

**REDE DE ENSINO DOCTUM  
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

**GUSTAVO DE OLIVEIRA SILVA**

**IMPLEMENTAÇÃO DE Sensores Digitais na Coleta de Gases em  
Fontes Estacionárias**

**CARATINGA/ MG  
2019**

**REDE DOCTUM DE ENSINO**  
**FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

**GUSTAVO DE OLIVEIRA SILVA**

**IMPLEMENTAÇÃO DE SENSORES DIGITAIS NA COLETA DE GASES EM  
FONTES ESTACIONÁRIAS**

**Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Elétrica das Faculdades Doctum de  
Caratinga, como requisito parcial à  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Elétrica.**

**Área de Concentração: Instrumentação.  
Orientador: Prof. MSc Ricardo Botelho  
Campos.**

**CARATINGA/ MG**  
**2019**

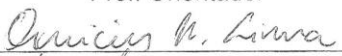
**TERMO DE APROVAÇÃO**

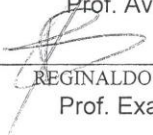
O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: IMPLEMENTAÇÃO DE SENSORES DIGITAIS NA COLETA DE GASES EM FONTES ESTACIONÁRIAS, elaborado pelo(s) aluno(s) GUSTAVO DE OLIVEIRA SILVA foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA ELÉTRICA das FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

**BACHAREL EM ENGENHARIA ELÉTRICA.**

Caratinga 05/12/2019

  
\_\_\_\_\_  
RICARDO BOTELHO CAMPOS  
Prof. Orientador

  
\_\_\_\_\_  
VINÍCIUS MURILO LIMA RODRIGUES  
Prof. Avaliador 1

  
\_\_\_\_\_  
REGINALDO EUSTÁQUIO  
Prof. Examinador 2

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente eu agradeço a Deus por ter me dado forças para eu chegar até aqui, e também agrado aos meus pais Geni Rodrigues e Expedito Eustáquio, por terem feito de tudo para que eu possa alcançar o objetivo de uma graduação. Também agradeço ao meu irmão Bruno Augusto e minha cunhada Kamilla Giovanni, por sempre acreditarem em mim.

Agradeço aos meus amigos que me apoiaram e me ajudaram a seguir um caminho acadêmico, além de me proporcionar bons momentos, e também quero agradecer a todos os professores que compartilharam seus conhecimentos para a minha formação.

A todos meus sinceros agradecimentos!

*“A vida e como andar de bicicleta, para manter o equilíbrio é preciso se manter em movimento”.* (Albert Einstein)

## ABREVIATURAS E SIGLAS

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

EPA - Environmental Protection Agency

P = Pressão

dF - Variação de força.

dA - Variação de área.

$\rho$  - densidade do líquido

g - Gravidade 9,8 m/s

$\rho$  - Resistividade do material

l - Comprimento

A - Área

CIPA - Coletor isocinética de matérias particulados

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

V = velocidade média do gás, m/s.

$Q_{NBS}$  = Vazão volumétrica média do gás seco, na condição normal, em Nm<sup>3</sup>/h.

$\Delta P$  = pressão de velocidade dos gases, em Pa.

$(\sqrt{\Delta P})_m$  = média das raízes quadráticas de  $\Delta P$ .

CP = Coeficiente do tubo de pitot, adimensional.

K1 = Fator de conversão no S.I.  $K1 = 128,96 \text{ m/s} \left[ \frac{\text{g}_{mol}}{K} \right]^{0.5}$ .

$M_{Mu}$  = massa molar do gás, base seca, em g/g mol.

$M_{MS}$  = massa molecular do gás, em g/g mol.

P = pressão absoluta do gás, em Pa ( $P = P_{atm} + P_e$ ).

$P_{atm}$  = Pressão atmosférica, em Pa.

$P_e$  = pressão estática do gás na chaminé ou duto, em Pa.

T = Temperatura absoluta média do gás na chaminé ou duto K.

Bag = umidade dos gases, expressa nos termos de proporção.

$T_n$  = temperatura absoluta da condição normal = 273 k.

$P_n$  = Pressão absoluta da condição normal = 101.325 Pa.

$A$  = Área da seção transversal da chaminé, em  $m^2$ .

3600 = fator de conversão, em segundos/ hora.

18 = massa molecular da água, e g/g mol.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Ilustração das diferentes definições de pressão.....	22
Figura 2: Manômetro em U.....	23
Figura 3 : Manômetro de Bourdon.....	25
Figura 4: Interior de um sensor de pressão capacitivo, simples e diferencial. ....	26
Figura 5: Circuito termoeletrico básico compreendendo dois fios diferentes ....	27
Figura 6: Sensor <i>reed switch</i> .....	28
Figura 7: Tubo de pitot ligado ao manômetro.....	29
Figura 8: Esquema de funcionamento da bomba de vácuo ....	30
Figura 9: CIPA (Coletor isocinética de matérias particulados). ....	30
Figura 10: Manômetro de coluna d'agua inclinado.....	31
Figura 11: Indicador termopar de 8 canais.....	32
Figura 12: Gasômetro ....	33
Figura 13: Bomba de vácuo ....	33
Figura 14: Barômetro móvel.....	34
Figura 15: Processo de captação dos gases.....	35
Figura 16: Diagrama em blocos da amostragem.....	38
Figura 17: Sensor de Pressão diferencial Dwyer ....	39
Figura 18: Sensor de pressão diferencial NXP.....	39
Figura 19: Range do sensor diferencial MPXV4007DP.....	40
Figura 20: Modulo de temperatura Max 6675.....	41
Figura 21: Sensor BMP280 .....	41
Figura 22: Sensor MPX5700DP .....	42
Figura 23: Microprocessador Atmega 328p .....	42



Figura 24: Circuito desenhado no software.....	43
Figura 25: Placa com a transferência térmica pronta. ....	44
Figura 26: Placa concluída .....	44
Figura 27: Equipamento com a placa instalada.....	45
Figura 28: Certificado de calibração do manômetro de dupla coluna líquida .....	56
Figura 29: Certificado de calibração do indicador digital. ....	57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: O Crescimento de Doenças Respiratórias da Cidade de Ribeirão Preto ..	19
Tabela 2: fatores de conversão de unidades de pressão .....	22
Tabela 3 - Tipos comerciais de termopares .....	28
Tabela 4 Leituras dos Manômetros .....	46
Tabela 5 - Pressão aferida no vacuômetro .....	47
Tabela 6 - Medições barométrica entre duas cidades .....	47
Tabela 7: Comparativo de temperaturas medidas.....	48
Tabela 8: Valores contabilizado pelo sensor <i>reed swich</i> .....	49
Tabela 9: Custos dos sensores do equipamento .....	49
Tabela 10: Valor dos sensores do protótipo .....	50

## RESUMO

O trabalho propõe a substituição de sensores analógicos por sensores digitais necessários para fazer a coleta de gases de fontes estacionária, como o objetivo de demonstrar as medições dos sensores digitais em relação aos sensores analógicos, no intuito de facilitar o processo de amostragem pois o processo é feito de forma manual e sendo feita anotações das medições dos sensores analógicos para o preenchimento de planilha de campo, no entanto foi desenvolvido um protótipo capaz de demonstrar as medições de forma digital, onde são coletados os dados dos sensores e transformado em dados digitais, para melhoramento da amostragem, o protótipo atende as normas da ABNT NBR 12019 para a coleta de gases de fontes estacionária.

**Palavras-chaves:** chaminés fontes estacionárias. Sensoriamento. Viabilidade econômica.

## **ABSTRACT**

The paper proposes the replacement of analog sensors with digital sensors necessary to collect stationary source gases, as the objective of demonstrating the measurements of digital sensors in relation to analog sensors, in order to facilitate the sampling process because the process is done manually and taking notes of the analog sensor measurements to fill the field worksheet, however a prototype was developed capable of demonstrating the measurements digitally, where the sensor data is collected and transformed into digital data to In order to improve sampling, the prototype meets ABNT NBR 12019 standards for the collection of stationary source gases.

**Keywords:** stationary sources chimneys. Sensing. Economic viability.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 Importância do monitoramento.....</b>	<b>18</b>
2.1.1 O que é poluição atmosférica? .....	18
2.1.2 Problemas na área da Saúde.....	18
2.1.3 Problemas Ambientais.....	19
<b>2.2 Leis que fiscalizam a emissão de materiais particulados .....</b>	<b>19</b>
<b>2.3 Sensoriamentos .....</b>	<b>20</b>
2.3.1 Sensor de pressão .....	21
2.3.1.1 Pressão absoluta.....	22
2.3.1.2 Pressão manométrica.....	23
2.3.1.2 Pressão Diferencial .....	24
2.3.1.3 Pressão de vácuo.....	24
2.3.2 Métodos de detecção de pressão .....	24
2.3.2.1 <i>Deformação elástica</i> .....	24
2.3.2.2 <i>Deformação de coluna líquida</i> .....	25
2.3.2.3 <i>Sensores Capacitivos</i> .....	25
2.3.2 Sensor de Temperatura.....	26
2.3.2.1 Sensor de Temperatura termopar .....	27
2.3.3 Sensor <i>reed switch</i> .....	28
<b>2.4 Resistência Elétrica .....</b>	<b>28</b>
<b>2.5 Tubo de pitot.....</b>	<b>29</b>
<b>2.6 Bomba de vácuo.....</b>	<b>29</b>
<b>2.7 Equipamento existente .....</b>	<b>30</b>
2.7.1 Manômetro de coluna d'água .....	31
2.7.2 Leitor de temperatura termopar .....	31
2.7.3 Gasômetro.....	32
2.7.4 Bomba de vácuo equipamento.....	33
2.7.8 Medidor barométrico.....	34
<b>2.8 Representação do sistema de captação dos gases.....</b>	<b>34</b>
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>36</b>
<b>3.1 Velocidade e vazão .....</b>	<b>36</b>

<b>3.2 Diagrama de funcionamento .....</b>	<b>37</b>
<b>3.3 Sensor de pressão diferencial .....</b>	<b>39</b>
<b>3.4 Sensor de temperatura .....</b>	<b>40</b>
<b>3.5 Sensor barométrico .....</b>	<b>41</b>
<b>3.6 Sensor de pressão negativa.....</b>	<b>42</b>
<b>3.7 Microprocessador .....</b>	<b>42</b>
<b>4 DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>43</b>
<b>4.1 A Placa .....</b>	<b>43</b>
<b>4.2 Instalação da placa no equipamento.....</b>	<b>45</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>46</b>
<b>5.1 Manômetro diferencial .....</b>	<b>46</b>
<b>5.2 Vacuômetro.....</b>	<b>46</b>
<b>5.3 Pressão Barométrica.....</b>	<b>47</b>
<b>5.4 Temperaturas.....</b>	<b>47</b>
<b>5.5 Sensor <i>reed switch</i> .....</b>	<b>48</b>
<b>5.6 Custos e benefícios .....</b>	<b>49</b>
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>51</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>52</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Esse trabalho apresenta uma atualização na aquisição e no tratamento dos dados provenientes de monitoramentos atmosféricos que são realizados através de coletas isocinética<sup>1</sup>, onde são evidenciadas algumas informações para definição do perfil de vazão e coleta de gases, tais como: velocidade dos gases no duto, vácuo formado no sistema de coleta, volume e temperatura dos gases.

O monitoramento de fontes estacionárias<sup>2</sup> nos dias atuais é realizado com intuito de levantamento de dado para projeção de um cenário que possa alcançar a sustentabilidade em nosso meio, pois o mau controle de uma fonte de combustão pode gerar vários tipos de poluições, por exemplo; a combustão, que contém o dióxido de enxofre em grandes níveis e que pode comprometer o crescimento de plantas, além de causar vários problemas respiratórios para a população local. As definições dos níveis de poluentes encontram-se na Resolução CONAMA Nº 382, de 26/12/2011, caso a caldeira esteja com os índices de emissões fora dos padrões definidos pelo órgão de controle, pode ser gerada para o responsável, notificações, multas e até a parada da caldeira até que ela seja readequada aos parâmetros da resolução CONAMA n 382, de 26/12/2011.

