

ASSOCIAÇÃO EDUCATIVA EVANGÉLICA
FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA – FACEG
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

ANA CLARA CARLOS GOMES DA SILVA

**SISTEMA DE DETECÇÃO DE GASES TÓXICOS E INFLAMÁVEIS COM SINAL
DE ALERTA E ATIVAÇÃO DE EXAUSTORES UTILIZANDO ARDUINO**

GOIANÉSIA

2021

ANA CLARA CARLOS GOMES DA SILVA

**SISTEMA DE DETECÇÃO DE GASES TÓXICOS E INFLAMÁVEIS COM SINAL
DE ALERTA E ATIVAÇÃO DE EXAUSTORES UTILIZANDO ARDUINO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica, da Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Graduação em Engenharia Mecânica.

GOIANÉSIA

2021

FICHA CATALOGRÁFICA

S586

Silva, Ana Clara Carlos Gomes da Silva.

Sistema de detecção de gases tóxicos e inflamáveis com ativação de exaustores/ Ana Clara Carlos Gomes da Silva – Goianésia: Faculdade Evangélica de Goianésia, 2021 – Faceg, 2021.
44 p.; il. p&b.

Orientador: Prof. Me. Ivandro José de Freitas Rocha.

Monografia de Graduação – Faculdade Evangélica de Goianésia: FACEG, 2021.

1. Segurança. 2. Sensores 3. Despoluição do ambiente

I. Silva, Ana Clara Carlos Gomes da Silva. II. Sistema de detecção de gases tóxicos e inflamáveis com sinal de alerta e ativação de exaustores utilizando Arduino

CDU 621

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Silva, A.C.C.G. **Sistema de detecção de gases tóxicos e inflamáveis com sinal de alerta e ativação de exaustores utilizando Arduino.** Trabalho de conclusão Curso (Graduação em Engenharia mecânica) – Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia-GO, 2021.

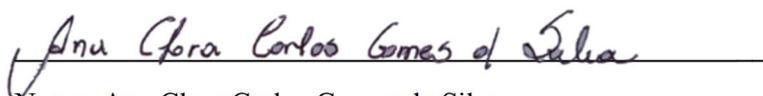
CESSÃO DE DIREITOS

NOME: ANA CLARA CARLOS GOMES DA SILVA

GRAU: BACHAREL

ANO: 2021

É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia permissão para reproduzir cópias desta Monografia de Graduação, única e exclusivamente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais de publicação. Nenhuma parte desta Monografia pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada a fonte.



Nome: Ana Clara Carlos Gomes da Silva

CPF: 703.749.201-92

Endereço: Rua 16 A nº 55 Setor Universitário

Email: anagomes3200@outlook.com

ANA CLARA CARLOS GOMES DA SILVA

SISTEMA DE DETECÇÃO DE GASES TÓXICOS E INFLAMÁVEIS COM SINAL DE ALERTA E ATIVAÇÃO DE EXAUSTORES UTILIZANDO ARDUINO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica, da Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Graduação em Engenharia Mecânica.

Goianésia, _____ de _____ de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Ivandro José de Freitas Rocha - Orientador
Faculdade Evangélica de Goianésia

Prof. Me. Anne Caroline de Paula Nascimento - Avaliador
Faculdade Evangélica de Goianésia

Prof. Me. Erick Rocha Vieira - Avaliador
Faculdade Evangélica de Goianésia

***“Tudo quanto te vier à mão para fazer, faze-o conforme as tuas forças, porque na sepultura, para onde tu vais, não há obra, nem indústria, nem ciência, nem sabedoria alguma.”
(Colossenses 3:23)***

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me sustentado até aqui, “pois nele foram criadas todas as coisas nos céus e na terra, as visíveis e as invisíveis, sejam tronos sejam soberanias, poderes ou autoridades; todas as coisas foram criadas por ele e para ele.” **Colossenses 1:16**, onde muitas vezes fui ingrata e não soube apreciar nos mínimos detalhes o cuidado que Ele teve, o amanhecer, o alimento na mesa, as amizades, minha família a oportunidade de poder ter me formado, Deus me manteve até aqui!

Agradeço aos meus pais, Alzira Carlos e Edivaldo Gomes da Silva, pela educação que eles me deram, por todas as vezes que eles acordaram de madrugada, até hoje, para me ajudar a crescer, pelo exemplo, pelas repreensões e amor, pontos cruciais para me tornar quem me tornei hoje.

Agradeço ao meu noivo Raul André por todo o apoio, por aguentar todos os meus estresses, recaídas, frustrações, por sempre atender minhas ligações pedindo favores e se desdobrar para realizar. Dedico uma porcentagem deste projeto a ele.

Agradeço também aos meus professores que me acompanharam em toda essa jornada, pessoas que doaram tempo e momentos, pois lecionar vai muito além de uma sala de aula, é uma entrega diária que precisamos reconhecer, sendo assim dedico este trabalho aos professores que passaram em toda minha jornada de estudos, desde o maternal ao fim do curso acadêmico. Em especial ao meu professor orientador Me. Ivandro José de Freitas Rocha, que se dispôs a acompanhar este trabalho comigo, me guiando e estruindo, pacientemente, até alcançarmos o alvo.

Agradeço aos meus amigos e colegas, todos, sem exceção, que agregaram de forma direta e indireta em todo este processo.

Por fim, agradeço a mim, exatamente, me agradeço! Me agradeço por não ter perdido as esperanças, em ter acreditado que seria possível e ter feito ser possível, pela minha garra, motivação, mesmo que algumas vezes em pedaços. Agradeço por ter me permitido ter vivido este momento tão importante!

RESUMO

Com o aumento do desenvolvimento tecnológico em grande parte das atividades industriais o mercado industrial teve que se reinventar para garantir uma operação confortável e segura para seus trabalhadores. Esta automatização consequente dos processos industriais proporcionou o aumento de um ambiente mais propício ao contato com gases e oportuno a possíveis acidentes, desse modo, o acréscimo de novos projetos que possuam eficiência é crucial. O propósito deste estudo é a elaboração de um projeto de detecção de gases tóxicos e inflamáveis com aplicação nos diversos ambientes, desenvolvido no Centro Tecnológico da Instituição Faculdade Evangélica de Goianésia. Um protótipo com a utilização de sensores disponíveis no mercado, sendo estes o sensor MQ-2 capaz de detectar concentrações de gases combustíveis e fumaça no ar, sensor MQ-3 capaz de detectar vapores de álcool e etanol, um sensor muito usado em projetos de bafômetro e o sensor MQ-135 capaz de detectar concentrações de gases nocivos à qualidade do ar. Dispostos em uma caixa de vidro eles captam a concentração de gases tóxicos existente num ambiente fechado, em busca de definir o melhor sensor para detecção dos gases foram realizados testes para a escolha do sensor para a montagem do protótipo, que assim que a concentração dos gases atingirem um valor que seja prejudicial a vida humana, captada pelo sensor definido e sendo este valor estipulado na programação, o *buzzer* dispara um sinal sonoro, apresentam-se mensagens de alerta no display e ativa-se o exaustor, cooler. O exaustor reduz a concentração do gás do ambiente fazendo assim com que as funções dos componentes retornem a ficar estáticas devida a dispersão do gás obtida através da exaustão. O projeto se comporta de forma eficiente e conforme previsto e buscado no início das pesquisas, o custo obtido para a realização do protótipo foi excelente ao esperado, o valor alcançado para aquisição do conjunto de componentes para realização deste projeto foi notável em relação aos dispositivos encontrados atualmente, podendo ser redimensionado para a utilização em ambientes com risco de vazamentos de gases, sendo necessário apenas a realização e adaptação da calibração do sensor escolhido para detecção de outros tipos de gases, sendo consistido como um objeto de consultas e estudos futuros para melhoramento e aplicações.

Palavras-chaves: Segurança; Sensores; Despoluição do ambiente.

ABSTRACT

With the increase in technological development in most industrial activities, the industrial market had to reinvent itself to ensure a comfortable and safe operation for its workers. This consequent automation of industrial processes provided the increase of an environment more conducive to contact with gases and opportune to possible accidents, thus, the addition of new projects that have efficiency is crucial. The purpose of this study is the elaboration of a project for the detection of toxic and flammable gases with application in different environments, developed at the Technological Center of the Faculdade Evangélica de Goianésia. A prototype with the use of sensors available on the market, these being the MQ-2 sensor capable of detecting concentrations of combustible gases and smoke in the air, the MQ-3 sensor capable of detecting alcohol and ethanol vapors, a sensor widely used in breathalyzer and the MQ-135 sensor capable of detecting concentrations of gases harmful to air quality. Arranged in a glass box, they capture the concentration of toxic gases existing in a closed environment, in order to define the best sensor for the detection of gases, tests were carried out to choose the sensor for the assembly of the prototype, which as soon as the concentration of gases reach a value that is harmful to human life, captured by the defined sensor and this value being stipulated in the programming, the buzzer triggers an audible signal, alert messages are shown on the display and the fan and cooler are activated. The hood reduces the concentration of the gas in the environment, thus causing the functions of the components to return to static due to the dispersion of the gas obtained through the exhaust. The project behaves efficiently and as expected and sought at the beginning of the research, the cost obtained for the realization of the prototype was excellent than expected, the value achieved for the acquisition of the set of components to carry out this project was remarkable in relation to the devices found currently, it can be resized for use in environments with risk of gas leaks, being only necessary to carry out and adapt the calibration of the chosen sensor for the detection of other types of gases, being constituted as an object of consultations and future studies for improvement and applications.

Keywords: Security; Sensors; Environmental clean-up.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Detector de gás fixo - CTX 300.....	6
Figura 2 - Modelo Arduino Uno R3	7
Figura 3 - Arduino MEGA 2560 R3	8
Figura 4 - Esquema interno de um sensor de gás MQ.....	10
Figura 5 - Sensor MQ-2.....	11
Figura 6 - Curva de sensibilidade MQ2	12
Figura 7 - Sensor MQ-3.....	13
Figura 8 - Curva de sensibilidade MQ-3	14
Figura 9 - Sensor MQ-135.....	14
Figura 10 - Curva de sensibilidade MQ-135	15
Figura 11 - Display de LCD 16x2	16
Figura 12 - Campainha ativa (5V).....	17
Figura 13 - Cooler Fan 40x40x10mm	18
Figura 14 - Fluxograma do projeto.....	19
Figura 15 - Curva GLP MQ-2 linear	21
Figura 16 - Obtenção do valor de R0	22
Figura 17 - Obtenção do valor Rs/R0.....	23
Figura 18 - Calibração do sensor.....	23
Figura 19 - Função de saída da concentração do gás em ppm	24
Figura 20 - Obtenção do valor MQGetPercentage	24
Figura 21 - Valores das curvas de sensibilidade	25
Figura 22 - Função de ativações dos componentes	25
Figura 23 - Aquário Aquaterrário Retangular	26
Figura 24 - Pinagem do circuito	28
Figura 25 - Cooler centralizado no furo lateral da caixa	29
Figura 26 - Fixação do <i>buzzer</i>	29
Figura 27 - Organização das fiações	30
Figura 28 - Visão superior do protótipo	31
Figura 29 - Montagem final do protótipo.....	31
Figura 30 - Recipiente utilizado para o primeiro teste com Álcool	27
Figura 31 - Teste com álcool - Valores coletados da curva de sensibilidade Álcool dos sensores.....	34

Figura 32 - Teste com álcool - Valores coletados da curva de sensibilidade CH4 dos sensores Fonte: O autor	34
Figura 33 - Teste com álcool - Valores coletados da curva de sensibilidade CO dos sensores	35
Figura 34 - Teste com álcool - Valores coletados da curva de sensibilidade LGP dos sensores	35
Figura 35 - Teste com gás de cozinha - Valores coletados da curva de sensibilidade Álcool dos sensores	36
Figura 36 - Teste com gás de cozinha - Valores coletados da curva de sensibilidade CH4 dos sensores.....	37
Figura 37 - Teste com gás de cozinha - Valores coletados da curva de sensibilidade CO dos sensores Fonte: O autor	37
Figura 38 - Teste com gás de cozinha - Valores coletados da curva de sensibilidade LGP dos sensores.....	38
Figura 39 - Sensor escolhido montado no protótipo	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limite de tolerância.....	5
Tabela 2 - Tabela dos dados obtidos para calibração Sensor MQ-2.....	21
Tabela 3 - Tabela dos dados obtidos para calibração Sensor MQ-3.....	21
Tabela 4 - Tabela dos dados obtidos para calibração Sensor MQ-135.....	21
Tabela 5 - Custo para montagem do protótipo	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PPM	Parte por milhão
USB	Porta serial universal
ICSP	In Circuit Serial Programming
LCD	Display de Cristal Líquido
IHM	Interface Homem Máquina
IDE	Ambiente de desenvolvimento integrado
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
LED	Diodo emissor de luz
LOG	Logaritmo
CH ₄	Metano
CO	Monóxido de carbono

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivo	2
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Justificativa	3
2 REFERENCIAL TEÓRICO	4
2.1 Gases	4
2.1.1 Classificação	4
2.1.2 Tolerância a exposição	4
2.2 Sistemas de detecção de gases	5
2.3 Arduino	6
2.3.1 Placa Arduino Uno R3	7
2.3.2 Placa Arduino Mega ADK R3 ATMEGA2560	8
2.3.3 Arduino Software (IDE) - Ambiente de Desenvolvimento Integrado	9
2.4 Sensores	9
2.4.1 Calibração dos sensores	10
2.4.2 Sensor MQ-2 (Fumaça)	11
2.4.3 Sensor MQ-3 (Ácool)	12
2.4.4 Sensor MQ-135 (Qualidade do ar)	14
2.5 Display e periféricos	16
2.5.1 Display LCD 16x2 Escrita Preta Backlight Verde	16
2.5.2 Buzzer	17
2.5.3 Cooler 12V	17
3 METODOLOGIA	19
3.1 Modelagem do sistema	19
3.2 Elaboração do código	20
3.2.1 Calibração dos sensores	20
3.2.2 Leitura do sensor	23
3.2.3 Ação em caso de detecção de níveis prejudiciais à saúde humana	25
3.3 Comparação dos sensores	26
3.4 Montagem do protótipo	28
3.4.1 Pinagem do circuito	28
3.4.2 Hardware	29
3.5 Simulação e teste do protótipo	32

3.5.1 <i>Teste com Álcool</i>	32
3.5.2 <i>Teste com gás de cozinha (GLP)</i>	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1 Calibração e comparação dos sensores	33
4.1.1 <i>Teste com Álcool</i>	33
4.1.2 <i>Teste com Gás de Cozinha (GLP)</i>	36
4.2 Sensor escolhido	38
4.3 Performance da ativação do exaustor (cooler)	39
4.4 Valores gastos no desenvolvimento do protótipo	40
5 CONCLUSÃO	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

1 INTRODUÇÃO

Gases tóxicos podem ser definidos como compostos que, quando inalado, ingerido ou absorvido através da pele, pode provocar grande variedade de problemas ao ser humano, que vão desde simples irritações até a morte. Os gases inflamáveis são substâncias que misturadas ao oxigênio, e na presença de uma fonte de ignição, entram em combustão, também podendo ser considerado como tóxico. A ocorrência de vazamentos deste tipo de gases é altamente prejudicial a vida (ENESENS, 2018).

