e possuem baixo custo de aquisição, pertencem a modalidade eletro catalítico, os sensores são compostos por um micro tubo cerâmico com óxido de alumínio, uma camada sensitiva de Óxido de Estanho e um eletrodo para medida fixado junto a um aquecedor e a uma carcaça de plástico com um trançado feito de aço inoxidável (MCROBERTS, 2018).

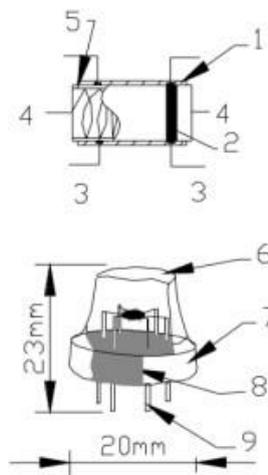
É de grande importância frisar que o aquecedor possibilita que o sensor esteja em condições ideais para realizar a leitura de forma precisa, e para que a temperatura seja atingida de acordo com as recomendações do fabricante, é necessário que o aquecedor do sensor fique ligado pelo menos por vinte e quatro horas antes da realização da medida (KUMAR,2021).

Quadro 1 - Componentes dos sensores da família MQ-x

	Partes	Material
1	Camada sensítiva	Óxido de Estanho (SnO_2)
2	Eletrodo	Cobre (Cu)
3	Linhas do eletrodo	Platina (Pt)
4	Bobina do aquecedor	Liga de Níquel-Cromo ($Ni-Cr$)
5	Tubo de cerâmica	Óxido de alumínio (AL_2O_3)
6	Trançado anti explosão	Aço inoxidável
7	Anel de fixação	Cobre e Níquel
8	Base de resina	Baquelite
9	Pinos	Cobre e Níquel

Fonte: datasheet sensor MQ-135

Figura 4 - Componentes dos sensores da família MQ-x

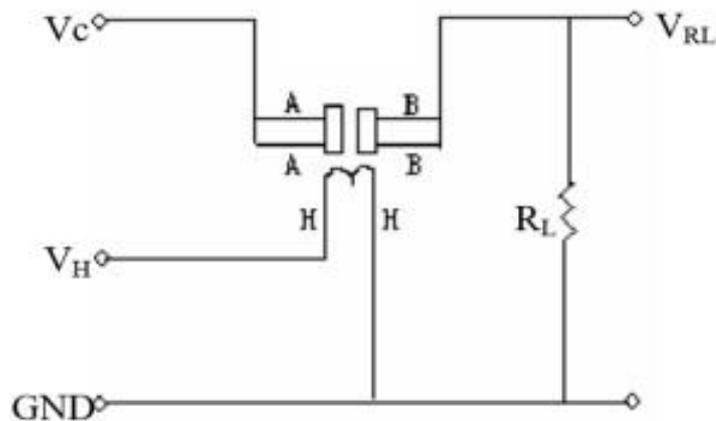


Fonte: datasheet sensor MQ-135

A resistência da parte sensítiva é proporcional, variando de acordo com o modelo de cada sensor, ao medir a resistência mediante a presença de um dado gás, é possível determinar a sua concentração (BANZI, 2011).

Para aferir tal concentração é tido como referência o circuito elétrico mostrado na Figura 5 que foi obtida através do datasheet disponibilizado pelo fabricante, em que VC corresponde a tensão que alimenta o sensor, VH é a tensão de alimentação do aquecedor, RL é resistência de carga e VRL é a tensão de na resistência da carga (KUNZ, 2018).

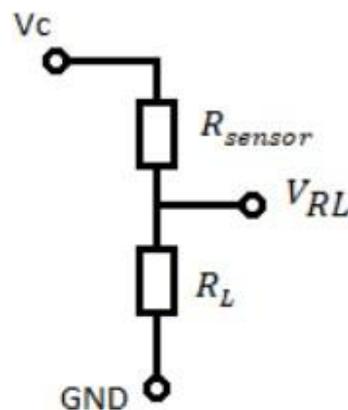
Figura 5 - Circuito elétrico de um sensor MQ



Fonte: datasheet sensor MQ-135

De acordo com o que já foi exposto, a junção A-B, que diz respeito a parcela sensível é um elemento que possui resistência, sendo possível constatar que se trata de um circuito divisor de tensão, como pode ser visto na Figura 6, onde existe uma proporcionalidade entre a entrada e a saída ao observar ambas as resistências (SANTOS, 2021).

Figura 6 - Representação do circuito divisor de tensão



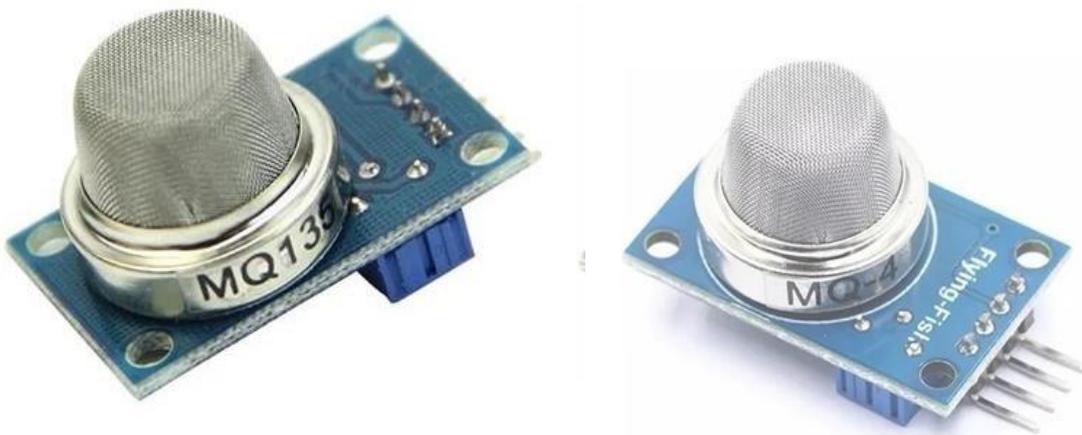
Fonte: Pires, 2018.

Dentre os vários modelos de sensores da família MQ-x é possível observar os mesmos elementos, da mesma forma que o princípio de funcionamento é idêntico, o que permite fazer a afirmação de que os sensores são afetados de alguma maneira por todo o aparato de gases aos quais possui sensibilidade, podendo gerar ruídos, necessitando dessa forma de um ambiente

controlado e a utilização do sensor que melhor se enquadra nas características do experimento (ARAÚJO, 2019).

Serão utilizados 2 sensores do grupo MQ, que são: MQ 135, para detecção de dióxido de carbono, MQ4, para detecção de Metano, o funcionamento de todos os sensores é semelhante, apenas sofrendo alteração na sensibilidade e na conversão para unidade de partes por milhão. Na Figura 7 é possível observar os 2 sensores que serão utilizados no experimento (YANG, 2019).

Figura 7 - Sensores MQ 135 e MQ 4



Fonte: Usinainfo, 2020

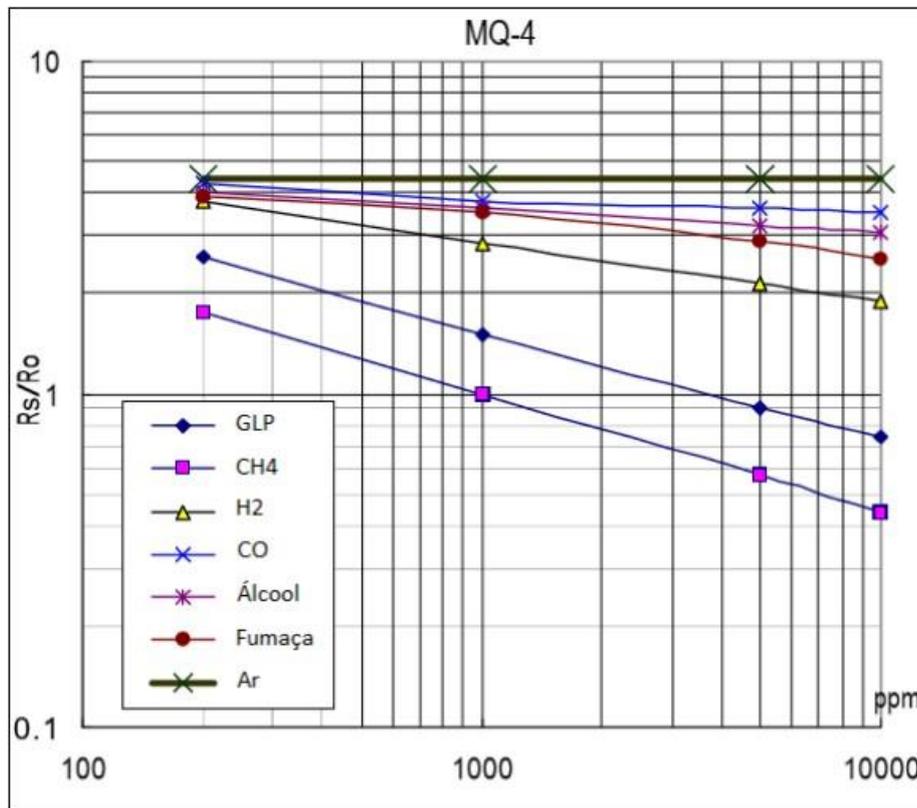
3.6.3 Sensor MQ-4

A sensibilidade do sensor MQ-4 é bastante acentuada para aferir gases combustíveis, tais como metano, propano e butano. Na Figura 8 é possível observar o comportamento do sensor ao entrar em contato com diferentes gases (SUSILO,2021).