O procedimento de execução do ensaio para determinação de material particulado em dutos e chaminés poder ser encontrado em normas adotadas como métodos para amostragens e ensaios de níveis estaduais, nacionais e internacionais tais como, CETESB, ABNT e EPA, nestes documentos são encontrados instruções para utilizações de instrumentações adequadas para levantamentos de dados para execução do ensaio.

O equipamento utilizado para coleta do material particulado em dutos e chaminés é inserido diretamente na fonte estacionária através de pontos pré-definidos pelas normas vigentes, e conta com os seguintes características e utilidades; como o tubo de pitot em S que é direcionado dentro da chaminé em sentido perpendicular ao fluxo, demonstrando a velocidade média em que os gases estão saindo da fonte estacionária, outro equipamento é a sonda que é responsável por encaminhar os

---

<sup>1</sup> A amostragem isocinética ou a velocidade constante é o método preferido para determinar as concentrações de partículas em fluxos de fluidos.

<sup>2</sup> Fontes estacionária é todo tipo de fonte emissoras de poluentes como por exemplo: chaminés de caldeiras, dutos de cabine de pintura entre outros.

gases coletados para o sistema de filtragem de gases onde será retido as partículas para pesagem no final do ensaio.

É necessário que o filtro seja mantido a uma temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} +$  ou  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , o nome determinado para essa câmara aquecida é caixa quente, após essa etapa do sistema os gases chegam ao conjunto de vidraria de Erlenmeyer, e 4 impinges contendo 200 ml de água deionizada nos dois primeiros 3º vazio e 4º com sílica em gel para fazer a retenção de possíveis umidades nos gases coletados, é necessário deixar os impinges em banho de gelo o equipamento para suporte das vidraria é chamado de caixa fria e contar com um sensor termopar tipo k para monitoramento de sua temperatura que deve ser mantida entre  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

A medição de pressão no equipamento é feita por indicadores analógicos como manômetro, vacuômetro, variador de potência, e os dados obtidos através desses são processados através de cálculos para normalização de condição de coleta, trazendo assim uma equivalência nos medidores de gases, pois existe uma correção de volume devido a possíveis variações de temperatura e pressão barométrica.

O estudo aponta para a construção de uma solução em que a leitura obtida pelos sensores críticos das instrumentações do equipamento possam chegar diretamente a um sistema informatizado aumentando o nível de confiança nas leituras, diminuindo incertezas causadas por adversidades advindas de possíveis erros causadas por vícios de rotina entre técnicos de operação do equipamento onde foi evidenciado mais de quinhentos lacunas para preenchimento tornando o serviço repetitivo e aumentando a possibilidade de erro, além de diminuir o tempo utilizado para coleta desses dados.

Com a evolução da tecnologia poderá ser realizado sensoriamento nesse procedimento com microprocessadores, aferindo o monitoramento de sensores compatíveis com as normas, que possibilita uma melhor coleta de dados e um bom equacionamento.

O sensoriamento será feito por sensores capazes de detectar variações elétricas e pulsos, que serão traduzidos pelo circuito eletrônico para serem lidos pelo microprocessador que efetuará os cálculos, dessa maneira notificando o técnico com os dados e estado de análise.



Os equacionamentos disponibilizados pelas normas serão alimentados de forma muito mais rápida que as leituras analógicas realizadas conforme disponibilização do equipamento atual, tornando o processo de amostragem mais eficaz e com alto nível de confiança nas leituras obtidas, podendo fazer e refazer os cálculos várias vezes assim obtendo uma maior precisão, levando em consideração que os cálculos realizados manualmente precisam de ser revistos após sua conclusão, desde que tenham sido feitas manualmente, aumentando o tempo de tomada de ação perante a uma variação brusca do processo produção responsáveis pela emissão dos gases que serão amostrados.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para o desenvolvimento do projeto e do protótipo será utilizado as seguintes referências e textos que são bases para uma melhor eficiência do projeto.

### 2.1 Importância do monitoramento

A proteção do meio ambiente é algo de grande valia para a sociedade humana, pois dela que nossa espécie sobrevive, mas para isso tem que dá importância do monitoramento do ar (BRUNO, 2012).

*Monitorar o ar nada mais é do que observar as concentrações de poluentes na atmosfera. A rede de monitoramento tem como objetivo avaliar as condições do ar e se este está propício ao ser humano e ao desenvolvimento do meio ambiente, fazendo com que seja possível o monitoramento de emissões de poluentes oriundos de fontes móveis e fixas.*

#### 2.1.1 O que é poluição atmosférica?

A poluição atmosférica pode ser definida como a presença de substâncias estranhas na atmosfera resultantes das atividades humanas ou processos naturais (EDUARDO, 2006), com o uso intenso da humanidade no uso de fontes energéticas agravam a poluição atmosférica gerando para humanidade problemas ambientais e respiratórios, sendo assim a busca por maneiras de monitorar e diminuir os impactos uma boa monitoração tem que ser feita.

#### 2.1.2 Problemas na área da Saúde

Como por exemplo os aumentos de casos de doenças respiratória em grandes centros urbanos, observa-se que mesmo com concentrações abaixo do limite de segurança estabelecido pela legislação vigente, os poluentes atmosféricos podem acarretar efeitos deletérios à saúde humana (JASINSKI,2011), até os níveis legislativo atual ainda pode gerar problemas aos seres humanos que convivem em cidades com um percentual de indústrias elevado. A Tabela 1 que demonstra um estudo feito em duas escolas públicas demonstrando o crescimento de doenças respiratórias pertencente a cidade de Ribeirão Preto, SP, 2010 (NICOLUSSIL, 2014).

Tabela 1: O Crescimento de Doenças Respiratórias da Cidade de Ribeirão Preto

Questão	Escola A (n = 78) %	Escola B (n = 61) %
Diagnóstico de asma	17,9	9,8
Sibilos alguma vez na vida	69,2	65,6
Sibilos nos últimos 12 meses	33,3	29,5
Sibilos após exercícios	9,0	8,2
Tosse seca noturna	61,5 <sup>a</sup>	42,6
Diagnóstico de rinite alérgica	48,7	36,1
Espirro e coriza alguma vez na vida	60,3	52,5
Espirro e coriza nos últimos 12 meses	53,8	44,3
Sintomas oculares	39,7 <sup>a</sup>	23,0
Interferência nas atividades diárias		
Nenhuma vez	24,4	32,8
Pouca	33,3 <sup>a</sup>	18,0
Muita	3,8	3,3
Diagnóstico de eczema atópico	24,4	29,5
Manchas na pele alguma vez na vida	20,5	19,7
Manchas na pele nos últimos 12 meses	16,7	16,4
Idade de aparecimento das manchas		
< 2 anos	5,1	6,6
2 a 4 anos	9,0	8,2
≥ 5 anos	6,4	6,6
Desaparecimento completo das manchas nos últimos 12 meses	19,2	16,4

<sup>a</sup> p ≤ 0,05

Fonte: Francine Heloisa Nicolussil (2014).

### 2.1.3 Problemas Ambientais

A poluição atmosférica afeta todo um sistema ambiental gerando dois fatores que são de grande preocupação que é o efeito estufa e a chuva ácida. O efeito estufa é formado pelo lançamento de gases na atmosfera como por exemplo o dióxido de carbono, metano, ozônio, óxido nitroso, e clorofluorcarbonos esses gases retêm o calor do sol assim aumentando a temperatura do planeta (GUIMALHÃES, 1995).

A chuva ácida causa inúmeros danos à flora, à fauna, aos recursos hídricos e ao solo, pois esta possui alto potencial corrosivo. No que diz respeito à saúde humana, os efeitos provocados pela chuva ácida são gravíssimos (BRUNO, 2012).

## 2.2 Leis que fiscalizam a emissão de materiais particulados

Para a fiscalização da emissão de poluentes existe leis e companhias que fazem a regulação dos níveis de materiais particulado sendo eles a Constituição da República Federativa do Brasil, promulgada em 05 de outubro de 1988, (...) são impostos ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para

as presentes e futuras gerações (BRASIL, 1988), a além da constituição há o CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) criado pela Lei Federal nº 6.938/81 um conselho reunido para definir níveis de qualidade do ar, como pode ser lido no artigo 1º do CONAMA:

Art. 1º - são padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Parágrafo Único – Entende-se como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou característica em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar:

I – Impróprio, nocivos ou ofensivo à saúde;

II – Inconvenientes ao bem-estar público;

III – Danoso aos materiais, à fauna e flora;

IV – Prejudicial à segurança. Ao uso do gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

### **2.3 Sensoriamentos**

O avanço da instrumentação tem facilitado várias rotinas industriais e cotidianas das pessoas, sendo assim levando a elas a praticidade no dia-a-dia além de aumentar a precisão, assim diminuindo o erro que pode ocorrer pela falta tecnológica na instrumentação (PRATES, 2004).

O mais importante da automação e controle são os sensores, eles são capazes de pegar dados físicos(analógicos) e transformar em dados digitais fazendo assim uma comunicação com um advento de microprocessadores e componentes eletrônicos. Os sensores na maioria das indústrias são de grande importância pois conduzem a produção do começo ao fim, sendo assim podendo ser prejudicial quando houver falhas e benéfico no ponto de diminuir as perdas produtivas, além de realizar o monitoramento de todo o processo em tempo real e ter o controle de todos os produtos produzidos a partir da automação (ANDRADE, 2018).

Para realização da coleta necessário a utilização de sensores, sendo esses eles capazes de medirem a pressão, temperatura e umidade (CASSIOLA, 2019).

### 2.3.1 Sensor de pressão

É um sensor que detecta variação e força relacionado a alteração entre repouso ou movimento dos corpo (BALBINOT, 2015), sendo assim a pressão é definida como uma força aplicada na direção perpendicular por unidade de área Fórmula 1.

$$P = \frac{dF}{dA} \quad (1)$$

p = Pressão.

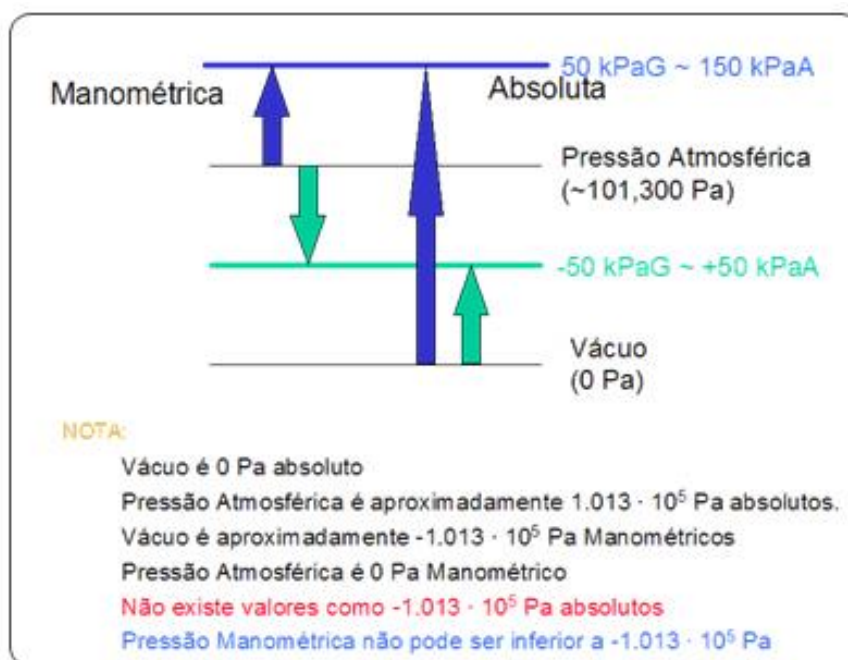
dF = Variação de força.

dA = Variação de área.

A pressão é definida pelo sistema (si) no qual a força é expressa em N por m<sup>2</sup> que é representado por PA (pascal =  $\frac{N}{m^2}$ ), a pressão é medida em relação a circunstância onde ela persiste com a pressão atmosférica é resultado da força da molécula do ar exerce sobre a terra, um exemplo, uma pessoa que está a 1km acima do nível do mar recebe menos pressão atmosférica do que uma pessoa que a que está ao nível do mar, pois a coluna de ar em determinadas altitudes pode variar a pressão de acordo com o ponto de referência.