Em meados de 2020, ocorreu no Sul da Índia, em Andhra Pradesh o vazamento de gás tóxico em uma das empresas da LG Polymers. De acordo com as investigações dois tanques de 5000 toneladas que estavam sem devida vigilância liberou a substância tóxica por um raio de 5 km de distância, deixando pelo menos 12 mortos e milhares de cidadãos hospitalizados. O acidente de 2020 foi comparado ao maior crime industrial existente na história, onde há 36 anos, em Bhopal, também na Índia, cerca de 27 toneladas de gás isocianato de metila vazaram de uma fábrica de agrotóxicos desativada da companhia estadunidense Union Carbide na madrugada de 3 de dezembro de 1984, deixando inúmeras mortes e sequelas presentes até mesmo nas gerações atuais. Relatos afirmam que os dois acidentes poderiam ter sido evitados ou amenizados se possuíssem dispositivos de segurança mais rígidos e eficazes (BRASIL, 2020).

Necessidade de segurança é algo que precisa ser priorizado até em atividades simples e principalmente rotineiras, pois são essas atividades que remetem confiança aos realizadores devido à repetição, trazendo a suposta certeza de que se sabe o suficiente para realizá-las sem preocupações ou precauções. Em Campo Limpo de Goiás, dois empresários que possuíam um espaço subterrâneo de alambiques de envelhecimento de cachaça desceram ao local para uma verificação rotineira e acabaram se intoxicando e vieram a falecer devido ao gás gerado pela fermentação da cachaça, onde também uma terceira pessoa que desceu ao local para tentar socorrer as vítimas também veio a falecer (G1, 2020).

Empresas que investem em segurança do trabalho alcançam ganhos gigantescos, não somente em relação a custos, com transporte, afastamento e a reabilitação do acidentado previsto pela Lei de nº 8.213/91, art. 118, mas também em relação ao relacionamento entre empregados e empregadores, visto que os mesmos se sentem mais valorizados, aumentando assim sua produtividade (MEDNET, 2020).

De acordo com Peixoto (2011), empresas que convivem, despreocupadamente, com passivos ocupacionais decorrentes de acidentes de trabalho e que ainda consideram a questão da Segurança e Saúde Ocupacional como mero imperativo legal, não sobreviverão aos novos tempos.

Na área industrial, a evolução tecnológica é vital para o aumento da produtividade e alcance de destaque no mercado. Não é mais possível falar sobre evolução tecnológica e automação em indústrias nos dias atuais sem apontar a quarta revolução industrial, ou Indústria 4.0, como sendo referenciada. Esta revolução industrial, igualmente caracterizada pelas anteriores, tem como objetivo mudar, atualizar e modernizar os processos industriais. Esta nova onda de modernidade exige das empresas o desenvolvimento constante, oportunizando assim a competitividade no mercado (TOTVS, 2019).

A competitividade industrial traz como necessidade a automatização de alguns processos, principalmente atividades que interferem diretamente na produtividade e segurança dos funcionários. Processos automatizados estão totalmente interligados ao aumento de segurança, devido ao fato de simplificar, facilitar e até mesmo eliminar riscos durante a operação (INDUSTRIA, 2020).

Proporcionar o aumento da segurança é algo básico e imprescindível. Harmonizar os recursos tecnológicos disponíveis juntamente com estratégias humanas de segurança adquiridas através de normas, resultará no alcance da melhoria de processos atingindo os resultados desejados.

1.1 Objetivo

Desenvolver um projeto de sistema de detecção de gases tóxicos e inflamáveis com custo inferior aos sistemas oferecidos pelo mercado.

1.2 Objetivos específicos

- Desenvolver um protótipo que comprove a eficácia do sistema de detecção de gases tóxicos e inflamáveis.

- Realizar comparativo e eficiência dos sensores MQ-2, MQ-3 e MQ-135 definindo assim o melhor para aplicação e desenvolvimento do protótipo.
- Obter dados dos níveis de gases através dos sensores e apresentar respostas através de efeitos visuais e sonoros.
- Apresentar performance da ativação do exaustor (cooler) na despoluição do ambiente.

1.3 Justificativa

A ocorrência de vazamentos de gases tóxicos e inflamáveis, pode afetar diretamente na segurança de trabalhadores que prestam serviços para indústrias que manuseiam, armazenam e transportam este tipo de composto, sendo assim obrigação dessas instituições, mapear os riscos existentes e buscar eliminá-los. Este trabalho apoia-se nessa necessidade de proporcionar a segurança necessária para qualidade da vida em empresas que manipulam este tipo de materiais através da tecnologia.

De acordo com Calante, (2012, apud OZÓRIO, 2014, pg. 13), o desenvolvimento tecnológico, fez com que os métodos de detecção de vazamento de gás não ficassem restritos somente à utilização dos sentidos humanos. A utilização de equipamentos complexos e específicos permitiu ampliar bastante a faixa de medição e melhorar muito a precisão destes métodos de ensaio.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Gases

Um gás pode ser definido como um composto de partículas que não tem forma e nem volume próprio (UFRGS, 2021). As principais características físicas dos gases são a sua grande compressibilidade e extraordinária capacidade de expansão. Os gases não apresentam um volume fixo, pois sempre ocupam o volume total do recipiente em que estão confinados. Outra propriedade inerente aos gases é que eles são miscíveis entre si em qualquer proporção, ou seja, formam uma mistura homogênea. (USBERCO e SALVADOR, 2006, p.374).

2.1.1 Classificação

Para a física, gás é um dos estados físicos da matéria. Para a Organização das Nações Unidas (ONU) os gases são classificados pelos riscos, que são:

Gases inflamáveis: são substâncias que misturadas ao oxigênio, e na presença de uma fonte de ignição, entram em combustão. Alguns exemplos de gases combustíveis são: Metano (CH_4), Butano (C_4H_{10}), Etileno (C_2H_4), Etano (C_2H_6), Propano (C_3H_8), GLP (Propano + Butano) e Xileno (C_8H_{10}) (SIIPP, 2021).

Gases tóxicos: são gases reconhecidamente ou supostamente tóxicos e corrosivos que constituam risco à saúde das pessoas. De forma geral os gases tóxicos são classificados de acordo com a ação do mesmo ao ser humano, sendo irritantes, asfixiantes simples e asfixiantes químicos. Alguns exemplos de gases tóxicos são: Amônia (NH_3), Dióxido de Carbono (CO_2), Monóxido de Carbono (CO), Gás Cloro (Cl_2) e Dióxido de Enxofre (SO_2) (SIIPP, 2021).

Gases não-inflamáveis, não tóxicos: são gases asfixiantes, oxidantes ou que não se enquadrem em outra subclasse (SIIPP, 2021).

2.1.2 Tolerância a exposição

A norma regulamentadora NR15 estabelece as atividades que devem ser consideradas insalubres definindo os limites de tolerância para agentes físicos, químicos e biológicos. A Tabela 1 apresenta alguns limites de exposição existentes para alguns gases (GOV.BR, 2020):

Tabela 1 - Limite de tolerância

Agentes Químicos	Até 48 horas/semana		Grau de insalubridade a ser considerado no caso de sua caracterização
	ppm*	mg/m3**	
n-Butano	470	1090	médio
Etileno	Asfixiante	simples	-
n-propano	Asfixiante	simples	-
Metano	Asfixiante	simples	-
Álcool etílico	780	1480	mínimo
Amônia	20	14	médio
Dióxido de carbono	3900	7020	mínimo

Fonte: Gov.br

A tabela da NR15, originalmente editada pela Portaria MTb nº 3.214, de 8 de junho de 1978, não apresenta valores de tolerância para alguns gases, classificando-os apenas como Asfixiante simples, contudo, para um ambiente de trabalho ser considerado seguro é necessário manter a concentração mínima de oxigênio, sendo 18% em volume do local. Sendo que locais que tenham concentração de oxigênio abaixo deste valor já apresentam riscos a vida humana (GOV.BR, 2020).

2.2 Sistemas de detecção de gases

Um sistema de detecção de gases é, em última análise, um circuito elétrico onde, na extremidade, vai um sensor. O sistema que irá detectar o gás deve prever que o sinal advindo do eletrodo da célula sensora deve ser prioritário, reconhecendo como inapropriados o aumento de corrente que deles não provenha. Assim mantém uma estabilidade quando inexistente, no ambiente, a presença do gás detectável (LEL, 2017).

O Detector de Gás Fixo – CTX 300, tendo como proposta oferecer proteção a diversos ambientes perigosos, além de sensores pré-calibrados e visor em LCD opcional que facilitam a manutenção. Pode operar como unidade autônoma ou conectado a um controlador, modelo apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Detector de gás fixo - CTX 300



Fonte: LEL Ambiental

Características do detector:

- Detector de O₂ ou gases tóxicos;
- Instalação em áreas não classificadas;
- Visor com iluminação de fundo opcional;
- 15 opções de sensores: Cl₂, ClO₂, CO, CO₂, ETO, H₂, H₂S, HCl, HCN, NO₂, NO, NH₃, O₂, Ph₃ e SO₂.

2.3 Arduino

Lançado em 2005, o Arduino pode ser definido como uma plataforma de computação ou um pequeno computador que permite ser programado processando comandos de acordo com o desejado. Mas especificamente, o Arduino é um microcomputador, o qual contém um núcleo de processador, memória e periféricos programáveis de entrada e saída (FILIFEFLOP, 2014).

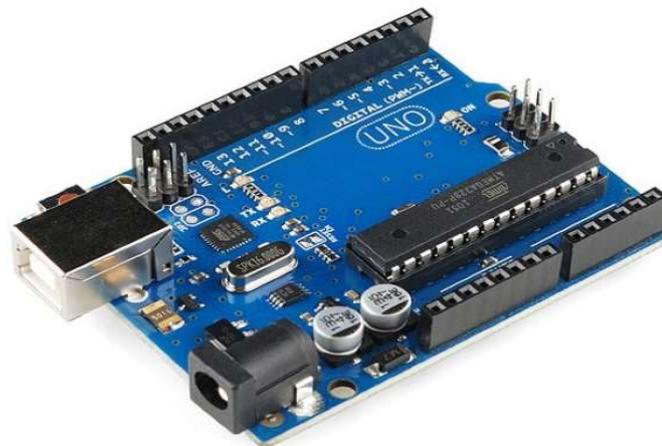
Uma das vantagens da placa de Arduino em relação aos demais microcomputadores é sua facilidade para manipulação. Por esse motivo é muito comum observar a utilização dessa ferramenta para estudos acadêmicos ou até mesmo o uso por pessoas que não são da área da computação para realização do seu próprio projeto sem muita experiência (FILIFEFLOP, 2014).

Para Justen (2014), “Arduino é um projeto que engloba software e hardware e tem como objetivo fornecer uma plataforma fácil para prototipação de projetos interativos, utilizando um microcontrolador. Ele faz parte do que chamamos de computação física: área da computação em que o software interage diretamente com o hardware, tornando possível integração fácil com sensores, motores e outros dispositivos eletrônicos”.

2.3.1 Placa Arduino UNO R3

A placa de Arduino UNO R3 pode ser utilizada em inúmeros projetos, pois além do bom custo benefício ela possui um ótimo desempenho e uma quantidade de portas considerável, além de compatibilidade com os *Shields* Arduino, que são placas de hardware que podem ser plugadas no Arduino, contendo circuitos eletrônicos que permitem desempenhar as funções de *WiFi* e **Bluetooth** por exemplo.

Figura 2 - Modelo Arduino UNO R3



Fonte: Filipeflop

Especificações UNO R3:

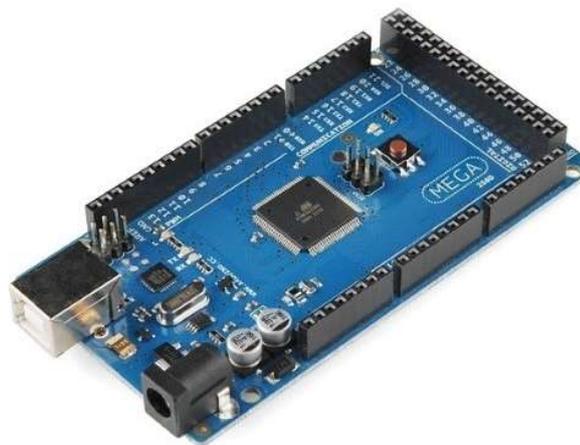
- Microcontrolador: ATmega328 (datasheet)
- Tensão de Operação: 5V
- Tensão de Entrada: 7-12V
- Portas Digitais: 14 (6 podem ser usadas como PWM)
- Portas Analógicas: 6
- Corrente Pinos I/O: 40mA
- Corrente Pinos 3,3V: 50mA
- Memória Flash: 32KB (0,5KB usado no bootloader)
- SRAM: 2KB

- EEPROM: 1KB
- Velocidade do Clock: 16MHz

2.3.2 Placa Arduino Mega ADK R3 ATMEGA2560

O Arduino Mega ADK (Accessory Development Kit) é uma placa da família Arduino projetada para se conectar à dispositivos com o sistema operacional Android, como celulares, tablets e outros aparelhos. Semelhante ao Mega 2560 e UNO, ele possui um ATmega8U2 programado como um conversor USB para serial, demonstrado na Figura 3 (CURTO, 2021).

