



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

WÁLLISON ANDRÉ SOARES CAVALCANTE

**INVESTIGAÇÃO DE MORTES CAUSADAS EM POÇOS FREÁTICOS E
PROPOSIÇÃO DE MEDIDAS DE SEGURANÇA**

PAU DOS FERROS

2019

WÁLLISON ANDRÉ SOARES CAVALCANTE

**INVESTIGAÇÃO DE MORTES CAUSADAS EM POÇOS FREÁTICOS E
PROPOSIÇÃO DE MEDIDAS DE SEGURANÇA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Ricardo Paulo Fonseca Melo, Prof. Dr.

Coorientador: Marco Diego Aurélio Mesquita, Prof. Me.

PAU DOS FERROS

2019

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

C376i Cavalcante, Wállison André Soares.
Investigação de mortes causadas em poços
freáticos e proposição de medidas de segurança /
Wállison André Soares Cavalcante. - 2019.
57 f. : il.

Orientador: Ricardo Paulo Fonseca Melo.
Coorientador: Marco Diego Aurélio Mesquita.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2019.

1. Fatalidades. 2. Poços freáticos. 3. Vítimas.
4. Mortes. 5. NR-33. I. Melo, Ricardo Paulo
Fonseca, orient. II. Mesquita, Marco Diego
Aurélio, co-orient. III. Título.

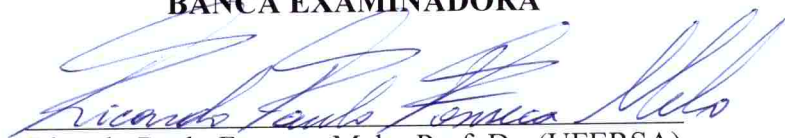
WÁLLISON ANDRÉ SOARES CAVALCANTE

**INVESTIGAÇÃO DE MORTES CAUSADOS EM POÇOS FREÁTICOS E
PROPOSIÇÃO DE MEDIDAS DE SEGURANÇA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

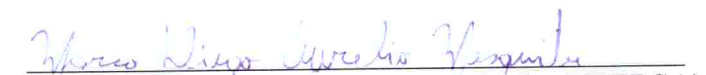
Defendida em: 20 / 03 / 2019.

BANCA EXAMINADORA



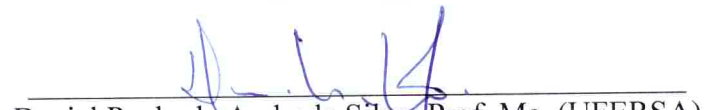
Ricardo Paulo Fonseca Melo, Prof. Dr. (UFERSA)

Presidente



Marco Diego Aurélio Mesquita, Prof. Me. (UFERSA)

Membro Examinador



Daniel Paulo de Andrade Silva, Prof. Me. (UFERSA)

Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, se não fosse por ele tenho plena certeza que não teria chegado nem até aqui, ele que me dá o sopro da vida para que eu levante todo dia e possa batalhar pelos meus sonhos com muita saúde e determinação. Glória à Deus!

Aos meus pais Raimundo Nonato Bezerra Cavalcante (Homem de honestidade e caráter admirável) e Maria Ilzanir Lima Soares (Mulher de honestidade, caráter e coração enorme) que sempre me motivam a correr atrás dos meus objetivos e sempre estão dispostos a me ajudar, e também são exemplos a serem seguidos, nos quais me espelho em toda minha caminhada tanto acadêmica como pessoal.

Aos meus irmãos Jefferson Weyner Soares Cavalcante e Wilk Soares Cavalcante que também estão sempre torcendo pelo meu sucesso e sempre estiveram dispostos a me ajudar quando eu precisasse.

À minha namorada Ketley Nohara que sempre esteve comigo na maior parte da minha caminhada em busca da minha formação acadêmica, me ajudando nos momentos difíceis, com apoio e companheirismo que foram indispensáveis para atingir o êxito acadêmico.

Agradeço também ao meu orientador Ricardo Paulo Fonseca Melo pelos ensinamentos e todo apoio apesar de sua rotina bastante corrida sempre estava disposto a me ajudar no trabalho.

Agradeço também ao meu coorientador Marco Diego Aurélio Mesquita pelo apoio e ensinamentos repassados durante o desenvolvimento do trabalho.

Agradeço a todos os meus professores que tive ao longo da minha caminhada acadêmica desde o ensino fundamental até a conclusão do ensino superior, pois sem eles também eu seria incapaz de chegar aqui. Quero agradecer de forma especial ao meu professor e amigo que me ajudou bastante no meu crescimento tanto acadêmico como pessoal, Deivid Matias de Freitas.

Quero agradecer também a todos os meus amigos que contribuíram de forma positiva para que eu chegasse aqui, todos vocês foram importantes, vocês sabem disso. Quero fazer um agradecimento especial aos meus amigos Wadley Kelvy Coutinho Moura, Francisco Vinícius Lopes Costa e Lucas Gleydson Gomes de Lima, pois acredito que estes estão intrinsecamente ligados a essa conquista, pois fizeram parte de toda minha caminhada até o êxito. Amigos são melhores do que dinheiro achado em calçada alta.

Quero agradecer também ao Igor Ramon que me ajudou na obtenção de equipamentos da parte construtiva do trabalho.

RESUMO

Fatalidades em poços freáticos começaram a acontecer na Cidade de Morada Nova-CE com agricultores. Mortes por meio de asfixia por conta de um gás não identificado se tornaram cada vez mais frequente no interior da cidade de Morada Nova-CE. em vista disso surge a necessidade de propor medidas de segurança baseada na NR-33, como também a construção de um dispositivo eletrônico que pudesse detectar o gás para que sanasse as mortes que estavam acontecendo. Esse trabalho foi desenvolvido se utilizando da metodologia exploratória para descobrir os possíveis gases que poderiam estar presentes nesses ambientes, os poços, chegando à conclusão de que se houvesse implementadas algumas medidas da NR-33 teria evitado os acidentes e consequentemente as mortes das vítimas.

Palavras-chave: Fatalidades. Poços freáticos. Morada Nova. Mortes. NR-33. Dispositivo. Vítimas.

ABSTRACT

Fatalities in groundwater wells began to take place in the Town of Morada Nova-CE with farmers. Deaths by asphyxiation on account of an unidentified gas have become increasingly frequent within the city of Morada Nova-CE. in view of this arose the need to propose safety measures based on NR-33, as well as the construction of an electronic device that could detect the gas to heal the deaths that were happening. This work was developed using the exploratory methodology to discover the possible gaps that could be present in these environments, the wells, arriving at the conclusion that if some measures of the NR-33 had been implemented they would have prevented the accidents and consequently the deaths of the victims.

Keywords: Fatalities. Groundwater. Morada Nova. Deaths. NR-33. Device. Victims.

“Eu não sou quem eu gostaria de ser;
Eu não sou quem eu poderia ser, ainda, eu não sou quem eu deveria ser.
Mas graças a Deus eu não sou mais quem eu era!”
(Martin Luther King)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Imagem dos testes de ligação dos três sensores ao mesmo tempo.....	38
Figura 2	–	Fixação da placa Arduino no pedaço de madeira	39
Figura 3	–	<i>Protoboard</i> fixada na madeira.....	39
Figura 4	–	Botão para ligar o sensor MQ-9 e as pilhas.....	41
Figura 5	–	<i>Buzzer</i> ligado ao arduino.....	43
Figura 6	–	Caixa <i>case</i> suporte para bateria de 9V.....	43
Figura 7	–	teste de detecção do gás metano na ETE.....	52

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	–	Gráfico do datasheet do sensor MQ-4 relacionando (R_s/R_o) com ppm.....	29
Gráfico 2	–	Gráfico de dispersão dos pontos do gráfico do <i>datasheet</i> do sensor MQ-4.....	30
Gráfico 3	–	Gráfico do datasheet do sensor MQ-135 relacionando (R_s/R_o) com ppm.....	33
Gráfico 4	–	Gráfico de dispersão dos pontos do gráfico do datasheet do sensor MQ-135..	34
Gráfico 5	–	Gráfico do datasheet do sensor MQ-9 relacionando (R_s/R_o) com ppm.....	35
Gráfico 6	–	Gráfico de dispersão dos pontos do gráfico do datasheet do sensor MQ-9.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Parâmetros importantes para a observância em espaço confinado.....	19
Tabela 2	–	Informações do <i>datasheet</i> do sensor MQ-4.....	29
Tabela 3	–	Sugestão de ligação do sensor MQ-4.....	30
Tabela 4	–	Informações do <i>datasheet</i> do sensor MQ-135.....	32
Tabela 5	–	Sugestão de ligação do sensor MQ-135.....	33
Tabela 6	–	Informações do <i>datasheet</i> do sensor MQ-9.....	35
Tabela 7	–	Sugestão de ligação do sensor MQ-9.....	36
Tabela 8	–	Ligação do sensor MQ-4.....	40
Tabela 9	–	Ligação do sensor MQ-9.....	40
Tabela 10	–	Sugestão de ligação do sensor MQ-135.....	41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	17
2.1 GERAL	17
2.2 ESPECÍFICOS	17
3 REVISÃO TEÓRICA.....	18
3.1 MORTES CAUSADAS POR GASES EM LOCAIS CONFINADOS	18
3.2 VARIAÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTES	18
3.3 PRINCIPAIS GASES EM LOCAIS CONFINADOS	19
3.4 DISPOSITIVO PARA IDENTIFICAR OS GASES	21
3.5 SELEÇÃO DOS SENSORES	22
3.6 A NR 33 – SEGURANÇA E SAÚDE NOS TRABALHOS EM ESPAÇOS CONFINADOS ..	22
4 METODOLOGIA.....	26
4.1 SENSORES SELECIONADOS PARA O PROJETO	26
4.1.1 CALIBRAÇÃO DOS SENSORES	27
4.1.2 SENSOR MQ 4	28
4.1.3 SENSOR MQ 135	31
4.1.4 SENSOR MQ 9	34
4.2 A PLACA ARDUINO	36
4.3 CONSTRUÇÃO DO DISPOSITIVO	37
4.3.1 HARDWARE.....	37
4.3.1.1 LIGAÇÕES DOS SENSORES	40
4.3.1.1.1 LIGAÇÃO DO SENSOR MQ-4	40
4.3.1.1.2 LIGAÇÃO DO SENSOR MQ-9	40
4.3.1.1.3 LIGAÇÃO DO SENSOR MQ-135	41
4.3.1.2 LIGAÇÃO DO BUZZER.....	42
4.3.1.3 ALIMENTAÇÃO DA PLACA ARDUINO	43
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	44
6 CONCLUSÃO	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
APÊNDICE	50
APÊNDICE A – PROGRAMAÇÃO (CÓDIGO)	51

1 INTRODUÇÃO

Os poços para captação de águas subterrâneas estão bastante presentes no nosso cotidiano, cada vez mais vem crescendo a busca por eles, diversos são os motivos, tais como: captação de água para o consumo humano, para a agricultura, agropecuária e até mesmo usos industriais. No sertão nordestino, local mais castigado pela estiagem do território brasileiro, os poços se apresentam como uma boa saída para suprir a demanda de água na região. Não se sabe ao certo sobre os primeiros registros de construções de poços, mas sabemos que data de aproximadamente 2 mil anos a.C. Na antiga Pérsia, país atualmente denominado de Irã (Vasconcelos, 2014).

Basicamente os poços são classificados em poços artesianos, semi-artesianos e freáticos. A diferença entre eles é que no primeiro a água não precisa de um equipamento de pressão, como um motor bomba, por exemplo, para fazer a captação da água, a própria pressão natural da água é suficiente, além de apresentar um sistema mais seguro se tratando de qualidade da água, já no semi-artesiano, para puxar a água é preciso de um sistema que adicione pressão ao fluido, esses dois pegam a água que está infiltrada em rochas e sedimentos dos aquíferos, e por fim nos freáticos são os poços mais rasos, que também são chamados de cacimbas, estes são mais fáceis de se contaminarem com as impurezas do solo, principalmente, com as incidências de chuvas (Associação brasileira de águas subterrâneas. 2018).

A decomposição de matéria orgânica nos poços pode ocorrer, fazendo com que haja a formação de gases como o metano (CH_4) que é prejudicial à saúde humana e o dióxido de carbono (CO_2) e em casos específicos que a matéria tenha enxofre na sua composição pode até acontecer a formação de sulfeto de hidrogênio (H_2S) que é um gás extremamente perigoso à saúde humana (Santos et al. 1981). Se tratando de poços existem alguns cuidados a serem tomados com eles, muitas vezes em poços rasos e com um grande diâmetro, conhecido como poços freáticos ou cacimbas, trabalhadores encarregados da manutenção efetuam os reparos sem uso de equipamentos de proteção de segurança, expondo a saúde a riscos. Os cuidados que devem ser tomados nesses casos, são análogos aos tomados nos locais confinados, pois as condições ambientes se assemelham. O poço é um local confinado.