Na figura 9 é possível concluir ao observar o gráfico, que a reação do sensor á variedade de gases fica sujeita a função de R_s/R_o , sendo que R_s é a resistência do sensor em determinada concentração de gás e R_o corresponde a resistência do sensor em uma situação em que esteja submetido a concentração de 1000 partes por milhão de metano (SAI, 2019).

Algo interessante para observar é que o sensor possui alta resistência em presença de ar limpo, e uma boa sensibilidade, que se dá ao fato da alta variação de resistência para detectar o metano por exemplo. A sua faixa de medição varia entre 200 a 10000 ppm (SATO, 2021).

Figura 8 – Reação do sensor MQ-4 diante de diferentes gases



Fonte: datasheet sensor MQ-4

3.6.4 Sensor MQ-135

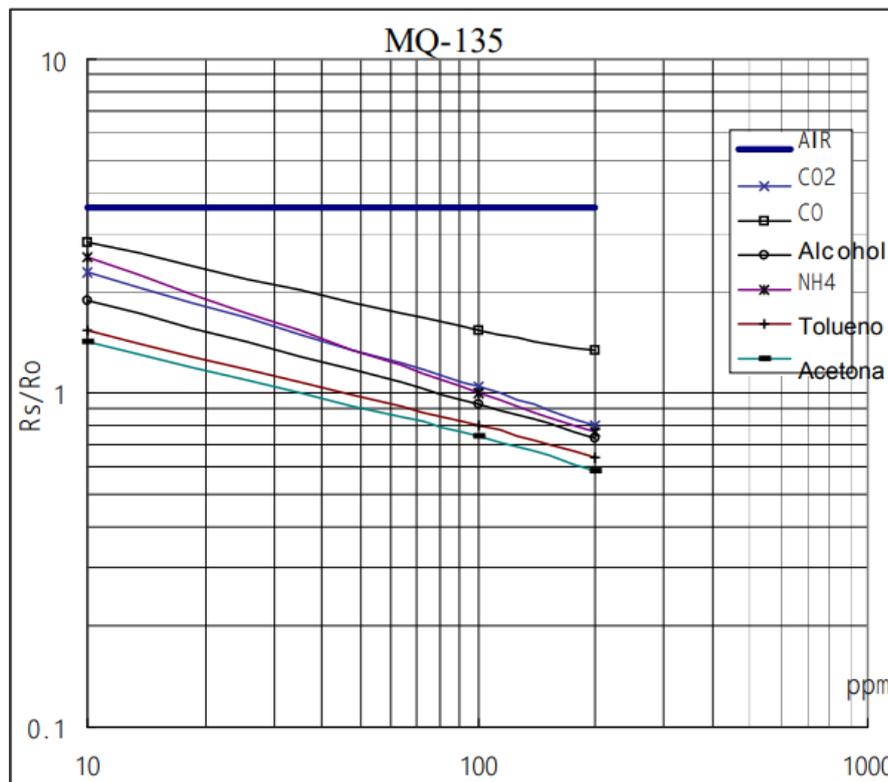
O sensor MQ-135 possui capacidade para medir gás carbônico, amônia, benzeno, fumaças, benzeno, entre outros. Na Figura 9 é possível observar o comportamento do sensor diante de diferentes gases de acordo com o fabricante (YANG, 2022).

Assim como o sensor MQ-4, o MQ-135 descreve seu comportamento de acordo com a razão de R_s e R_o e a concentração de gás medido. R_o se refere a resistência do sensor a uma concentração de 100 ppm de amônia (SESE, 2016).

O comportamento do sensor apresenta uma sensibilidade muito próxima para todos os gases dos quais ele permite medir, tal informação confere ao sensor uma confiabilidade menor em relação ao MQ-135, pois se o ambiente ao qual ele for exposto conter mais de 1 gás ao qual

é sensível pode-se obter dados errôneos, por isso a necessidade de controlar o ambiente (ANISA, 2017).

Figura 9- Reação do sensor MQ-135 diante de diferentes gases



Fonte: datasheet sensor MQ-135

3.7 Calibração e aferição da concentração de gases

Para determinar a concentração de um gás específico utilizando um sensor MQ é preciso realizar alguns procedimentos descritos a seguir.

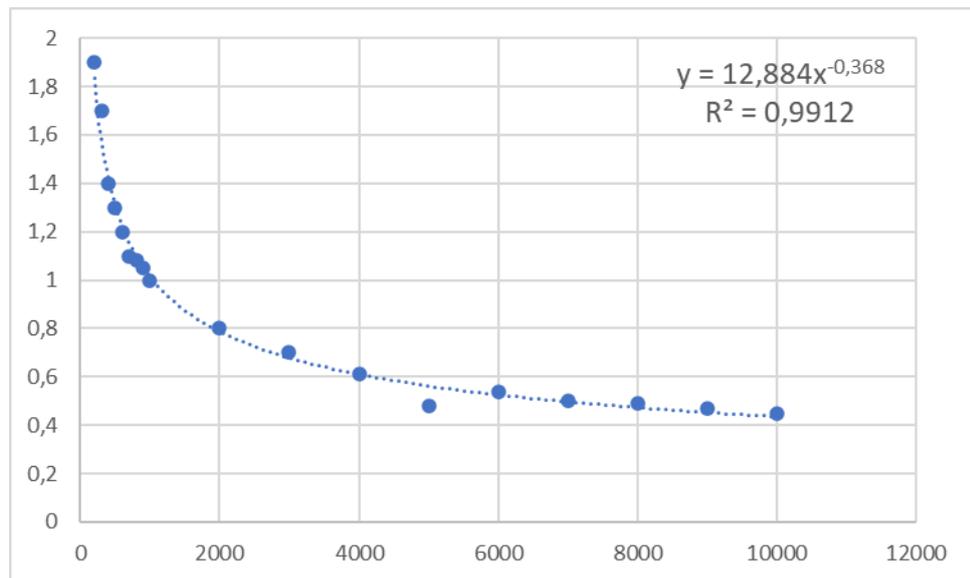
Em primeiro momento os sensores devem ser expostos ao ar limpo, para definição do controle, nesse momento o sensor passa por calibração e é descoberto o valor da resistência do ambiente limpo (DOS SANTOS, 2022).

A partir desse momento o sensor passa a ser exposto a um ambiente que contenha o gás ao qual se pretende mensurar, ao detectá-los a resistência do sensor irá sofrer alteração (STRELOW, 2015).

Por fim, para determinar a concentração do gás desejado é necessário destacar o máximo de pontos possíveis da curva do gás correspondente apresentada no datasheet do sensor, a concentração será obtida de acordo com o declive da linha (MACKER, 2018).

Para determinar o comportamento da equação do gás desejado foram utilizados 18 pontos com coordenadas (X,Y) do datasheet do sensor MQ-04, conforme apresentado na figura 10.

Figura 10 - Regressão não linear dos pontos do datasheet do sensor MQ-04



Fonte: O autor

O sensor MQ-4 será utilizado para demonstrar o processo de obtenção das equações que levam até a concentração em ppm do gás pretendido, entretanto o processo é o mesmo para qualquer sensor da linha MQ (LEMOS, 2017).

O sensor de resistência RS e o resistor de carga RL formam um divisor de tensão. A partir do gráfico apresentado no datasheet do MQ-4, RS em ar limpo apresenta comportamento constante. A proporção de RS/R0 em ar limpo é aproximadamente 4,6. Necessita-se então realizar a calibração do sensor no ar limpo do ambiente que será monitorado, onde o valor de Rof obtido através da razão da divisão entre Rs e o valor de Ro em ar limpo (Porta, L.D. 2016).

$$R_{of} = \frac{R_o}{\frac{R_s}{R_{o_{ar}}}}$$

Onde:

R_o : Resistencia medida

R_{of} : Resistencia corrigida

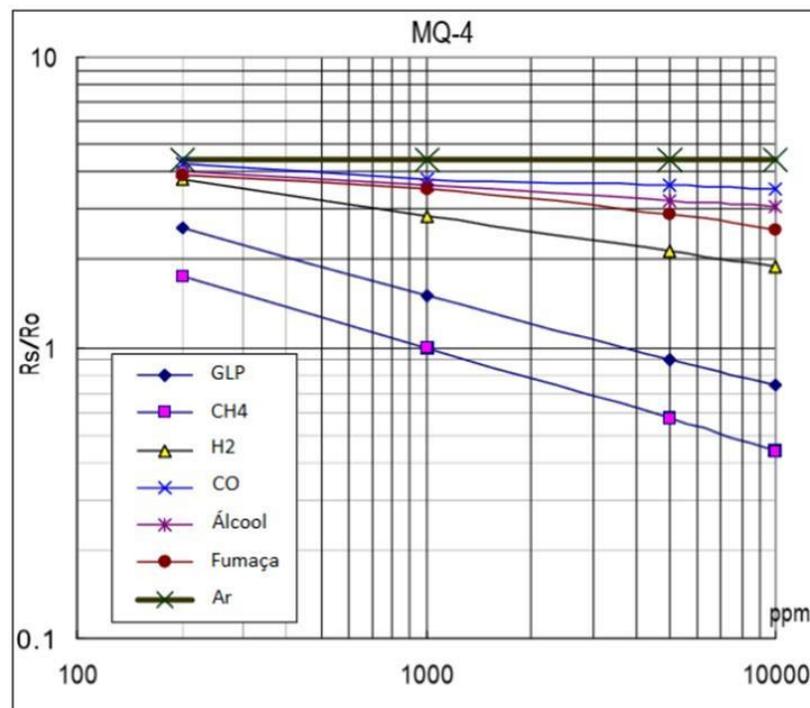
$R_s/R_{o_{ar}}$: razão constante fornecida pelo datasheet

Precisa-se então calibrar o sensor no ar limpo do ambiente que será monitorado. Obtêm-se o valor de R_o , dividindo-o pelo R_s /valor do R_o em ar limpo.