Figura 3 - Arduino MEGA 2560 R3



Fonte: Filipeflop

Especificações *ADK R3 ATMEGA2560*:

- Microcontrolador: ATmega2560
- Tensão de Operação: 5v
- Tensão de entrada (recomendada): 7-12v
- Tensão de entrada (limites): 6-20v
- Pinos de entrada/saída: 54 (dos quais 15 podem ser PWM)
- Pinos de entrada analógica: 16
- Corrente DC por pino I/O: 40mA
- Corrente DC para pino 3,3v: 50mA
- Memória Flash: 256KB (dos quais 8KB são usados pelo Bootloader)
- SRAM: 8KB
- EEPROM: 4KB
- Velocidade do Clock: 16MHz

2.3.3 Ambiente de Desenvolvimento Integrado - (IDE)

O sistema de desenvolvimento integrado da Arduino consiste em uma plataforma que proporciona um ambiente de programação em C e C++, com uma interface gráfica desenvolvida em Java. O IDE contém um editor de texto para escrever código, uma área de mensagem, um console de texto, uma barra de ferramentas com botões para funções comuns e uma série de menus (FILIPEFLOP, 2021).

2.4 Sensores

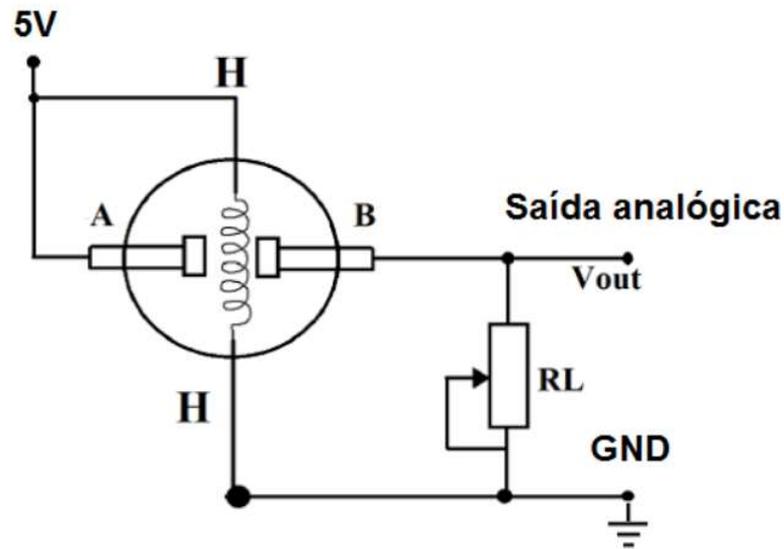
De acordo com a Each (2018), o sensor pode ser definido como:

“Um sensor é um dispositivo que responde a um estímulo físico ou químico de maneira específica, produzindo um sinal que pode ser transformado em outra grandeza física para fins de medição e/ou monitoramento. Desta forma, o sensor associado a um módulo de transformação do estímulo em uma grandeza pode ser definido como transdutor ou medidor, que converte um tipo de energia em outro, para fins de medição.”

De forma simplificada, o sensor é um dispositivo capaz de detectar estímulos externos e responder com um produto final. A maioria dos sensores de gases existentes no mercado atualmente são do tipo eletrocatalítico, sendo de baixo custo sem dispensar a modernidade, estes dispositivos têm como características um pequeno sensor interno denominado como “pérola” (BREATHE, 2012).

A pérola é constituída de uma bobina de fio de platina aquecido eletricamente, seu princípio de funcionamento consiste na combinação de um gás com o ar sobre a superfície do elemento catalítico quente, onde, ocorre a combustão o calor desenvolvido aumenta a temperatura superfície da pérola, essa alteração e/ou diferencial de temperatura entre o instante antes da combustão resulta em um delta que está diretamente interligado com a concentração de gases na atmosfera, esquema apresentado na Figura 4 (BREATHE, 2012).

Figura 4 - Esquema interno de um sensor de gás MQ



Fonte: Vida de Silício.

Na vertical temos uma resistência elétrica que aquece o ar. Essa resistência é ligada através da alimentação dos pinos H's, um vai no 5V e o outro no GND (0V).

De A para B temos nosso sensor de gás. Em uma atmosfera onde possa haver gás poluidor, a resistência do sensor de gás diminui conforme a concentração do gás poluente aumenta. Ou seja, quanto mais gás poluente, menor será a resistência entre A e B (SILÍCIO, 2017).

2.4.1 Calibração dos sensores

Para aplicação real dos sensores MQ é necessária escalar o valor lido, visto que a leitura obtida pelo sensor e a relação entre a leitura analógica não é linear, desse modo, se faz necessário estimar a curva através dos dados das curvas de sensibilidade de cada sensor (DAVIDE, 2014).

Os dados disponibilizados na curva são em escala logarítmica, $RS/R0$, fazendo-se necessária a elaboração de um novo gráfico para cada sensor para obter-se assim uma nova equação de correção (DAVIDE, 2014).

A exposição do gráfico fica idêntica a uma função de potência, conforme Equação 1:

$$y = a \cdot x^b \quad (1)$$

Nos levando a uma segunda equação com a substituição das variáveis, conforme Equação 2:

$$\text{ppm} = a \cdot (\text{Rs}/\text{R0})^b \quad (2)$$

Usando a regressão de potência, obtém-se o fator de escala (a) e o expoente (b), para o gás que se deseja medir, conforme Equação 3.

$$\text{R0} = \text{Rs} \cdot \text{sqrt} (a / \text{ppm}, b) = \text{Rs} \cdot \text{exp} (\ln (a / \text{ppm}) / b) \quad (3)$$

Para calibrar o sensor então, precisa-se de uma quantidade conhecida de um determinado gás, para ler o valor de saída de resistência do sensor (Rs), e assim calcular o valor R0 calibrado (DAVIDE, 2014).

2.4.2 Sensor MQ- 2 (Fumaça)

O sensor MQ- 2 é capaz de detectar concentrações de gases combustíveis e fumaça no ar. É um módulo confiável e simples de usar nos projetos de automação residencial com Arduino, por exemplo. Também é uma ótima opção para acionar um microcontrolador ou relés. Modelo do sensor demonstrado na Figura 5 e a sua curva de sensibilidade na Figura 6 (FILIPEFLOP, 2021).

Figura 5 - Sensor MQ-2



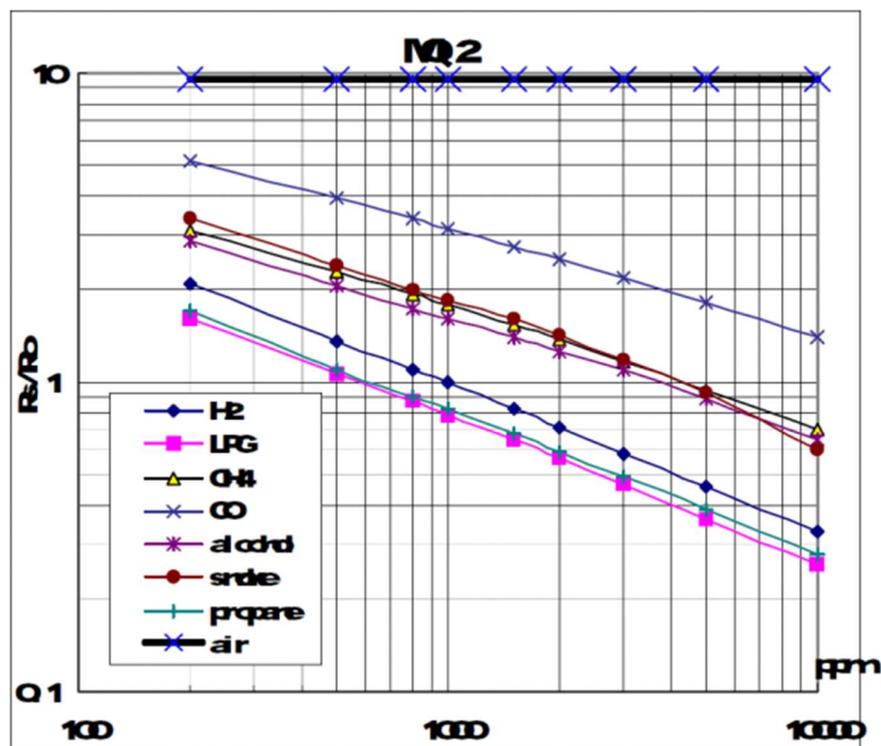
Fonte: *Free Eletronics*

Especificações MQ-2:

- Modelo: MQ-2
- Detecção de gases inflamáveis: GLP, Metano, Propano, Butano, Hidrogênio, Álcool, Gás Natural e outros inflamáveis.
- Detecção de fumaça
- Concentração de detecção: 300-10.000ppm
- Tensão de operação: 5V

- Sensibilidade ajustável via potenciômetro
- Saída Digital e Analógica
- Fácil instalação
- Comparador LM393
- Led indicador para tensão
- Led indicador para saída digital
- Dimensões: 32 x 20 x 15mm

Figura 6 - Curva de sensibilidade MQ2



R0: resistência do sensor no ar limpo; Rs: resistência do sensor em várias concentrações de gases. Fonte: Davide Girone

2.4.3 Sensor MQ-3 (Ácool)

O Sensor MQ-3 capaz de detectar vapores de álcool e etanol, um sensor muito usado em projetos de bafômetro e de fácil conexão com Arduino e Raspberry Pi. Seu funcionamento é simples, quando a concentração de álcool fica acima do nível ajustado pelo potenciômetro, a saída digital D0UT fica em estado alto, se abaixo do nível, fica em estado baixo. Modelo do sensor demonstrado na Figura 7 e a sua curva de sensibilidade na Figura 8 (ELETROGATE, 2021).

Figura 7 - Sensor MQ-3

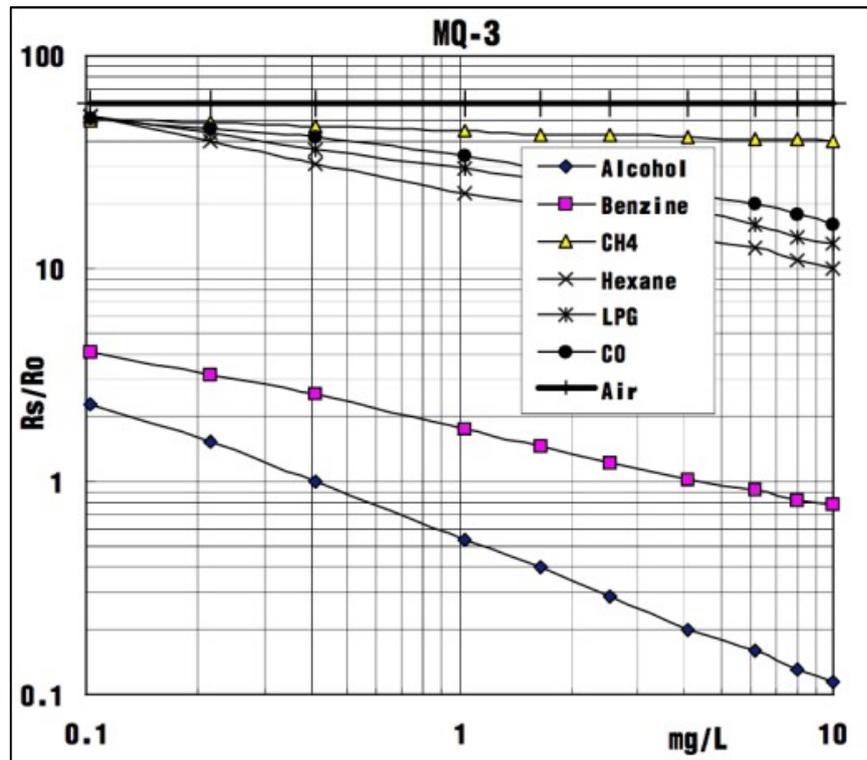


Fonte: *INVENT ELETRONICS*

Especificações:

- Modelo: MQ-3
- Detecção de gases como Álcool e Etanol
- Concentração de detecção: 10-10.000ppm
- Tensão de operação: 3-5V
- Tempo de resposta: $\leq 10s$
- Resistência de aquecimento: $31\Omega \pm 3\Omega$
- Tensão de aquecimento: $5V \pm 0,2V$
- Potência de aquecimento: $\leq 900mW$
- Sensibilidade ajustável via potenciômetro
- Saída Digital e Analógica
- Fácil instalação
- Comparador LM393
- Dimensões: 32 x 20 x 15mm

Figura 8 - Curva de sensibilidade MQ-3



Fonte: Davide Gironi

2.4.4 Sensor MQ-135 (Qualidade do ar)

O MQ-135 Sensor capaz de detectar concentrações de gases nocivos à qualidade do Ar, como: Amônia, Enxofre, Compostos Aromáticos, Sulfeto, Vapores de Benzeno, dentre outros gases. O MQ-135 pode detectar concentrações na faixa de 100 a 10.000 ppm. Modelo de sensor demonstrado na Figura 9 e a sua curva de sensibilidade na Figura 10 (ELETROGATE, 2021).

Figura 9 - Sensor MQ-135

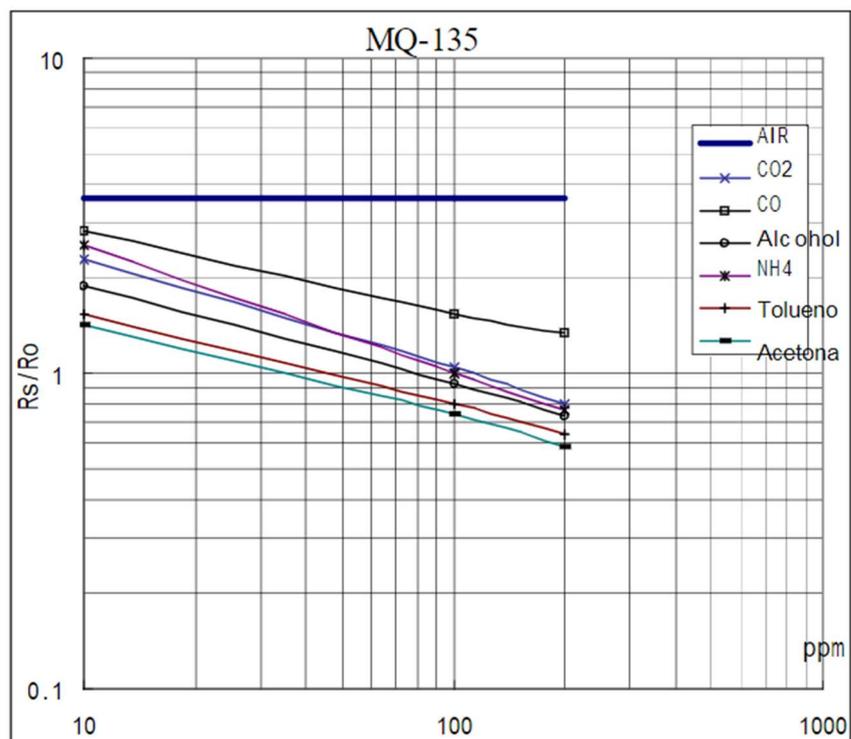


Fonte: MARINOSStore

Especificações:

- Modelo: MQ-135
- Concentração de detecção: 100-10.000ppm
- Tensão de operação: 5V
- Sensibilidade ajustável via potenciômetro
- Saída Digital e Analógica
- Fácil instalação
- Comparador LM393
- Led indicador para tensão
- Led indicador para saída digital
- Dimensões: 32 x 20 x 15mm

Figura 10 - Curva de sensibilidade MQ-135



Fonte: *Davide Gironi*

2.5 Display e periféricos

2.5.1 Display LCD 16x2 Escrita Preta Backlight Verde

O display LCD alfanumérico 16x2, mostrado na Figura 11, é um modelo vastamente utilizado em projetos onde se faz necessária uma interface homem-máquina (IHM) de fácil implementação. Utiliza o controlador HD44780, usado em toda indústria de LCD's como base de interface que pode ser operado em 4 ou 8 bits paralelamente. De fácil interação com qualquer microcontrolador, este componente é ideal para estudantes e profissionais da área (CIRCUITO, 2016).