Com a incidência de casos de mortes em poços freáticos na cidade de Morada Nova-CE por consequências de inalação de gases surgiu a necessidade de fazer um estudo focado em determinar qual o gás está causando as mortes em vista que não se sabe ainda ao certo qual o gás e o por que esses gases estão aparecendo com frequência nesses locais, e além disso, fazer um levantamento de medidas de segurança a serem adotadas por esses trabalhadores e também

buscar propor uma medida de segurança com a construção de um dispositivo eletrônico afim de sanar essas fatalidades.

As fatalidades estão acontecendo com agricultores, que descem constantemente para fazer manutenção em suas cisternas e acabam sendo surpreendidos com um gás que na maioria das vezes é fatal. Morada nova já consta com três casos de mortes em cisternas, mas só um foi notícia no G1. É importante frisar também que isso não aconteceu apenas na cidade de Morada Nova, mas também em várias outras cidades, como na cidade do Cariri na PB (G1, 2017), por exemplo.

Esse trabalho irá abordar basicamente os perigos existentes em poços freáticos, bem como os cuidados a serem tomados baseados na NR 33 que diz respeito a segurança e saúde no trabalho em espaço confinado, além disso, propor uma medida de segurança com a construção de um dispositivo eletrônico que tem o objetivo de identificar gases perigosos capazes de trazer danos para os trabalhadores expostos a estes.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Desenvolver um dispositivo eletrônico que faça uma leitura do ambiente e indique se é possível exercer um trabalho nesse local com segurança ou não, identificando quais os gases presentes que possam oferecer perigo aos trabalhadores.

2.2 ESPECÍFICOS

- ✓ Apresentar de forma clara e objetiva os riscos de gases em poços;
- ✓ Mostrar procedimentos e medidas de segurança para trabalhos em locais confinados (poços) baseando-se na NR 33;
- ✓ Desenvolver uma pesquisa bibliográfica dos possíveis gases em locais confinados que podem aparecer nos poços freáticos.

3 REVISÃO TEÓRICA

3.1 MORTES CAUSADAS POR GASES EM LOCAIS CONFINADOS

Segundo Lemos (2017) a Occupational Safety and Health Administration disponibilizou um relatório de uma investigação de 122 acidentes entre os anos de 1974 e 1982 que constava cerca de 173 mortes por asfixia ou contaminação tóxica. O monitoramento do ambiente em espaços confinados é de extrema importância, nós não conseguimos ver o ar que respiramos. Segundo o professor da USP, engenheiro químico Mauricio Torloni, o que mais causa acidentes em locais confinados são os problemas respiratórios (LEMOS, 2017, apud TORLONI, 1994). O não monitoramento das condições atmosférica pode trazer riscos fatais aos trabalhadores por meio de gases tóxicos, inflamáveis e insuficiência ou excesso de oxigênio.

3.2 VARIAÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTES

Os gases tóxicos podem levar um ser humano a morte em questão de minutos ou até segundos, vai depender das concentrações que esses gases apresentam nesses locais. eles agem de forma a impossibilitar que as células captem o oxigênio, que por mais que tenha uma quantidade razoável de oxigênio no local a vítima ainda sofrerá com asfixia, só que nesse caso, denomina-se de asfixia química, um exemplo desse gás é o CO (monóxido de carbono). Um gás inflamável como o metano, por exemplo, pode ocasionar um acidente por meio de explosões.

Já um acidente por insuficiência de oxigênio é simples, basicamente ocorre da seguinte forma, existem vários outros gases que não são tóxicos e que não são prejudiciais à saúde humana, no entanto, a presença desses vários gases em locais confinados diminui drasticamente a concentração de oxigênio no local e como a ventilação é pouca em locais confinados, isso leva a uma asfixia simples na vítima. Uma situação segura para uma boa respiração seria uma concentração de 20,9% de oxigênio no local (LEMOS, 2017). Além de nos preocupar com o nível mínimo de oxigênio devemos também nos preocupar com os níveis máximos suportados pelos seres humanos que é de aproximadamente um teor superior a 23,5% que pode causar problemas como vasodilatação cerebral, inflamação e espessamento pulmonar (MARTINS, 2014, apud AZEVEDO; OLIVEIRA JÚNIOR, 2009).

Alguns problemas que podem acontecer na presença de pouco O₂ são perturbação respiratória, distúrbio emocional fadiga anormal ao realizar esforços, isso em concentrações de 12

– 16% de O₂, com 10 – 11% aumento da frequência respiratória e batimentos cardíacos, euforia e possibilidade de dor de cabeça, de 6 a 10% náuseas, vômitos, possibilidade de perda da consciência, e em concentrações menores de 6% de O₂ a vítima fica com a respiração ofegante, parada respiratória e em seguida ataque cardíaco, e com isso, a vítima vai à óbito em minutos (MARTINS, 2014, apud REKUS, 1994).

3.3 PRINCIPAIS GASES EM LOCAIS CONFINADOS

Em espaços confinados podem existir uma infinidade de gases tóxicos. O que vai definir qual o tipo de gases existentes em cada local será as atividades desempenhadas e condições ambientais (MARTINS, 2014, apud BREVIGLIERO; POSSEBON; SPINELLI, 2010). Os gases mais comuns em espaços confinados são: amônia, cloro, dióxido de carbono, dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio, monóxido de carbono, gás sulfídrico (MARTINS, 2014). A Tabela 1 mostra parâmetros importantes sobre esses gases. Onde TLV (TWA/C) (Threshold Limit Values) é a concentração média ponderada pelo tempo de exposição para uma jornada de trabalho de 8h/dia que cada trabalhador pode se expor sem causar nenhuma consequência à sua saúde. IPVS significa Imediatamente Perigosa à Vida ou a Saúde; Limite de tolerância (LT) – Brasil, nada mais é do que o limite máximo de concentração de determinada substância que um trabalhador pode estar exposto sem causar danos à sua saúde; Limite de odor é o limite mínimo de uma concentração de uma certa substância que já é perceptível ao olfato humano.

Tabela 1: Parâmetros importantes para a observância em locais confinados.

PARÂMETROS IMPORTANTES PARA SUBSTÂNCIA QUÍMICAS				
SUBSTÂNCIA	Limite de Tolerância (LT) – Brasil	TLV (TWA/C) ACGIH	Limite de Odor	Concentração IPVS
AMÔNIA	20 ppm	TWA - 25 ppm	5,75 ppm	300 ppm
CLORO	0,8 ppm	TWA - 0,5 ppm	0,005 ppm	10 ppm
DIÓXIDO DE CARBONO	3.900 ppm	5.000 ppm	74.000 ppm	40.000 ppm
DIÓXIDO DE ENXOFRE	4 ppm	2 ppm	0,708 ppm	100 ppm
DIÓXIDO DE NITROGÊNIO	4 ppm	3 ppm	0,186 ppm	20 ppm
MONÓXIDO DE CARBONO	39 ppm	25 ppm	100.000 ppm	1.200 ppm
GÁS SULFÍDRICO	8 ppm	1 ppm	0,0005 ppm	300 ppm

Fonte: Martins (2014) apud Filho (2012).

A amônia é um gás tóxico mais leve que o ar e tem uma grande solubilidade em água, além disso, é um gás bastante irritante que costuma irritar os olhos e o trato respiratório superior. Tem um odor bastante característico. A inalação pode causar dificuldades respiratórias, queimaduras nas mucosas da boca, laringe e faringe, dor torácica e salivação. Se a concentração for elevada ou o tempo de exposição, o quadro respiratório pode piorar com edemas, asfixia, parada respiratória e morte (ULTRAFERTIL S.A, 2004).

O cloro é um gás tóxico e irritante, provoca queimaduras severas na pele e danos aos olhos e pode provocar irritação às vias respiratórias causando tosse e espirros. A exposição por tempo prolongado ou em altas concentrações pode causar edemas pulmonar agudo, lesões brônquicas, tonturas, asfixia e consequentemente a morte (BRASKEM, 2005).

O dióxido de carbono é um asfixiante simples, pode causar asfixia se houver em grandes concentrações e assim diminui a concentração de oxigênio para um nível prejudicial à saúde humana. Em concentrações de 2 a 3% a vítima começa a sentir sintomas de asfixia e sonolência; de 3 a 5% causa respiração acelerada e dor de cabeça; até 15% causa excitação, náuseas, vômitos e perda da consciência. Em concentração mais alta que isso pode levar a vítima a entrar em coma e morte (INDUSTRIAIS S.A, 2001).

O dióxido de enxofre é um gás irritante, tóxico, incolor e não inflamável e com grande solubilidade em água. Causa bastante irritação no sistema respiratório e nos olhos, garganta, causa tosse também, dificuldade respiratória, inflamação aguda do trato respiratório e edema pulmonar. Se for inalado em altas concentrações, acima de 150 ppm pode causar uma crise de tosse e uma forte irritação nos olhos. A vítima deverá imediatamente deixar o local, pois se isso não acontecer ela pode sofrer uma grande irritação pulmonar, edema pulmonar e pode até mesmo levar a vítima a óbito (GAMA GASES ESPECIAIS LTDA, 2005).

O dióxido de nitrogênio é bastante irritante para as vias respiratórias, se o trabalhador for exposto a tempo prolongado e em pequenas concentrações pode causar edemas pulmonar, é oxidante, pode reagir com materiais combustíveis, além disso, ele pode causar queimaduras químicas na pele e nas córneas. A vítima pode sentir dor de cabeça, náuseas e em causas de inalações repentinas pode causar bronquite (BRASIL LTDA, 2012).

O monóxido de carbono é um asfixiante químico, um gás muito tóxico que tem uma maior afinidade com a hemoglobina do que o oxigênio. A hemoglobina é responsável de levar o oxigênio para os tecidos. O monóxido de carbono é produzido por causa da queima de matéria que tenha carbono na sua composição, com pouco oxigênio no local. Por causa da insuficiência de oxigênio não é possível formar o CO_2 , formando assim o CO (EVANS, 1999).

O gás sulfídrico é um gás incolor com um cheiro característico de “ovo podre” (SZARBLEWSKI; SCHNEIDER; MACHADO, 2012 apud MAINIER; SANDRES; TAVARES, 2017). Sendo altamente tóxico aos seres humanos a exposição de 30 minutos em concentrações superiores a 300 ppm leva a vítima à óbito (SZARBLEWSKI; SCHNEIDER; MACHADO, 2012 apud MAAT *et al.* 2004). O trabalhador não poder contar com o olfato como um detector, pois em concentrações elevadas ou em longos períodos de exposição o olfato torna-se incapaz de identificar o gás (SZARBLEWSKI; SCHNEIDER; MACHADO, 2012 apud MILLS, 1998).

Além desses citados anteriormente, pode-se também citar outro gás que tem grandes chances de estar presentes em locais confinados como os poços, esse gás é o metano que pode surgir a partir da decomposição da matéria orgânica dentro do poço. Este, por sua vez, é um gás inflamável e pode atuar também em acidentes como asfixiantes simples, pois a medida que aumenta sua concentração em ambientes com pouca ventilação, a concentração do oxigênio é reduzido, levando assim a vítima à uma asfixia simples (CHAVES).

3.4 DISPOSITIVO PARA IDENTIFICAR OS GASES

Sabe-se que existem várias medidas a serem adotadas em trabalhos em espaços confinados, entretanto, quase sempre os agricultores quando vão entrar em poços freáticos não adotam as medidas necessárias segundo a NR 33. Uma das medidas de segurança é o uso de dispositivos para fazer a inspeção da atmosfera do ambiente. Os sensores para a identificação de gases quando “percebe” um alto teor de um determinado gás que ele foi projetado para identificar retorna um sinal que pode ser visível como uma luz ou auditivo como um alarme (ALMEIDA, 2017). Basicamente eles funcionam fazendo leituras do ambiente de grandezas físicas e transformando isso em um sinal que pode ser corrente ou tensão. No caso dos sensores escolhidos para o projeto, eles funcionam um pouco diferentes. Eles são formados por um divisor de tensão, que será explicado em uma abordagem mais profunda mais à frente, mas o que basicamente eles fazem é variar uma resistência de acordo com a identificação de mudança na atmosfera e assim gera um sinal de saída em forma de tensão. Esse sinal é enviado para um microcontrolador que tem um chip inteligente que pode ser programado através de uns softwares específicos e que a partir daí é possível controlar seus sinais de entradas e saídas, após

programado quando ele recebe o sinal gera uma saída para o usuário saber realmente as características da atmosfera do ambiente, nesse caso específico como monitoramento da atmosfera de algum lugar (ALMEIDA, 2017).