A partir do momento que o gás é descoberto é possível calcular a concentração de diferentes gases utilizando a razão R_o/R_s (ISWANTO, 2021).

Para realizar o calculo da concentração em ppm é preciso marcar dois pontos na curva referente ao gás desejado de acordo com gráfico fornecido no datasheet (CARDOSO, 2019).

Figura 11 - Reação do sensor MQ-4 diante de diferentes gases



Fonte: datasheet sensor MQ-4

O gás escolhido para ser observado será o metano, os pontos são: (200, 1,9) e (10000, 0,44) tais pontos estão em escala logarítmica devido as características do gráfico. Será necessário calcular a inclinação aproximada referente a curva do gás pretendido, que é dada pela expressão:

$$\text{Inclinação} = \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)}$$

Ao descobrir a inclinação, utiliza-se para cada gás um vetor com formato (x, y, inclinação)

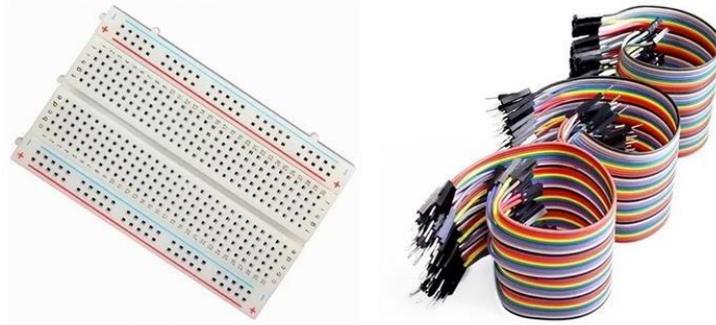
A concentração em ppm é dada por:

$$\text{Concentração} = 10^{\frac{(\log \frac{R_s}{R_0}) - (y_1)}{(\text{inclinação} + x_1)}}$$

3.8 Componentes secundários e de monitoramento

O projeto é composto por componentes chave, ou seja, de grande importância para o funcionamento do protótipo, já os componentes secundários possuem papel no funcionamento, entretanto desempenham a função de demonstrar os dados detectados pelos componentes primários, ou emitir sinais com base nos dados obtidos. Nesse projeto existem três componentes de natureza secundária que são: LED's, protoboard e cabos de conexão. Os LED's desempenharão o papel de notificar sempre que o nível de um gás ultrapassar os parâmetros estabelecidos no código de programação, acendendo o aviso de acordo com as cores atribuídas. O protoboard será utilizado para simplificar as conexões dos cabos entre o controlador e sensores. Os cabos serão utilizados para interligar os controladores e sensores. Nas figuras 11 e 12 é possível observar os materiais citados. (ALMEIDA. 2019).

Figura 12 - Protoboard e cabos de conexão



Fonte: Usinainfo, 2020

Figura 13 - LED's



Fonte: Usinainfo, 2020

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Local do experimento

O experimento foi realizado em uma propriedade rural particular localizada a uma distância de 25km do município de Piçarra no sul do estado do Pará no norte do Brasil. O local fica distante 40km da rodovia Br-153, uma das principais rodovias do país. Coordenadas geográficas: -6.316857, -48.878811

O local foi escolhido devido a facilidade de coletar matéria prima para preparo do substrato utilizado no biodigestor. Nas proximidades da sede da propriedade há possibilidade de escolher entre resíduos bovinos, suínos ou de aviários.

Os resíduos bovinos foram escolhidos pelo fato de se tratar da atividade prioritária realizada na fazenda, logo não houve dificuldade quanto a abastecimento do biodigestor, devido

a abundancia do recurso. Além de todas as vantagens, na propriedade existe uma pequena horta onde o biofertilizante gerado foi utilizado ao fim do experimento. Na Figura 13 é possível o local de instalação do experimento.

Figura 14 - Localização do local de realização do experimento



Fonte: Google, 2022.

4.2 Materiais

Devido a finalidade de verificar a veracidade dos dados lidos pelos sensores MQ-X o experimento foi realizado em processo de análise utilizando dois métodos, o primeiro método consiste na utilização dos sensores e das equações para determinar a concentração dos gases desejados. Com finalidade de realizar uma comparação a segunda parte do experimento consiste na utilização do Alfakit da Embrapa que permite uma coleta de dados mais confiável mediante ao protótipo construído neste experimento.

4.2.1 Materiais do dispositivo eletrônico

Protótipo medição de gás:

-Arduino Mega;

-Sensor MQ-135;

-Sensor MQ-4;

-Protoboard;

-Cabos de conexão;

-LED's;

-Recipiente de vidro

-Massa Epóxi e veda calhas

4.2.2 Materiais disponíveis no Alfakit
Alfakit Embrapa contendo:

-2 Amostradores de gás

-2 Válvulas reservas

-1 Seringa para amônia

-2 Seringas de 5 mL

-1 Seringa de 10 ml

- 2 Seringas para gás carbônico

-1 Seringa de vidro

-4 Cubetas de vidro de 10 mL

-2 Cubetas plásticas de marcada

-2 Cubetas plásticas grandes

-Suporte analisador de gás carbônico

-1 Frasco de vaselina

-1000 mLde água desionizada

-3 Reagentes para amônia

-2 Reagentes para gás sulfídrico

-2 soluções de pré-tratamento

4.2.3 Materiais do biodigestor

Materiais construção biodigestor:

- Tambor plástico de 200l
- 1,5m de cano PVC 100mm
- 1 Falange 50 mm
- 1 Registro 50 mm
- 2 Curvas de 90°
- 1m de cano de 50mm
- 1 Cap com rosca 50 mm
- 1 Cap de 50 mm
- 2 Torneiras para jardim
- 4 Nips
- 4 Luvas Brancas de rosca
- 3m de mangueira para jardim
- 4 bicos de engate rápido macho/fêmea
- 6 Abraçadeiras
- 1 Tubo de veda calha
- 1 Tubo de cola para cano

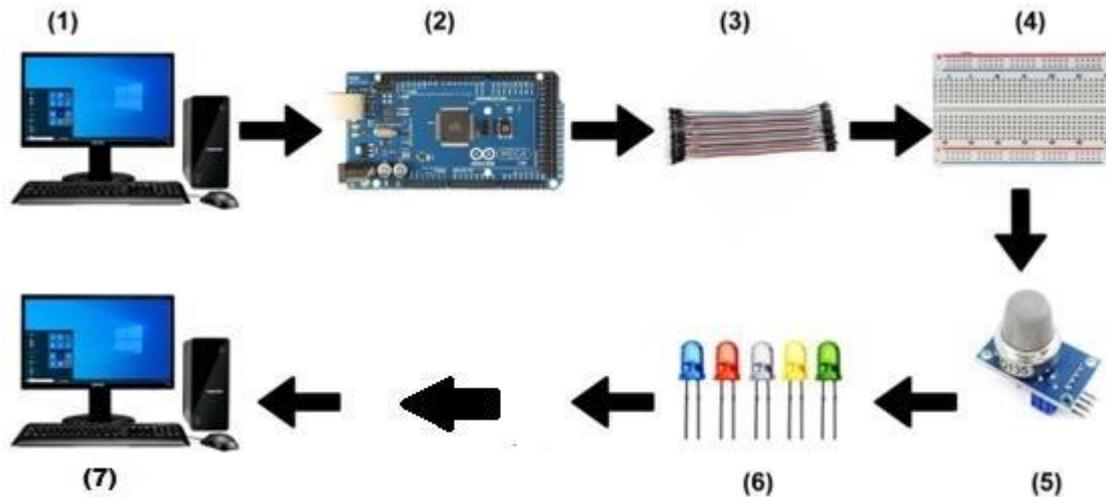
4.3 Metodologia

4.3.1 Experimento utilizando dispositivo eletrônico

O protótipo construído usou todos os componentes descritos anteriormente associados entre si, e com auxílio de um código de programação, irá fornecer os dados de medição

referentes a concentração de metano e gás carbônico. No Figura 15 é possível ver a disposição dos materiais.