Figura 11 - Display de LCD 16x2



Fonte: MSS ELETRÔNICA

Especificações *Display LCD 16x2*:

- *Display LCD 16×2*;
- Backlight: verde/amarelo;
- Cor dos caracteres: preto;
- Controlador: HD44780;
- Adaptador display I2C integrado;
- Modelo adaptador I2C: PCF8574T;
- Potenciômetro para ajuste do contraste;
- Tensão de operação: 5V;

- Linhas: 2;
- Colunas: 16;
- Interface: I2C;
- Dimensões: 80 x 36 x 12mm;
- Área visível: 64,5 x 16 mm.

2.5.2 Buzzer

O *buzzer* é uma campainha que serve para emitir sons em projetos de forma alternativa. Existem dois tipos: passivo e o ativo. O som reproduzido pelo passivo acompanha a forma do sinal elétrico que aciona, ou seja, se acionar o *buzzer* com um sinal elétrico que imita o som de uma flauta, ele consegue reproduzir o som da flauta. O *buzzer* ativo apenas emite um apito quando a tensão em seu pino passa de um determinado valor, portanto, o ativo possui um timbre próprio e age como se fosse um “instrumento musical” à parte (MUNDO, 2017).

Figura 12 - Campainha ativa (5V)



Fonte: ADDICORE

2.5.3 Cooler 12V

Segundo o artigo da CETESB (2020), emergências químicas, grandes vazamentos de gases reduzem a quantidade de oxigênio em ambientes fechados, desse modo, ventilações forçadas é uma das medidas adotadas para reestabelecer o nível normal de oxigênio ao ambiente, evitando a morte por exposição aos gases. Portanto, a utilização de exaustores em um sistema de detecção de gases auxiliará na elevação do tempo para evacuação do local.

Para pequenos espaços, o cooler utilizado em computadores, se comporta como um exaustor, circulando o ar do ambiente. Exemplo de modelo de cooler demonstrado na Figura 13.

Figura 13 - Cooler Fan 40x40x10mm



Fonte: Ebay

3 METODOLOGIA

O desenvolvimento do sistema e a construção do protótipo foram realizadas no Centro Tecnológico da Faculdade Evangélica de Goianésia, ambiente que proporcionou o acompanhamento do técnico e do orientador, evitando riscos de possíveis acidentes no decorrer dos testes do protótipo.

Para construção do protótipo foram testados três sensores de gases (MQ-2, MQ-3 e MQ-135) disponíveis no mercado, foi observado o que apresenta a melhor capacidade de detectar a concentração de gases no ambiente, um *cooler* que será usado como exaustor do protótipo, um *display* que atuará como sinal visual e um *buzzer* que atuará como sinal sonoro, todos conectados a uma placa de Arduino.

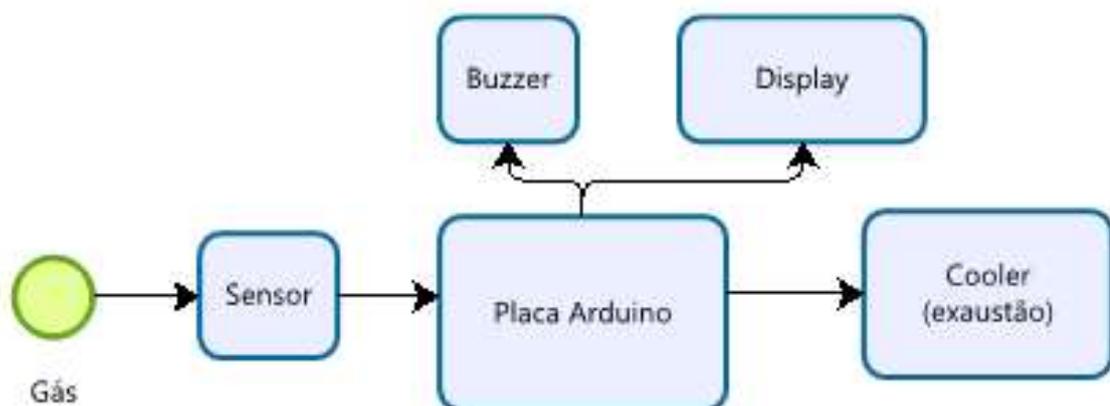
Para efetuação do projeto a visão geral foi subdividida em tópicos conforme apresentado:

- Modelagem do sistema;
- Elaboração do código;
- Comparação dos sensores;
- Montagem do protótipo;
- Simulação e teste do protótipo.

3.1 Modelagem do sistema

O projeto base para o sistema de detecção de gases tóxicos e inflamáveis é apresentado em forma de fluxograma na Figura 14, o funcionamento das partes e descrito a seguir:

Figura 14 - Fluxograma do projeto base para o sistema de detecção de gases tóxicos e inflamáveis



Fonte: O autor

- Os sensores de gases são parte fundamental do projeto, pois são eles que detectam a concentração de gases no ambiente.
- A placa Arduino é responsável por receber os dados dos sensores (entradas) e compilar as informações enviando-as para o *display*, *buzzer* e *cooler* (saídas).
- O *buzzer* tem como função emitir sinal sonoro quando os sensores detectarem concentração de gases maior do que a permitida no código.
- O *display* terá função visual ao projeto.
- O *cooler* tem como papel trabalhar como um exaustor do protótipo, despoluindo o ambiente.

3.2 Elaboração do código

O código que intermedia as funções realizadas do programa foi escrito na IDE do Arduino, este tópico detalhará os passos fundamentais do código e suas funções para o total funcionamento do projeto.

3.2.1 Calibração dos sensores

Para obtenção dos valores dos pontos de curvas utilizou-se o *software WebPloDigitizer*, que obteve os valores considerando as escalas logarítmicas dos gráficos, definindo assim no Excel os novos valores através de novos gráficos exponenciais e lineares com os valores adquiridos.

Como necessita-se de uma quantidade conhecida de um determinado gás, para ler o valor de saída de resistência do sensor (R_s), e assim calcular o valor R_0 calibrado, utilizou-se a curva do Ar dos sensores para obter-se esta resistência R_s , visto que a mesma é uma constante para cada um dos sensores.

As Tabelas 2, 3 e 4 apresentam os valores das equações das curvas para os três sensores e os gases que serão analisados, onde estes dados serão utilizados no código para realização dos cálculos de calibração dos sensores.

Tabela 2 - Tabela dos dados obtidos para calibração Sensor MQ-2

Gás	X	Y	Inclinação
GLP	2,301	0,212	-0,472
CH4	2,301	0,484	-0,380
CO	2,301	0,720	-0,340
Álcool	2,301	0,464	-0,375
AR		9,741	

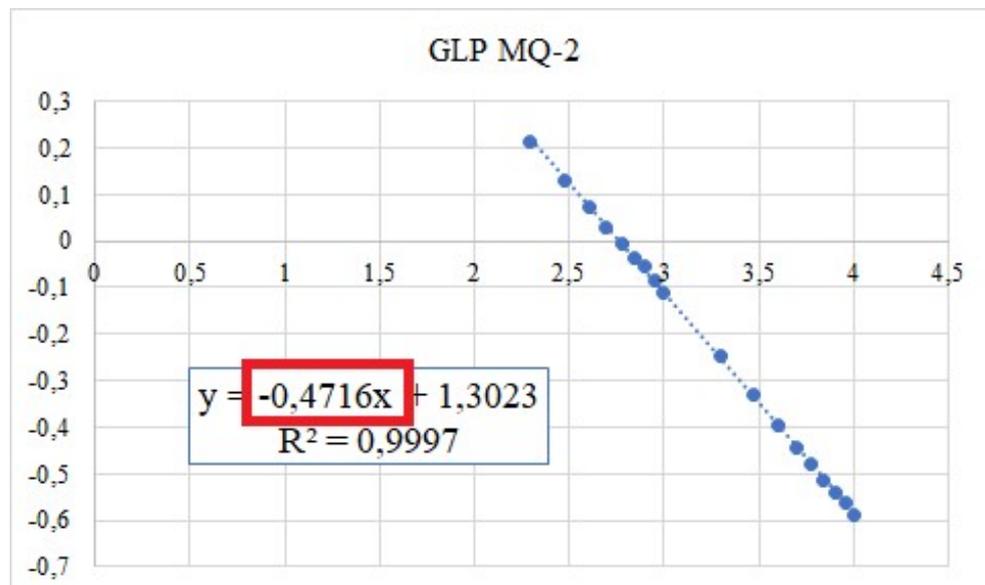
Tabela 3 - Tabela dos dados obtidos para calibração Sensor MQ-3

Gás	X	Y	Inclinação
GLP	2,301	0,648	-0,294
CH4	2,301	0,695	-0,050
CO	2,301	0,663	-0,254
Álcool	2,301	-0,608	-0,228
AR		6,093	

Tabela 4 - Tabela dos dados obtidos para calibração Sensor MQ-135

Gás	X	Y	Inclinação
CO	2,301	0,371	-0,256
Álcool	2,301	0,184	-0,315
AR		3,605	

Os valores “x” e “y” são equivalentes ao *log* do primeiro ponto de intersecção obtidos na curva de sensibilidade do sensor, o valor de inclinação é obtido através do gráfico linear de todos os pontos de intersecção da curva do gás, conforme exemplificado na Figura 15.

Figura 15 - Curva GLP MQ-2 linear

Fonte: O autor

Para a execução do projeto, o código começa com a calibração do sensor, para isso é necessário em primeiro instante obter o valor de R0, através do valor do ar conhecido e coletado na curva. O R0 é obtido através da resistência coletada pelo sensor exposto ao ar do ambiente, esse valor é dividido por 100 e multiplicado por 1024 e 5V, sendo os 5V a tensão operacional do Arduino e o 1024 o número máximo inteiro que representa esta tensão. Assim o R0 é igual a RS do ar, que é a tensão elétrica de operação dividido pelo valor obtido pelo cálculo acima, dividido pelo valor do ar coletado na curva, conforme demonstrado na Figura 16.

Figura 16 - Obtenção do valor de R0

```
// de acordo com o sensor o valor do ar será diferente.

float obterR0(float ar, int pino){

    for(int x = 0 ; x < 100 ; x++){
        {
            sensorValue = sensorValue + analogRead(pino);
            delay(10);
        }
        sensorValue = sensorValue/100.0;

        sensor_volt = sensorValue/1024*5.0;
        RS_air = (5.0-sensor_volt)/sensor_volt;
        R0 = RS_air/ar;

        Serial.print("sensor_volt = ");
        Serial.print(sensor_volt);
        Serial.println("V");

        Serial.print("R0 = ");
        Serial.println(R0);

        return(R0);
    }
}
```

Fonte: O autor

Após a obtenção do valor de R0 é necessário obter a razão entre este valor e o valor de RS, que é a resistência do sensor em várias concentrações de gases, dividido pelo valor de R0 obtido na demonstração do primeiro teste acima, conforme Figura 17, e será esse valor que será usado para real calibração do sensor.

Figura 17 - Obtenção do valor Rs/R0

```

ratio = RS_gas/obterR0(ar, pino);

Serial.print("RS_ratio = ");
Serial.println(RS_gas);
Serial.print("Rs/R0 = ");
Serial.println(ratio);

Serial.print("\n\n");

return ratio;
}

```

Fonte: O autor

A função demonstrada na Figura 18 assume que o sensor está em ar limpo. Usa *MQResistanceCalculation* para calcular a resistência do sensor em ar limpo e então o divide com `RO_CLEAN_AIR_FACTOR` que é o valor obtido nas funções acima. `RO_CLEAN_AIR_FACTOR` é sobre 10, que difere ligeiramente entre diferentes sensores.

Figura 18 - Calibração do sensor

```

float MQCalibration(int mq_pin, float ro)
{
    int i;
    float val=0;

    for (i=0;i<CALIBARAION_SAMPLE_TIMES;i++) { //pegue várias amostras
        val += MQResistanceCalculation(analogRead(mq_pin));
        delay(CALIBRATION_SAMPLE_INTERVAL);
    }
    val = val/CALIBARAION_SAMPLE_TIMES; //calcule o valor médio
    val = val/ro; //dividido por RO_CLEAN_AIR_FACTOR produz o Ro
    return val; //de acordo com o gráfico na folha de dados
}

```

Fonte: O autor

3.2.2 Leitura do sensor

Após a calibração a função da Figura 19 passa curvas diferentes para a função *MQGetPercentage* que calcula o ppm (partes por milhão) do gás alvo.

Figura 19 - Função de saída da concentração do gás em ppm

```

long MQGetGasPercentage(int sensor_id, float rs_ro_ratio, int gas_id)
{
    switch(sensor_id)
    {
        case 2:
            if ( gas_id == GAS_LPG ) {
                return MQGetPercentage(rs_ro_ratio,MQ2_LPGCurve);
            } else if ( gas_id == GAS_CH4 ) {
                return MQGetPercentage(rs_ro_ratio,MQ2_CH4Curve);
            } else if ( gas_id == GAS_CO ) {
                return MQGetPercentage(rs_ro_ratio,MQ2_COCurve);
            } else if ( gas_id == GAS_ALCOOL ) {
                return MQGetPercentage(rs_ro_ratio,MQ2_ALCOOLCurve);
            }
            break;
    }
    return 0;
}

```

Fonte: O autor

Os valores de *MQGetPercentage* é obtido na função da Figura 20 usando a inclinação e um ponto da reta. O x (valor logarítmico de ppm) da linha pode ser derivada se y (rs_ro_ratio) for fornecido. Como é uma coordenada logarítmica, potência de 10 é usada para converter o resultado em não logarítmico valor.