3.5 SELEÇÃO DOS SENSORES

Para a seleção dos sensores tem que haver uma pesquisa teórica antes dos possíveis gases que podem existir nesses poços freáticos e algumas características dos sensores, como por exemplo: Tempo de resposta, sensibilidade e estabilidade ao longo prazo. É bastante interessante verificar o tempo de resposta do sensor pelo fato de estar tratando com segurança a gases nocivos à saúde de alguém que pode estar exposto a ele. O ideal é que o sensor seja rápido para gerar uma resposta que identifique alguma anormalidade; a sensibilidade é o quanto de teor o sensor consegue identificar do gás, é preciso que o sensor seja sensível pois não é conveniente o sensor identificar o gás após o trabalhador já tenha sido prejudicado; e estabilidade se trata da identificação falsa de gases, isso ocorre porque os sensores de gases trabalham com grandezas elétricas de baixa intensidade e outras fontes de energias como uma indução eletromagnética pode causar uma variação da tensão ou da corrente e acontecer o alarme falso (ALMEIDA, 2017 apud SILVA; ROCHA; FERREIRA, 2010).

3.6 A NR 33 – SEGURANÇA E SAÚDE NOS TRABALHOS EM ESPAÇOS CONFINADOS

A NR 33 fornece os mínimos de requisitos para que se possa identificar os espaços confinados, reconhecer, avaliar, monitorar e controlar os riscos existentes nesses locais, com o intuito de garantir a segurança e saúde dos trabalhadores que podem estar expostos a esses riscos exercendo suas atividades profissionais nesses locais confinados (NR-33, 2012).

“Espaço confinado é qualquer área ou ambiente não projetado para ocupação humana contínua, que possua meios limitados de entrada e saída, cuja ventilação existente é insuficiente para remover contaminantes ou onde possa existir a deficiência ou enriquecimento de oxigênio” (NR-33, 2012).

A referida norma traz regras de responsabilidades sobre o que o empregador deve tomar durante a execução de trabalhos em locais confinados, no entanto, isso não se relaciona com a pesquisa, pois nesses casos que acontece de os agricultores fazerem trabalhos em poços não tem empregadores envolvidos, apenas os agricultores, dono do terreno e do poço entram no local para fazer algum trabalho, seja manutenção no poço ou no motor usado para puxar a água, se

for o caso. A norma também trata de responsabilidades dos trabalhadores, nesse caso deve ser observado a seguinte responsabilidade:

Comunicar ao vigia e ao supervisor de entrada as situações de risco para sua segurança e saúde ou de terceiros, que sejam do seu conhecimento; e
Cumprir os procedimentos e orientações recebidos nos treinamentos com relação aos espaços confinados (NR-33, 2012).

O supervisor de entrada é alguém dotado do poder de permitir ou não a entrada de alguém no espaço confinado. Ele tem a responsabilidade de preencher e assinar a permissão de entrada e trabalho (PET) que é um documento que consta de fato a permissão da entrada e trabalho seguro em espaços confinados. O vigia é um trabalhador que tem a função de ficar do lado de fora do espaço confinado acompanhando, comunicando-se com os trabalhadores que estão no interior dos espaços confinados e no caso, se precisar, dar ordem de abandono do referido local. Sabe-se que essa prática que os agricultores têm de entrar em poços para fazer manutenção nos mesmos não tem nenhuma fiscalização, os trabalhadores rurais não recebem o mínimo de treinamento para exercer essas atividades. Por isso que acontece tanta tragédia relacionado a isso, eles padecem por falta de informação, sem fiscalização diante de suas necessidades se obrigam a entrar e assim acontecem os acidentes que quase sempre são fatais. Alguns pontos da norma são interessantes citar porque deve ser procedimentos adotados pelos trabalhadores rurais diante de atividades no interior de poços, são eles:

Medidas técnicas de prevenção:

Identificar, isolar e sinalizar os espaços confinados para evitar a entrada de pessoas não autorizadas;
Antecipar e reconhecer os riscos nos espaços confinados;
Proceder à avaliação e controle dos riscos físicos, químicos, biológicos, ergonômicos e mecânicos;
Prever a implantação de travas, bloqueios, alívio, lacre e etiquetagem;
Implementar medidas necessárias para eliminação ou controle dos riscos atmosféricos em espaços confinados;
Avaliar a atmosfera nos espaços confinados, antes da entrada de trabalhadores, para verificar se o seu interior é seguro;
Manter condições atmosféricas aceitáveis na entrada e durante toda a realização dos trabalhos, monitorando, ventilando, purgando, lavando ou inertizando o espaço confinado;

Monitorar continuamente a atmosfera nos espaços confinados nas áreas onde os trabalhadores autorizados estiverem desempenhando as suas tarefas, para verificar se as condições de acesso e permanência são seguras;

Proibir a ventilação com oxigênio puro;

Testar os equipamentos de medição antes de cada utilização;

Utilizar equipamento de leitura direta, intrinsecamente seguro, provido de alarme, calibrado e protegido contra emissões eletromagnéticas ou interferências de radiofrequência.

Os equipamentos fixos e portáteis, inclusive os de comunicação e de movimentação vertical e horizontal, devem ser adequados aos riscos dos espaços confinados;

Em áreas classificadas os equipamentos devem estar certificados ou possuir documento contemplado no âmbito do Sistema Brasileiro de Avaliação da Conformidade - INMETRO.

As avaliações atmosféricas iniciais devem ser realizadas fora do espaço confinado.

Adotar medidas para eliminar ou controlar os riscos de incêndio ou explosão em trabalhos a quente, tais como solda, aquecimento, esmerilhamento, corte ou outros que liberem chama aberta, faíscas ou calor.

Adotar medidas para eliminar ou controlar os riscos de inundação, soterramento, engolfamento, incêndio, choques elétricos, eletricidade estática, queimaduras, quedas, escorregamentos, impactos, esmagamentos, amputações e outros que possam afetar a segurança e saúde dos trabalhadores.

Outras medidas que a norma traz também que poderá ser levado em conta, são:

Medidas administrativas:

Manter cadastro atualizado de todos os espaços confinados, inclusive dos desativados, e respectivos riscos;

Definir medidas para isolar, sinalizar, controlar ou eliminar os riscos do espaço confinado;

Manter sinalização permanente junto à entrada do espaço confinado, conforme o Anexo I da presente norma;

Implementar procedimento para trabalho em espaço confinado;

Adaptar o modelo de Permissão de Entrada e Trabalho, previsto no Anexo II desta NR, às peculiaridades da empresa e dos seus espaços confinados;

Preencher, assinar e datar, em três vias, a permissão de entrada e trabalho antes do ingresso de trabalhadores em espaços confinados;

Possuir um sistema de controle que permita a rastreabilidade da Permissão de Entrada e Trabalho;

Entregar para um dos trabalhadores autorizados e ao Vigia cópia da permissão de entrada e trabalho;

Encerrar a permissão de entrada e trabalho quando as operações forem completadas, quando ocorrer uma condição não prevista ou quando houver pausa ou interrupção dos trabalhos;

Manter arquivados os procedimentos e Permissões de Entrada e Trabalho por cinco anos;

Disponibilizar os procedimentos e Permissão de Entrada e Trabalho para o conhecimento dos trabalhadores autorizados, seus representantes e fiscalização do trabalho;

Designar as pessoas que participarão das operações de entrada, identificando os deveres de cada trabalhador e providenciando a capacitação requerida;

Estabelecer procedimentos de supervisão dos trabalhos no exterior e no interior dos espaços confinados;

Assegurar que o acesso ao espaço confinado somente seja iniciado com acompanhamento e autorização de supervisão capacitada;

Garantir que todos os trabalhadores sejam informados dos riscos e medidas de controle existentes no local de trabalho;

Implementar um Programa de Proteção Respiratória de acordo com a análise de risco, considerando o local, a complexidade e o tipo de trabalho a ser desenvolvido.

É notório que precisa adaptar algumas das recomendações dessas normas para que se adeque ao nosso caso, já que essa norma é focada em empregador e empregado. É importante ressaltar também as medidas de emergência e salvamentos que a referida norma traz, são elas:

descrição dos possíveis cenários de acidentes, obtidos a partir da Análise de Riscos;

descrição das medidas de salvamento e primeiros socorros a serem executadas em caso de emergência;

seleção e técnicas de utilização dos equipamentos de comunicação, iluminação de emergência, busca, resgate, primeiros socorros e transporte de vítimas;

acionamento de equipe responsável, pública ou privada, pela execução das medidas de resgate e primeiros socorros para cada serviço a ser realizado; e

exercício simulado anual de salvamento nos possíveis cenários de acidentes em espaços confinados.

4 METODOLOGIA

A princípio foi feita uma pesquisa bibliográfica de trabalhos relacionados com perigos em espaços confinados principalmente se tratando de perigos relacionados a gases, em vista que poço freático é caracterizado como um espaço confinado. As informações foram colhidas a partir de artigos científicos e livros. Essa pesquisa consiste em um trabalho exploratório afim de conhecer mais a causa das mortes em poços freáticos por meio de gases nocivos, e também, propor uma medida de segurança para sanar essa problemática. A pesquisa bibliográfica tem um objetivo de nos direcionar sobre quais os possíveis gases que podem existir em poços freáticos partindo da premissa de que os poços freáticos são locais confinados. Além disso, foi feita uma entrevista com uma vítima que sobreviveu um acidente em um poço freático por causa de um gás ainda não identificado. Tudo isso para afunilar cada vez mais as variáveis de gases, e nos direcionar apenas para os mais prováveis que podem ser, e a partir daí, com o dispositivo pronto de identificação de gases é possível constatar de fato qual o gás presente nesses poços por meio de testes em poços que já causaram acidentes por causa da presença de gases nocivos e com isso constatar a incidências desses gases.

4.1 SENSORES SELECIONADOS PARA O PROJETO

A partir das pesquisas, foi constatado que o melhor sensor a ser utilizado são os sensores Mq's, pelo fato de serem de baixo custo e apresentarem bom rendimento com relação às características avaliadas, que são tempo de resposta, sensibilidade e estabilidade a longo prazo. Essas características foram avaliadas observando e analisando o *datasheet* dos sensores e se baseando em trabalhos já feitos com os referidos sensores. Entretanto, apesar de eles serem uma boa opção pelos motivos anteriormente citados, é bastante desafiador trabalhar com eles porque é preciso calibrá-lo e isso não é algo simples de se fazer porque no *datasheet* dele não traz informações tão claras quanto a isso. Outra limitação que podemos citar também sobre esses sensores é o fato de que eles são bastante influenciáveis pela temperatura do ambiente e pela umidade (KALRA et al. 2016).

Os sensores utilizados foram o Mq 4, Mq 135 e o Mq 9. Adiante será detalhado cada sensor utilizado. É aconselhado que se use mais sensores para aumentar a gama de gases identificados, ao todo é aconselhado a utilização de 7 sensores para a identificação de gases como o cloro, amônia, dióxido de carbono, dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio, monóxido de carbono e gás sulfídrico, mas por limitações de recursos, foi decidido estudar, desses setes, quais os gases que têm a maior probabilidade de estarem presentes nesses poços.

Chegou-se à conclusão que os gases mais fáceis de estarem presentes nos poços é o metano, monóxido de carbono e o gás amônia, por causa dos trabalhos corriqueiros usados nesses ambientes de agricultura, como o uso de fertilizantes ricos em amônia, a queima de matéria orgânica para limpar o local para que depois eles possam plantar os seus cultivos e o gás metano pela decomposição da matéria orgânica dentro do poço.

Esses sensores como já citado anteriormente é de difícil calibração, para calibrá-los é necessário achar a equação de sua reta que relaciona um parâmetro R_s/R_o com a concentração de gás em ppm. R_s é a resistência do sensor e R_o é a resistência do sensor em atmosfera com valores de temperatura, umidade, e pureza do ar controlada, entretanto, é possível encontrar esse R_o colocando o sensor em ar limpo, verificando o R_s e dividindo-o por uma constante presente do gráfico do *datasheet* do sensor quando ele está em ar limpo (LEITE, 2016).

Basicamente esses sensores funcionam como um divisor de tensão formado por um R_s (sensor de resistência) e um R_L (resistor de carga) (LEITE, 2016). Para achar a equação, foi analisado os pontos do gráfico dos sensores no *datasheet*, como os pontos do gráfico não eram bem especificados, foi feito uma análise usando somente o olho, ou seja, foi feita uma aproximação dos reais valores dos pontos, porque não havia outra forma de descobrir os valores desses pontos de uma forma mais precisa.

Com isso, esses valores foram usados para montar um gráfico de dispersão no excel para que fosse gerado uma curva de tendência que assim fosse possível obter valores bastante aproximados do real e além disso o excel permite montar a equação do gráfico, que era o que se procurava, como o gráfico está logaritmo, deve-se levar em conta isso nos cálculos para relacionar o R_s/R_o com a concentração do gás em ppm. R_s é a resistência variável do sensor e R_o é o R_s medido no ar limpo e dividido pelo parâmetro disponibilizado no *datasheet* do sensor onde a relação R_s/R_o é constante.

4.1.1 CALIBRAÇÃO DOS SENSORES

Os sensores foram calibrados da mesma forma, pois eles têm o mesmo funcionamento.