Figura 15 - Fluxograma experimento



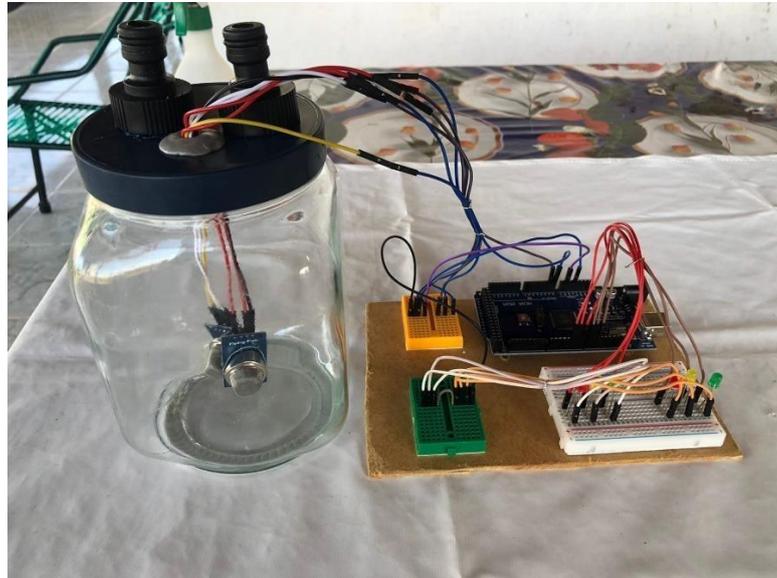
Fonte: O autor

Onde:

- 1) Código Arduino gerado no software do fabricante;
- 2) Envio dos comandos para o microcontrolador Arduino Mega;
- 3) Conexão entre a placa e o protoboard utilizando componentes secundários;
- 4) Comando de leitura enviado para o sensor;
- 5) Uso de dispositivos secundários para demonstrar a presença de gás;
- 6) Interpretação de dados no computador.

Como já foi dito, os sensores MQ necessitam de um ambiente controlado para que não haja medições errôneas mediante a detecção de gases que não são de interesse do experimento, logo, foi desenvolvida uma adaptação com um recipiente feito em vidro, onde foram adaptadas uma entrada e uma saída para o gás, todos os cuidados possíveis com a vedação da tampa foram tomados, tais como utilização de massa epóxi e veda calha, tanto na borda da tampa quanto nos furos feitos para posicionar os cabos e a entradas e saídas de gás.

Figura 16 - Protótipo de análise de gás



Fonte: o autor

Procedimento experimental.

- 1) Em primeiro momento será realizada a calibração do sensor, com finalidade obter a razão entre R_o e R_s , levando em conta a referência do ar limpo, esse procedimento é realizado com o acionamento do sensor por 24 horas contínuas.
- 2) Posicionar a câmara de medição de acordo com a figura 16, a partir do momento que a câmara foi ligada ao sistema não é permitido nenhum manuseio, pois a mesma deve ficar por 24 horas na mesma posição com os sensores já ligados, para que não haja contaminação.
- 3) Após isso o código será carregado para o microcontrolador Arduino
- 4) Em seguida o gás será introduzido dentro da câmara de gás, sempre tomando os devidos cuidados para assegurar que o único gás presente seja o biogás.
- 5) O sensor detecta de forma gradativa a concentração de gás, logo após introduzir o gás aguardou-se um tempo de 30s até que o sensor detectasse o pico da concentração de gás.
- 6) Observar a leitura realizada pelo sensor diretamente na tela do computador, as medidas serão dadas em porcentagem, de acordo com a programação feita no código de utilizando as informações de cada datasheet dos sensores.

O sistema totalmente montado está descrito na Figura 16.

Figura 17 - Biodigestor e sistema de análise de gás



Fonte: o autor

É importante ressaltar que foram utilizados alguns recursos para otimizar o experimento, o primeiro foi um filtro para reter o gás sulfídrico, tal gás é prejudicial para estruturas feitas em matérias metálicas, e poderia danificar os sensores em contato com gás, o filtro foi construído utilizando canos e palha de aço, esse material é capaz de retardar o avanço do gás sulfídrico. Também foi utilizada uma cama de ar para reter o percurso do gás e impedir a entrada de ar no sistema quando a válvula de gás foi acionada, foi retirada a válvula de entrada da câmara de ar, sendo a mesma vedada utilizando braçadeiras de alta performance.

4.3.4 Experimento utilizando Alfakit

Toda a metodologia descrita abaixo está de acordo com o manual de utilização desenvolvido pela Embrapa e Alfakit LTDA no ano de 2007 sob patente de tecnologia P.I 0706174-9 INPI.

Figura 18 - Alfakit Embrapa para análise de biogás

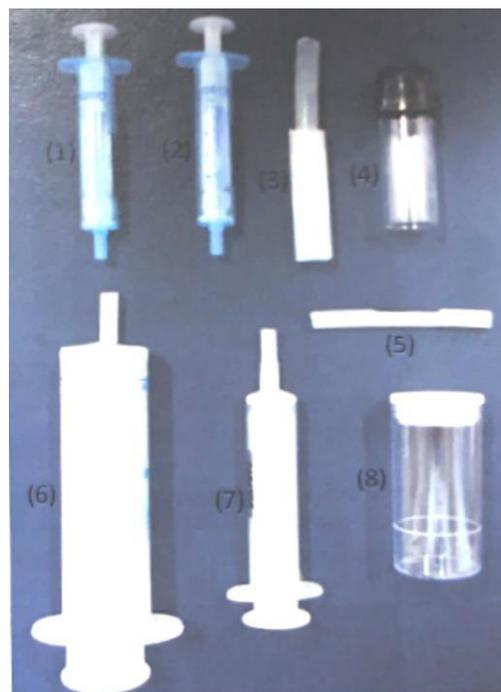


Fonte: O autor

As metodologias colorimétricas de análise são realizadas em cartela de cores por comparação visual ou fotocolorímetro. Foram adaptadas, sendo a determinação de amônia realizada pelo método "Azul de Indofenol", e o gás sulfídrico pelo método do "Azul de metileno". A determinação de CO_2 e metano é realizada pela adaptação de método de Orsat.

Acessórios

Figura 19 - Acessórios para experimento 2



Fonte: Alfakit, 2007

- (1) - Seringa azul 5 mL (Solução Pré-Tratamento 1);
- (2) - Seringa azul 5 mL (Solução Pré-Tratamento 2);
- (3) - Conexão do Bag no Biodigestor;
- (4) - Cubeta de vidro 10 ml;
- (5) - Conexão para Limpeza Suporte;
- (6) - Seringa coletora de Amônia;
- (7) - Seringa 10 mL (Determinação Gás Sulfídrico);
- (8) - Cubeta plástica marcada.

1 Coleta Da Amostra

Figura 20 - Conjunto de conexão para coleta de biogás



Fonte: Alfakit, 2007

- 1) Ajustar as conexões entre o biodigestor e o amostrador de biogás.
- 2) Caso o amostrador já tenha sido utilizado, eliminar todo o gás antes da próxima amostragem, eliminando toda amostra anterior, evitando contaminação durante a análise.

Figura 21 - Amostrador para coleta de biogás



Fonte: Alfakit, 2007

3) Para coletar o biogás, abrir a válvula do biodigestor para sair um pouco de gás e então conectar a mangueira do amostrador no biodigestor deixando a válvula aberta para encher até a metade. Descartar e encher novamente com o biogás para análise, após fechar a válvula e retirar a conexão. É importante que as análises sejam realizadas imediatamente após a coleta do biogás.

Determinação De Amônia (NH₃ No Biogás

a) Transferir a água desionizada para cubeta plástica (8) até a marca, adicionar 2 gotas da Solução Pré-Tratamento 1 e agitar para homogeneizar.

Obs.: será utilizado 5 mL para determinar Amônia e 5 mL para determinar Gás Sulfídrico.

b) Com a seringa azul (1), transferir 5 mL da solução para a seringa coletora de Amônia (6). Desconectar as seringas. Caso o adaptador permaneça na seringa azul, recoloque na seringa coletora de amônia.

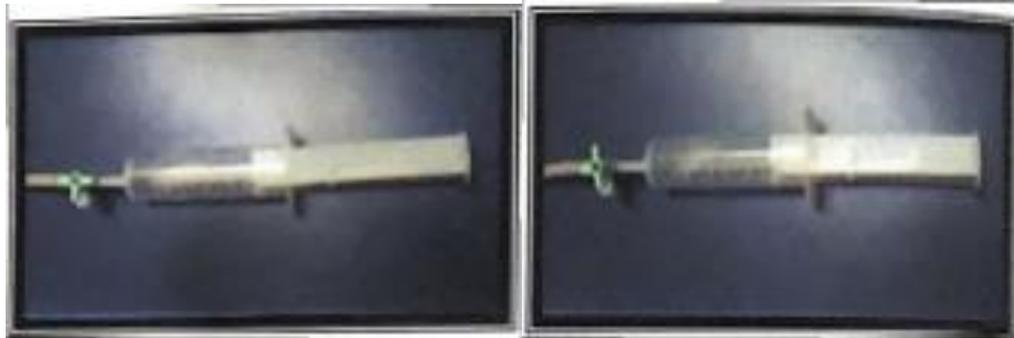
Figura 22 - Seringa coletora



Fonte: Alfakit, 2007

C) Conectar a seringa de Amônia no saco coletor, abrir a válvula e aspirar até 50 ml. Fechar a válvula.