A seguir mostra um diagrama de vetores para relacionar alguns tipos de conceitos de pressão existencial demonstrada na Figura 1.

Figura 1: Ilustração das diferentes definições de pressão



Fonte: SMAR (2019)

Os métodos de conversão são mostrados na Tabela 2 abaixo, sendo mostrados as escalas de conversão existentes.

Tabela 2: fatores de conversão de unidades de pressão

1 atm	=	1,0333 kgf/cm <sup>2</sup>
1 atm	=	1,0134 bar
1 atm	=	14,697 psi (lbf/pol <sup>2</sup> )
1 atm	=	760 mmHg
1 kgf/cm <sup>2</sup>	=	0,9677 atm
1 kgf/cm <sup>2</sup>	=	0,9807 bar
1 kgf/cm <sup>2</sup>	=	14,223 psi (lbf/pol <sup>2</sup> )
1 kgf/cm <sup>2</sup>	=	736 mmHg
1 bar	=	0,9867 atm
1 bar	=	1,0196 kgf/cm <sup>2</sup>
1 bar	=	14,503 psi (lbf/pol <sup>2</sup> )
1 bar	=	759 mmHg
1 psi	=	0,0680 atm
1 psi	=	0,0703 kgf/cm <sup>2</sup>
1 psi	=	0,0689 bar
1 psi	=	51,719 mmHg

Fonte: Eliézer Pinheiro (2019)

### 2.3.1.1 Pressão absoluta

A pressão absoluta é sempre positiva pois está relacionada com a pressão manométrica e a pressão referente a medição, sendo assim a forma da pressão absoluta é igual a formula 2;

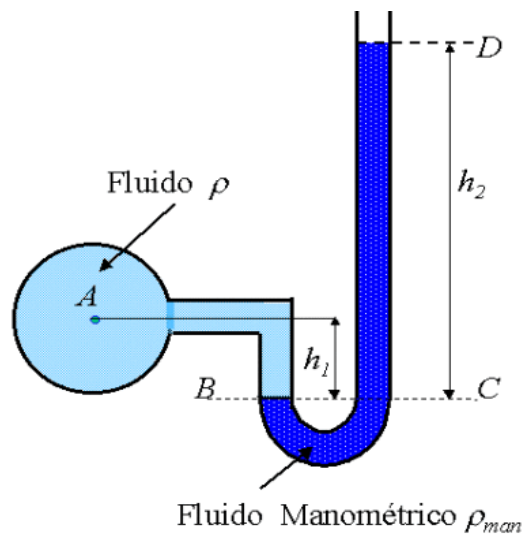
$$P_{absoluto} = P_{local} + P_{manométrica} \quad (2)$$

### 2.3.1.2 Pressão manométrica

A Pressão manométrica é a diferença entre a pressão atmosférica e a pressão local, a pressão manométrica pode ser positiva (com pressões maiores que a atmosférica) ou pode ser negativa (com a pressão menor que a atmosférica) (ZANINI, 2016).

Para sabermos a pressão manométrica é necessário fazer uma comparação entre a pressão atmosférica e um outro sistema qualquer, um método para medir a pressão manométrica é o manômetro líquido simples, é construído em formato de U contendo um líquido demonstrando a diferença de pressão relacionado à altura, como podemos ver na Figura 2, abaixo.

Figura 2: Manômetro em U



Fonte: Luso academia (2019)

Fórmulas 3 e 4 para descobrir a pressão no ponto A;

$$P_b = P_a + \rho \cdot g \cdot h_1 \quad (3)$$

$$P_a = P_{man} \cdot g \cdot h_2 - \rho \cdot g \cdot h_1 \quad (4)$$

### 2.3.1.2 Pressão Diferencial

A pressão diferencial é o resultado da medição de duas pressões sendo elas desconhecidas ou entre a pressão atmosférica e uma pressão qualquer que deseja medir, essa diferença de pressão pode ser utilizada para medir indiretamente outras grandezas como vazão, nível, etc. (CASSIOLATO, 2019 )

### 2.3.1.3 Pressão de vácuo

São pressões medidas com valores menores que a pressão atmosférica, sendo assim o vácuo pode se considerar uma pressão negativa (levando em consideração para o vácuo perfeito não há existência da matéria, chamado de falso vácuo), um exemplo de pressão negativa são as bombas de vácuo, são feitas para diminuir a pressão no rotor assim movimentando fluidos (GAMA, 2002).

### 2.3.2 Métodos de detecção de pressão

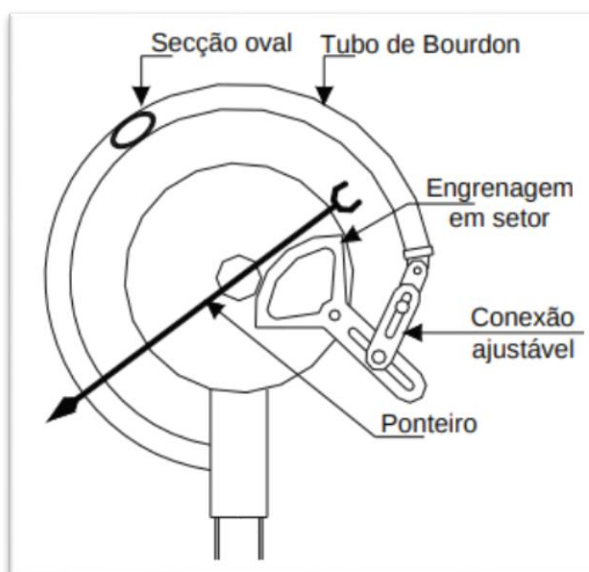
É baseado com a deformação de dispositivos, pode ser medido das seguintes formas, variação elétrica ou mecânica, esse princípio de funcionamento usuais em medidores de pressão que são chamados de manômetro. Existem vários tipos de manômetros tais como manômetro de mercúrio em formato de U que relaciona a pressão medida de uma extremidade com o contato com a pressão atmosférica, existem também o manômetro de Bourdon que faz a medição em um tubo metálico fechado e enrolado em espiral e uma das extremidades e a outra em contato com material que vai ter a pressão medida, também existe o manômetro esfigmomanômetro que depende de estetoscópio, manguito e tubos para seu funcionamento e por último o manômetro digital, que são mais utilizados em várias áreas como nas indústrias, hospitais, casas entre outros locais.(JOINVILLE, 2019)

#### 2.3.2.1 *Deformação elástica*

Uma das formas de medir pressão por deformação elástica é uma característica mecânica feita por engrenagens com escalas que relaciona o ponteiro ao movimento giratório feito pela pressão medida, um exemplo o manômetro de Bourdon, observado na Figura 3(BALBINOLT,2015).



Figura 3 : Manômetro de Bourdon



Fonte: Joinville (2019)

Na Figura 3 é demonstrado que a variação do tubo de Bourdon é conectada a um ponteiro, e assim tendo uma deformação no ponteiro do manômetro, com uma escala no fundo do ponteiro pode se saber a pressão medida.

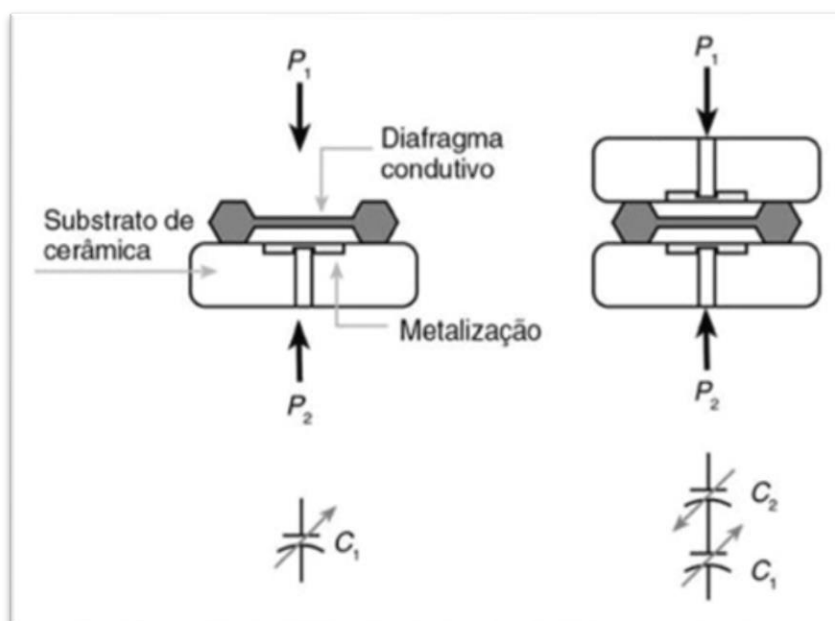
#### 2.3.2.2 Deformação de coluna líquida

A medição de pressão por coluna líquida é feita pela diferença entre pressões, assim tendo já uma pressão conhecida, e utilizando a sua diferença de altura para achar a pressão medida. Um exemplo está na Figura 2 e equacionamento (3) (SCHNEIDER,2000).

#### 2.3.2.3 Sensores Capacitivos

O funcionamento de um sensor de pressão capacitivo tem o funcionamento igual a de um capacitor variável, sendo a pressão feita nos eletrodos, a variante é o dielétrico, sendo assim variando a capacitância. Um sensor capacitivo tem uma ótima precisão além de isolamento contra atos involuntários. Um exemplo de funcionamento é visto na Figura 4.

Figura 4: Interior de um sensor de pressão capacitivo, simples e diferencial.



Fonte: Alexandre Balbinot (2019)

#### 2.3.2.4 Vacuômetro

Medida a pressão negativa, e a relação entre a pressão atmosférica menos a pressão produzida por um motor ou movimento, assim produzindo um falso vácuo medido pelo vacuômetro como pode ser visto na Figura 1 (página 13).

#### 2.3.2 Sensor de Temperatura

“A temperatura também está relacionada à energia cinética das moléculas de um material.” (D. YOUNG, 2008)

A medição da temperatura através de sensores é algo de grande importância para os seres humanos, pois suas variações podem indicar fatores importantes nos dias atuais, como por exemplo nos veículos automóveis que tem o motor a combustão em que seu trabalho natural produz um calor relativamente alto, e o não monitoramento de sua temperatura pode causar danos considerados no motor, outro exemplo e o corpo humano que tem a uma variação de temperatura adequada, sendo assim sua medição de grande valia para a vida do ser humano (SMAR, 2019).

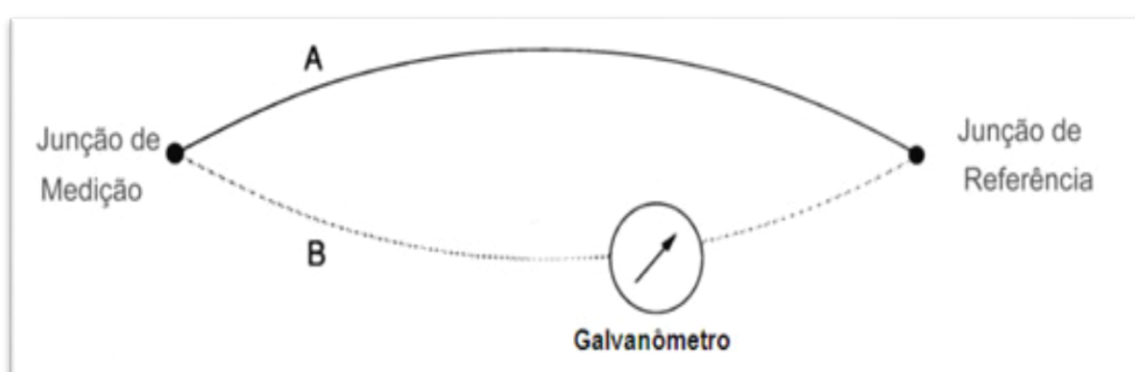
Existe vários sensores de temperatura nos dias de hoje sendo analógicos ou digitais que determinam a temperatura com variações por expansão de líquidos, por deflexão, variação de resistência, e também que geram energia. Sendo assim esse

projeto visa incluir os termopares que gerem energia ao serem colocados ao meio que contém uma temperatura (MELO, 2019).