Primeiramente foi colocado os sensores em ambientes em ar limpo e foi observados sua resistência, ou seja, R_s , a partir disso, é possível encontrar o R_0 , basta fazer $R_0 = R_s/(\text{parâmetro do datasheet do sensor})$, esse parâmetro é onde a relação R_s/R_0 no *datasheet* do sensor é constante. Conhecendo o R_0 usa-se esse valor para achar a “medida em ppm” do gás no ambiente de ar limpo, ou seja, essa “medida em ppm” não existe, é apenas para que possamos saber a resistência do sensor em ar limpo para fazer a correção e calibrar o sensor. Com essas medidas em mãos basta fazer ppm atual (no local que queremos analisar) - ppm inicial (ambiente ao ar limpo). O resultado dessa diferença é a verdadeira concentração em ppm do gás analisado no ambiente monitorado.

No nosso caso, a concentração inicial de ppm, ou seja, a resistência do sensor em ar limpo que vai gerar uma concentração de ppm falsa será analisado no lado de fora do poço (ppm do lado de fora do poço) que é um ambiente em ar limpo que sabemos que não há gás. Em seguida o dispositivo é colocado dentro do poço que é o ambiente que queremos analisar. Após ele ser colocado dentro do poço, ele irá gerar uma nova resistência e consequentemente uma nova concentração de ppm (ppm dentro do poço). Então, o cálculo de ppm dentro do poço – ppm do lado de fora do poço nos dá a real concentração em ppm do gás analisado dentro do poço, que é o local que queremos monitorar.

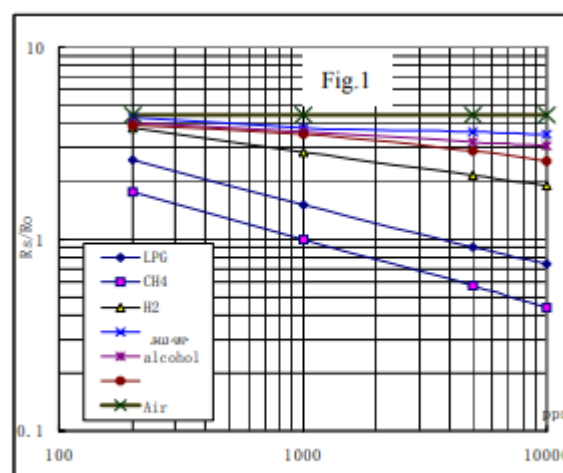
4.1.2 SENSOR MQ 4

Segundo seu *datasheet*, o sensor mq 4 é usado para identificar explosividade, ou seja, gases inflamáveis, tais como: metano, butano e propano. Identificam concentrações de 300 a 10.000 ppm e pode ser facilmente usado com a placa Arduino. É importante ressaltar que precisa haver um tempo de preaquecimento para que suas leituras fiquem mais precisas, nesse sensor a leitura de preaquecimento é de no mínimo 48 horas. Na Tabela 2 segue algumas informações de seu *datasheet*.

Tabela 2: Informações do datasheet do sensor MQ-4

Modelo			MQ-4
Tipo de sensor			semicondutor
Encapsulamento padrão			baquelite (baquelite preto)
Gás de detecção			Gás natural / metano
Concentração			300 - 10000 ppm (Gás natural / metano)
Circuito	Tensão de loop	Vc	$\leq 24V$ DC
	Tensão do aquecedor	Vh	$5V \pm 0,2V$ AC or DC
	Resistência de carga	RL	Ajustável
Personagem	Resistência do aquecedor	Rh	$31\Omega \pm 3\Omega$ (Temperatura amb.)
	Consumo do aquecedor	Ph	$\leq 900mW$
	Resistência do sensor	Rs	$2K\Omega - 20K\Omega$ (em 5000 ppm CH ₄)
	Sensibilidade	S	$R_s(\text{no ar}) / R_s(\text{em } 5000 \text{ ppm CH}_4) \geq 5$
	Inclinação	α	$\leq 0,6$ (R5000ppm / R3000ppm CH ₄)
Condição	Temp. Humidade		$20^\circ C \pm 2^\circ C : 65\% \pm 5\% RH$
	Circuito de teste padrão		Vc: $5V \pm 0,1V$ Vh: $5V \pm 0,1V$
	Tempo de pré-aquecimento		Mais de 48 horas

Fonte: Hanwei

Gráfico 1: Gráfico do datasheet do sensor MQ-4 relacionando (R_s/R_o) com ppm.

Fonte: Hanwei

Sua ligação no Arduino é simples. Ele possui 4 pinos, um vcc ao qual liga-se ao pino de 5V do Arduino, outro pino GND ao qual é ligado ao pino GND do Arduino, o terceiro pino é o D0 que é ligado a um dos pinos digital do Arduino e por último o pino A0 que é conectado a um dos pinos analógico do Arduino, uma sugestão de ligação é mostrada na Tabela 3:

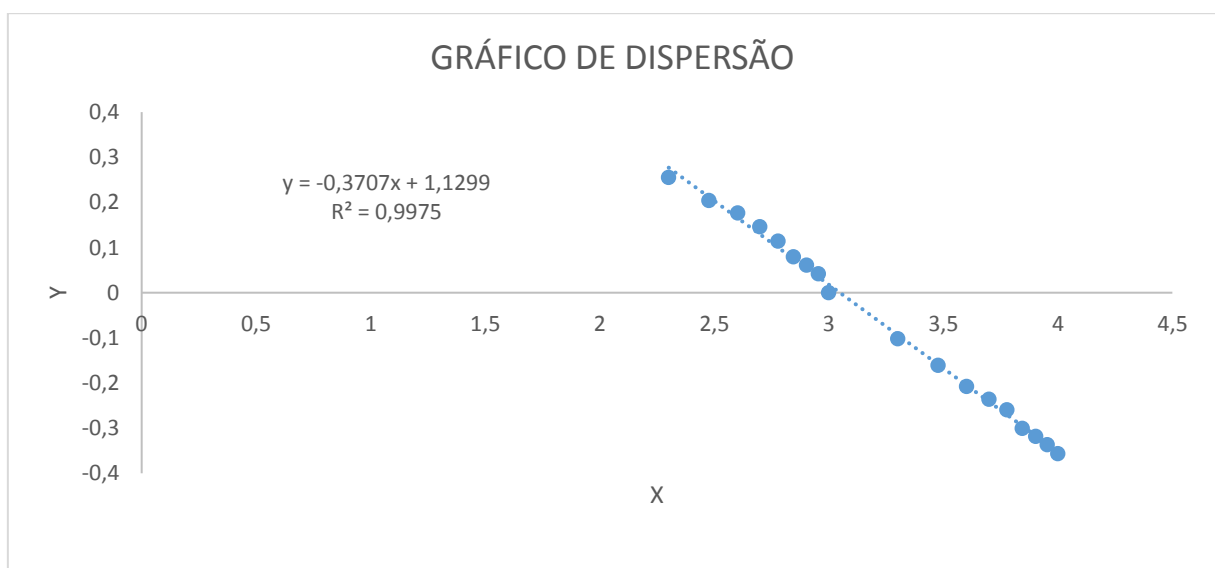
Tabela 3: Sugestão de ligação do sensor MQ-4

PINOS DO SENSOR	PINOS DO ARDUINO
VCC	5V
GND	GND
D0	7
A0	A2

Fonte: Autor (2019)

A sigla VCC significa voltagem em corrente contínua e GND significa filtro graduado de densidade neutra. Para achar a equação da reta do gráfico do datasheet do MQ-4 que relaciona o parâmetro R_s/R_0 com a concentração de ppm do gás foi feito da mesma forma que já foi explicado anteriormente, analisando o gráfico, pegando valores aproximados dos pontos do gráfico e usando o excel. É importante ressaltar que na sua curva de tendência do gráfico de dispersão o coeficiente de determinação deu 0,9975. O R^2 quanto mais próximo de 1 significa que a correlação linear dos pontos está bem confiável, portanto, pode-se afirmar que o gráfico de dispersão formado é bastante aproximado do gráfico real do *datasheet*, conforme pode ser observado no Gráfico 2.

Gráfico 2: Gráfico de dispersão dos pontos do gráfico do *datasheet* do sensor MQ-4



Fonte: Autor (2019)

Como o gráfico está em escala logarítmica, temos que:

$$\text{Log}(y) = -0,3707 * \text{Log}(x) + 1,1299 \quad (1),$$

Como o eixo dos y é o parâmetro R_s/R_0 e o eixo do x é a concentração do gás em ppm, temos que:

$$\text{Log}(R_s/R_0) = -0,3707 * \text{Log}(\text{ppm}) + 1,1299 \quad (2).$$

Para encontrar os valores em ppm basta fazer umas pequenas manipulações nas fórmulas, como segue:

$$\text{Log}(\text{ppm}) = \frac{\text{Log}(R_s/R_0) - 1,1299}{-0,3707} \quad (3).$$

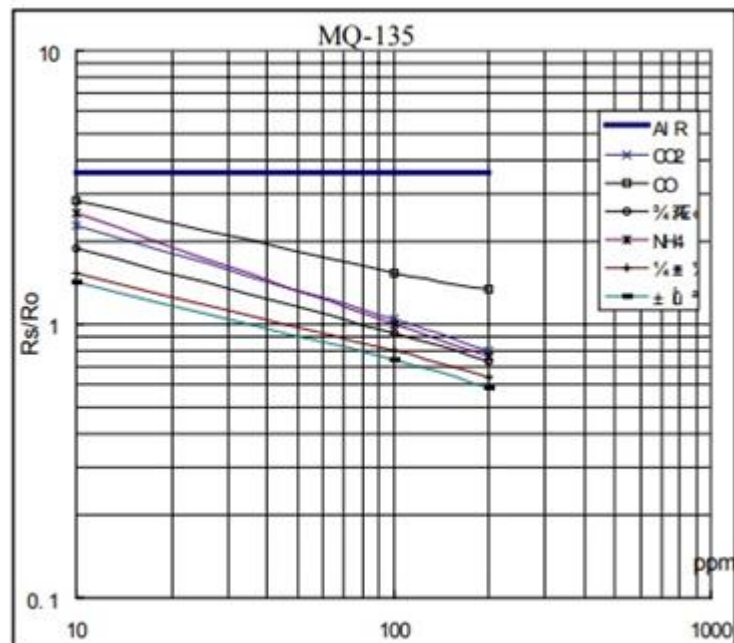
4.1.3 SENSOR MQ 135

Por meio do *datasheet* do sensor mq 135 pode-se afirmar que ele é capaz de identificar substâncias como: amônia, fumaça, álcool e CO_2 . Sua sensibilidade para o gás amoníaco varia de 10 a 300 ppm. A sua ligação pode ser feita semelhante ao do sensor anteriormente citado. Este sensor possui um tempo de preaquecimento de no mínimo 24 horas. Segundo seu *datasheet* pode se analisar outras informações importantes sobre sua curva de detecção de ppm fazendo uma relação entre R_s/R_0 e as concentrações em ppm.

Tabela 4: Informações do datasheet do sensor MQ-135

Símbo- los	Nome dos parâmetros	Condições técnicas	Observações
Vc	Tensão do circuito	5V ± 0,1V	CA ou CC
Vh	Tensão de aqueci- mento	5V ± 0,1V	ACOR CC
RL	Resistência de carga	Pode ajustar	
RH	Resistência do aquece- dor	33Ω ± 5%	Temperatura Ambiente
Ph	Consumo de aqueci- mento	Menos que 800mW	
Condições ambientes			
Símbo- los	Nome dos parâmetros	Condições técnicas	Observações
Tao	Temp. Usual	10 - 45 °C	
Tas	Temp. Armazenamento	20 - 70 °C	
Rh	Umidade relacionada	Menos que 95%Rh	
O2	Concentração de oxigê- nio	21% (Concentração padrão) Con- centração de oxigênio pode afetar a sensibili- dade	O valor mínimo é superior a 2%
Características de sensibilidade			
Símbo- los	Nome dos parâmetros	Condições técnicas	Observações 2
Rs	Resistência de detec- ção	30KΩ - 200KΩ (100ppm NH3)	Detectando o escopo de concentração 10 ppm - 300 ppm NH ₃ 10 ppm - 1000 ppm Ben- zeno 10 ppm - 300 ppm álcool
α (200/50) NH3	Taxa de inclinação da concentração	≤ 0,65	
Condi- ção de detec- ção pa- drão	temp. 20 °C ± 2% Vc: 5V ± 0,1V Umidade: 65% ± 5% Vh: 5V ±0,1V		
Tempo de pré- aqueci- mento	Mais de 24 Horas		

Fonte: Hanwei

Gráfico 3: Gráfico do datasheet do sensor MQ-135 relacionando (R_s/R_0) com ppm.