Figura 23 - Válvula aberta e válvula fechada



Fonte: Alfakit, 2007

d) Sem desconectar, agitar o gás com a solução por 2 minutos, para que toda Amônia seja absorvida pela solução.

Figura 24 - Procedimento para agitar o reagente



Fonte: Alfakit, 2007

e) Após homogeneizar, posicionar a seringa para cima evitando perda da solução ao desconectar.

f) Transferir a solução para cubeta de vidro (4), para análise colorimétrica.

Análise Colorimétrica:

- a) Adicionar 3 gotas do reagente Amônia Indotest 1 na cubeta de vidro com a amostra e em seguida agitar;
- b) Adicionar 3 gotas do reagente Amônia Indotest 2 e agitar;
- e) Adicionar 3 gotas do reagente Amônia Indotest 3 e agitar a cubeta;
- d) Aguardar o tempo de reação de 10 minutos;
- e) Comparar a intensidade de cor desenvolvida com as cores da cartela e 3
fazer a leitura da concentração de amônia.

2 Determinação De Ácido Sulfídrico (H₂S) No Biogás

- a) Com a seringa de 10 mL(7), coletar 5 ml da Solução Pré-Tratamento que restou (preparada anteriormente para análise de Amônia).
- b) conectar no saco amestrador.
- c) Abrir a válvula e aspirar até 10 mL. Fechar a válvula.
- d) Sem desconectar, agitar a amostra por 2 minutos para que a solução absorva o sulfeto.
- e) Virar a seringa para cima, desconectar e transferir a solução para a cubeta de vidro para a análise colorimétrica.

Análise Colorimétrica:

- a) Adicionar 5 gotas do reagente Sulfeto 1 na cubeta com a amostra e agitar em seguida;
- b) Adicionar 2 gotas do reagente Sulfeto 2 e agitar;
- c) Aguardar o tempo de reação de 10 minutos;
- d) Comparar a intensidade de cor desenvolvida com as cores da cartela e fazer a leitura da concentração de ácido sulfídrico

Figura 25 - Resultado de amostras do experimento



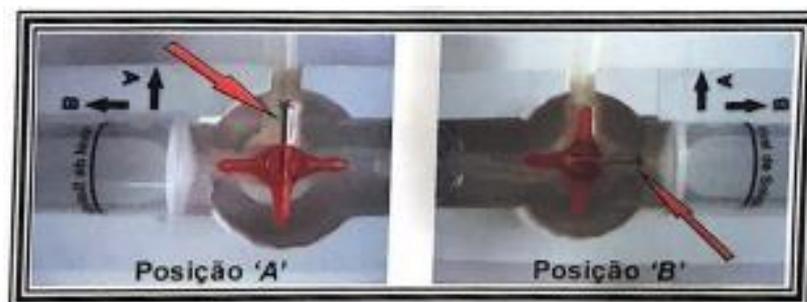
Fonte: O autor

3 Determinação De Gás Carbônico (CO₂) No Biogás

Antes de iniciar a análise, verificar as posições todas as posições para entrada e saída ou passagem do biogás.

Com o suporte na posição horizontal, verificar se as seringas e as mangueiras estão corretamente conectadas. Testar se a seringa de vidro está deslizando (com a conexão na posição "B", ver na figura abaixo). Caso não estiver, passar uma finíssima camada de vaselina no êmbolo da seringa de vidro. Voltar a conexão para a posição "A", para evitar que o êmbolo escorregue.

Figura 26 - Posição da válvula de conexão



Fonte: Alfakit, 2007

Posições "A" e "B" indicadas no suporte para entrada, saída ou passagem do biogás, conforme o procedimento.

a) Transferir pequena quantidade da Solução Pré-Tratamento 2 para cubeta plástica grande. Com a seringa azul (2), coletar 5 ml da Solução Pré-tratamento 2 e conectar no suporte conforme figura abaixo, deixando na posição em que a solução vai para seringa plástica de CO₂ e transferir a solução para seringa de gás carbônico. Fechar a conexão e retirar a seringa azul.

Figura 27 - Seringas e kit de medição de gás carbônico e metano



Fonte: Alfakit, 2007

- b) Em seguida, conectar o amostrador no suporte. Abrir a válvula (posição B) e transferir o gás para seringa de vidro. Fechar a válvula (posição A) e fechar a válvula do amostrador.
- c) Transferir o gás da seringa de vidro para a seringa de plástico deixando a válvula na posição A.
- d) Desconectar o amostrador.
- e) Ao terminar a transferência, não soltar a seringa de vidro, mas fechar imediatamente a conexão, girando-a para a posição "B" e evitando que a solução seja transferida para a seringa de vidro;
- f) Agitar com cuidado o conjunto por 2 minutos (segurar bem as seringas);
- g) Posicionar o suporte na posição vertical com a seringa de plástico para baixo. Em seguida, abrir a conexão entre as seringas girando-se a válvula para a posição "A".

Figura 28 - Procedimento de visualização da concentração de gás



Fonte: Alfakit, 2007

Segurando o suporte na posição vertical para terminar a determinação.

h) Transferir todo o gás da seringa de plástico para a seringa de vidro, empurrando o êmbolo da seringa de plástico.

i) Ao termino da transferência, fechar a conexão girando a torneira para a posição B.

fazer a leitura do volume de gás que voltou, utilizando a escala auxiliar no suporte, que resulta na porcentagem de gás carbônico e metano.

Resultado:

% CO₂ = Leitura direta na escala do suporte

4 Determinação De Gás Metano (CH₄) No Biogás

A diferença entre a porcentagem de gás carbônico é aproximadamente a porcentagem de gás metano.

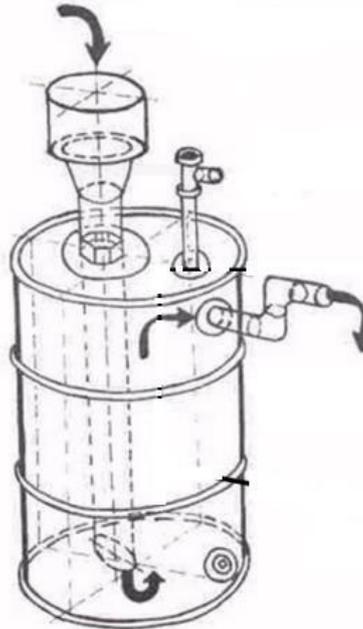
Resultado:

% CH₄ = 100 - Leitura da % CO₂

4.3.5 Construção do biodigestor

O biodigestor utilizado foi construído nas dependências da propriedade rural citada no trabalho utilizando os materiais listados anteriormente. O modelo do biodigestor está representado na Figura 29.

Figura 29 - Modelo do biodigestor



Fonte: Princival, 2016

O abastecimento do biodigestor foi realizado utilizando substrato previamente preparado a partir de uma mistura de água e dejetos bovinos, a proporção utilizada foi de 1:1. Inicialmente foram utilizados 50kg de resíduos bovinos coletados no período matutino, ou seja, o mais fresco possível. Foi misturado junto aos dejetos 50 litros de água de acordo com a proporção já citada. O processo de análise durou 22 dias ao todo, sendo que o biodigestor foi abastecido diariamente com o mesmo substrato até o último dia do processo, na figura 30 é possível verificar o biodigestor montado.

Figura 30 - Modelo do biodigestor



Fonte: O autor

É importante ressaltar que a saída de resíduos foi excluída do projeto, uma vez que após a realização do experimento o biodigestor foi desmontado. A diminuição de perfurações no biodigestor torna o processo mais eficiente, uma vez que aberturas no biodigestor podem favorecer vazamento de biogás, mesmo que tais aberturas sejam devidamente vedadas.

A coleta dos dejetos bovinos se deu com a utilização de uma pá e um recipiente grande o bastante para coletar o material de acordo com a figura 31.

Figura 31 - Coleta de resíduos



Fonte: O autor

A mistura dos resíduos foi feita em um outro recipiente com auxílio de uma haste de madeira, até que a mistura ficou com a consistência desejada, de acordo com a figura 32.

Figura 32 - Mistura do substrato



Fonte: O autor

4.5 Análise de dados

A análise de dados se deu com intervalos de 3 em 3 dias, se iniciando no 10º dia, ou seja, as análises foram feitas com 10, 13, 16, 19 e 22 dias de biodigestão. Foram realizadas 4 repetições para cada um dos experimentos para que sejam realizados os testes estatísticos que validam o sucesso do procedimento experimental.

5 RESULTADOS

Ao realizar todo os procedimentos descritos na metodologia foi possível determinar a concentração de quatro gases propostos inicialmente. Os resultados estão dispostos na Tabela 2 de acordo com a amostra e repetição correspondente de cada dia.

Tabela 2 – Resultados para o experimento realizado com o Alfakit EMBRAPA.