Figura 20 - Obtenção do valor MQGetPercentage

```

long MQGetPercentage(float rs_ro_ratio, float *pcurve)
{
    return (pow(10, ( ((log(rs_ro_ratio)-pcurve[1])/pcurve[2]) + pcurve[0])));
}

```

Fonte: O autor

Os valores da curva são declarados no início da função conforme a Figura 21.

Figura 21 - Valores das curvas de sensibilidade

```

float MQ2_ARline      = 9.74;
float MQ2_LPGCurve[3] = {2.3,0.21,-0.47}; //dois pontos são retirados da curva.
float MQ2_CH4Curve[3] = {2.3,0.48,-0.38}; //uma linha é formada que é "aproximadamente equivalente"
float MQ2_COCurve[3]  = {2.3,0.72,-0.34}; //para a curva original.
float MQ2_ALCOOLCurve[3] = {2.3,0.46,-0.37}; //formato de dados: {x, y, inclinação};

float MQ2_Ro      = 10;                               //R0 é inicializado para 10 kilo ohms

```

Fonte: O autor

3.2.3 Ação em caso de detecção de níveis prejudiciais à saúde humana

Com a obtenção dos gases após a calibração e conversão em ppm, pode-se realizar as funções de if e else, para ação do projeto, sendo que se o valor final detectado for maior que 300ppm será acionado o relé para ativação do exaustor, o display irá indicar a detecção dos gases e o buzzer irá acionar um sinal sonoro conforme a Figura 22, caso os gases não atinjam a concentração as funções ficarão estáticas.

Figura 22 - Função de ativações dos componentes

```

{
    digitalWrite(Rele, HIGH);
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("GAS DETECTADO");
    tone(buzzer, 500, 2000);
}
else
{
    digitalWrite(Rele, LOW);
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print(" NO GAS ");
    noTone(buzzer);
}

```

Fonte: O autor

3.3 Comparação dos sensores

Para definição do melhor sensor, MQ-2, MQ-3 e MQ-135, foi necessário realizar testes de eficiência de detecção dos gases aos quais os mesmos seriam expostos. Para realização dos testes os três sensores foram colocados dentro de uma caixa de vidro projetada conforme a Figura 23, com dimensões 300 x 150 x 200 mm. Nesse ambiente, os três sensores foram expostos a álcool e a gás de cozinha convencional por um período de 120 segundos.

Figura 23 - Aquário Aquaterrário Retangular

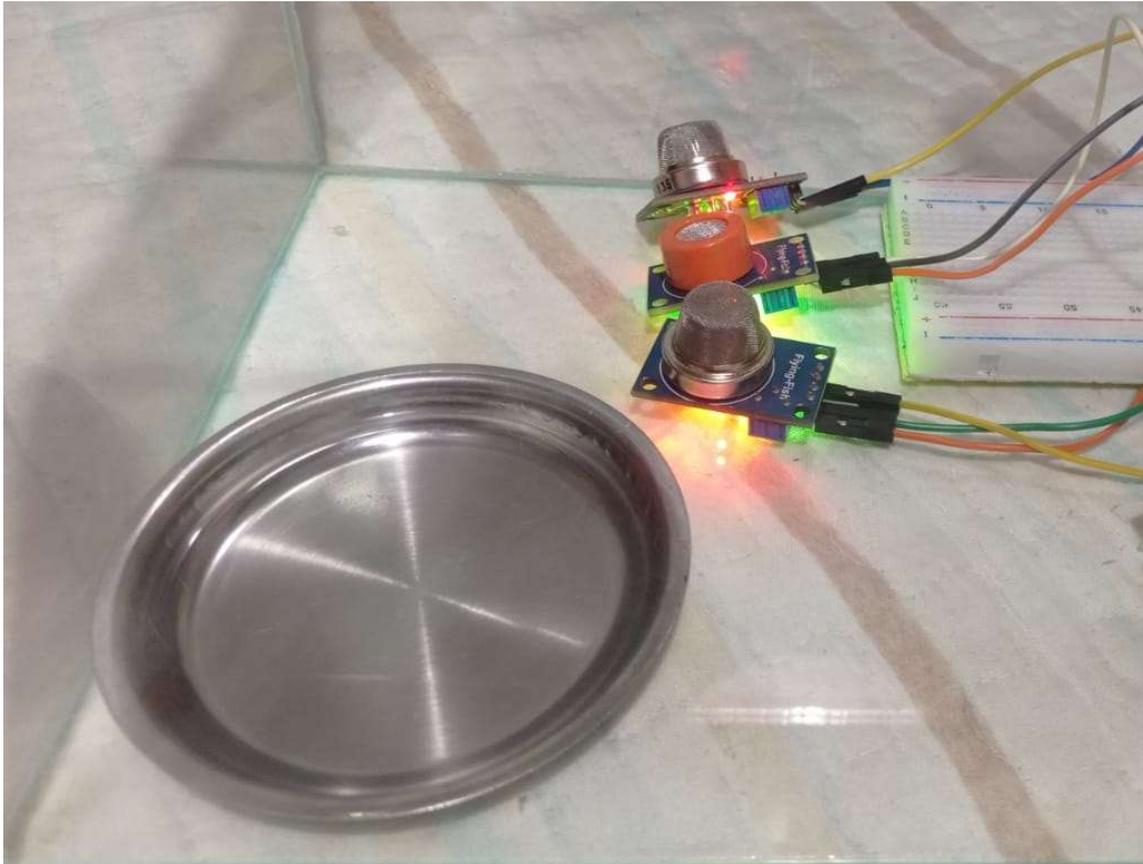


Fonte: Petz

3.3.1 Teste com Álcool

Visto que o álcool tem uma alta volatilidade, passagem do estado líquido para o estado gasoso, foi colocado dentro da caixa um recipiente, demonstrado na Figura 24, contendo Álcool 70%, e a partir da sua evaporação seria gerado o gás a ser detectado pelos sensores. Entretanto a quantidade de gás gerada pela evaporação do álcool colocado dentro do recipiente era insuficiente, sendo necessário derramar álcool dentro da caixa aumentando assim a concentração do gás gerado.

Figura 24 - Recipiente utilizado para o primeiro teste com Álcool



Fonte: O autor

Para realização dos testes de eficiência os três sensores foram montados na parte inferior da caixa ao redor do recipiente, entretanto não se mostrou eficiente, desse modo decidiu-se montar os sensores na parte superior da caixa, buscando assim melhor detecção através do contato dos sensores com os gases, o que foi favorável.

3.3.2 Teste com gás de cozinha (GLP)

Para realização dos testes de eficiência com gás de cozinha os três sensores foram colocados dentro da caixa na parte inferior, pois o gás de cozinha tem a tendência de descer e não subir, desse modo para melhor detecção e contato dos sensores com o gás os mesmos foram colocados na parte inferior, isso se explica pois o gás de cozinha é mais denso que o gás atmosférico, sendo o butano sozinho três vezes mais denso (DOS SANTOS, 2021).

Para injeção do gás no protótipo foi fechada a tampa superior e foi encaixada a mangueira na lateral da caixa na entrada do *cooler*, a válvula do botijão de gás foi ativada e o gás introduzido.

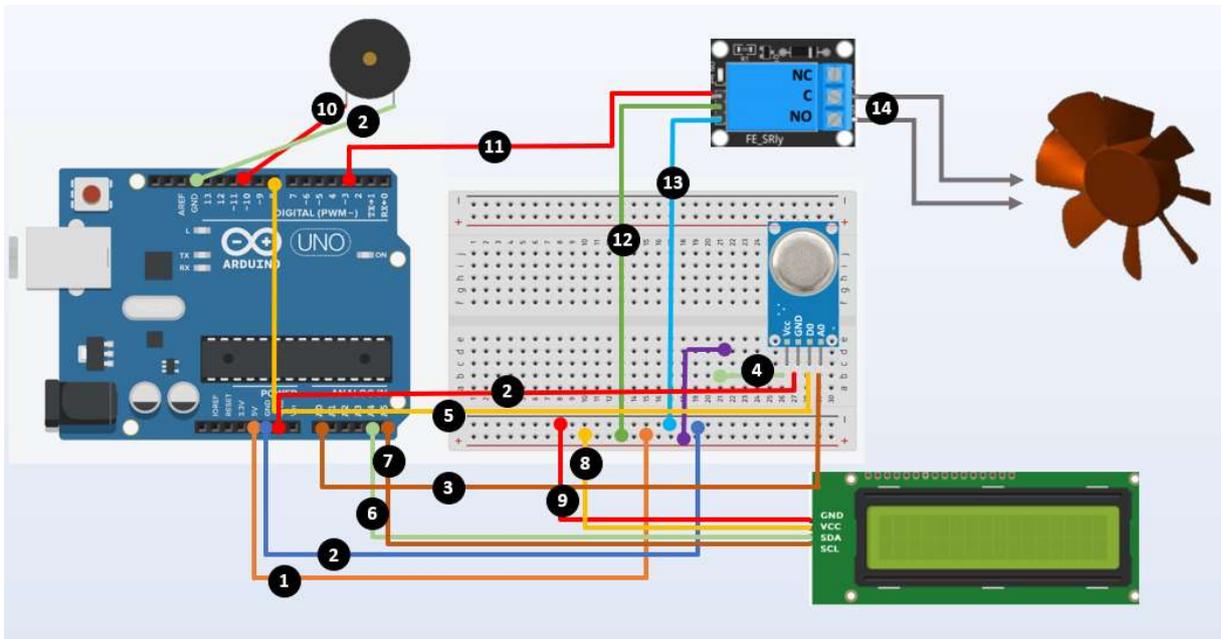
3.4 Montagem do protótipo

O protótipo foi disposto dentro da caixa de vidro para se obter um ambiente fechado de testes. Para montagem do sistema de exaustão foi realizado um corte 7 x 7 mm na lateral. A caixa possui uma tampa superior para manuseio dos componentes dentro da caixa de acordo com a necessidade apresentada.

3.4.1 Pinagem do circuito

O micro controlador Arduino, Figura 25, é responsável por receber os dados dos sensores (entradas) e compilar as informações enviando-as para o *display*, *buzzer* e *cooler* (saídas).

Figura 25 - Pinagem do circuito



(1) Porta 5V: conectada na protoboard; (2) Portas GND: uma conectada na protoboard, a outra no GND do sensor e a outra no buzzer; (3) Porta A0: Conectada ao A0 do sensor; (4) Saída VCC do sensor: Conectado no positivo da protoboard; (5) Porta 8: Conectado ao D0 do sensor; (6) Porta A4: Conectada ao SDA do display; (7) Porta A5: Conectado ao SCL do display; (8) Saída VCC do display: Conectado no positivo da protoboard; (9) Saída GND do display: Conectado no negativo da protoboard (ligação GND); (10) Porta 10: Conectado ao positivo do buzzer; (11) Porta 3: Conectado ao relé; (12) Saída positiva relé: Conectado no positivo da protoboard; (13) Saída negativa do relé: Conectado no negativo da protoboard; (14) Cooler ligado ao relé. Fonte: O autor.

3.4.2 Hardware

Na montagem do protótipo foi selecionado um dos sensores apresentados anteriormente através da comparação realizada, podendo também ser aplicado a outros sensores de acordo com a aplicação almejada, devendo apenas ser alterado os parâmetros de *datasheet*, que nada mais é que as curvas de calibração de cada equipamento obtendo a equação de correção dos sensores utilizados.

Antes da utilização dos sensores MQ, é necessário um período de *Burn-in time* (Tempo de queima), este tempo varia de modelo para modelo e tem como finalidade aquecer a resistência do sensor até a temperatura ideal de funcionamento, onde, durante este tempo as medições oscilam até a estabilização.

O *cooler* foi colado com pistola de cola quente na parte interna da caixa centralizado no furo, conforme Figura 26.

Figura 26 - Cooler centralizado no furo lateral da caixa



Fonte: O autor

O *buzzer* foi fixado na lateral interna da caixa também com cola quente, Figura 27.

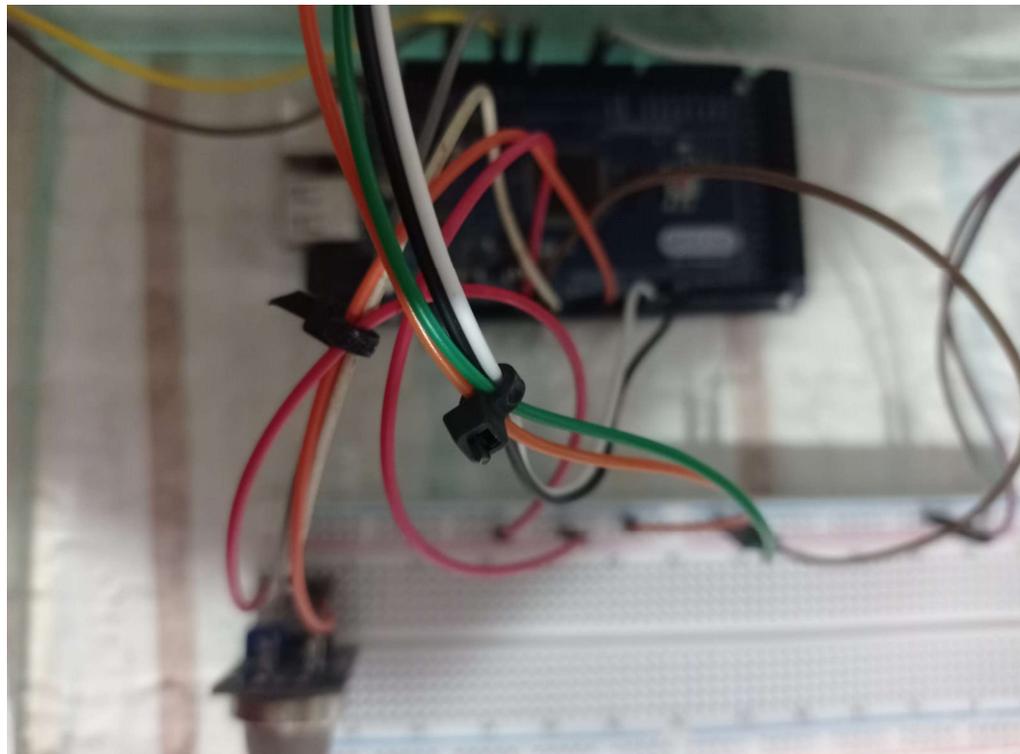
Figura 27 - Fixação do *buzzer*



Fonte: O autor

As fiações dos componentes foram ajustadas e unidas com abraçadeiras de plásticos, evitando que as mesmas se misturem e se soltem, buscando mais organização e facilidade de visualização, conforme Figura 28.