### 2.3.2.1 Sensor de Temperatura termopar

O termopar tem um funcionamento como gerador de tensão por temperatura, isso acontece pela força eletromotriz (fem) gerada por uma corrente que circula em duas junções de materiais diferentes, uma representação disso pode ser vista na Figura 5, abaixo (GÓMEZ, 2019);

Figura 5: Circuito termoelétrico básico compreendendo dois fios diferentes



Fonte: Ecil (2019)

Como pode ser visto na Figura 5, e representado um matéria A e um B, são matérias de diferentes elementos ligado ao um ponto que deseja medir, as extremidades desses circuitos são chamadas de junção quente e junção fria, para fazer a conversão de tensão em temperatura e usado o coeficiente de Seebeck( $\sigma$ ) que está expresso na formula 5 que seu resultado e dado por  $\mu V/^{\circ}C$  ou  $mV/^{\circ}C$ , está equação e conhecida do a lei fundamental do termopar (ECIL, 2019).

$$\sigma(T) = \frac{dE}{dT} \quad (5)$$

Tabela 3 - Tipos comerciais de termopares

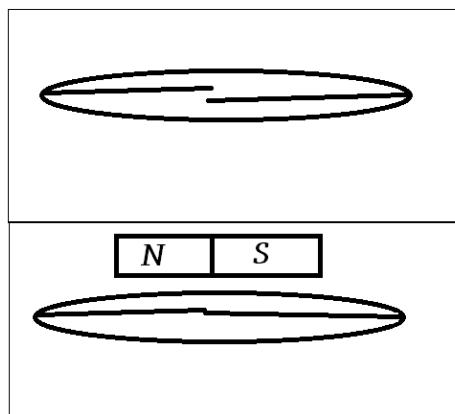
TIPO	POSITIVO	NEGATIVO	NORMAS INTERNACIONAIS				
			ANSI MC 96-1	DIN 43710	JIS C1610	IEC 584-3	BS 1843
<b>J</b>	FERRO (MAGNÉTICO)	COBRE / NÍQUEL					
<b>K</b>	NÍQUEL / CROMO	ALUMÍNIO (MAGNÉTICO)					
<b>T</b>	COBRE	COBRE / NÍQUEL					
<b>E</b>	NÍQUEL / CROMO	COBRE / NÍQUEL					
<b>N</b>	NÍQUEL / CROMO / SÍLÍCIO (NICROSIL)	NÍQUEL / SÍLÍCIO (NISIL)					
<b>R</b>	RHODIO (13 %)	COBRE / NÍQUEL					
<b>S</b>	RHODIO (10 %)	COBRE / NÍQUEL					
<b>B</b>	RHODIO (13 %)	RHODIO (6 %)					

fonte: termon (2019)

### 2.3.3 Sensor *reed switch*

Esse sensor funciona como interruptor, são dois metais separados por uma distância  $d$  e lacrados hermeticamente, assim sendo acionado quando a presença de um campo magnético, um exemplo pode ser visto na Figura 6, abaixo,(ELECTRONICS, 2019).

Figura 6: Sensor *reed switch*



Fonte: Acervo do autor, 2019

### 2.4 Resistência Elétrica

A resistência elétrica ( $R$ ) e o atrito que é gerado na transmissão dos elétrons, sensor assim mediada em ohms( $\Omega$ ), sendo assim gerando calor com o seu choque, a sua definição pode ser vista pela Fórmula (6) (ROBBINS, 2010).

$$R = \frac{\rho l}{A} \quad (6)$$

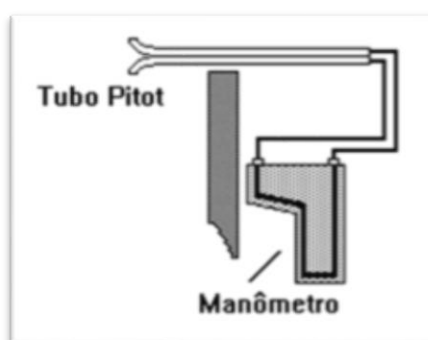
$\rho$  = Resistividade do material;  $l$  = comprimento;  $A$  = Área.

O método para determinar o volume de gás dentro de um circuito pode ser feito de várias maneiras como medidor de selo líquido, medidor de lóbulos rotativos, medidor de disco de natação, medidor de diafragma, e entre outros. O que vai ser usado no protótipo é um medidor mecânico de diafragma, que faz a medição da seguinte forma, há duas câmara com área já determinada, o gás é forçado sua entra na primeira inflando o volume da área um válvula de distribuição impede a passagem para área dois até um determinado volume, e assim repetindo o ciclo contabilizando o volume que ali foi medido (BRUNETTI, 2008).

## 2.5 Tubo de pitot

O tubo de pitot é responsável por capturar os gases no local medido e assim levar o fluxo ao medidor, para determinar vazão ou velocidade e utilizado junto com um sensor de pressão diferencial, como pode ser visto na Figura7.

Figura 7: Tubo de pitot ligado ao manômetro.

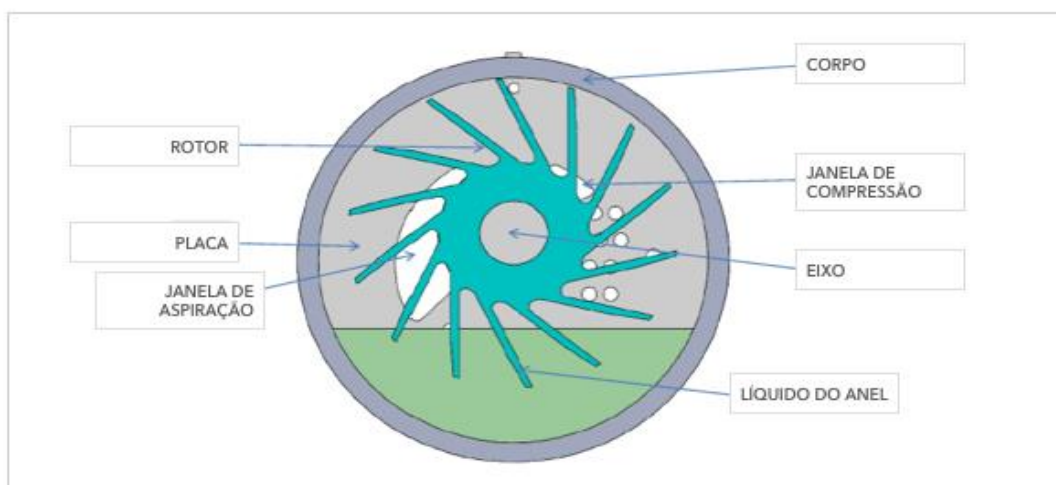


Fonte: Energética (2019)

## 2.6 Bomba de vácuo

O funcionamento da bomba de vácuo pode ser visto na Figura 8, as palhetas de um ao rotor de um motor succionar o ar que vem do circuito em que deseja ter o vácuo, e leva para fora do circuito ou para o mesmo circuito, sendo assim criando uma pressão negativa no circuito (PAULO,2019).

Figura 8: Esquema de funcionamento da bomba de vácuo

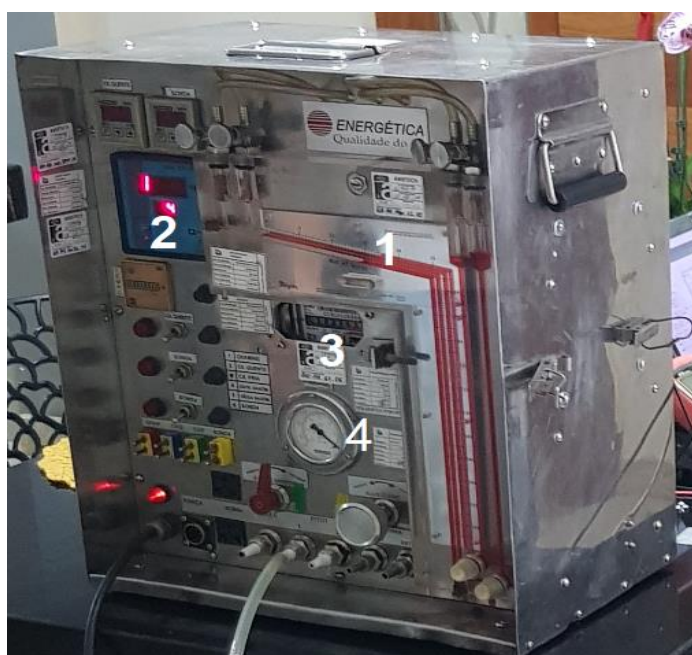


Fonte: Valo, 2019.

## 2.7 Equipamento existente

O equipamento que faz análise ambiental já existe, esse equipamento pode ser visto na Figura 9, ele é montado pela empresa chamada Energética. O equipamento é conhecido como CIPA (Coletor isocinética de matérias particulados) ele é utilizado para fazer a análise de fontes estacionária, o equipamento em questão é calibrado anualmente em um laboratório regulamentado pelo INMETRO ISO/IEC 17025 assim seguindo a norma da ABNT 12020:1992.

Figura 9: CIPA (Coletor isocinética de matérias particulados).



Fonte: Autor, 2019.

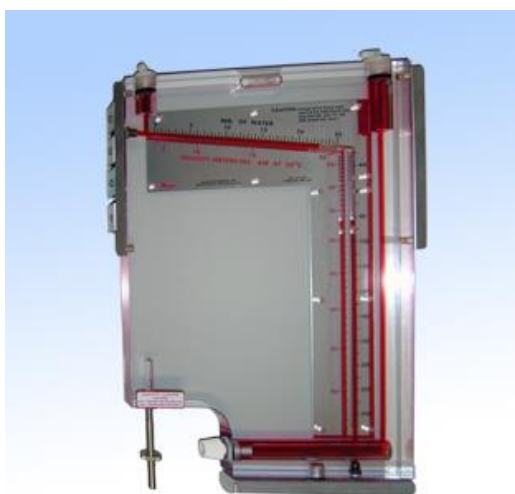
Na Figura 9 é demonstrado os sensores e o gasômetro que compõem o equipamento, sendo demonstrado pelos os números na Figura 9, o que está próximo ao número 1 é o sensor manômetro de coluna d'água inclinado, o que está próximo ao número 2 o leitor de temperatura por termopar eletrônico que tem a resolução de  $1^{\circ}\text{C}$ , ao redor do número 3 e o gasômetro, perto do número 4 é visto o vacuômetro .

### 2.7.1 Manômetro de coluna d'água

O manômetro duplo de coluna d'água e um sensor de grande importância para o equipamento, ele demonstra as velocidades no sistema em milímetros de d'água, ele afere a velocidade em que o gás sai da fonte estacionaria, e a velocidade do gás no circuito.

Esse manômetro tem uma escala de 0 a 250mmH<sub>2</sub>O (INSTRUCAMP, 2019), demonstrado na Figura 10.

Figura 10: Manômetro de coluna d'água inclinado



Fonte: Energética, 2019.

### 2.7.2 Leitor de temperatura termopar

Na Figura 11 pode ser visto um indicador digital multicanais, esse indicador demonstra vários canais para medir a temperatura em vários pontos, de acordo com a norma da ABNT12020:1992, é necessário um indicado digital de temperatura com seis canais para entrada de seis termopares tipo k e um erro que não ultrapasse 1,5% do fundo de escala (NEI, 2019).

Figura 11: Indicador termopar de 8 canais



Fonte: jonhis, 2019.

### 2.7.3 Gasômetro

O método para determinar o volume de gás dentro de um circuito pode ser feito de várias maneiras como medidor de selo líquido, medidor de lóbulos rotativos, medidor de disco de natação, medidor de diafragma, e entre outros. O que vai ser usado no protótipo é um medidor mecânico de diafragma, que faz a medição da seguinte forma, há duas câmaras com área já determinada, o gás é forçado sua entra na primeira inflando o volume da área uma válvula de distribuição impede a passagem para área dois até um determinado volume, e assim repetindo o ciclo contabilizando o volume que ali foi medido (BRUNETTI, 2008).