Fonte: Hanwei

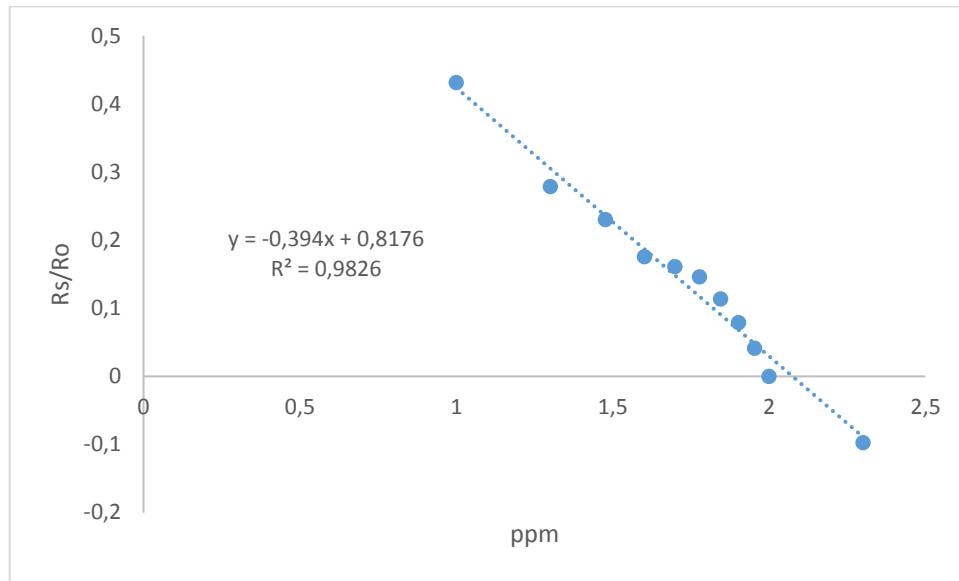
Tabela 5: Sugestão de ligação do sensor MQ-135

PINOS DO SENSOR	PINOS DO ARDUINO
VCC	5V
GND	GND
D0	8
A0	A1

Fonte: Autor (2019)

O procedimento para encontrar a equação da reta do datasheet do sensor MQ-135 que relaciona R_s/R_0 com a concentração de ppm é análogo ao procedimento feito para encontrar a reta do *datasheet* do sensor MQ-4. Assim, procedendo de modo análogo obtém-se as Equações 4-6.

Gráfico 4: Gráfico de dispersão dos pontos do gráfico do datasheet do sensor MQ-135



Fonte: Autor (2019)

$$\text{Log}(y) = -0,394 \cdot \text{Log}(x) + 0,8176 \quad (4),$$

$$\text{Log}(R_s/R_o) = -0,394 \cdot \text{Log}(\text{ppm}) + 0,8176 \quad (5).$$

$$\text{Log}(\text{ppm}) = \frac{\text{Log}(R_s/R_o) - 0,8176}{-0,394} \quad (6).$$

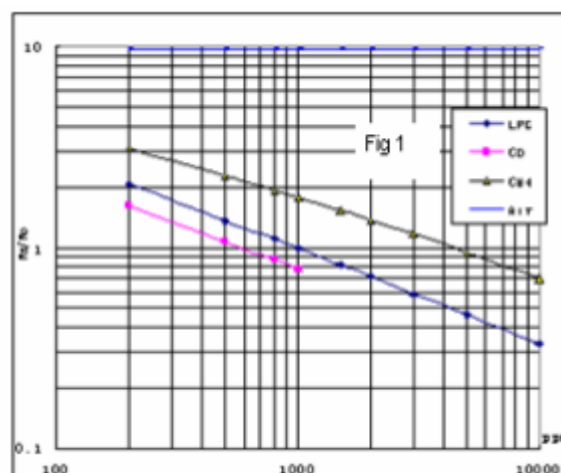
4.1.4 SENSOR MQ 9

Após uma análise no *datasheet* do sensor mq 9, podemos afirmar que este sensor pode detectar tanto o monóxido de carbono (CO) como também gases combustíveis, sendo que sua sensibilidade para o CO vai de 10 até 1000 ppm e para gases combustíveis vai de 100 até 10.000 ppm. Para fazer com que ele identifique o CO é necessário que a alimentação dele seja de 1,5V, e com a alimentação de 5V ele é usado para identificar gases combustíveis. Outras informações importantes de seu *datasheet* está representado na Tabela 6.

Tabela 6: Informações do *datasheet* do sensor MQ-9

Modelo			MQ-9
Tipo de sensor			semicondutor
Encapsulamento padrão			Baqelite
Gás de detecção			CO e gás combustível
Concentração			10 - 1000 ppm CO 100 - 10000 ppm gás combustível
Circuito	Tensão de loop	Vc	$\leq 10V$ CC
	Tensão do aquecedor	Vh	$5V \pm 0,2V$ ACor CC (Alto) $1,5 \pm 0,1V$ Acor CC (baixo)
	Tempo do aquecedor	TL	$60 \pm 1S$ (Alto) $90 \pm 1S$ (Baixo)
	Resistência de carga	RL	Ajustável
Personagem	Resistência do aquecedor	Rh	$31\Omega \pm 3\Omega$ (Temperatura amb.)
	Consumo do aquecedor	Ph	$\leq 350mW$
	Resistência do sensor	Rs	$2K\Omega - 20K\Omega$ (em 100 ppm CO)
	Sensibilidade	S	$R_s(\text{no ar}) / R_s(\text{em } 100 \text{ ppm CO}) \geq 5$
	Inclinação	α	$\leq 0,6$ (R300ppm / R100ppm CO)
Condição	Temp. Humidade		$20^\circ C \pm 2^\circ C$; $65\% \pm 5\% RH$
	Circuito de teste padrão		Vc: $5V \pm 0,1V$ Vh (Alto): $5V \pm 0,1V$ Vh (Baixo): $1,5V \pm 0,1V$
	Tempo de pré-aquecimento		Mais de 48 horas

Fonte: Hanwei

Gráfico 5: Gráfico do *datasheet* do sensor MQ-9 relacionando (R_s/R_o) com ppm.

Fonte: Hanwei

Ele pode ser ligado ao Arduino semelhantemente aos sensores anteriormente citados, veja um exemplo na Tabela 7.

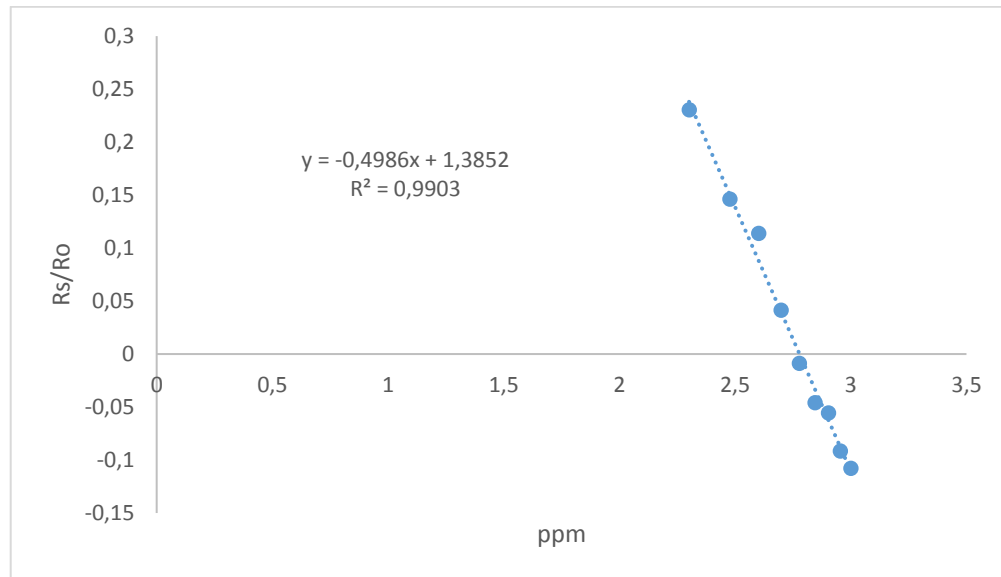
Tabela 7: Sugestão de ligação do sensor MQ-9

PINOS DO SENSOR	PINOS DO ARDUINO
VCC	5V
GND	GND
D0	9
A0	A3

Fonte: Autor (2019)

O procedimento para encontrar a equação da reta do datasheet do sensor MQ-9 é análogo aos procedimentos adotados para os dois sensores anteriores. Assim, obtém-se as Equações 7-9.

Gráfico 6: Gráfico de dispersão dos pontos do gráfico do datasheet do sensor MQ-9



Fonte: Autor (2019)

$$\text{Log}(y) = -0,4986 \cdot \text{Log}(x) + 1,3852 \quad (7),$$

$$\text{Log}(Rs/Ro) = -0,4986 \cdot \text{Log}(ppm) + 1,3852 \quad (8).$$

$$\text{Log}(ppm) = \frac{\text{Log}(Rs/Ro) - 1,3852}{-0,4986} \quad (9).$$

4.2 A PLACA ARDUINO

A placa Arduino surge como uma boa opção para utilizar no projeto do dispositivo, tendo em vista que é uma placa relativamente barata, sua plataforma é *open source* (código aberto) que abre um leque de aplicações que se podem fazer com essa placa. Ela se mostra como

uma plataforma de fácil utilização que não precisa de um conhecimento técnico elevado para ser possível desenvolver projetos (MCROBERTS, 2005). Além dessas vantagens, ela é ideal para interação com ambientes, pois ela permite a conexão de dispositivos de entrada como sensores, e permite também conexões de dispositivos de saídas como leds, displays, auto-falantes, etc. Dessa forma dando ao projetista inúmeras possibilidades de aplicações (SOUZA *et al.* 2011). A placa conta com uma camada de software e uma interface interativa no computador que usa uma linguagem própria, chamada de *processing*, essa linguagem é baseada em C ou C++ (SOUZA *et al.* 2011).

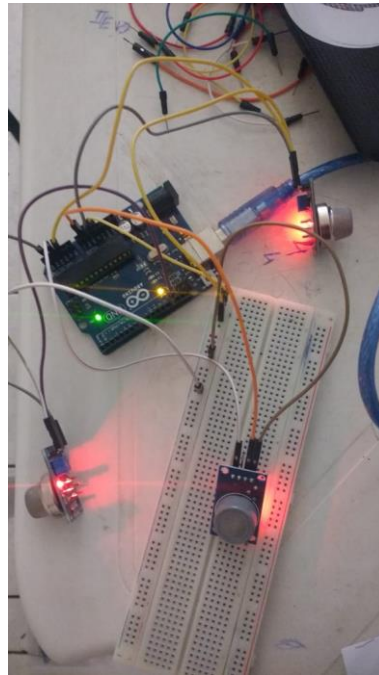
4.3 CONSTRUÇÃO DO DISPOSITIVO

O dispositivo foi pensado para que o seu custo seja o menor possível, em vista que o seu público alvo não tenha um poder aquisitivo alto.

4.3.1 HARDWARE

Seus hardwares são compostos por uma placa Arduino uno; um pedaço de madeira de perfil retangular de dimensões de 24,8 cm de comprimento, largura de 9,7 cm e espessura de 1 cm, esse pedaço de madeira serviu de base para a fixação dos demais componentes; uma *protoboard*; três sensores MQ (MQ 4, MQ 9 e MQ 135); fios *jumper*s e um *Buzzer* (dispositivo utilizado para emitir sons). De início, em fases de testes foi usado os três sensores, *jumper*s, placa Arduino e *protoboard*, na Figura 1 é mostrado os momentos de testes de ligações.

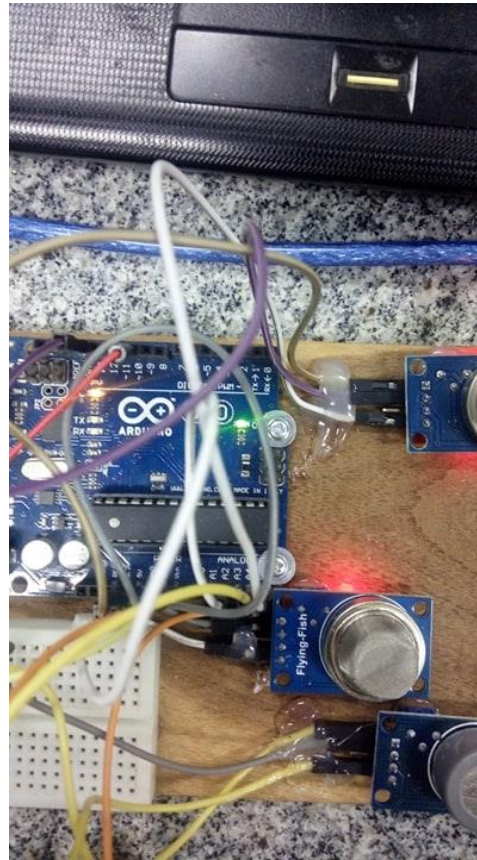
Figura 1: Imagem dos testes de ligação dos três sensores ao mesmo tempo



Fonte: Autor (2019)

Após alguns testes, foi escrito o código e deu-se início à construção do dispositivo. Primeiramente foi feito a fixação dos componentes. A placa Arduino foi fixada por meio de dois parafusos, que é mostrado na figura 2.