	Amostra/Repetição	1	2	3	4
Dia 10	NH₃(ppmV) a 25 °C	45,00	45,00	45,00	45,00
	H₂S (ppmV) a 25 °C	75,00	75,00	75,00	75,00
	CH₄(%)	66,5	62,00	64,5	65,5
	CO₂(%)	33,5	38,00	35,5	34,5
Dia 13	NH₃(ppmV) a 25 °C	85,00	85,00	85,00	85,00
	H₂S (ppmV) a 25 °C	75,00	75,00	75,00	75,00
	CH₄(%)	72,00	76,50	76,00	75,00
	CO₂(%)	28,0	23,50	24,00	25,00
Dia 16	NH₃(ppmV) a 25 °C	175,0	175,0	175,0	175,0
	H₂S (ppmV) a 25 °C	75,00	75,00	75,00	75,00
	CH₄(%)	79,00	78,00	76,00	77,50
	CO₂(%)	21,0	22,00	24,00	22,5
Dia 19	NH₃(ppmV) a 25 °C	175,0	175,0	175,0	175,0
	H₂S (ppmV) a 25 °C	152,0	152,0	152,0	152,0
	CH₄(%)	80,00	81,00	79,00	78,50
	CO₂(%)	20,0	19,00	21,00	21,5
Dia 22	NH₃(ppmV) a 25 °C	175,0	175,0	175,0	175,0
	H₂S (ppmV) a 25 °C	152,0	152,0	152,0	152,0
	CH₄(%)	83,50	82,00	80,50	80,00
	CO₂(%)	16,50	18,00	19,50	20,00

Fonte: O autor

Ao observar os resultados é possível notar uma evolução gradativa na concentração dos gases mais importantes no processo (metano e dióxido de carbono). Além disso é possível verificar valores constantes nos resultados referentes ao gás H₂S, isso ocorre devido a utilização de um filtro contendo palha de aço que retém o tal gás antes que o mesmo possa chegar até a câmara de gás, pois o H₂S é prejudicial ao entrar em contato com materiais metálicos, e tendo em vista que alguns componentes possuem partes metálicas, se optou por usar o filtro para controlar o H₂S.

Ao realizar a análise de do biogás utilizando o protótipo foi possível verificar uma constância na concentração dos gases, de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados para o experimento realizado com o protótipo

	Amostra/Repetição	1	2	3	4
Dia 10	CH₄ (%)	76,44	76,40	76,15	76,40
	CO₂ (%)	23,56	23,6	23,85	23,6
Dia 13	CH₄ (%)	76,18	76,22	76,18	76,10
	CO₂ (%)	23,82	23,78	23,82	23,9
Dia 16	CH₄ (%)	75,80	75,88	76,05	76,12
	CO₂ (%)	24,20	24,12	23,95	23,88
Dia 19	CH₄ (%)	78,10	77,95	78,05	78,01
	CO₂ (%)	21,9	22,05	21,95	21,99
Dia 22	CH₄ (%)	78,00	78,50	78,30	78,00
	CO₂ (%)	22,00	21,50	21,70	22,00

Fonte: O autor

É importante ressaltar que o sensor responsável por verificar a concentração do dióxido de carbono se mostrou ineficiente devido a sua capacidade aferir apenas 100 ppm de gás, enquanto o sensor responsável por verificar o gás metano possui capacidade de medir 10.000 ppm, logo se determinou a concentração de dióxido de carbono por diferença, ou seja, se

verificou a concentração de metano aferida pelo sensor e logo em seguida se fez a diferença levando em conta 100% de percentual.

Ao realizar o experimento de tal forma os resultados se mostraram mais confiáveis e precisos.

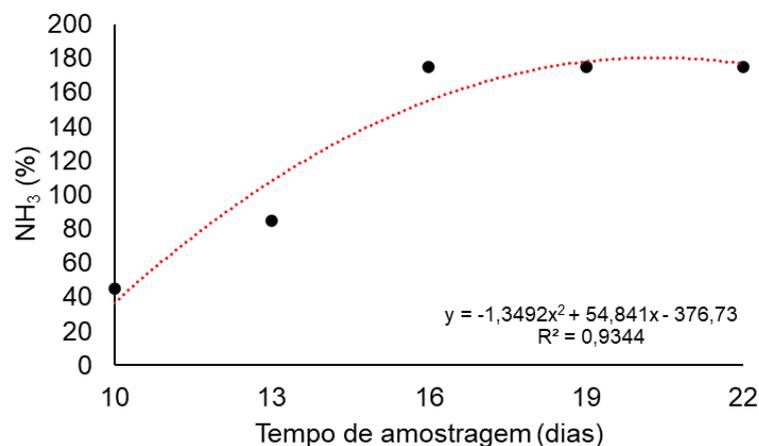
5.1 Metodologia de análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas utilizando software R 4.1.3[®]. Todos os dados tiveram normalidade avaliada conforme procedimento do teste Shapiro-Wilks, e ao ser observada normalidade, os métodos de quantificação de metano e sulfeto de hidrogênio foram comparados por ANOVA (One-Way). O efeito dos tratamentos nos períodos de coleta (dias) foi avaliado utilizando procedimento de Modelos Lineares Generalizados para Delineamento Inteiramente Casualizado com medidas repetidas no tempo. Os níveis de Amônia e Hidróxido de Enxofre mensurados com Alfakit Embrapa[®] foram avaliados por análise de regressão.

5.1.2 Análise e percepções

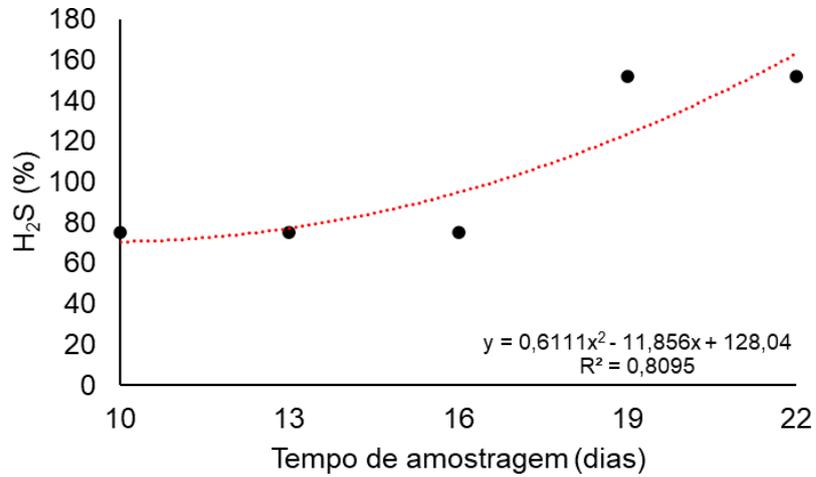
Ao utilizar o Alfakit Embrapa[®] para mensurar os percentuais de NH₃ e de H₂S observou-se efeito significativo do tempo de amostragem ($p < 0,05$) nos níveis percentuais dos referidos gases. Apesar da tendência crescente, para o percentual de NH₃ observou-se que ocorreu estabilização aos 16 dias de amostragem e para o percentual de H₂S, ocorreu estabilização aos 19 dias de amostragem.

Figura 33 - Regressão do percentual de Amônia (NH₃) em biogás monitorado com Alfakit Embrapa[®], $p < 0,05$.



Fonte: O autor

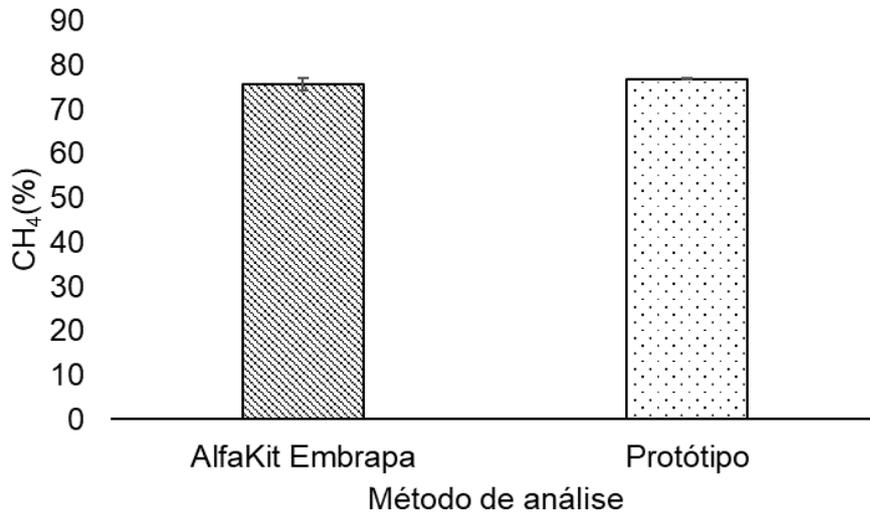
Figura 34 - Regressão do percentual de Sulfeto de Hidrogênio (H₂S) em biogás monitorado com AlfaKit Embrapa®, p < 0,05.