O gasômetro tem a função de quantificar na coleta o quanto de gás o equipamento circulou, para calcular a quantidade gás proveniente da fonte estacionaria analisada. Para a diminuição do erro é analisado a temperatura de entra do gás no gasômetro e a temperatura na saída do gás gasômetro, isso acontece para analisar qualquer forma de dilatação que pode acontecer com a parte mecânica do gasômetro.



Figura 12: Gasômetro



Fonte: Americanas, 2019.

#### 2.7.4 Bomba de vácuo equipamento

A bomba utilizada no equipamento tem que deslocar 127l/min e assim gerando um vácuo máximos de 673mmHg, a bomba no circuito succionar os gases do duto para o sistema de coleta, assim por meio de válvulas sua velocidade e controlada de acordo um dos manômetros, para fazer a isocinética da coleta. Na Figura 13, abaixo, pode ser visto a bomba utilizada pelo equipamento de coleta.

Figura 13: Bomba de vácuo



Fonte: Autor, 2019.

### 2.7.8 Medidor barométrico

Para a normalização dos resultados nas condições padrões temperatura e pressões barométricas, assim e utilizado um barômetro móvel, como pode ser visto na Figura 14.

Figura 14: Barômetro móvel



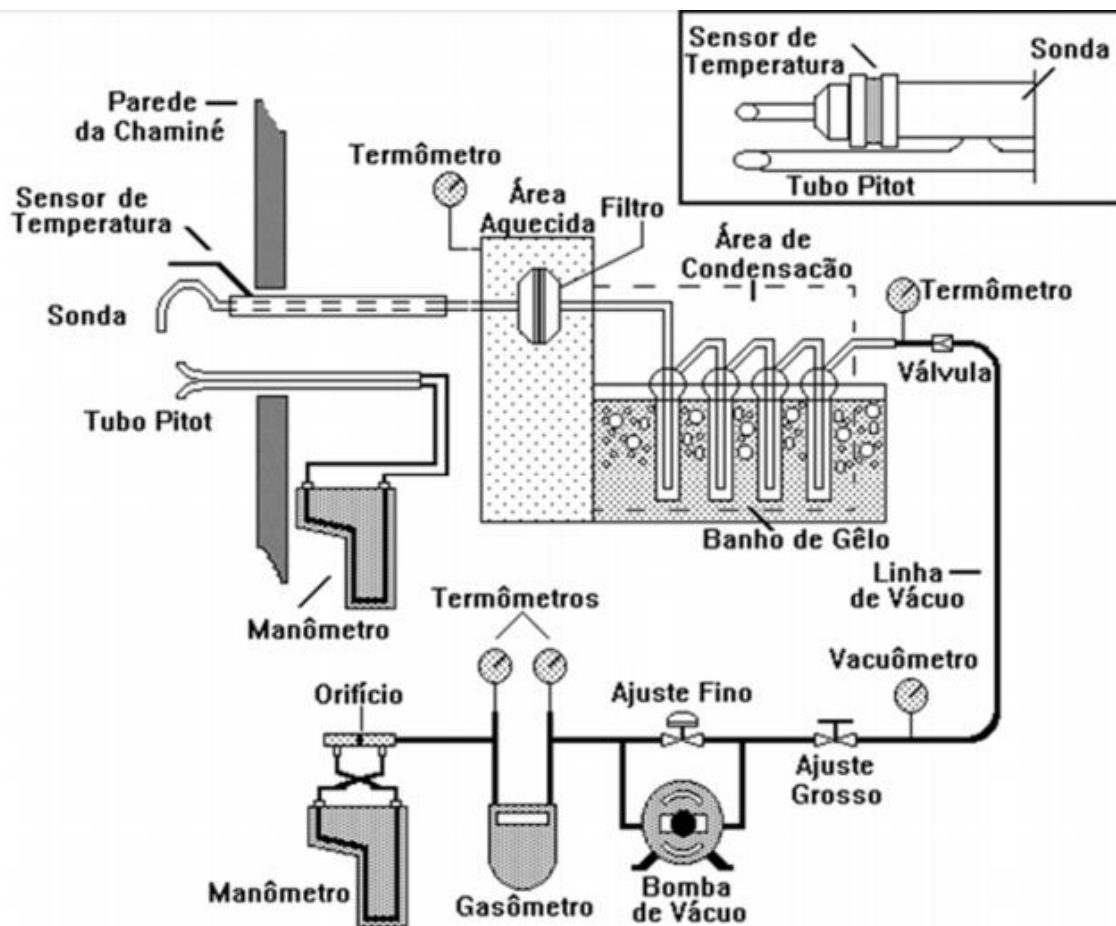
Fonte: Autor, 2019.

Na Figura 14 pode ser visto que colado ao sensor a um termo de calibração validado para as análises do projeto.

## 2.8 Representação do sistema de captação dos gases

Como é visto na Figura 15, um circuito de captação de gases de uma fonte estacionária, para a compreensão do funcionamento e necessário ter o conhecimento dos sensores necessários, e com essa imagem é possível ver funcionamento de forma simplificada e resumida, e assim tenso entendimento do funcionamento dos sensores pode ser compreendido o funcionamento da amostragem.

Figura 15: Processo de captação dos gases



Fonte: Energética, 2019.

### 3 METODOLOGIA

Para a produção de um protótipo é necessário uma série de sensores, cada sensor desses é escolhido utilizado a ABNT NBR 12019, esta norma determina quais as escalas dos sensores além de demonstrar o erro aceitável, com isso foi escolhido cada sensor de acordo com a norma vigente.

#### 3.1 Velocidade e vazão

Para determinar pressão em dutos e chaminés deve haver fluxo contínuo de vazão, para ser calculada a velocidade e feito a média aritmética na secção onde será feito a medição, para achar um resultado válido é utilizado as seguintes fórmulas (I9.222, 1992):

Sendo necessário os seguintes aparelhos de amostragem, um tubo de pitot, um medidor de pressão diferencial capaz de fazer uma leitura com a variação de 12,3 Pa(1.3 mm c.a), um medidor de temperatura capaz de medir seis termopares dentro da chaminé com a variação de 1.5% da temperatura real, a utilização de um manômetro para a medição da pressão atmosférica, um barômetro. Os equipamentos devem estar calibrados de acordo com a norma E16.030(norma que regulamenta a calibração dos equipamentos). Algumas equações podem ser vistas abaixo, como a equações 7 e 8.

$$V = k1 Cp (\sqrt{\Delta P})m \sqrt{\frac{T}{PPM}} \quad (7)$$

$$Q_{nbs} = \frac{3600(1 - bag)VATnP}{TPn} \quad (8)$$

V = velocidade média do gás, m/s.

Q<sub>NBS</sub> = Vazão volumétrica media do gás seco, na condição normal, em Nm<sup>3</sup>/h.

ΔP = pressão de velocidade dos gases, em Pa.

(√ΔP) m = média das raízes quadráticas de ΔP.

CP = Coeficiente do tubo de pitot, adimensional.

K1 = Fator de conversão no S.I.  $K1 = 128,96 \text{ m/s} \left[ \frac{\text{g}_{mol}}{K} \right]^{0.5}$ .

M<sub>Mu</sub> = massa molar do gás, base seca, em g/g mol.

$M_{MS}$  = massa molecular do gás, em g/g mol.

$P$  = pressão absoluta do gás, em Pa ( $P = P_{atm} + P_e$ ).

$P_{atm}$  = Pressão atmosférica, em Pa.

$P_e$  = pressão estática do gás na chaminé ou duto, em Pa.

$T$  = Temperatura absoluta média do gás na chaminé ou duto K.

$B_{ag}$  = umidade dos gases, expressa nos termos de proporção.

$T_n$  = temperatura absoluta da condição normal = 273 k.

$P_n$  = Pressão absoluta da condição normal = 101.325 Pa.

$A$  = Área da seção transversal da chaminé, em  $m^2$ .

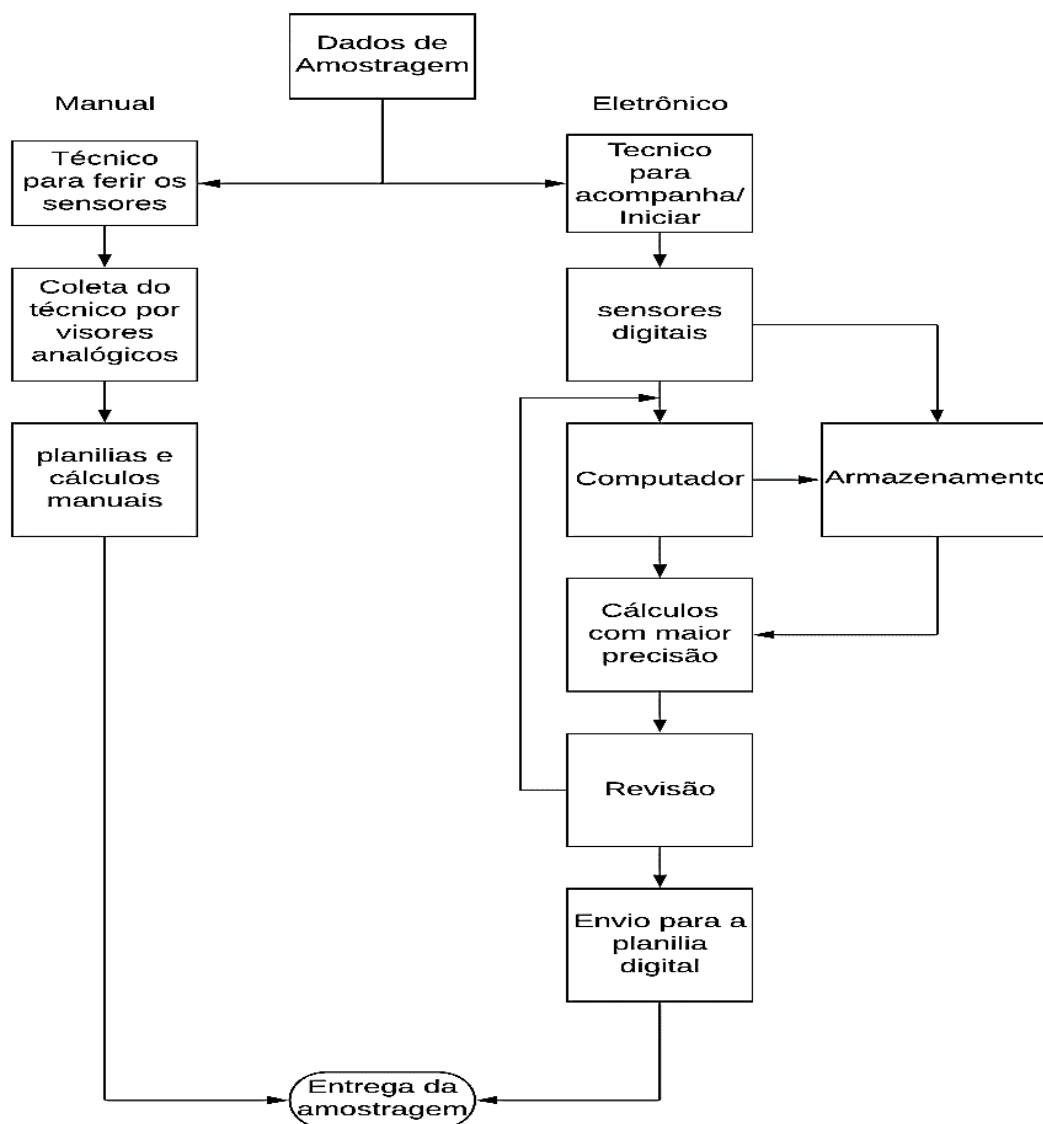
3600 = fator de conversão, em segundos/ hora.

18 = massa molecular da água, e g/g mol.

### 3.2 Diagrama de funcionamento

A estrutura de funcionamento da amostragem foi dividida em duas formas, a do meio eletrônico e a do meio manual, onde que a do meio manual mostra como técnico faz a leitura dos sensores de forma visual, e a do meio eletrônico leituras digitais, assim foi colocado em paralelo os sensores analógicos e digitais no protótipo desenvolvido, para diminuir o erro de leitura dos sensores analógicos e cálculos feitos a mão. Na figura 16 pode ser visto um diagrama de blocos que mostra como funciona a captação de dados da amostragem.