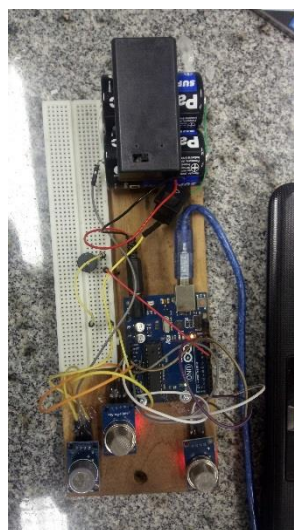
Figura 2: Fixação da placa Arduino no pedaço de madeira



Fonte: Autor (2019)

Em seguida, foi feita a fixação da *protoboard* na madeira com cola quente, isso pode ser mostrado na figura 3.

Figura 3: *Protoboard* fixada na madeira



Fonte: Autor (2019)

Com a *protoboard* e o Arduino fixados na madeira é possível fazer a ligações dos sensores e do *buzzer*.

4.3.1.1 LIGAÇÕES DOS SENSORES

Os sensores utilizados têm quatro “pernas” que servem uma para alimentação que é o VCC, outra para o GND, outra para ser usada em um pino analógico e por último, uma para um pino digital, entretanto, para esse projeto só será necessário utilizar as três primeiras “pernas” citadas. Os sensores foram fixados à madeira por meio de cola quente.

4.3.1.1.1 LIGAÇÃO DO SENSOR MQ-4

A ligação do sensor é mostrada na Tabela 8.

Tabela 8: Ligação do sensor MQ-4

PINOS DO SENSOR	PINOS DO ARDUINO
VCC	5V
GND	GND
D0	-
A0	A2

Fonte: Autor (2019)

4.3.1.1.2 LIGAÇÃO DO SENSOR MQ-9

A ligação do sensor é mostrada na Tabela 9.

Tabela 9: Ligação do sensor MQ-9

PINOS DO SENSOR	PINOS DO ARDUINO/POLOS DAS PILHAS
VCC	1,5V (Polo positivo da pilha)
GND	GND (Polo negativo da pilha)
D0	-
A0	A3

Fonte: Autor (2019)

A alimentação desse sensor foi feita diferente dos demais, pois ele pode ser alimentado por 1,5V ou 5V, vai depender da aplicação que ele será utilizado. Liga-se em 1,5V quando é desejado a identificação do gás CO, que é o nosso caso. Se quiser identificar gases combustíveis, é necessário alimentar o sensor com 5V. Para fazer essa ligação do sensor em 1,5V foi usado duas pilhas ligadas em paralelos com a tensão de 1,5V. O VCC do sensor foi ligado a um dos polos de um botão enquanto que o outro polo do botão foi ligado ao polo positivo das pilhas ligadas em paralelo, o botão foi usado para o intuito de ligar e desligar o sensor na hora que quiser, se não, o sensor iria ficar ligado direto até descarregar as pilhas, o que não é viável. O GND do sensor foi ligado ao polo negativo da pilha, e assim, apertando o botão fechava o circuito e o sensor era ligado. Na figura 4 é mostrado o botão utilizado e as pilhas ligadas em paralelo.

Figura 4: Botão para ligar o sensor MQ-9 e as pilhas



Fonte: Autor (2019)

4.3.1.1.3 LIGAÇÃO DO SENSOR MQ-135

A ligação do sensor é mostrada na Tabela 10.

Tabela 10: Sugestão de ligação do sensor MQ-135

PINOS DO SENSOR	PINOS DO ARDUINO
VCC	3,3V
GND	GND
D0	-
A0	A4

Fonte: Autor (2019)

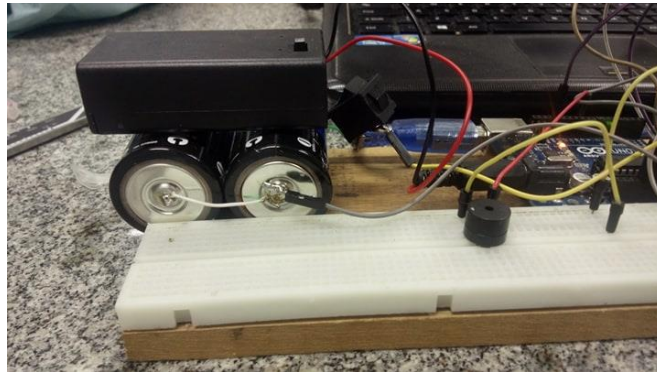
No *datasheet* desse sensor vem indicando que ele é pra ser alimentado com 5V, no entanto ele pode ser alimentado com 3,3V também.

4.3.1.2 LIGAÇÃO DO BUZZER

O *buzzer* foi usado para indicar que os sensores estavam detectando algum gás. A indicação por um sinal sonoro foi preferível ao invés de um sinal visual como um *led*, por exemplo, porque nesse caso, a pessoa que estivesse fazendo o teste com o dispositivo ia ter que ficar na borda do poço olhando para dentro do poço para ver se o *led* teria acendido ou não indicando a presença ou não do gás. Isso seria uma ação perigosa, pois a pessoa poderia se desequilibrar e cair dentro do poço ou mesmo ser atingida pelo gás em vista que estava muito próxima à borda do poço. Com o aviso sonoro não há a necessidade da pessoa que está testando ficar tão próximo à borda e nem precisa ficar olhando para dentro do poço. É preciso apenas descer o dispositivo por meio de uma corda passando por um orifício da madeira do dispositivo e dessa forma esperar o sinal sonoro.

O *buzzer* foi ligado seu polo positivo no pino digital 10 do Arduino e seu polo negativo foi ligado no GND do Arduino. A programação para ele foi feita com uma condição de que se o sensor MQ-4 detectasse algum gás, ele, o *buzzer*, daria dois sinais sonoros em sequência; se o sensor MQ-9 detectasse algum gás, o *buzzer* emitia quatro sinais sonoros, e para o sensor MQ-135, caso ele detectasse algum gás o *buzzer* emitia três sinais sonoros. Esses sinais sonoros emitidos pelo *buzzer* era feito por uma tensão de 5V emitido pelo pino digital 10 do Arduino, no momento em que o *buzzer* emitia o sinal sonoro era porque no pino 10 do Arduino saía 5V e quando o sinal sonoro cessava era porque parava de sair o impulso elétrico do pino 10. Isso foi feito na programação usando uma condição de que se os sensores detectassem algum gás, dependendo de qual seja o sensor, o Arduino ligava (emissão do sinal sonoro) e desligava o pino 10 (desligava o sinal sonoro) a quantidade de vezes que foi decidido para a identificação de cada gás, por exemplo: metano (ligava e desligava duas vezes); gás amônia (ligava e desligava três vezes) e monóxido de carbono (ligava e desligava quatro vezes). Na figura 5 é mostrado a ligação do *buzzer*.

Figura 5: *Buzzer* ligado ao arduino.

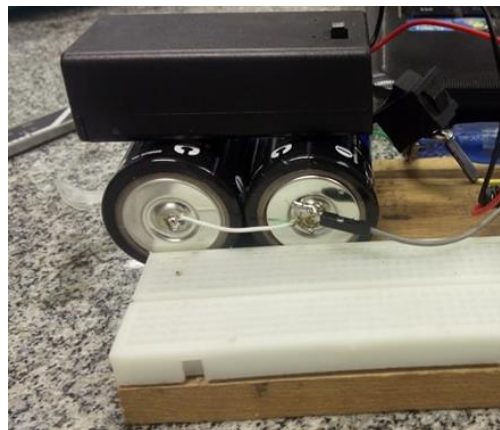


Fonte: Autor (2019)

4.3.1.3 ALIMENTAÇÃO DA PLACA ARDUINO

A alimentação da placa arduino foi feita com uma bateria de 9V que foi colocada dentro de uma caixa *case* suporte para baterias de 9V. A caixa foi fixada na pilha por meio de cola quente, vale salientar que as pilhas estão fixadas à madeira por meio de cola quente também. A imagem da caixa pode ser visualizada na figura 6.

Figura 6: Caixa *case* suporte para bateria de 9V



Fonte: Autor (2019)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O dispositivo foi feito e testado na ETE da UFERSA – campus Pau dos Ferros afim de detectar gás metano. O dispositivo foi colocado próximo ao tubo onde o mesmo contém gás metano proveniente da decomposição da matéria orgânica da ETE. No momento em que foi aberto o orifício do tubo o dispositivo rapidamente detectou o gás metano emitindo duas vezes uma buzina (código utilizado para identificar o gás metano). Segue na figura 7 a imagem do dispositivo no tubo.

Figura 7: teste de detecção do gás metano na ETE



Fonte: Autor (2019)

Os demais sensores utilizados no projeto têm o mesmo funcionamento do MQ-4 (sensor utilizado para identificar o gás metano), pois são do mesmo modelo, como já mencionado anteriormente. Por dificuldades de encontrar ambientes propícios para o teste dos outros dois sensores e como eles têm o mesmo funcionamento, todos eles trabalham como um divisor de tensão, pode-se partir da premissa de que como o sensor de metano está funcionando perfeitamente, os demais sensores usados no projeto também estão. É importante ressaltar que apesar

do dispositivo construído nesse projeto mostrar as concentrações dos gases investigados, a intenção desse trabalho é apenas identificar o gás e não quantificar. Identificando algum gás que se sabe ser prejudicial à saúde já é um bom motivo para não entrar no poço. Portanto, antes de entrar no poço, é razoável calibrar os sensores do lado de fora do poço e depois descer ele com um auxílio de uma corda, se o dispositivo apontar a presença de algum gás prejudicial à saúde, o melhor a se fazer é não entrar no poço.

É importante ressaltar que foi possível construir o dispositivo eletrônico com um baixo custo. Os materiais usados e seus respectivos custos foram um Arduino custando em torno de R\$ 55,00; um par de pilhas custando em torno de R\$ 6,00; uma bateria de 9V custando R\$ 15,00; uma caixa case suporte bateria 9V no valor de R\$ 17,90; um pacote com 20 peças de fios *jumpers* custando R\$ 7,90; a madeira e o botão foi reciclado; um *buzzer* no valor de R\$ 2,50 e os três sensores ao todo custaram R\$ 70,70. Ao todo o valor do projeto custou em torno de R\$ 175,00.

A partir da entrevista feita a uma vítima que conseguiu ser salvo, chegou-se à conclusão de que os gases mais prováveis de estarem presentes nos poços, seriam o metano atuando como um asfixiante simples e o gás monóxido de carbono atuando como um asfixiante químico. Chegou-se a essa conclusão porque ele relatou que não sentiu nenhum mau cheiro, que seria uma característica do gás sulfídrico.

O gás amônia também foi descartado pelo fato de ser um gás irritante, e também com um cheiro característico e a vítima, no entanto, não apresentou nenhum sinal de irritações nas vias respiratórias e nem nos olhos, onde seria os locais que o gás amônia iria atacar; os gases cloro, dióxido de enxofre e dióxido de nitrogênio também foi descartado pelo fato de serem gases irritantes e a vítima não apresentar nenhum sinal de irritação e o dióxido de carbono também foi descartado porque a vítima não sentiu excitação ou desespero e nem tão pouco náuseas, que são sintomas de inalações de concentrações elevadas de dióxido de carbono. A vítima relatou que não sentiu nada de anormal e de repente desmaiou, a mesma conta que o tempo para entrar dentro do poço e perder a consciência foi de aproximadamente uns 30 segundos.

O que leva a suspeitar dos dois gases anteriormente mencionados, pois os mesmos não são irritantes e são inodoros. O metano durante a pesquisa e antes da entrevista tinha sido uma opção descartada pelo fato dele ser menos denso do que o ar atmosférico e dessa forma o referido gás não iria se acumular no interior do poço, entretanto, a vítima entrevistada relatou que eles (os agricultores) têm o hábito de deixar o poço coberto e dessa forma dificulta a ventilação e, conseqüentemente, impede que o gás metano saia do poço e assim, quando os agricultores

abrem o poço e descem no mesmo, imediatamente entram em contato com o gás. Uma medida de segurança que poderia ser proposta para evitar o acúmulo do metano no interior do poço seria deixar o poço descoberto para melhorar a ventilação e o metano sair de dentro do poço, caso ele esteja presente. Além disso, para impedir que aconteçam acidentes, por exemplo, algum animal cair dentro do poço ou alguém que por ventura entre na propriedade e corra o risco também de cair, é razoável que seja feita uma cerca ao redor do poço para impedir a proximidade de pessoas estranhas ou de algum animal com o poço. Ou ainda, deixar o poço coberto, mas aplicar uma chaminé para permitir a saída do gás.

Os riscos de gases nos poços já foram mencionados acima e propostas para prevenções também foram feitas baseadas na NR-33. Vale salientar que é de extrema importância seguir as medidas de segurança da NR-33 que foram mencionados aqui nos momentos em que for preciso entrar no poço para exercer algum trabalho.