Fonte: O autor

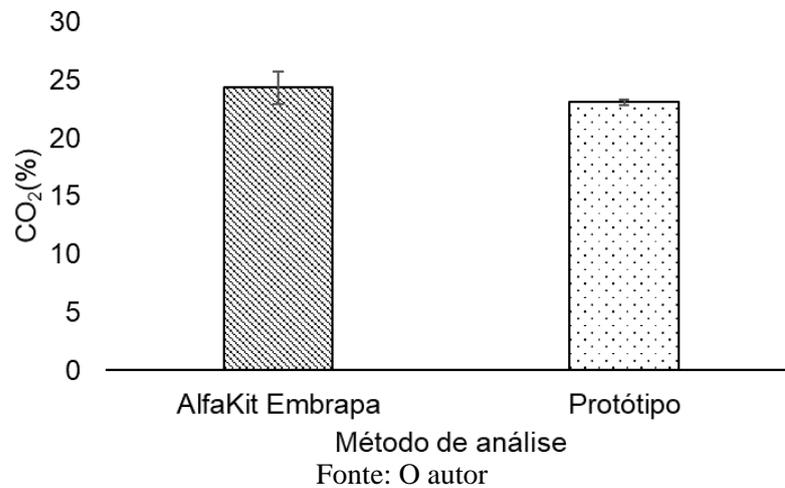
Comparando os protocolos de mensuração de CH₄ e CO₂, não foi observada diferença significativa entre os protocolos testados (p > 0,05).

Figura 35 - Médias e erro-padrão das médias do percentual de Metano (CH₄) mensurado com diferentes protocolos de determinação, p > 0,05.



Fonte: O autor

Figura 36 - Médias e erro-padrão das médias do percentual de Gás Carbônico (CO₂) mensurado com diferentes protocolos de determinação, $p > 0,05$.



No decorrer do experimento, observou-se que os métodos avaliados registram os níveis de CH₄ e CO₂ ao longo do tempo ($p < 0,05$). Para o percentual de CH₄, o AlfaKit Embrapa® indicou um padrão crescente entre o 10º e 22º dia de amostragem ($p < 0,05$), ao passo que o protótipo testado assinalou que o percentual de CH₄ é constante desde o início das observações até o final ($p > 0,05$), ao 22º dia de amostragem.

Para o percentual de CO₂, o AlfaKit Embrapa® indicou padrão decrescente ao longo do experimento, com níveis mais elevados no 10º dia ($p < 0,05$). Por outro lado, o protótipo indicou comportamento constante durante o período experimental ($p > 0,05$).

Figura 37 - Médias e erro-padrão das médias do percentual de Metano (CH₄) mensurado com diferentes protocolos de determinação e distintos tempos de amostragem. Barras acompanhadas por asterisco (*) diferem entre si ($p < 0,05$) em cada dia de amostragem

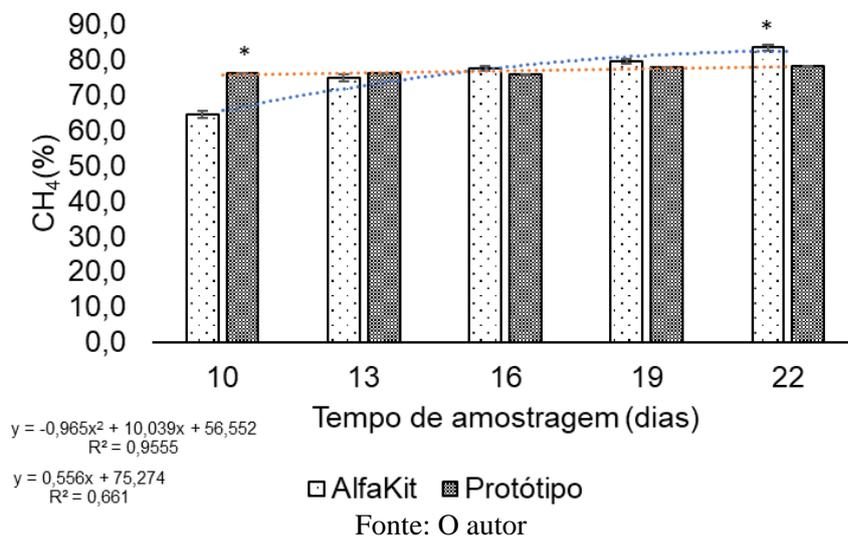
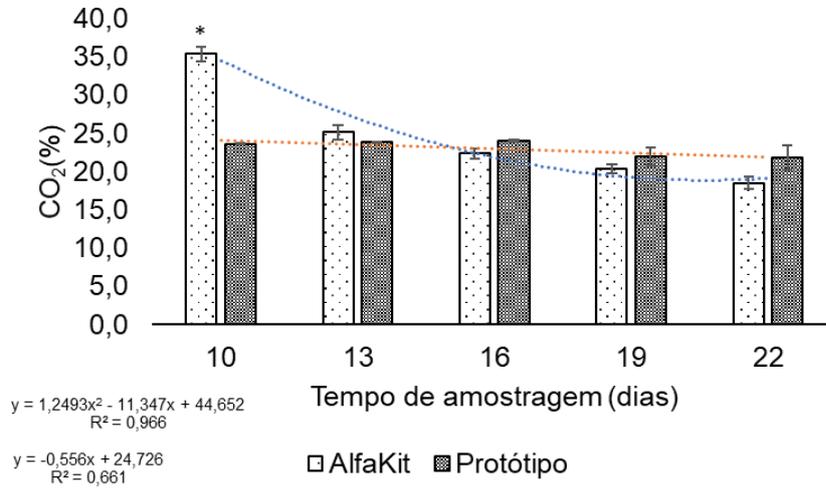


Figura 38 - Médias e erro-padrão das médias do percentual de Gás Carbônico (CO₂) mensurado com diferentes protocolos de determinação e distintos tempos de amostragem.

Barras acompanhadas por asterisco (*) diferem entre si ($p < 0,05$) em cada dia de amostragem.



6 CONCLUSÃO

Ao verificar o resultado da comparação entre os experimentos foi possível concluir que o protótipo se comportou de maneira semelhante ao que foi mostrado no Alfakit da EMBRAPA. Foi possível notar que a composição de biogás variou de acordo com o tempo decorrido ao analisar os dois métodos experimentais.

O trabalho possui um potencial de utilização prático bastante promissor tendo em vista que o emprego de biodigestores em propriedades particulares é cada vez mais frequente, além disso, existe uma necessidade de monitorar o biogás com um dispositivo de fácil uso e baixo custo produção.

Evidentemente o dispositivo precisa ser melhorado em trabalhos futuros, havendo possibilidade de acrescentar mais sensores e módulos que tornem o processo mais eficiente, tais como: módulo WI-FI, sensor de temperatura, sensor de pH, sensor infravermelho de CO₂, essas melhorias possibilitariam monitorar os dados 24h por dia de maneira remota, além de aumentar o número de variáveis disponíveis para acompanhamento. E o mais importante, mantendo um baixo custo de produção.

REFERENCIAS

AMIN, M Miftakul; NUGRATAMA, M Azel Aji; MASELENO, Andino; HUDA, Miftachul; JASMI, Kamarul Azmi. Design of cigarette disposal blower and automatic freshner using mq-5 sensor based on atmega 8535 microcontroller. **International Journal Of Engineering & Technology**, [S.L.], v. 7, n. 3, p. 1108, 23 jun. 2018. Science Publishing Corporation. <http://dx.doi.org/10.14419/ijet.v7i3.11917>.

ANISA, Ona. **Rancang Bangun Pengukur Kadar Gas Metana Pada Lahan Gambut Menggunakan Sms gateway Dan Sensor MQ4 berbasis Mikrokontroler**. 2017. Tese de Doutorado. POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA.

ARAUJO, Jean Marcel Milaré et al. **UTILIZAÇÃO DE SENSOR MQ-135 NA QUANTIFICAÇÃO DE GÁS CARBÔNICO PROVENIENTE DE DECOMPOSIÇÃO DE PALHADA DE SOJA**. 2019.

ARBEX, Marcos Abdo et al. **Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde**. J. bras. pneumol. São Paulo , v. 30, n. 2, p. 158-175, Apr. 2004. Disponível em: . Acesso em: 27 jun. 2022

BANZI, Massimo; SHILOH, Michael. Primeiros passos com o Arduino. **São Paulo: Novatec**, p. p1, 2011.

BATISTA, Adriano Pires et al. PRODUÇÃO DE BIOGÁS NO INTERIOR DA AMAZÔNIA A PARTIR DE UM BIODIGESTOR CASEIRO: RECURSO EDUCACIONAL PARA UMA ABORDAGEM INVESTIGATIVA EM AULAS DE CIÊNCIAS. **Educação Ambiental em Ação**, v. 21, n. 80, 2022.

BEJARANO, Alan Chang; CHAMPAGNE, Pascale. Optimization of biogas production during start-up with electrode-assisted anaerobic digestion. **Chemosphere**, v. 302, p. 134739, 2022.

CARDOSO, João Michels; ZANNIN, Marcelo. Proposta experimental para análise das variáveis de estado dos gases com Arduino. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, 2019.

CAVALCANTI, Luiz Antonio Pimentel. Protótipo para análise da qualidade de gasolina tipo C comum utilizando sensores de gás tipo semicondutor. **Revista Brasileira de Gestao Ambiental e Sustentabilidade**, v. 6, n. 12, p. 109-116, 2019.