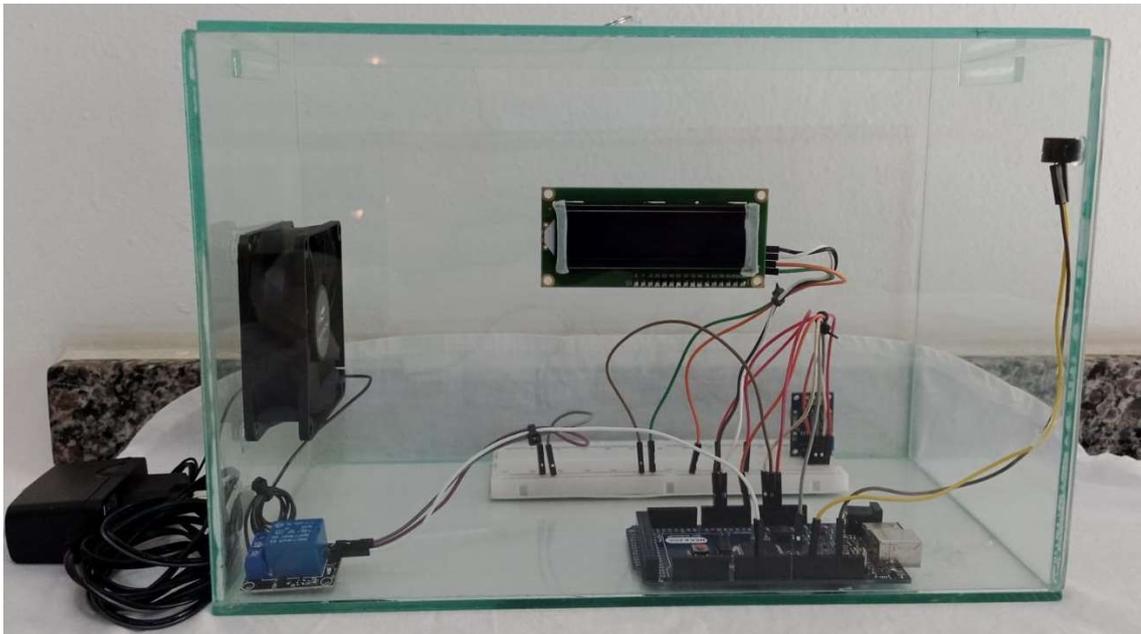
Figura 28 - Organização das fiações



Fonte: O autor

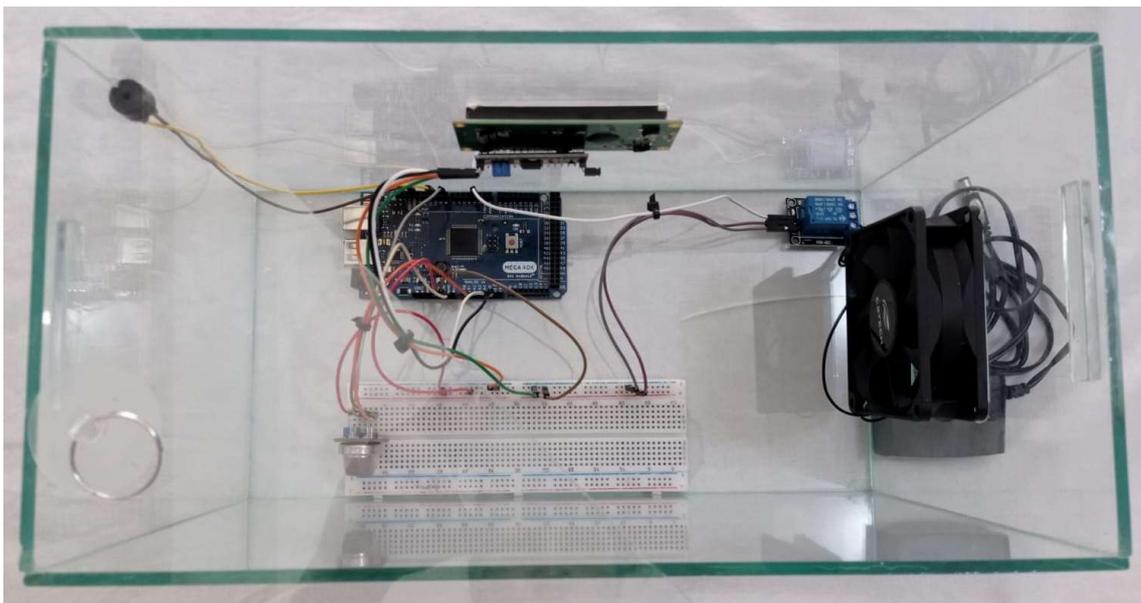
A fonte de energia utilizada para o funcionamento do projeto é uma fonte de 12V 1 Ampere, pois para a operação eficiente do cooler 12V, as baterias não atingiriam a rotação máxima do mesmo. O *display* foi colocado em uma das laterais da caixa fixado com dupla face, conforme demonstrado nas Figuras 29 e 30.

Figura 29 - Montagem final do protótipo



Fonte: O autor

Figura 30 - Visão superior do protótipo



Fonte: O autor

3.5 Simulação e teste do protótipo

Para simulação e testagem do projeto foi injetado gás GLP e Álcool no protótipo, comportando-se como um ambiente fechado de testes. O teste foi realizado com todo o circuito montado com o intuito de observar e verificar a operação dos componentes expostos aos gases GLP e Álcool.

3.5.1 Teste com Álcool

Nos testes de exaustão do ambiente, simulação do protótipo, com a utilização do sensor escolhido, foi montado todo o circuito e componentes dentro da caixa com apenas um dos sensores, para observar-se assim como se comportaria a exaustão do ambiente e operação dos componentes expostos ao álcool. A disposição do sensor na caixa teve o mesmo princípio do teste de eficiência, sendo fixado na parte superior da caixa.

3.5.2 Teste com gás de cozinha (GLP)

Para o teste de exaustão, simulação do protótipo o sensor foi montado na parte inferior do protótipo e o gás injetado de forma semelhante aos testes de eficiência, entretanto, nos testes de eficiência o gás foi injetado pela entrada do cooler, já na simulação, o gás foi injetado pela tampa superior e fechada novamente, visto que neste teste o cooler estaria em operação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

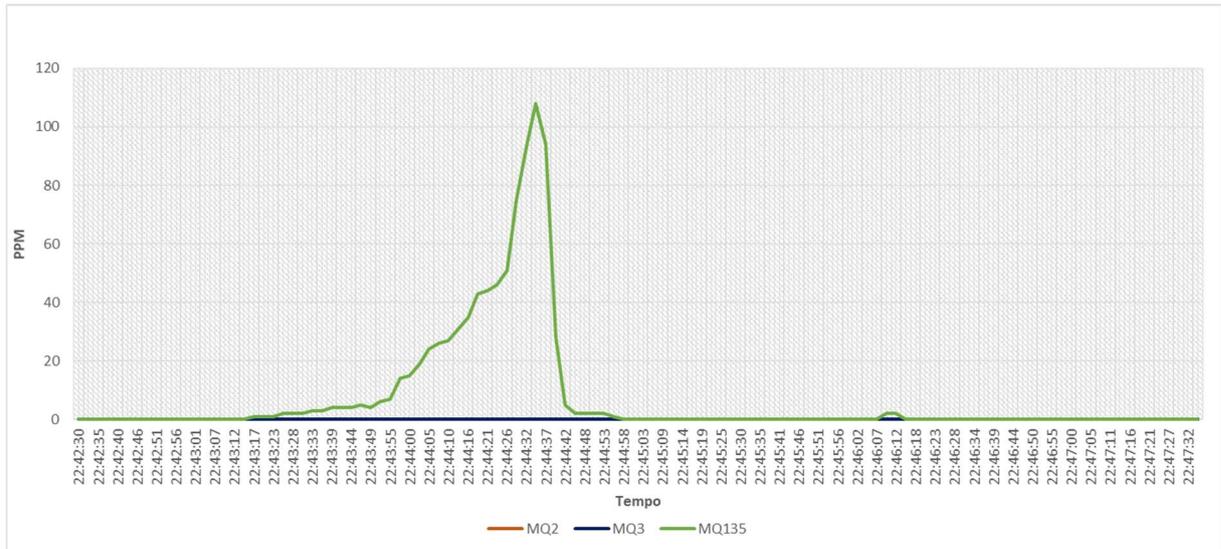
4.1 Calibração e comparação dos sensores

A maior dificuldade encontrada para calibração dos três sensores foi a diferença dos valores entre as curvas de sensibilidade de cada um, pois elas possuem valores distintos nos eixos X e Y, ponto observado apenas depois dos primeiros testes já realizados, sendo necessário levantar novamente todos os valores das curvas de gases e realizar uma função de equivalência para torna-los compatíveis. A calibração separada dos sensores se mostrou mais eficiente e fácil de ser realizada, apresentando dados mais coerentes e assertivos.

4.1.1 Teste com Álcool

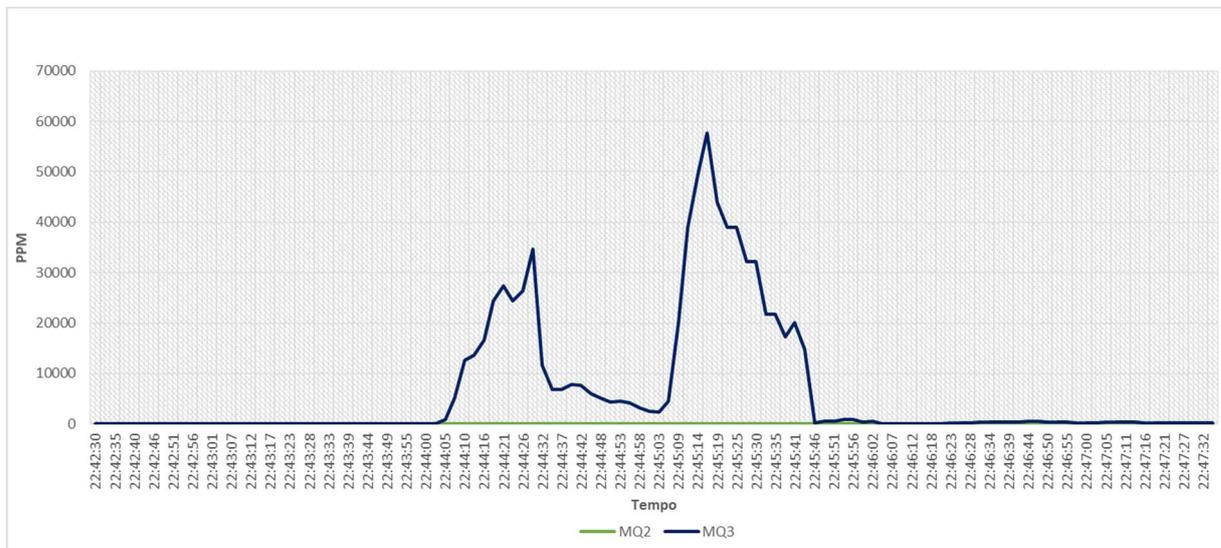
O sensor MQ-3, não conseguiu detectar Álcool no gráfico da Figura 31, mesmo sendo ele o sensor próprio para este tipo de detecção, entretanto nas curvas de CH₄, CO e GLP ele teve detecção, porém suas curvas mostraram instabilidade sendo não constante, conforme apresentado nas Figuras 32, 33 e 34, onde o eixo X dos gráficos é a escala de tempo e o eixo Y é a escala de concentração de gás detectada pelos sensores, sendo o sensor MQ-2 representado pela curva de cor laranja, o sensor MQ-3 pela curva de cor azul e o sensor MQ-135 representado pela curva de cor verde.

Figura 31 - Teste com álcool - Valores coletados da curva de sensibilidade Álcool dos sensores



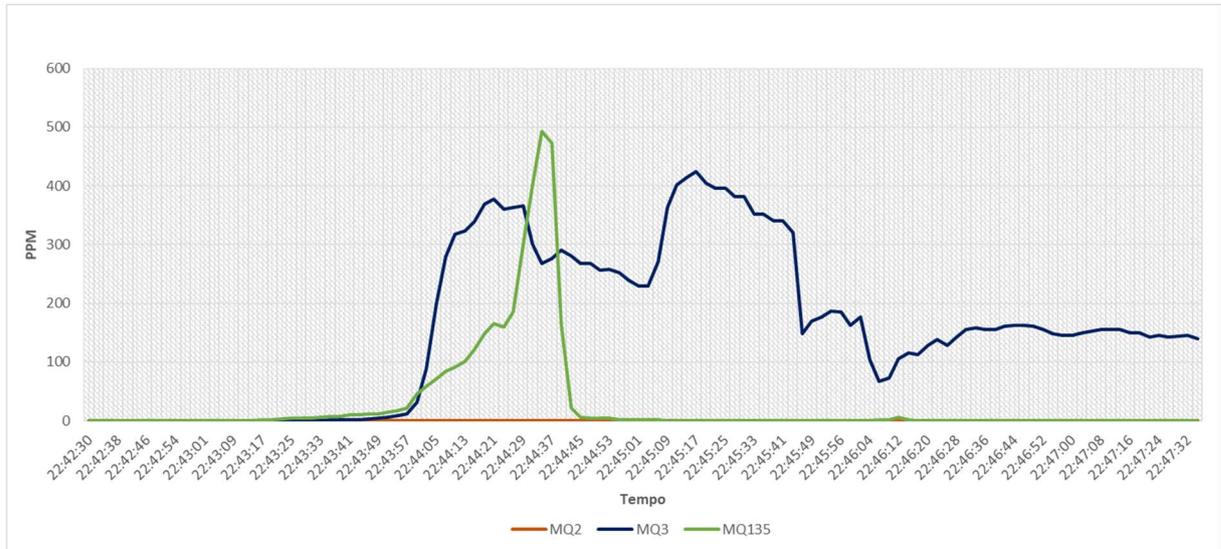
Fonte: O autor

Figura 32 - Teste com álcool - Valores coletados da curva de sensibilidade CH4 dos sensores