Figura 16: Diagrama em blocos da amostragem



Fonte: Autor, 2019.

Como foi visto na Figura 16, os diagramas que representa a coleta dos dados de forma manual não têm blocos de realimentação, que demonstra que a possibilidade falhas no processo de amostragem pode ser maior, sendo levado em consideração que o procedimento de amostragem é repetitivo e a chance do técnico anotar valores errôneos são bens consideráveis.

Já no processo eletrônico a realimentação dos blocos faz com que o sistema confira o que está sendo feito, além de fazer cálculos com destreza e eficácia para que o valor resultante seja o valor real de material que o equipamento está coletando, diminuindo então a incerteza e com os dados armazenados, e a possibilidade de uma

criação de banco de dados das coletas feitas, além de exigir todos os fatores que a norma determina, como calibração, perda nos dutos, erro aceitável.

### 3.3 Sensor de pressão diferencial

Dado a importância pela norma as características de um sensor de pressão diferencial cujo a escala e de e de 0 a 3Kpa, é utilizado o sensor da marca DWYER que contém uma precisão de  $\pm 2\%$ , esse sensor é capaz de identificar as pressões positiva, negativa e diferencial sendo a utilizada a diferencial, o sensor pode ser visto na Figura 17.

Figura 17: Sensor de Pressão diferencial Dwyer



Fonte: Autor, 2019

Além do sensor da Figura 17, foi utilizado outro sensor de pressão diferencial, o MPXV5004DP é um sensor diferencial da marca NXP que pode ser visto na Figura 18, que tem uma escala de pressão que é de 0 a 3,92Kpa, sendo ideal para o projeto além de haver um teste bilateral entre os dois sensores para obter vários pontos de vista na conclusão

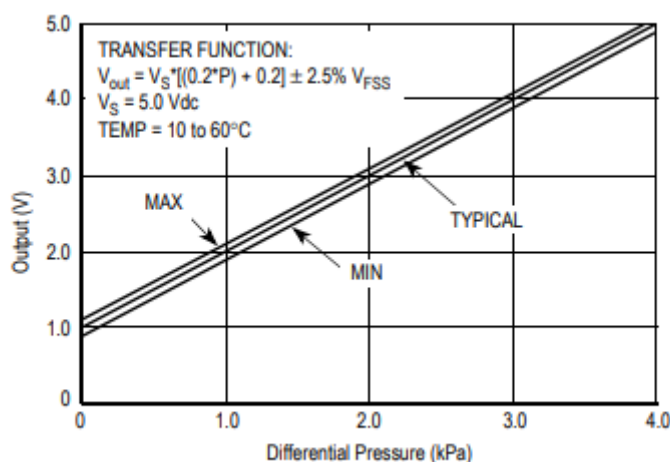
Figura 18: Sensor de pressão diferencial NXP



Fonte: Autor, 2019

De acordo com a fabricante do sensor MPXV4005DP, a curva de pressão e uma curva linear, onde pode ser visto na Figura 19, sendo assim ficando numa faixa de erro entre  $\pm 1,5\%$  e  $\pm 2,5\%$ , sendo um range um pouco maior que o sensor da DWEYR.

Figura 19: Range do sensor diferencial MPXV4007DP



Fonte: NXP, 2019

### 3.4 Sensor de temperatura

A medição de temperatura de acordo com a norma NBR12019 dez/1990 o sensor a ser utilizado deve ter a precisão de  $\pm 1^\circ\text{C}$ , e sendo assim é utilizado vários módulos de temperatura chamado de Max 6675 como pode ser visto na Figura 20, o modulo faz a leitura da temperatura com o termopar do tipo K, tendo uma faixa de conversão de 12bits, e detectando variações de temperatura numa escala de  $\pm 0,25^\circ\text{C}$ , sendo uma escolha para o protótipo.



Figura 20: Módulo de temperatura Max 6675



Fonte: Autor, 2019

### 3.5 Sensor barométrico

De acordo com a norma ABNT NBR 12019 de dez/1990 é necessário para o definição do perfil de coleta um sensor que faz a medição da pressão barométrica no local , o sensor deverá ter uma escala com divisão menor que 266,6pa. Para o protótipo e utilizado o sensor BMP280 desenvolvido pela empresa BOSCH, que faz a leitura da altitude com a incerteza de  $\pm 1m$ , faz medição barométrica com uma divisão de 12pa, o sensor e demonstrado na Figura 21.

Figura 21: Sensor BMP280



Fonte: Autor, 2019

### 3.6 Sensor de pressão negativa

A medição do vácuo vai ser feita pelo sensor MPX5700DP que tem uma faixa de 0 a 700kpa e o erro de  $\pm 2,5\%$ , esse sensor será utilizado para fazer leitura da pressão negativa gerado no sistema. A norma ABNT NBR 12019/1990 mostra que o sensor deve ter um fundo de escala de 101kpa, senso assim o sensor MPX5700DP é uma escolha para o protótipo, pode ser visto na Figura 22.

Figura 22: Sensor MPX5700DP

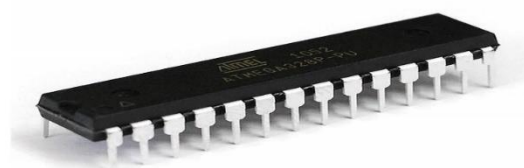


Fonte: Autor, 2019

### 3.7 Microprocessador

A utilização de microprocessador 328p no protótipo é necessária para a conversão ADC além do PWM para o sensor MAX6675, o microprocessador conta com uma memória flash de 32kb memória SRAM 2kb e a frequência de 16Mhz, com uma tensão de operação de 5v, tem um baixo consumo e conta com quatorze saídas digitais e 6 saídas analógicas com a conversão ADC 10 bits. Na Figura 23 e possível visualizar o microcontrolador.

Figura 23: Microprocessador Atmega 328p



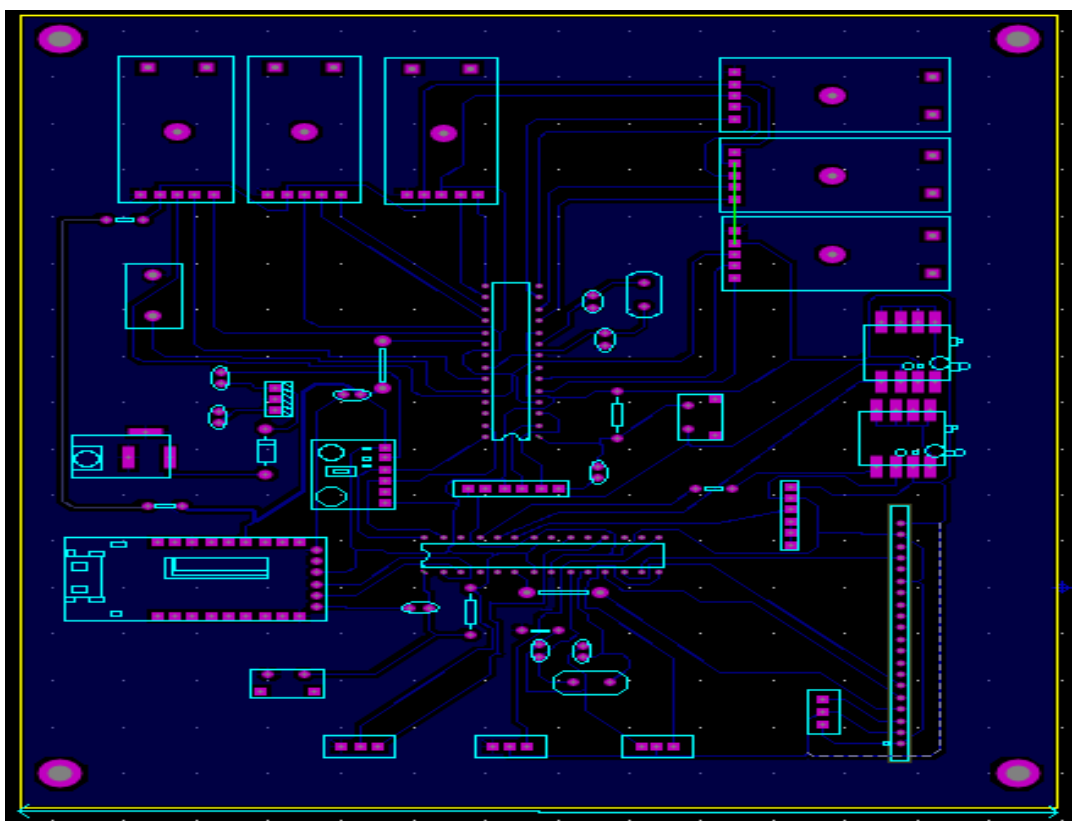
Fonte: robu.in, 2019.

## 4 DESENVOLVIMENTO

### 4.1 A Placa

O desenvolvimento do protótipo é feito por uma placa de circuito impresso, como pode ser visto na Figura 24. O desenho feito no *software* chamado Proteus, a placa foi desenhada para comporta os sensores e além de ter suportes para ser fixada no equipamento, de modo que fique bem parada no equipamento para não ter choques mecânicos e assim gerar erros nas leituras dos sensores, além de ser portátil e de fácil locomoção. Para o desenvolvimento da placa foi feito vários testes de posicionamentos de sensores, e que cada sensor possa ter uma posição adequada assim atingindo máxima eficiência, sendo a placa feita e desfeita várias vezes até o encontro de uma forma adequada para cada um sensor.

Figura 24: Circuito desenhado no software.

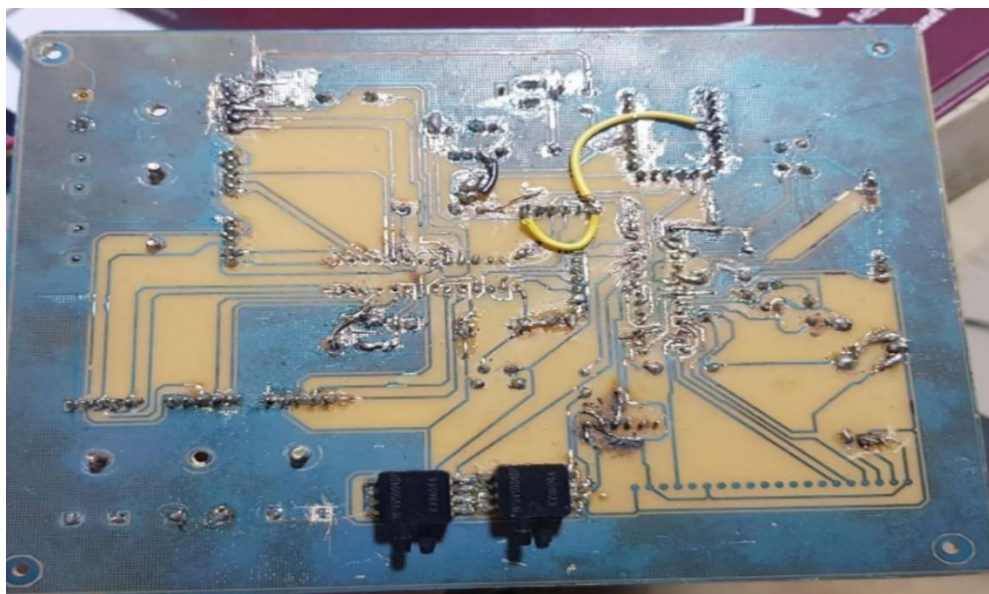


Fonte: Autor, 2019.

O método utilizado para fazer as trilhas e as ilhas da placa foi o fotossensível que demonstra melhor eficiência na transferência do desenho, e assim deixando a placa impressa como uma qualidade maior, como pode ser visto na Figura 25, percebe-se que as trilhas na placa ficaram bem definidas e isso é importante para que

cada componente receba o sinal fundamental com a melhor qualidade. Na placa foi necessário componentes de qualidade, e também cautela nas soldagens assim tomando cuidados com cada sensor e componentes para assim adquirir uma melhor eficiência.