CRUZ, M. M.; MARIANO, A. M.; CORDOVA, M. M. S. Implementation of an evaluation system to measure air quality on public transport routes using the Internet of Things. In: CONGRESO ARGENTINO DE CIENCIAS DE LA INFORMÁTICA Y DESAROLLOS DE INVESTIGACIÓN (CACIDI), 2018, Buenos Aires (Argentina), Proceedings. 2018. p. 1-4.

DE ALMEIDA VITOR, Valter Luiz et al. SENSOR DE GASES CONTROLADO PELO MÓDULO MICROCONTROLADOR ARDUINO. In: **29ª Mostra Específica de Trabalhos e Aplicações**. 2019.

DO AMARAL, Maíra Freire Pecegueiro. **Avaliação De Sistema Para Monitoramento De Gás Amônia Em Galpões Avícolas Com Ventilação Negativa**. Diss. Universidade Federal de Viçosa, 2007. Disponível em:

<http://arquivo.ufv.br/dea/ambiagro/arquivos/Tese%20de%20Ma%C3%ADra%20Pecegheiro2007.pdf>. Acesso em: 30 de Jun. 2022

DORNELLES, Tainá Trindade et al. ELABORAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE BIODIGESTOR PARA A PRODUÇÃO DE BIOGÁS E BIOFERTILIZANTE A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS. **Mostra Interativa da Produção Estudantil em Educação Científica e Tecnológica**, 2022.

DOS SANTOS, Nicolay Muniz; DA COSTA, Pedro Miguel Marques; ROCHA, Marcelo Borges. Tendências e padrões do uso de biodigestores em estudos brasileiros. **Terrae Didatica**, v. 18, p. e022019-e022019, 2022.

DUANGSUWAN, S. apud. A Study of air pollution smart sensors LPWAN via NB-IoT for Thailand smart cities 4.0. In: 10th INTERNATIONAL CONFERENCE ON KNOWLEDGE AND SMART TECHNOLOGY (KST), 2018, Chiang Mai (Thailand), Proceedings... 2018. p. 1-4.

FERREIRA, J. **Produção de biogás e funcionamento de biodigestores no ensino de ciências**. 2013. 44 f. Monografia (Especialização) - Ensino de Ciências, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

FOLLE, J.; SEIXAS, S.M; MARCHETTI, D. **Construção e funcionamento de biodigestores**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/549425/construcao-e-funcionamento-de-biodigestores>>. Acesso em: 10 de Nov de 2020

HANWEI ELECTRONICS. **Technical Data MQ135 Gas Sensor**. HWSSENSOR. [201-a]. 3 P

HANWEI ELETRONICS. **Technical data MQ-7 gas sensor**. HWSSENSOR. [201-b]. 3 p.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE. **Diagnóstico da rede de monitoramento da qualidade do ar no Brasil**. 2014, Disponível em: <http://www.forumclima.pr.gov.br/arquivos/File/Rosana/Diagnostico_Qualidade_do_Ar_Versao_Final_Std.pdf>. Acesso em 15 julho 2022

INSTRUTHERM. **Detector de 4 gases mod. DG500: catálogo**. Instrutherm, 2017. Disponível em: <https://bit.ly/3aZIDbE>. Acesso em: jun. 2019.

ISWANTO, I. et al. Design of gas concentration measurement and monitoring system for biogas power plant. **Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science (IJECS)**, v. 22, n. 2, p. 726-732, 2021.

KUMAR, Prafull. Device for Measuring Composition of Methane in Biogas. **International Journal of Modern Agriculture**, v. 10, n. 1, p. 746-751, 2021.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, L.; PICCININ, L.S. **Manual de análise: Biogás**. Alfacit LTDA e EMBRAPA Suínos e Aves, 2018.

KUNZ, Airton; STEINMETZ, Ricardo Luis Radis; DO AMARAL, André Cestonaro. Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato. **Embrapa Suínos e Aves-Livro científico (ALICE)**, 2019.

LEMONS, Hailton David; DE FREITAS, André Dionizio. Protótipo de bafômetro desenvolvido com Arduino e Sensor de Álcool MQ3 aplicado na educação para o trânsito.2017.

LUCAS, Max Antonio Ramos; MATOS, Gabriel Arthur Casemiro. Construção de um biodigestor para fins de estudo e aplicação em pequeno porte. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 5, p. 51890-51899, 2021.

MABROUKI, Jamal et al. Intelligent monitoring system for biogas detection based on the Internet of Things: Mohammedia, Morocco city landfill case. **Big Data Mining and Analytics**, v. 4, n. 1, p. 10-17, 2021.

MACKER, Alan et al. ARDUINO Based LPG Gas Monitoring... Automatic Cylinder Booking with Alert System. In: **2018 2nd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)**. IEEE, 2018. p. 1209-1212.

MCROBERTS, Michael. **Arduino básico**. Novatec Editora, 2018.

MUKHOPADHYAY, A. apud. Design of air quality meter and pollution detector. In: 8th ANNUAL INDUSTRIAL AUTOMATION AND ELECTROMECHANICAL ENGINEERING (IEMECON), 2017, Bangkok (Thailand), Proceedings... 2017. p. 381-384.

NOVAK A. C. **Oportunidades da Cadeia Produtiva de Biogás para o Estado do Paraná**-Curitiba: Senai/PR 2016.

OLIVEIRA, L. A. ; PINHO, E. F. M. ; COSME, E. A. . **Tecnologia de monitoramento da qualidade do ar**. Revista de Ciências Exatas e Tecnológicas das Faculdades Santo Agostinho, v. 4, p. 55-64, 2016. Disponível em: <https://fasa.edu.br/assets/arquivos/files/Revista_FACET_v.4.n.2.2016.pdf>. Acesso em: 26 de Julho 2022.

OLIVEIRA, P. A. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 1993. 188 p. (Embrapa Suínos e Aves. Documentos no 27).

PINZÓN, Antonio et al. **Sistema de detección de sustancias y partículas contaminantes para el ambiente a través de sensores arduino**. Revista de Iniciación Científica, v. 4, n. 1, p. 55-59, 2018.

Porta, L.D. (2016). **Sensor de gás arduino MQ-2 para gases inflamáveis e fumaça**. Usinainfo Eletrônica & Robótica. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/blog/sensor-de-gasarduino-mq-2-para-gases-inflamaveis-e-fumaca>. Acesso em 18/07/2021.

PRINCIVAL, Guilherme Cunha et al. Desenvolvimento de um sistema computacional de monitoramento da produção do biogás por meio de sensores eletrônicos e arduino. 2016

RODRIGUES, Nayara Santos; BLANS, Nayara Brandão; SCLINDWEIN, Madalena Maria. Uso de biodigestores para impulsionar a sustentabilidade ambiental/Use of biodigestors to impulse environmental sustainability. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 1, p. 462-487, 2019.

SAI, Kinnera Bharath Kumar; SUBBAREDDY, Somula Rama; LUHACH, Ashish Kumar. IOT based air quality monitoring system using MQ135 and MQ7 with machine learning analysis. **Scalable Computing: Practice and Experience**, v. 20, n. 4, p. 599-606, 2019.

SANTOS, João Pedro Alves Cordeiro dos. **Automação da coleta de dados no ensaio de batelada na produção de biogás**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

SATO, Abas; WEDARI, Nyoman Sri. 6 Penggunaan MQ-5 sebagai Sensor yang Murah dengan Akurasi Tinggi untuk Pengukuran Konsentrasi Gas Metana dalam Biogas. **Jurnal Riset Teknik**, v. 1, n. 2, p. 29-34, 2021.

SENSORES E TRANSDUTORES. ARDUÍNO EACH, 2018. Disponível em: <https://arduinoeach.wordpress.com/2018/01/09/sensores-e-transdutores/>. Acesso em: 01/08/2021

SESE, Julius T. et al. Effects of different adsorbent on methane reduction on a garbage bin using MQ4 Gas Sensor. In: **2016 6th IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE)**. IEEE, 2016. p. 455-459.

SOUZA, Juliana Bruno Borges et al. BIODIGESTORES NA SUINOCULTURA. In: **Anais Colóquio Estadual de Pesquisa Multidisciplinar (ISSN-2527-2500) & Congresso Nacional de Pesquisa Multidisciplinar**. 2019.

STRELOW, Filipe Hernani; MENDES, Regeane Silva. **Monitoramento de gases por meio de rede de sensores controlados com Arduino**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

SUSILO, Dody. Alat Deteksi Gas Metana pada Biogas Berbasis Arduino Uno. **Teknologi Tepat Guna untuk Indonesia Tangguh**, 2021.

YAN, Huan Hui; RAHAYU, Yusnita. Design and development of gas leakage monitoring system using arduino and zigbee. **Proceeding Of The Electrical Engineering Computer Science And Informatics**, v. 1, n. 1, p. 207-212, 2014.

YANG, Shunchang et al. Dispositivo portátil de baixo custo, baseado em Arduino, para medição da composição do metano no biogás. **Energia renovável** , v. 138, p. 224-229, 2019.

YANG, Shunchang; SVORONOS, Spyros A.; PULLAMMANAPPALLIL, Pratap. Development of Inexpensive, Automatic, Real-Time Measurement System for On-Line Methane Content and Biogas Flowrate. **Waste and Biomass Valorization**, v. 13, n. 12, p. 4839-4849, 2022.