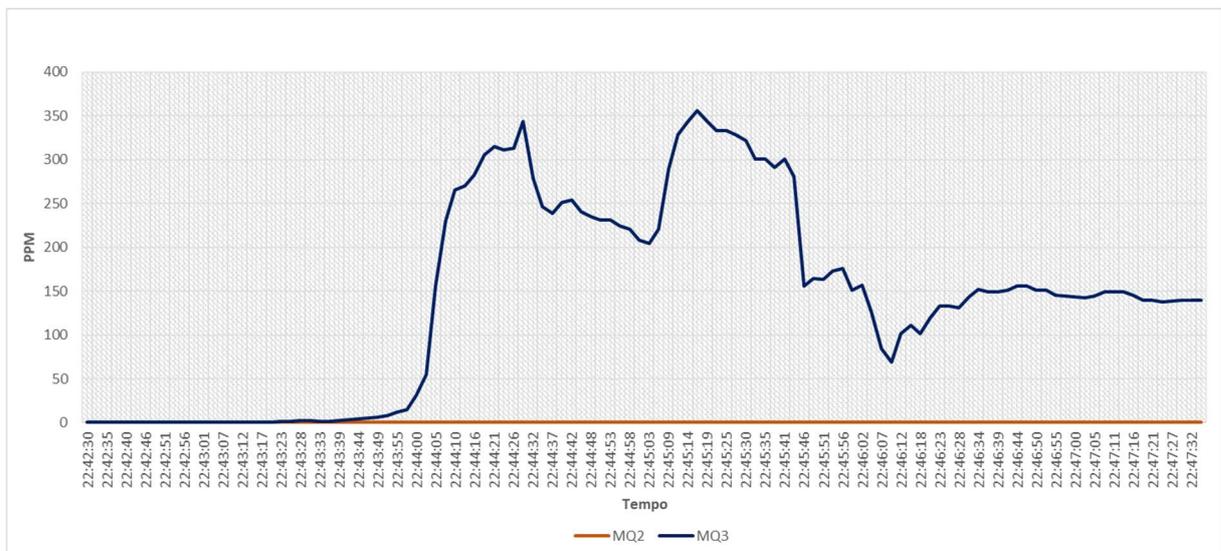
Fonte: O autor

Figura 33 - Teste com álcool - Valores coletados da curva de sensibilidade CO dos sensores



Fonte: O autor

Figura 34 - Teste com álcool - Valores coletados da curva de sensibilidade GLP dos sensores



Fonte: O autor

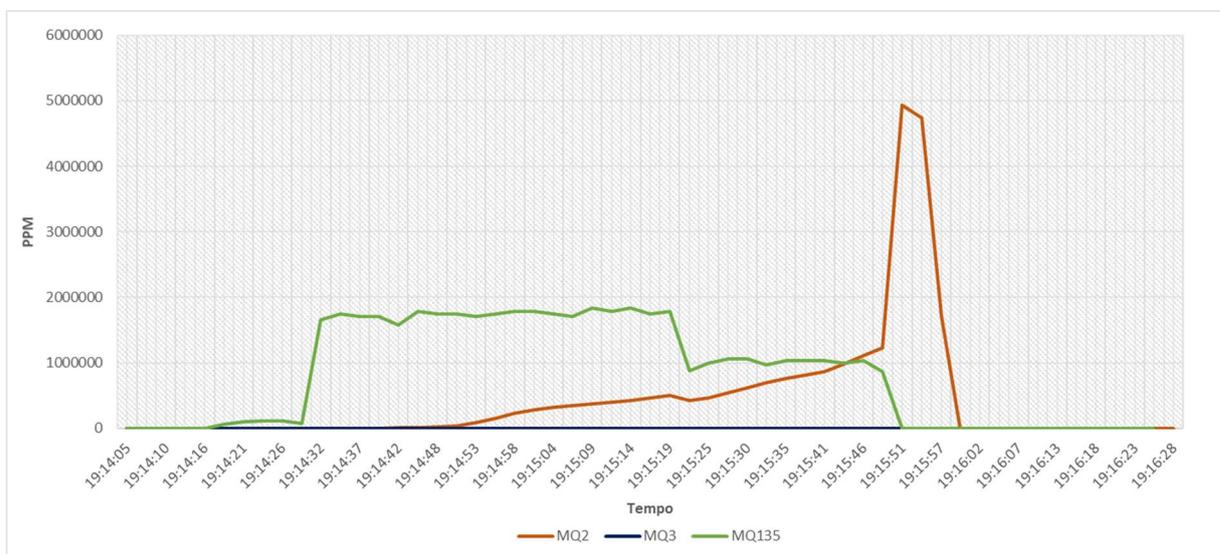
O sensor MQ-2 se manteve inerte não reconhecendo o nenhum dos gases do Álcool que estava dentro do ambiente de testes. O sensor MQ-135 teve uma boa performance, nos dois gases que ele estava destinado a detectar, Álcool e CO, sendo suas curvas apresentadas nas Figuras 31 e 33, onde as mesmas se comportaram de forma constante.

Diante dos resultados obtidos com os testes deduziu-se que mesmo com a equivalência os sensores trabalharam de formas particulares em relação aos gases, o que não era se esperado com tanta discrepância, visto que os três sensores tinham curvas dos mesmos gases e os valores coletados foram colocados na mesma escala.

4.1.2 Teste com Gás de Cozinha (GLP)

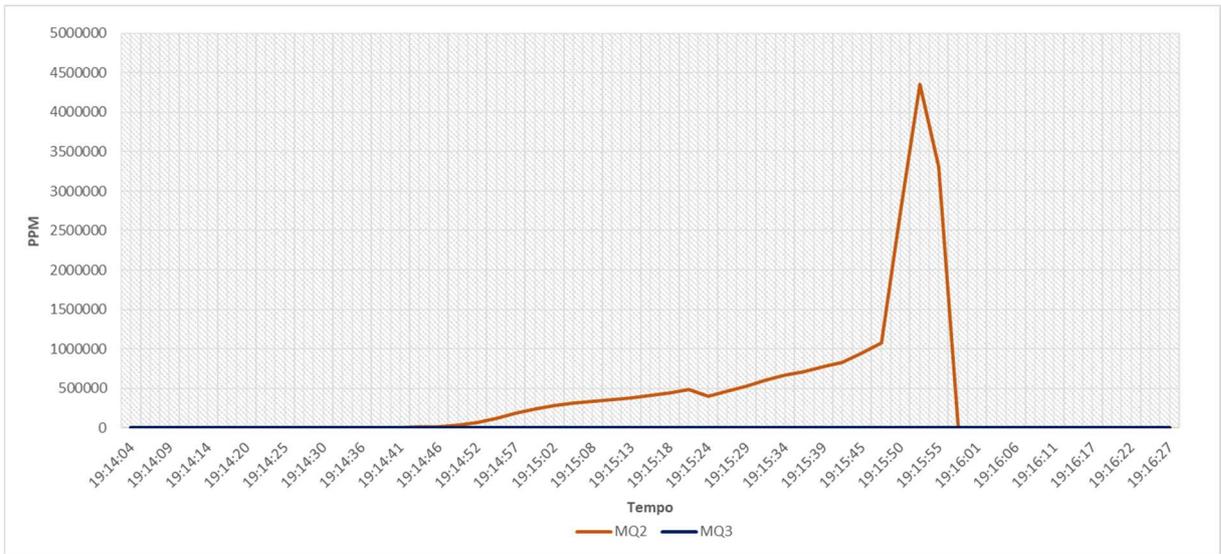
Nos gráficos de testes com gás de cozinha o sensor MQ-3 se manteve inativo, não reconhecendo nenhum dos gases do gás de cozinha que estava dentro do ambiente de testes, mesmo comportamento observado no teste com álcool, com o sensor MQ-2. O sensor MQ-135 nas curvas de Álcool e CO teve detecção, sendo suas curvas apresentadas nas Figuras 35 e 37, onde as mesmas também se comportaram de forma constante se mostrando coerente nos dois testes. Do mesmo modo a detecção do sensor MQ-2 comportou-se de forma constante e com valores coerentes em todas as curvas de sensibilidades dos gases dispostos conforme apresentados nos gráficos.

Figura 35 - Teste com gás de cozinha - Valores coletados da curva de sensibilidade Álcool dos sensores



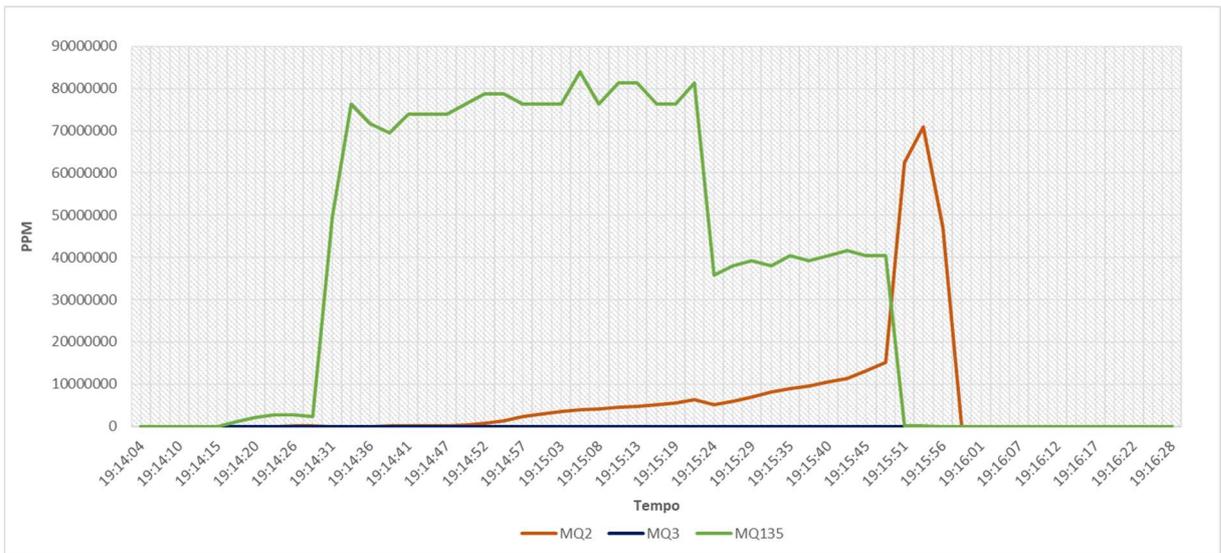
Fonte: O autor

Figura 36 - Teste com gás de cozinha - Valores coletados da curva de sensibilidade CH₄ dos sensores



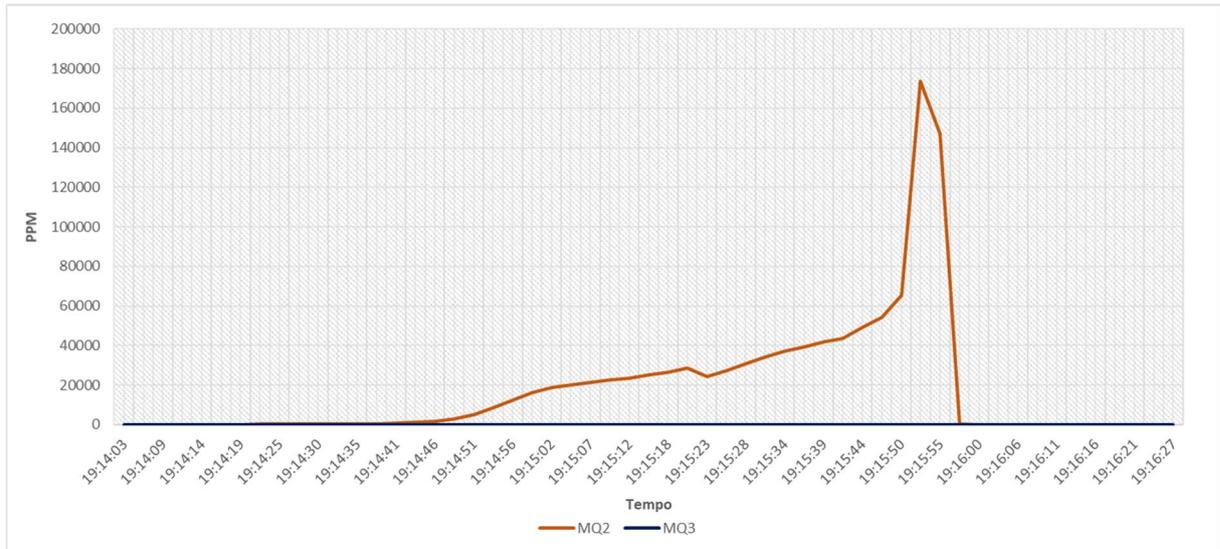
Fonte: O autor

Figura 37 - Teste com gás de cozinha - Valores coletados da curva de sensibilidade CO dos sensores



Fonte: O autor

Figura 38 - Teste com gás de cozinha - Valores coletados da curva de sensibilidade GLP dos sensores