Figura 25: Placa com a transferência térmica pronta.



Fonte: Autor, 2019

Por fim pode ser visto na Figura 26 a placa em estado terminal, onde pode encontrar os eletrônicos e os sensores soldados.

Figura 26: Placa concluída

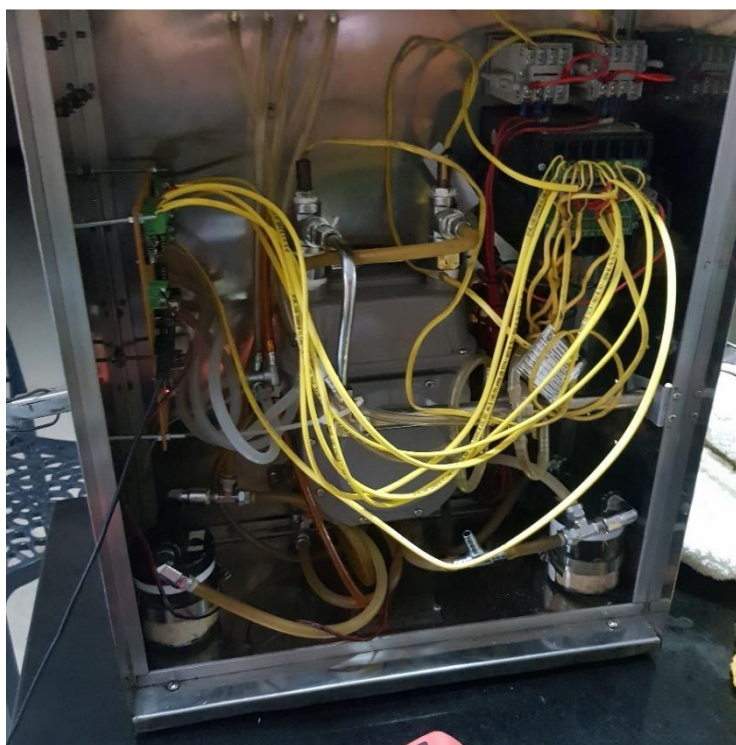


Fonte: Autor, 2019

## 4.2 Instalação da placa no equipamento

Para a instalação da placa no equipamento foi feito quatro furos na lateral como pode ser visto na Figura 27, para fixar alguns parafusos que funcionam como suporte para evitar choques mecânicos, e além disso foi instalado buchas isoladoras com o intuito de isolar o circuito de qualquer ameaça elétrica assim protegendo os componentes da placa.

Figura 27: Equipamento com a placa instalada



Fonte: Autor, 2019.

O protótipo foi instalado de forma que o mesmo não interferisse nas leituras dos sensores originais do equipamento (CIPA), dessa forma foi possível observar as resoluções dos equipamentos simultaneamente, permitindo detectar suas variações em tempo real.

Para referência de exatidão e dos sensores do protótipo foi tomado como instrumento padrão os sensores do equipamento original, pois os mesmos possuem certificados que evidenciam suas calibrações e suas exatidões através de equipamentos com maior precisão comprovados por suas rastreabilidades que são evidenciadas em seus respectivos certificados que poderá ser verificado no Apêndice A.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Manômetro diferencial

Os resultados da coleta dos dados dos manômetros digitais em relação a dos manômetros de coluna líquida analógico, foram feitos através de ensaios manuais de vazão em dutos e chaminés conforme norma CETESB L-9.222 e pela bomba de vácuo, onde foi colocado a pressão na entrada definida pelos cálculos do perfil de amostragem.

Foi observado que os resultados coletados pelo protótipo e pelo equipamento original obtiveram resultados similares. E como pode ser visto na Tabela 4, os resultados das leituras das pressões coletadas em milímetros de coluna d'água (mmH<sub>2</sub>O).

Tabela 4 Leituras dos Manômetros

Pressão de ensaio 1 – Manual(mmH <sub>2</sub> O)	Manômetro 2 (mmH <sub>2</sub> O)		Pressão de ensaio 2 – Bomba(mmH <sub>2</sub> O)	Manômetro 2 (mmH <sub>2</sub> O)	
	Analógico	Digital		Analógico	Digital
10	10	10	30	30	30
13.5	13,5	13,5	46,7	46,7	46,7
21.7	21,7	21,7	110	110	110

Fonte: Autor, 2019.

Para alcançar a estabilidade dos valores iguais entre manômetros digitais e manômetros analógicos foi necessária uma correção da leitura via código. Para calibração dos sensores digitais foi necessário achar o fator que permite zerar a leitura, esse fator foi achado pela equação;

$$V_{out} = V_S * [(0.2 * P) + 0.2] \pm 2.5\% VFSS \quad (9)$$

### 5.2 Vacuômetro

Para analisar o sensor que faz a medição do vácuo no sistema, foram feitas simulações com a bomba de vácuo, a medida desta pressão negativa de acordo com a norma ABNT NBR 12019:1990, é em milímetro de mercúrio, sendo assim, os resultados obtidos foram comparando e podem ser observados na Tabela 5, que

demonstram que o sensor MPX5004DP listado no item 3.6, foi capaz de fazer a medição da pressão como esperado para o protótipo.

Tabela 5 - Pressão aferida no vacuômetro

Pressão gerada pela bomba (mmhg)	Pressão aferida nos sensores (mmhg)	
	Analógicos	Digital
16	16	16
35	35	35
78	78	78

Fonte: Autor, 2019.

### 5.3 Pressão Barométrica

A medição da pressão barométrica feita pelo sensor bm280 listado no item 3.5, foi realizada em duas localidades separadas por uma distância de 36km, consistir em utilizado duas cidades Betim-MG e Mateus Leme-MG na data 12 de novembro de 2019 , para comparar os resultados obtidos com o barômetro sendo o resultado em hectorpascal(hPa), os resultados podem ser visto na Tabela 6, abaixo

Tabela 6 - Medições barométrica entre duas cidades

Pressão barométrica medida por um sensor calibrado em hPa	Pressão barométrica medida pelo BM280 em hPa	
912,04	912,1	Mateus Leme - MG
918,6	918,5	Betim – MG

Fonte: Autor, 2019.

Como pode ser visto na Tabela 6, o sensor bm280 teve um desvio padrão de 10pa, sendo de acordo com a (I9.222, 1992) o desvio padrão até 255pa. Com isso o sensor Bm280 está dentro da norma, mas com resultados consideráveis.

### 5.4 Temperaturas

As temperaturas medidas no sistema são sequenciais, sendo que cada uma delas faz a medição em um ponto do sistema, e elas são listadas como temperatura 1: dos gases no duto da chaminé; temperatura 2: caixa quente; temperatura 3: caixa

fria; temperatura 4: entrada do gasômetro; temperatura 5: saída do gasômetro; temperatura 6: sonda. Sendo possível a visualização desses pontos na figura 15 pagina. Significando que as medições feitas pelos termopares do K, a resolução de variação de temperatura de acordo com a norma ANBT NBR 12019/1990 demonstra que o leitor deve aferir a variação de temperatura de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

A comparação feita através da placa pelos módulos MAX 6675 e o indicador termopar já existente no equipamento é demonstrado na Tabela 7 abaixo.

Tabela 7: Comparativo de temperaturas medidas.

Temperaturas aferidas em uma coleta	Sensores de temperatura termopar tipo K	
	Indicador antigo	Modulo Max 6675
Temperatura 1	120 °C	119,25 °C
Temperatura 2	110°C	110,5 °C
Temperatura 3	10 °C	10 °C
Temperatura 4	29 °C	28,75 °C
Temperatura 5	27 °C	27 °C
Temperatura 6	170 °C	169,25

Fonte: Autor, 2019.

Como pode ser visto na Tabela 7, o desvio padrão do sensor MAX6675 é de  $0,25^{\circ}\text{C}$ , e que para checar uma maior confiabilidade desse sensor e necessário uma comparação com um indicador de maior confiança, pois o indicador do equipamento comparado faz medições de temperatura com a variação de  $1^{\circ}\text{C}$ .

A temperatura medida pelo sensor MAX6675 está de conformidade com a norma da ABNT NBR 12019/1990, assim demonstrando que pode ser utilizada para aferir as temperaturas da coleta.

### 5.5 Sensor *reed switch*

Esse sensor contabiliza o número de voltas no gasômetro, sendo utilizado já um ímã fixado de fábrica no rotor contador de volume de gás, de tal modo que quando ocorre uma volta no rotor do gasômetro ele fecha o contado do sensor *reed switch* e é gerado um pulso identificável ao microcontrolador, e a cada pulso e somado no microprocessador quantidade de litragem adquirida na coleta. Na Tabela 8 demonstra a passagem de gás em  $\text{m}^3/\text{litro}$ .



Tabela 8: Valores contabilizado pelo sensor *reed switch*

Quantidade de m <sup>3</sup> /L	Voltas do gasômetro	Valor adquirido pelo sensor e contabilizado no processador
5	5	5
27	27	27

Fonte: Autor, 2019.

## 5.6 Custos e benefícios

Os sensores e indicadores que se encontra no equipamento são sensores antigos e importado, sendo assim fabricado por encomenda além de terem uma estrutura bem melindrosa de tal modo elevando o custo na compra, como por exemplo o sensor manométrico duplo diferencial de coluna d'água tem que ser importado para o Brasil, assim afetando no preço do sensor de acordo com a produção, taxa cambial e impostos de importação.

Os custos dos sensores analógicos presentes no equipamento podem ser vistos na Tabela 9 abaixo, os sensores foram listados de acordo com os preços de mercado na data dessa monografia.

Tabela 9: Custos dos sensores do equipamento

Quantidades	Sensores do equipamento	Preços
1	Indicador digital termopar	R\$: 1800,00
1	manômetros de coluna líquida	R\$: 20000,00
1	Vacuômetro	R\$: 150,00
1	Barômetro	R\$: 230,00
	Total	R\$: 22180,00

Fonte: Autor, 2019.

Como pode ser visualizado na Tabela 8 o custo dos sensores pertencentes ao equipamento tem um preço considerável, esses sensores são utilizados em todas as empresas que fazem a coleta dos gases, sendo assim muito utilizado ainda.

Os gastos feitos com os sensores que fazem parte do protótipo, podem ser visualizados na Tabela 10, os sensores foram listados de acordo com os preços de mercado na data dessa monografia.

Tabela 10: Valor dos sensores do protótipo

Quantidade	Sensores do protótipo	Total dos Preços
06	Módulos MAX 6675	R\$:269,00
01	MPXV5700DP	R\$:79,80
02	MPXV5004DP	R\$:58,12
01	Barômetro	R\$:44,6
01	Reed switch	R\$:1,30
	Total	R\$:452,82

Fonte: Autor, 2019.

Como e visto nas Tabelas 9 e 10, a diferença entre os valores dos sensores são excessivamente grandes, por ser um mercado pequeno não houve evolução dos sensoriamentos do equipamento no mercado brasileiro, assim tornando os sensores analógicos uma escolha obrigatória para os equipamentos.

## 6 CONCLUSÕES

Utilizando a evolução dos sensoriamentos eletrônicos para a montagem de um protótipo que visa uma aquisição de dados em meios computacionais, onde é possível armazenar e qualificar todos dados analisados pelos sensores digitais, havendo um padrão definido para a aquisição dos dados, e assim diminuindo o erro possível.

A construção do protótipo com sensores dentro dos parâmetros da norma da ABNT NBR 12019/1990 foi possível graças a gama de sensores existentes no mercado de hoje, com a produção do protótipo foi possível comparar os dados com um equipamento existente além de demonstrar que os sensores digitais podem ter a mesma precisão ou serem mais precisos.

As medições feitas pelo protótipo evidenciam que os sensores digitais podem assumir o lugar dos sensores analógico existentes no equipamento assim constando que o custo benefício do uso dos sensores digitais é maior que os sensores analógicos, assim havendo um aquisição de dados do sensores por um computador ou até mesmo um armazenamento ou memória móvel como um cartão de memória.

Considerando que nos dias de hoje a informação é algo de grande valia, a aquisição e armazenamentos dos dados é de fato de grande importância para a indústria, métodos de análise manuais aumenta a chance do erro além de gerar adulteração involuntária, e com a digitalização do equipamento os valores lidos são valores armazenados e não substituíveis.