6 CONCLUSÃO

Conclui-se que o dispositivo está funcionando perfeitamente dentro do ambiente de teste, pois foi testado na ETE – Estação de tratamento de esgoto da UFRSA- campus Pau dos Ferros, e foi possível detectar o gás metano. Se o sensor de gás metano apresentou perfeito funcionamento pode-se concluir que os demais sensores estão funcionando perfeitamente, pois os mesmos têm exatamente o mesmo funcionamento do sensor que identifica o gás metano. Este dispositivo que foi desenvolvido, como dito antes, pode ser usado para saber a concentração do gás investigado, entretanto, esse não é o objetivo agora, o objetivo agora é apenas detectar o gás. Quantificar pode ficar para trabalhos futuros.

Na realidade que se encontram os agricultores, sabemos que é bastante difícil ser observadas e implantadas todas essas medidas de segurança baseada na norma 33 citadas nesse trabalho pelo fato de não existir uma relação de empregado e empregador da forma em que a NR-33 aborda. No entanto, a prefeitura da cidade poderia se disponibilizar em dar suporte a esses trabalhadores rurais, fazendo parcerias com o corpo de bombeiro para treinamentos, acompanhamento ou até mesmo a requisição de alguns dispositivos de segurança para monitorar a atmosfera do ambiente e também requerer outros equipamentos de segurança. Quando algum agricultor sentisse alguma necessidade de entrar no poço para fazer algum trabalho, iria até a prefeitura, faria o requerimento e a prefeitura entraria como parceira acionando os bombeiros militares para dar um treinamento prévio baseado na NR-33 para as pessoas que fossem entrar no poço e além disso, os bombeiros estarem presente durante a execução dos trabalhos, com

equipamentos de segurança e primeiros socorros, como máscaras, óculos, cilindros de oxigênio, etc.

Pode-se também concluir que se tivesse sido observado e praticado os itens “Antecipar e reconhecer os riscos nos espaços confinados”; “Proceder à avaliação e controle dos riscos físicos, químicos, biológicos, ergonômicos e mecânicos”; “Implementar medidas necessárias para eliminação ou controle dos riscos atmosféricos em espaços confinados”; “Avaliar a atmosfera nos espaços confinados, antes da entrada de trabalhadores, para verificar se o seu interior é seguro”; “Manter condições atmosféricas aceitáveis na entrada e durante toda a realização dos trabalhos, monitorando, ventilando, purgando, lavando ou inertizando o espaço confinado”; “Monitorar continuamente a atmosfera nos espaços confinados nas áreas onde os trabalhadores autorizados estiverem desempenhando as suas tarefas, para verificar se as condições de acesso e permanência são seguras” e “Utilizar equipamento de leitura direta, intrinsecamente seguro, provido de alarme, calibrado e protegido contra emissões eletromagnéticas ou interferências de radiofrequência” da NR-33 em que trata das medidas técnicas de prevenção, que foi abordado nesse trabalho, teria sido evitado os acidentes e conseqüentemente as mortes das vítimas.

Na parte da referida norma que trata das medidas administrativas, os itens “Implementar procedimento para trabalho em espaço confinado” e “Implementar um Programa de Proteção Respiratória de acordo com a análise de risco, considerando o local, a complexidade e o tipo de trabalho a ser desenvolvido”, como também as medidas “descrição das medidas de salvamento e primeiros socorros a serem executadas em caso de emergência” e “acionamento de equipe responsável, pública ou privada, pela execução das medidas de resgate e primeiros socorros para cada serviço a ser realizado” poderiam também ter salvo as vidas das vítimas se tivessem sido implantadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIR LIQUIDE BRASIL LTDA. **Tetróxido de nitrogênio (dióxido de nitrogênio) em nitrogênio**. 2012. Disponível em: < https://industrial.airliquide.com.br/sites/industry_br/files/sds/2016/05/31/23.104_-_tetroxido_de_dinitrogenio_dioxido_de_nitrogenio_em_nitrogenio.pdf >. Acesso em: 16 de outubro de 2018.

ALMEIDA. **Monitoramento dos gases existente em espaço confinado de uma unidade armazenadora de grãos**. 2017. Disponível em: <<http://bibliodigital.uni-jui.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4818/Luis%20Ant%C3%B4nio%20da%20Silva%20Almeida.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 20 de outubro de 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. **Poços para capacitação de água: Definições**. Disponível em: <www.abas.org/educacaopocos.php> Acesso em: 03 de outubro de 2018.

BRASKEM. **Ficha de informações de segurança de produtos químico**. 2005. Disponível em: < <http://www.hcrp.fmrp.usp.br/sitehc/fispq/Cloro.pdf> >. Acesso em: 16 de outubro de 2018.

CHAVES. **Espaços confinados e seus gases: nossos inimigos invisíveis**. Disponível em: < <https://segurancadotrabalhonwn.com/espacos-confinados-e-seus-gases-nossos-inimigos-invisiveis/> >. Acesso em: 05 de outubro de 2018.

EVANS. **Monóxido de carbono, mais que um gás letal**. 1998. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc09/actual.pdf>>. Acesso em: 16 de outubro de 2018.

G1. **Agricultores morrem após inalarem gás enquanto limpavam poço no CE**. 2017. Disponível em: < <http://g1.globo.com/ceara/noticia/2017/03/agricultores-morrem-apos-inalarem-gas-enquanto-limpavam-poco-no-ce.html> > Acesso em: 04 de outubro de 2018.

G1. **Gases tóxicos podem ter causado 4 mortes em poço na PB, diz bombeiro**. 2017. Disponível em: < <http://g1.globo.com/pb/paraiba/noticia/2017/01/gases-toxicos-podem-ter-causado-mortes-em-poco-na-pb-diz-bombeiro.html> > Acesso em: 04 de outubro de 2018.

GAMA GASES ESPECIAIS LTDA. **Dióxido de enxofre**. 2005. Disponível em: < <http://www.higieneocupacional.com.br/download/dioxido-gama.pdf> >. Acesso em: 16 de outubro de 2018.

INDUSTRIAS S.A. **Ficha de informações de segurança de produtos químico**. 2001. Disponível em: < <https://cloud.cnpqg.embrapa.br/wp-content/igu/fispq/laboratorios/Dioxido%20de%20carbono.pdf> >. Acesso em: 16 de outubro de 2018.

KALRA et al. **Influence of temperature and humidity on the output resistance ratio of the MQ-135 sensor**. Disponível em: < http://ijarcse.com/Before_August_2017/docs/papers/Volume_6/4_April2016/V6I4-0130.pdf >. Acesso em: 13 de fevereiro de 2019.

LEMOS. **Espaços confinados: Reconhecimento dos riscos característicos para a prevenção de acidentes**. 2017. Disponível em: < http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/7356/Paulo%20Ricardo%20Matielo%20Lemos_.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 09 de outubro de 2018.

MARTINS. **Análise do trabalho em espaço confinado: Descontaminação e manutenção de vagão tanque ferroviário**. 2014. Disponível em: < http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3519/1/CT_CEEEST_XXVIII_2014_04.pdf>. Acesso em: 08 de outubro de 2018.

MCROBERTS, Michael. **Arduino básico**. 2ª ed. São Paulo: Novatec, 2015.

SANTOS. **Enxofre**. 1981. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/478627/1/enxofre.pdf>>. Acesso em: 06 de outubro de 2018.

SOUZA et al. **A placa Arduino: Uma opção de baixo custo para experiências de física assistidas pelo PC**. 2011. Disponível em: <<http://sbfisica.org.br/rbef/pdf/331702.pdf>>. Acesso em 21 de outubro de 2018.

SZARBLEWSKI; SCHNEIDER; MACHADO. **Métodos para a remoção de sulfeto de hidrogênio de efluentes gasosos aplicáveis a reatores anaeróbios**. 2012. Disponível em: < <https://online.unisc.br/seer/index.php/jovenspesquisadores/article/view/2865/2030> >. Acesso em: 16 de outubro de 2018.

ULTRAFERTIL S.A. **Ficha de informações de segurança de produtos químico fispq**. 2004. Disponível em: < <http://gastecsc.com.br/d/fispq.pdf>>. Acesso em: 16 de outubro de 2018.

VASCONCELOS. **Poços para captação de águas subterrâneas: Revisão de conceitos e proposta de nomenclatura**. 2014. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/viewFile/28288/18401>>. Acesso em: 03 de outubro de 2018.