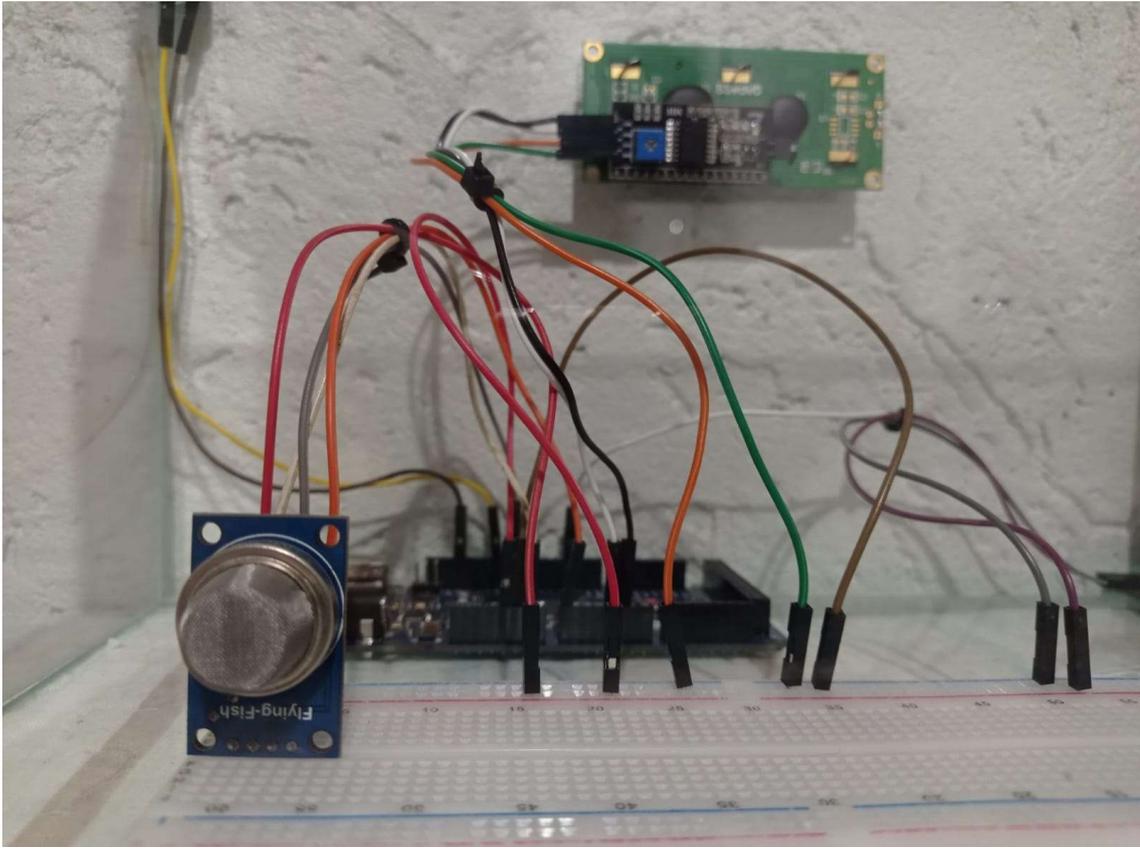
Fonte: O autor

Analisando assim os resultados gerais dos gráficos, deduz-se que a instabilidade do MQ-2 no teste com o Álcool e do MQ-3 no teste com o gás de cozinha pode ser referida a calibração realizada nos sensores, ressaltando que a curva de sensibilidade dos mesmos possui eixos X e Y diferentes entendendo-se que mesmo com a tentativa de equivalência dos valores pôde não tornar os valores compatíveis, não apresentando os dados corretamente durante a detecção. Outro ponto a ser levado em consideração no teste é o potenciômetro existente na parte de trás dos sensores, onde pode ser regulada a sensibilidade e ajustagem da calibração, entretanto, o tempo para finalização do projeto não permitiu aprofundar neste aspecto sendo um ponto de estudo para próximos projetos.

4.2 Sensor escolhido

Após a realização de todos os testes o sensor escolhido para montagem final do protótipo foi o MQ-2, montagem demonstrada na Figura 39, podendo ser justificado pelo comportamento da curva do mesmo nos testes com gás de cozinha, mesmo que ele não tenha tido boa eficiência no teste com álcool. Entendeu-se que na exposição ao gás que ele é projetado para trabalhar, substâncias contidas no gás de cozinha GLP, sua eficiência foi melhor que os demais sensores, assim como demonstradas nos dados dos gráficos demonstrados nas Figuras 35, 36, 37 e 38, diferentemente do sensor MQ-3 que ao ser exposto ao álcool, composto ao qual o mesmo foi projetado para detectar, não operou de maneira consistente.

Figura 39 - Sensor escolhido montado no protótipo



Fonte: O autor

O descarte do sensor MQ-135 veio pelo fato da sua curva de sensibilidade não conter os gases GLP e CH_4 para ser comparado aos outros dois sensores de forma igual, mesmo que ele tenha apresentados valores coerentes na detecção dos gases CO e Álcool.

Em relação ao tempo de queima, especificado no tópico 3.4.2, o sensor MQ-2 apresentou um tempo de aproximadamente 3 minutos, mas dependendo do projeto ou precisão pode ser recomendado um período de até 24 horas.

4.3 Performance da ativação do exaustor (*cooler*)

O exaustor operou de forma eficiente, pois após a injeção dos gases e detecção pelos sensores o cooler foi ativado pelo relé e realizou toda a exaustão do ambiente, os gases injetados no ambiente foi extraído pelo exaustor e transportado para o lado de fora do ambiente fechado conforme esperado.

4.4 Valores gastos no desenvolvimento do protótipo

Os valores apresentados na Tabela 05, correspondem ao custo necessário para montagem do protótipo, sendo esse valor inferior aos valores de outros dispositivos encontrados atualmente no mercado.

Tabela 5 - Custo para montagem do protótipo

DESCRIÇÃO	QTD	Valor Uni	Valor Total
Arduino Uno R3	1	R\$ 43,74	R\$ 43,74
Sensor MQ- 2 (Fumaça)	1	R\$ 8,02	R\$ 8,02
Cooler	1	R\$ 19,00	R\$ 19,00
<i>Display Lcd 16x2 Backlight</i>	1	R\$ 24,60	R\$ 24,60
<i>Buzzer</i>	1	R\$ 2,76	R\$ 2,76
Fonte 12V 1A	1	R\$ 24,60	R\$ 24,60
Protoboard	1	R\$ 20,00	R\$ 20,00
TOTAL			R\$ 142,72

O custo do aquário não foi contabilizado nessa relação, visto que para a montagem do protótipo, que seria utilizado pelo usuário final, não seria necessário o aquário para o funcionamento do sistema.

5 CONCLUSÃO

O sistema desenvolvido para detecção de gases tóxicos e inflamáveis apresentou bons resultados, o que pode ser comprovado pelos resultados obtidos nos testes feitos no protótipo.

O protótipo para detecção de gases tóxicos e inflamáveis teve um custo inferior a R\$150, valor este que é menor de qualquer outro sistema oferecido no mercado que tenha as mesmas funções.

A comparação dos sensores foi de suma importância para conclusão deste trabalho, pois com a comparação realizada foi possível concluir que para a aplicação em um ambiente com risco de vazamentos de gases tóxicos e inflamáveis o sensor MQ-2 tem bastante eficiência e coerência nos dados detectados.

Os componentes utilizados para construção atenderam as expectativas geradas na concepção do projeto, o *cooler* apresentou bastante eficiência em relação à exaustão do protótipo, demonstrando e afirmando que, com um sistema de exaustão eficiente é possível atingir ganhos em relação a segurança de operação de gases nocivos à saúde humana.

A conclusão do projeto teve respostas satisfatórias no campo de pesquisas, e pode ser consistido como um objeto de consultas futuras para aplicações industriais e comerciais em busca de bem-estar e operações seguras de trabalhadores que se submetem a procedimentos com gases no seu dia a dia. Podendo ser redimensionado para a utilização em ambientes com risco de vazamentos de gases, a adaptação deste projeto pode ser realizada através da verificação da calibração do sensor definido para instalação no ambiente, assim como também adicionar outros componentes e funções para aperfeiçoamento ou adaptação. Um exemplo de aperfeiçoamento deste projeto é a internet das coisas, que é o conceito que define a conexão entre objetos físicos com o usuário e a internet, permitindo assim a comunicação do dispositivo com o usuário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Por que o uso da tecnologia na indústria é importante? FOCCOERP, 2019. Disponível em: <https://www.foccoerp.com.br/gestao-de-empresas/tecnologia-na-industria/>. Acesso em: 01/05/2021

Emergências químicas. CETESB, 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/emergencias-quimicas/aspectos-gerais/perigos-associados-as-substancias-quimicas/gases/>. Acesso em: 23/05/2020

ESTADOS DA MATÉRIA. UFRGS, 2021. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~leila/fase.htm>. Acesso em: 30/05/2021

OZÓRIO, Moisés. Desenvolvimento de robô detector de gases, 2014. Disponível em: <https://www.unifacvest.edu.br/assets/uploads/files/arquivos/7a455-ozorio,-m.m.-desenvolvimento-de-roboto-detector-de-gases.-unifacvest,-2014..pdf>. Acesso em: 16/06/2021

JUSTEN, Álvaro. Curso de Arduino. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://www.cursodearduino.com.br/apostila/apostila-rev4.pdf>. Acesso em: 20/06/2021

BREATHE. SENSORES DE GÁS – PRINCÍPIOS E TECNOLOGIAS, 2011. Disponível em: <https://breathebrdotcom.wordpress.com/2011/06/02/sensores-de-gas-principios-e-tecnologias/>. Acesso em: 26/06/2021

USBERCO & SALVADOR. Química geral Ensino Médio – volume 1. 12ª ed. Saraiva, 2006.

GASES TOXICOS. ENESENS, 2018. Disponível em: <http://www.enesens.com.br/gasesdetectados/gasestoxicos/#:~:text=Um%20g%C3%A1s%20t%C3%B3xico%20pode%20ser,mesmo%20em%20concentra%C3%A7%C3%B5es%20muito%20baixas>. Acesso em: 06/07/2021

A IMPORTÂNCIA DA SEGURANÇA NO TRABALHO. MEDNET, 2020. Disponível em: <https://grupomednet.com.br/blog/a-importancia-da-seguranca-no-trabalho/>. Acesso em: 08/07/2021

IMPACTOS DA INDÚSTRIA 4.0: O REFLEXO NOS NEGÓCIOS E NA SOCIEDADE. TOTVS, 2019. Disponível em: <https://www.totvs.com/blog/gestao-industrial/impactos-da-industria-40/>. Acesso em: 12/07/2021

INDÚSTRIA 4.0: ENTENDA SEUS CONCEITOS E FUNDAMENTOS. PORTAL DA INDÚSTRIA, 2020. Disponível em: <http://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/industria-4-0/>. Acesso em: 12/07/2021

O QUE É ARDUINO? FILIPEFLOP, 2014. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-arduino/>. Acesso em: 18/07/2021

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

O QUE É IDE ARDUINO? FILIPEFLOP, 2021. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-ide-arduino/>. Acesso em: 01/08/2021

ESTADOS DA MATERIA, IF UFRGS. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~leila/fase.htm#:~:text=As%20subst%C3%A2ncias%20no%20estado%20gasoso,ser%20comprimido%20reduzindo%20seu%20volume.&text=Esses%20s%C3%A>

3o%20exemplos%20da%20chamada%20difus%C3%A3o%20do%20g%C3%A1s. Acesso em: 05/08/2021

GASES INFLAMÁVEIS, ENESENS, 2018. Disponível em: <https://www.enesens.com.br/gases-detectados/gases-inflamaveis/>. Acesso em 28/05/2021

CLASSIFICAÇÃO DOS PRODUTOS PERIGOSOS, SIIPP. Disponível em: http://200.144.30.103/siipp/public/imprime_classificacao.aspx#:~:text=Gases%20t%C3%B3xicos%3A%20s%C3%A3o%20gases%2C%20reconhecidamente,risco%20%C3%A0%20sa%C3%BAde%20das%20pessoas. Acesso em: 17/08/2021

Sensor de Gas MQ-2 Inflamável e Fumaça. FILIPEFLOP, 2021. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-gas-mq-2-inflamavel-e-fumaca/>. Acesso em: 14/06/2021

Sensor de Gás MQ-3 Álcool. ELETROGATE, 2021. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/sensor-de-gas-mq-3-alcool>. Acesso em: 14/06/2021

Sensor de Qualidade do Ar MQ-135. ELETROGATE, 2021. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/sensor-de-qualidade-do-ar-mq-135>. Acesso em: 14/06/2021

Vazamento de gás tóxico deixa doze mortos e milhares hospitalizados na Índia. Brasil de fato, 2020. Disponível em: <https://www.brasildefato.com.br/2020/05/07/vazamento-de-gas-toxico-deixa-onze-mortos-e-milhares-hospitalizados-na-india#:~:text=Se%20inalar%20uma%20dose%20excessiva,que%20seria%20ainda%20mais%20t%C3%B3xico>. Acesso em: 15/03/2021

Maior crime industrial da história soma 600 mil vítimas e afeta 3ª geração na Índia. Brasil de fato, 2020. Disponível em: <https://www.brasildefato.com.br/2020/03/19/maior-crime-industrial-da-historia-soma-600-mil-vitimas-e-afeta-3-geracao-na-india>. Acesso em: 15/03/2021

Dois irmãos e caminhoneiro morrem em cachaçaria, em Campo Limpo de Goiás. G1, 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/go/goias/noticia/2020/04/09/irmaos-donos-de-cachacaria-e-um-caminhoneiro-morrem-inalar-gas-toxico-de-cachaca-em-campo-limpo-de-goias.ghtml>. Acesso em: 15/03/2021

Placa Uno R3 + Cabo USB para Arduino. FILIPEFLOP, 2021. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/placa-uno-r3-cabo-usb-para-arduino/>. Acesso em: 30/09/2021

Medidor de CO2 barato usando o sensor MQ135 com AVR ATmega. Davide Gironi, 2014. Disponível em: <http://davidegironi.blogspot.com/2014/01/cheap-co2-meter-using-mq135-sensor-with.html#.YYGrVJ7MJPZ>. Acesso em 02/11/2021

Coefficientes de correlação do sensor de gás MQ. Davide Gironi, 2017. Disponível em: <http://davidegironi.blogspot.com/2017/08/mq-gas-sensor-correlation-coefficients.html#.YYGrSp7MJPZ>. Acesso em: 02/11/2021

Detecção de Gases – Tudo que você precisa saber. LEL Ambiental, 2017. Disponível em: <https://lelambiental.com.br/artigos-tecnicos/deteccao-de-gases/>. Acesso em: 28/11/2021

Buzzer – Como usar com o Arduino. Mundo Projetado, 2017. Disponível em: <https://mundoprojetado.com.br/buzzer-como-usar-com-o-arduino/>. Acesso em: 28/11/2021

Campainha ativa (5V). ADDICORE, 2021. Disponível em: <https://www.addicore.com/Active-Buzzer-5V-p/146.htm>. Acesso em: 228/11/2021

Norma Regulamentadora No. 15 (NR-15). Gov.br, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/norma-regulamentadora-no-15-nr-15>. Acesso em: 30/10/2021

Arduino Mega ADK - Cabo USB. Curto circuito, 2021. Disponível em: <https://www.curtocircuito.com.br/arduino-mega-adk-cabo-usb.html>. Acesso em: 10/08/2021.

Display LCD 16X2 - BackLight Verde. Curto circuito, 2021. Disponível em: <https://www.curtocircuito.com.br/display-lcd-16x2-backlight-verde.html>. Acesso em: 10/08/2021

DOS SANTOS, C. V. P.; A Química do Gás de Cozinha, O Mundo da Química https://www.omundodaquimica.com.br/curiosidade/gas_cozinha. Acesso em: 30/11/2021

SENSOR DE GÁS MQ-135 E A FAMÍLIA DE SENSORES MQ, Vida de Silício, 2017. Disponível em: <https://portal.vidadesilicio.com.br/sensor-de-gas-mq-135/>. Acesso em: 29/12/2021