## REFERÊNCIAS

Balbinot, Alexandre V. J. Instrumentação e Fundamentos de Medidas vol.1. Rio De Janeiro: LTC, 2015.

Balbinot, Alexandre V. J. Instrumentação e Fundamentos de Medidas vol.2. Rio De Janeiro: LTC, 2015.

Robbins, Alla H., W. C. Análise de Circuitos Teoria e Prática. São Paulo: Cengage Learning, 2010

Brunetti, F. Mecânica dos Fluidos 2º ed. revisada. São Paulo: Person Prentice, 2008

Bruno, A. A poluição atmosférica e a importância do monitoramento da qualidade do ar, 2012. Dissertação de graduação - Centro Universitário de Caratinga, Caratinga, 2012.

Cassiolato, C.- Sensores de Pressão. Smar. Disponível em: <[www.smar.com/brasil/artigo-tecnico/sensores-de-pressao](http://www.smar.com/brasil/artigo-tecnico/sensores-de-pressao)>. Acessado em :08 de maio de 2019.

Funcionamento de um manômetro. Blog.instrusul. Disponível em: <<http://blog.instrusul.com.br/como-funciona-um-manometro/>>. Acessado em: 05 de Março de 2018.

Termopares. Ecil. Ecil. Disponível em:<<http://www.ecil.com.br/temperatura-industrial/termopares/>>. Acessado em: 20 de maio de 2019

Electronics, s. (). REED SWITCH. Disponível em:< [https://standexelectronics.com/wp-content/uploads/OKI\\_Reed\\_Switch\\_ORD213.pdf](https://standexelectronics.com/wp-content/uploads/OKI_Reed_Switch_ORD213.pdf)>. acessado em: 20 de maio de 2019

Evangelista, C. D., Grossi, F. M., & Carvalho, A. L. Abordagem quantitativa para cálculo da confiabilidade humana: um estudo de caso aplicado à indústria automobilística. Belo Horizonte, 2011.

Francine Heloisa Nicolussil, A. P. Poluição do ar e doenças alérgicas em escolas. Saúde Pública, 326-330, 2014.

Gama, P. S. Introdução à Ciência e Tecnologia de Vácuo. pp. 1-248, 2012.

Gómez, P. L. (). Ecv 5240 Instrumentação de Ensaios. Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <<http://labeee.ufsc.br/~luis/ecv4211/Apostilas/termopares.PDF>>. Acessado em: 20 de maio de 2019

Hung D. Young, R. A., Ford], [. A., Martins, t. C., & edi., r. t.-1. (2008). Física 2 : Termodinâmica e Ondas. São Paulo: PEARSON.

Jasinski, R., Pereira, L. A., & Braga, A. L. Poluição atmosférica e internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças e adolescentes em Cubatão, São Paulo, Brasil, entre 1997 e 2004, 2011.

Joinville. Capítulo 6 Medição de pressão. Joinville.udesc. Disponível em: <[www.joinville.udesc.br/portal/professores/.../Cap\\_6\\_Pressao\\_ale.pdf](http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/.../Cap_6_Pressao_ale.pdf)>. Acessado em: 09 de Maio de 2019

JOSÉ EDUARDO, D. A. Repercussões clínicas da exposição à poluição. J Bras Pneumol, 5-11, 2006.

I9.222, C. Dutos e chaminés de fontes estacionárias - determinação de da velocidade e vazão dos gases. São Paulo: [www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br), 1992.

Leão, P. F., & Kurokawa, S. (). Introdução a Medidas Elétricas. São Paulo: Unesp, 2019.

Paulo, U. d. Porta USP. Disponível em: <<https://portal.if.usp.br/labdid/sites/portal.if.usp.br/labdid/files/bombas.pdf>>. acessado em: 21 de maio de 2019.

Pinheiro, E. (). Ebay. Disponível em :< <https://www.ebah.com.br/content/ABAAABMpQAJ/pressao>>. Acessado em: 09 de junho de 2019.

Ribeiro, M. A. Instrumentação 8ª edição. Salvador: Tek Treinamento & Consultoria Ltda, 1999.

Zanini, P. R. HIDRÁULICA TEORIA E EXERCÍCIOS. pp. 13-14, 2016.

robu, robu in. disponível em:< <https://robu.in/product/atmega328p-pu-pdip-28-microcontroller/>> acessado em : 12 de novembro de 2019.

nei, *nei*.. Disponível em :< <https://www.nei.com.br/empresa/jonhis-instrumentos-de-medicao-ltda?id=1f803336-496c-4cc0-a142-139e5bbc0a9e> > acessado em : 06 de novembro de 2019.

instrucamp, instrucamp disponível em:< [https://www.instrucamp.com.br/index.php?src=produtos\\_categoria&categoria=11](https://www.instrucamp.com.br/index.php?src=produtos_categoria&categoria=11)> acessado em: 01 de novembro de 2019.

Vallo, *Omel*. Disponível em :< <http://www.omel.com.br/artigos-tecnicos/escola-de-bombas/bombas-de-vacuo-de-anel-liquido/como-funciona-uma-bomba-de-vacuo-de-anel-liquido/>> acessado em : 25 de outubro de 2019.


Guimarães, Mauro A dimensão ambiental na educação ambiental. São Paulo: Papirus editora, 1995.




## APÊNDICE A

Aqui são encontrados os certificados de calibração dos sensores do equipamento de coleta de gases por isocinética.

Figura 28: Certificado de calibração do manômetro de dupla coluna líquida



**AMBTECH SERVIÇOS ESPECIAIS LTDA**  
CNPJ: 03.580.260/0001-71 - INSC. EST. 062.059222.00-51



CRL 0001

---

RELATÓRIO DE ENSAIO

N° 619A19

Pág. 1/1

---

**Cliente:** Ecoamb Pesquisas Ambientais Ltda  
**Endereço:** Rua Camiloana, 32 Bairro Brasília CEP 32.600-292 Betim/MG  
**Serviço solicitado:** Ensaio de calibração de manômetro de coluna líquida

**Identificação do equipamento ensaiado**

Tipo: Manômetro de coluna líquida dupla      Marca: Dwyer      Capacidade: 0 a 250 mmH<sub>2</sub>O  
 Faixa ensaiada: 0 a 200 mmH<sub>2</sub>O      Código: ECO-0148.MAN.CL.05      Amostrador: 0148

**Informações básicas**

Data de execução do ensaio: ..... 10/06/2019      OS n°: 127/19  
 Temperatura, Pressão e Umidade Relativa local: ..... 19,5 °C, 62 % UR, 870 mbar

**Metodologia/Padrão empregado**

Método empregado: IT10 / Rev. 01  
 Padrão de referência: Manômetro Diferencial Gulton - Código: AT-TP10 - Faixa nominal: 0 - 199,99 mmH<sub>2</sub>O  
 Certificado n° E12747/18 RBC - CAL 0439 - Válido até jun/2020

**Resultados obtidos**

Vr (mmH <sub>2</sub> O)	Vi (mmH <sub>2</sub> O)		Desvio médio (mmH <sub>2</sub> O)		Incerteza (± mmH <sub>2</sub> O)	K
	Coluna A	coluna B	Coluna A	coluna B		
5,0	5,0	5,0	0,0	0,0	0,6	2,0
10,0	10,0	10,0	0,0	0,0		
25,0	25,0	25,0	0,0	0,0		
40,0	40,0	40,0	0,0	0,0	2,3	
50,5	50,0	50,0	-0,5	-0,5		
75,5	75,0	75,0	-0,5	-0,5		
100,5	100,0	100,0	-0,5	-0,5		
191,0	190,0	190,0	-1,0	-1,0		

A incerteza expandida apresentada é baseada no desvio padrão multiplicado pela constante K (fator de abrangência), para um nível de confiança de aproximadamente 95%.

Vi - Valor indicado no instrumento em teste. Coluna "A" - externa e Coluna "B" - interna.  
 Vr - Valor real obtido no instrumento de referência.

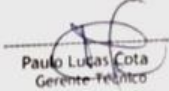
Nova Lima, 11 de junho de 2019


APROVADO

MP/ANO: 06/2019

VALIDADE: 06/2020

RESP: [Assinatura]

  
 Paulo Lucas Cota  
 Gerente Técnico




Este relatório atende aos requisitos de acreditação da Cgcre, que avaliou a competência do laboratório Ambtech

Os resultados apresentados neste documento têm significação restrita e se aplicam ao objeto detalhado, em questão.  
 A reprodução deste documento para outros fins só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração ou rasura.


Rua Hudson, 665 Bairro Jardim Canadá CEP 34.007-640 Nova Lima/MG Tel: 31-3288.3692



Figura 29: Certificado de calibração do indicador digital.



**AMBTECH SERVIÇOS ESPECIAIS LTDA**  
CNPJ 03.580.260/0001-71 - INSC. EST. 062.059222.00-51



---

**RELATÓRIO DE ENSAIO**

**Nº** 617A19

**Pág** 1/1

---

**Dados do cliente** Referência

Nome / Razão Social: Ecoamb Pesquisas Ambientais Ltda  
 Endereço: Rua Camiloana, 32 - Bairro Brasília - CEP 32.500-292 - Betim/MG  
 Serviço solicitado: Ensaio de calibração de conjunto medidor de temperatura de Caixa Quente

---

**Equipamento ou sistema ensaiado**

Descrição: Termopar tipo K da CXQ, cabos de compensação e indicador de temperatura Jonhis ICEJ-10  
 Código do termopar: ECO-0148-TERM CQ.05    Indicador: ECO-0148-IND TEMP 05    Amostrador: 0148

---

**Informações básicas**

Data do ensaio: 07/06/2019    Pressão atmosférica: 872 mbar    OS nº: 127/19  
 Temperatura ambiente: 15,5 °C    Umidade Relativa: 67 % UR

---

**Padrões de referência e método empregados**

Padrão	Código	Válido até	Certificado nº	Rastreabilidade
Calibrador Capto 10	AT-TE02	ago-19	0771-00018	RBC - CAL 225
Termoresistência PT100	AT-TE13	mar-21	1595/19	RBC - CAL 026
Forno Fluke	AT-CT-02	set-20	A424/2018	RBC - CAL 467

Método empregado: NBR 12020 de abr/1992 e Método CETESB E 16030 / IT09 Rev. 02

---

**Resultados obtidos:**

Meio utilizado	Temperatura obtida no medidor de referência (°C)	Temperatura obtida no conjunto medidor em teste (°C)	Desvio absoluto (%)	Média aritmética dos desvios (%)	Incerteza expandida (U) (+/- °C)
Banho de gelo	0,6	1	0,1	0,1	1,2
	0,6	1	0,1		
	0,6	1	0,1		
Ar ambiente	15,5	15	0,2	0,2	1,2
	15,5	15	0,2		
	15,5	15	0,2		
Forno	99,8	101	0,3	0,3	1,5
	99,8	101	0,3		
	99,8	101	0,3		


A incerteza expandida (U) é estimada para um nível de confiança de 95% e fator de abrangência K = 2  
 Ensaio realizado segundo o item 5.3 da NBR 12020 de abr/1992  
 Leituras no medidor em teste: sem correção ou ajuste do indicador de temperatura  
 Condição de aprovação: itens 5.3.4.3 f e 5.3.4.4 g e h da NBR 12020 - A média aritmética dos desvios deve ser < 1,5%

---

Nova Lima, 10 junho, 2019

MÉTODO: NBR 12020  
 VALOR: 06/2019  
 RESP: [assinatura]  
 [assinatura]

[assinatura]  
 Paulo Lucas Costa  
 Gerente Técnico



---

Este relatório atende aos requisitos de acreditação da Cgcre, que avaliou a competência do laboratório Ambtech  
 Os resultados apresentados neste documento têm significação restrita e se aplicam ao objeto detalhado, em questão.  
 A reprodução deste documento para outros fins só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração ou rasura.  
 Rua Hudson, 665 - Bairro Jardim Canadá - CEP 34.007-640 - Nova Lima/MG - Tel: 31-3288.3692