APÊNDICE

APÊNDICE A – PROGRAMAÇÃO (CÓDIGO)

```
// Primeiramente será definida todas as variáveis do projeto:
```

```
#define MQ_analog2 A2 // Definindo o nome do pino analógico A2 como sendo "MQ_analog2".
```

```
#define MQ_analog3 A3 // Definindo o nome do pino analógico A3 como sendo "MQ_analog3".
```

```
#define MQ_analog4 A4 // Definindo o nome do pino analógico A4 como sendo "MQ_analog4".
```

```
int valor_analog2; // Definindo uma variável do tipo inteiro chamada "valor_analog2" que vai servir para guardar o valor do pino analógico A2.
```

```
int valor_analog3; // Definindo uma variável do tipo inteiro chamada "valor_analog3" que vai servir para guardar o valor do pino analógico A3.
```

```
int valor_analog4; // Definindo uma variável do tipo inteiro chamada "valor_analog4" que vai servir para guardar o valor do pino analógico A4.
```

```
float metano_i; // Será a concentração em ppm de metano no ambiente habitável.
```

```
float CO_i; // Será a concentração em ppm de CO no ambiente habitável.
```

```
float amonia_i; // Será a concentração em ppm de amônia no ambiente habitável.
```

```
float metano; // A concentração em ppm de metano no ambiente que queremos analisar.
```

```
float CO; // A concentração em ppm de CO no ambiente que queremos analisar.
```

```
float amonia; // A concentração em ppm de amônia no ambiente que queremos monitorar.
```

```
float Rs_MQ4; // A medida da resistência do sensor MQ-4 no ambiente que queremos monitorar.
```

```
float R0_MQ4; // A medida da resistência do sensor MQ-4
no ambiente em condições habitáveis.
```

```
float Rs_MQ9; // A medida da resistência do sensor MQ-9
no ambiente que queremos monitorar.
```

```
float R0_MQ9; // A medida da resistência do sensor MQ-9
no ambiente em condições habitáveis.
```

```
float Rs_MQ135; // A medida da resistência do sensor MQ-
135 no ambiente que queremos monitorar.
```

```
float R0_MQ135; // A medida da resistência do sensor MQ-
135 no ambiente em condições habitáveis.
```

```
float Rs_R0_MQ4; // Parâmetro Resistência do sensor MQ-4
no ambiente a monitorar / resistência do sensor MQ-4 no
ambiente em condições habitáveis.
```

```
float Rs_R0_MQ9; // Parâmetro Resistência do sensor MQ-
135 no ambiente a monitorar / resistência do sensor MQ-
135 no ambiente em condições habitáveis.
```

```
float Rs_R0_MQ135; // Parâmetro Resistência do sensor MQ-
135 no ambiente a monitorar / resistência do sensor MQ-
135 no ambiente em condições habitáveis.
```

```
void setup() {
```

```
// Aqui vamos coletar algumas informações para fazer a
calibração dos sensores.
```

```
    Serial.begin(9600);
```

```
    pinMode (10, OUTPUT); // Definindo o pino digital 10 para
saída de sinal.
```

```
    pinMode(MQ_analog2, INPUT); // Definindo o pino analógico
2 para entrada de sinal.
```

```
    pinMode(MQ_analog3, INPUT); // Definindo o pino analógico
3 para entrada de sinal.
```

```
    pinMode(MQ_analog4, INPUT); // Definindo o pino analógico
4 para entrada de sinal.
```

```
valor_analog2 = analogRead(MQ_analog2); // Fazendo o ar-  
duíno "ler" o pino analógico 2 e guardando a informação  
na variável "valor_analog2".
```

```
valor_analog3 = analogRead(MQ_analog3); // Fazendo o ar-  
duíno "ler" o pino analógico 3 e guardando a informação  
na variável "valor_analog3".
```

```
valor_analog4 = analogRead(MQ_analog4); // Fazendo o ar-  
duíno "ler" o pino analógico 4 e guardando a informação  
na variável "valor_analog4".
```

```
R0_MQ9 = ((1023/valor_analog3) - 1) / 9,8; // Descobrindo  
a resistência do sensor MQ-9 em ambientes com condições  
habitáveis e dividindo pelo parâmetro analisado no da-  
tasheet do sensor (9,8) ( $R_0 = R_s/9,8$ ).  
R0_MQ4 = ((1023/valor_analog2) - 1) / 4.4; // Descobrindo  
a resistência do sensor MQ-4 em ambientes com condições  
habitáveis e dividindo pelo parâmetro analisado no da-  
tasheet do sensor (4,4) ( $R_0 = R_s/4,4$ ).
```

```
R0_MQ135 = (((1023/valor_analog4) - 1)) / 3,7; // Desco-  
brindo a resistência do sensor MQ-135 em ambientes com  
condições habitáveis e dividindo pelo parâmetro analisado  
no datasheet do sensor (3,7) ( $R_0 = R_s/3,7$ ).
```

```
Rs_MQ9 = ((1023/valor_analog3) - 1); // Descobrindo a re-  
sistência do sensor MQ-9 em ambiente com condições habi-  
táveis sem dividir pelo parâmetro.
```

```
Rs_MQ4 = ((1023/valor_analog2) - 1); // Descobrindo a re-  
sistência do sensor MQ-4 em ambiente com condições habi-  
táveis sem dividir pelo parâmetro.
```

```
Rs_MQ135 = (((1023/valor_analog4) - 1)); // Descobrindo a  
resistência do sensor MQ-135 em ambiente com condições  
habitáveis sem dividir pelo parâmetro.
```

```
Rs_R0_MQ9 = Rs_MQ9/R0_MQ9; // Divindo a resistência do  
sensor MQ-9 do ambiente em condições normais sem dividir  
pelo parâmetro pela resistência do sensor MQ-9 em ambien-  
tes habitáveis dividido pelo parâmetro e o resultado guar-  
dando na variável "Rs_R0_MQ9".
```

```
Rs_R0_MQ4 = Rs_MQ4/R0_MQ4; // Divindo a resistência do
sensor MQ-4 do ambiente em condições normais sem dividir
pelo parâmetro pela resistência do sensor MQ-4 em ambien-
tes habitáveis divido pelo parâmetro e o resultado guar-
dando na variável "Rs_R0_MQ4.
```

```
Rs_R0_MQ135 = Rs_MQ135/R0_MQ135; // Divindo a resistência
do sensor MQ-135 do ambiente em condições normais sem
dividir pelo parâmetro pela resistência do sensor MQ-135
em ambientes habitáveis divido pelo parâmetro e o resul-
tado guardando na variável "Rs_R0_MQ135.
```

```
metano_i = pow(10, ((log10(Rs_R0_MQ4) - 1.1299)/ -
0.3707)); // Descobrindo a "concentração" em ppm de metano
no ambientes em condições habitáveis.
```

```
CO_i = pow(10, ((log10(Rs_R0_MQ9) - 1,3852)/ (-0,4986)));
// Descobrindo a "concentração" em ppm de CO no ambientes
em condições habitáveis.
```

```
amonia_i = pow(10, ((log10(Rs_R0_MQ135) - 0,8176)/ (-
0,394))); // Descobrindo a "concentração" em ppm de amônia
no ambientes em condições habitáveis.
```

```
}
```

```
void loop() // Agora vamos calibrar o sensor e monitorar
o ambiente de forma contínua.
```

```
{
```

```
valor_analog2 = analogRead(MQ_analog2); // Estamos nova-
mente colocando o arduíno para "ler" o pino analógico 2 e
guardando a informação na variável "valor_analog2".
```

```
valor_analog3 = analogRead(MQ_analog3); // Estamos nova-
mente colocando o arduíno para "ler" o pino analógico 3 e
guardando a informação na variável "valor_analog3".
```

```
valor_analog4 = analogRead(MQ_analog4); // Estamos nova-
mente colocando o arduíno para "ler" o pino analógico 4 e
guardando a informação na variável "valor_analog4".
```

```
Rs_MQ135 = (((1023/valor_analog4) - 1)); // Estamos des-
cobrindo a resistência do sensor MQ135 no ambiente que
queremos monitorar.
```

```
Rs_MQ9 = ((1023/valor_analog3) - 1); // Estamos desco-  
brindo a resistência do sensor MQ9 no ambiente que queremos  
monitorar.
```

```
Rs_MQ4 = ((1023/valor_analog2) - 1); // Estamos desco-  
brindo a resistência do sensor MQ4 no ambiente que queremos  
monitorar.
```

```
Rs_R0_MQ4 = Rs_MQ4/R0_MQ4; // Dividindo a resistência do  
sensor MQ-4 pela resistência do sensor MQ-4 em ambientes  
havitáveis dividido pelo parâmetro do datasheet  
(Rs/(Rs/4,4)).
```

```
Rs_R0_MQ9 = Rs_MQ9/R0_MQ9; // Dividindo a resistência do  
sensor MQ-9 pela resistência do sensor MQ-9 em ambientes  
havitáveis dividido pelo parâmetro do datasheet  
(Rs/(Rs/9,8)).
```

```
Rs_R0_MQ135 = Rs_MQ135/R0_MQ135; // Dividindo a resistên-  
cia do sensor MQ-135 pela resistência do sensor MQ-135 em  
ambientes havitáveis dividido pelo parâmetro do datasheet  
(Rs/(Rs/3,7)).
```

```
metano = (pow(10, ((log10(Rs_R0_MQ4) - 1.1299)/ (-  
0.3707)))) - metano_i; // Fazendo a correção da concen-  
tração de metano do ambiente monitorado pela concentração  
do ambiente em condições favoráveis.
```

```
CO = (pow(10, ((log10(Rs_R0_MQ9) - 1,3852)/ (-0,4986))))  
- CO_i; // Fazendo a correção da concentração de CO do  
ambiente monitorado pela concentração do ambiente em con-  
dições favoráveis.
```

```
amonia = pow(10, ((log10(Rs_R0_MQ135) - 0,8176)/ (-  
0,394))) - amonia_i; // Fazendo a correção da concentração  
de amônia do ambiente monitorado pela concentração do am-  
biente em condições favoráveis.
```

```
Serial.print("CO ppm: "); // Mostrando no monitor serial  
"CO ppm: ".
```

```
Serial.println(CO); // Mostrando no monitor serial a con-  
centração de CO em ppm.
```

```
delay(1000); // Tempo de espera de 1 segundo
```

```
Serial.print("Amonia ppm: "); // Mostrando no monitor se-
rial "Amonia ppm: ".
```

```
Serial.println(amonia); // Mostrando no monitor serial a
concentração de Amônia em ppm.
```

```
delay(1000); // Tempo de espera de 1 segundo
```

```
Serial.print("Metano ppm: "); // Mostrando no monitor se-
rial "Metano ppm: ".
```

```
Serial.println(metano); // Mostrando no monitor serial a
concentração de Metano em ppm.
```

```
delay(1000); // Tempo de espera de 1 segundo
```

```
while (metano > 0 or amonia > 0 or CO > 0) // Enquanto a
variável "metano" ou "amonia" ou "CO" for maior que zero,
esse código à baixo ficará se repetindo.
```

```
{
```

```
valor_analog2 = analogRead(MQ_analog2); // O arduíno "lêr"
o pino analógico 2 novamente e guarda na variável "va-
lor_analog2".
```

```
valor_analog3 = analogRead(MQ_analog3); // O arduíno "lêr"
o pino analógico 3 novamente e guarda na variável "va-
lor_analog3".
```

```
valor_analog4 = analogRead(MQ_analog4); // O arduíno "lêr"
o pino analógico 4 novamente e guarda na variável "va-
lor_analog4".
```

```
Rs_MQ135 = (((1023/valor_analog4) - 1)); // Calculando
novamente a resistência do sensor MQ-135.
```

```
Rs_MQ9 = ((1023/valor_analog3) - 1); // Calculando nova-
mente a resistência do sensor MQ-9.
```

```
Rs_MQ4 = ((1023/valor_analog2) - 1); // Calculando nova-
mente a resistência do sensor MQ-4.
```

```
Rs_R0_MQ4 = Rs_MQ4/R0_MQ4; // Calculando novamente (Rs /
Rs/(4,4)).
```

```
Rs_R0_MQ9 = Rs_MQ9/R0_MQ9; // Calculando novamente (Rs /
Rs/(9,8)).
```

```
Rs_R0_MQ135 = Rs_MQ135/R0_MQ135; // Calculando novamente
(Rs / Rs/(3,7)).
```

```
metano = (pow(10, ((log10(Rs_R0_MQ4) - 1.1299)/ -0.3707)))
- metano_i; // fazendo a correção da concentração de metano
em ppm no ambiente atual pela concentração no ambiente
habotável.
```

```
CO = (pow(10, ((log10(Rs_R0_MQ9) - 1,3852)/ (-0,4986))))
- CO_i; // fazendo a correção da concentração de CO em ppm
no ambiente atual pela concentração no ambiente habotável.
```

```
amonia = pow(10, ((log10(Rs_R0_MQ135) - 0,8176)/ (-
0,394))) - amonia_i; // fazendo a correção da concentração
de amônia em ppm no ambiente atual pela concentração no
ambiente habotável.
```

```
Serial.print("Metano ppm: "); // Mostrando no monitor se-
rial "Metano ppm:".
```

```
Serial.println(metano); // Mostrando no monitor serial a
concentração de Metano em ppm.
```

```
delay(1000); // Tempo de espera de 1 segundo
```

```
Serial.print("Amonia ppm: "); // Mostrando no monitor se-
rial "Amonia ppm:".
```

```
Serial.println(amonia); // Mostrando no monitor serial a
concentração de Amônia em ppm.
```

```
delay(1000); // Tempo de espera de 1 segundo
```

```
Serial.print("CO ppm: "); // Mostrando no monitor serial
"CO ppm: ".
```

```
Serial.println(CO); // Mostrando no monitor serial a con-
centração de CO em ppm.
```

```
delay(1000); // Tempo de espera de 1 segundo
```

```
if ( metano > 300 ) // Se a variável metano for maior que
300 o código à baixo será executado.
```

```
{
```

```
digitalWrite (10, HIGH); // O pino digital 10 terá uma
tensão de saída de 5V que fará com que o buzzer apite.
```

```
delay(500); // Tempo de espera de meio segundo.
```

```
digitalWrite (10, LOW); // O pino digital 10 é desligado
e o apito cessa.
```

```
delay(500); // Tempo de espera de meio segundo.
```

```
digitalWrite (10, HIGH); // O pino digital 10 terá uma
tensão de saída de 5V que fará com que o buzzer apite.
```

```
delay(500); // Tempo de espera de meio segundo.
```

```
digitalWrite (10, LOW); // O pino digital 10 é desligado
e o apito cessa.
```

```
delay(500); // Tempo de espera de meio segundo.
}
```

```
if ( amonia > 15 ) // Se a variável amonia for maior que
15 o código à baixo será executado.
```

```
{
```

```
digitalWrite (10, HIGH); // O pino digital 10 terá uma
tensão de saída de 5V que fará com que o buzzer apite.
```

```
delay(500); // Tempo de espera de meio segundo.
```

```
digitalWrite (10, LOW); // O pino digital 10 é desligado
e o apito cessa.
```

```
delay(500); // Tempo de espera de meio segundo.
```

```
digitalWrite (10, HIGH); // O pino digital 10 terá uma
tensão de saída de 5V que fará com que o buzzer apite.
```

```
delay(500); // Tempo de espera de meio segundo.
```

```
digitalWrite (10, LOW); // O pino digital 10 é desligado
e o apito cessa.
```

```
delay(500); // Tempo de espera de meio segundo.
```



```
digitalWrite (10, HIGH); // O pino digital 10 terá uma
tensão de saída de 5V que fará com que o buzzer apite.
```

```
delay(500); // Tempo de espera de meio segundo.
```

```
digitalWrite (10, LOW); // O pino digital 10 é desligado
e o apito cessa.
```

```
delay(500); // Tempo de espera de meio segundo.
```

```
    }
    if ( CO > 500 ) // Se a variável CO for maior que 500 o
código à baixo será executado.
    {
```

```
digitalWrite (10, HIGH); // O pino digital 10 terá uma
tensão de saída de 5V que fará com que o buzzer apite.
```

```
delay(500); // Tempo de espera de meio segundo.
```

```
digitalWrite (10, LOW); // O pino digital 10 é desligado
e o apito cessa.
```

```
delay(500); // Tempo de espera de meio segundo.
```

```
digitalWrite (10, HIGH); // O pino digital 10 terá uma
tensão de saída de 5V que fará com que o buzzer apite.
```

```
delay(500); // Tempo de espera de meio segundo.
```

```
digitalWrite (10, LOW); // O pino digital 10 é desligado
e o apito cessa.
```

```
delay(500); // Tempo de espera de meio segundo.
```

```
digitalWrite (10, HIGH); // O pino digital 10 terá uma
tensão de saída de 5V que fará com que o buzzer apite.
```

```
delay(500); // Tempo de espera de meio segundo.
```

```
digitalWrite (10, LOW); // O pino digital 10 é desligado
e o apito cessa.
```

```
delay(500); // Tempo de espera de meio segundo.
```

```
digitalWrite (10, HIGH); // O pino digital 10 terá uma  
tensão de saída de 5V que fará com que o buzzer apite.
```

```
delay(500); // Tempo de espera de meio segundo.
```

```
digitalWrite (10, LOW); // O pino digital 10 é desligado  
e o apito cessa.
```

```
delay(500); // Tempo de espera de meio segundo.
```

```
}
```

```
}
```

```
}
```