

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

RODNEY GOMES DA SILVA

**AQUISIÇÃO ELETRÔNICA DE DADOS DA PRESSÃO ESTÁTICA,
TEMPERATURA E VELOCIDADE DO AR EM UNIDADE PILOTO DE
TRANSPORTE PNEUMÁTICO UTILIZANDO PLACA MICROCONTROLADA**

SANTOS/SP

2021

RODNEY GOMES DA SILVA

**AQUISIÇÃO ELETRÔNICA DE DADOS DA PRESSÃO ESTÁTICA,
TEMPERATURA E VELOCIDADE DO AR EM UNIDADE PILOTO DE
TRANSPORTE PNEUMÁTICO UTILIZANDO PLACA MICROCONTROLADA**

Dissertação apresentada à Universidade Santa Cecília como parte dos requisitos para obtenção de título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, sob a orientação do Prof. Dr. Deovaldo de Moraes Júnior e do Prof. Dr. Aldo Ramos Santos.

SANTOS/SP

2021

Autorizo a reprodução parcial ou total deste trabalho, por qualquer que seja o processo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos.

621.51 Gomes da Silva, Rodney.
S583a Aquisição Eletrônica de Dados da Pressão Estática, Temperatura e Velocidade do Ar em Unidade Piloto de Transporte Pneumático utilizando Placa Microcontrolada / Rodney Gomes da Silva. - 2021.

81 p.

Orientador: Dr. Deovaldo de Moraes Júnior.

Coorientador: Dr. Aldo Ramos Santos.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Santa Cecília, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Santos, SP, 2021.

1. Pressão estática. 2. Temperatura. 3. Velocidade. 4. Transporte pneumático. 5. Arduino. I. De Moraes Júnior, Deovaldo, orient. II. Ramos Santos, Aldo, coorient. III. Aquisição Eletrônica de Dados da Pressão Estática, Temperatura e Velocidade do Ar em Unidade Piloto de Transporte Pneumático utilizando Placa Microcontrolada.

Elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas – Unisanta

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe, Artemiza Ramos da Silva, aos meus irmãos, Gláucio, Glauco, Gutemberg e Ruberlan Gomes da Silva e ao meu amigo, Cristiano Medina por todo apoio e forças nessa importante etapa da minha vida, por me incentivarem a aprender, sempre.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, porque é através dele, que nossos objetivos e conquistas são realizados e sem ele nada seria possível.

Aos meus orientadores e professores, Dr. Deovaldo de Moraes Júnior e Dr. Aldo Ramos Santos, por compartilharem seus conhecimentos, direcionamentos, dedicação, recomendações e retorno às dúvidas, disponibilizar o uso do laboratório para a instalação do Arduino, testes e realização dos ensaios experimentais e, principalmente, correções do texto, sempre com cordialidade e companheirismo em nossas discussões sobre o desenvolvimento do trabalho.

À Professora Dra. Marlene Silva de Moraes e ao Professor Dr. Vitor da Silva Rosa, pelas orientações e eventuais dúvidas que foram esclarecidas.

Aos estagiários voluntários do Laboratório de Operações Unitárias da UNISANTA, Aline, Caroline, Daniel, Eliane, Flávia, Hugo, Lucas, Mariana, Pedro Henrique, Rodrigo, Vitor, Wilson, Luiz, Beatriz e aos técnicos Vitor, Volnei e Álvaro pela atenção e ajuda nos experimentos na operação da unidade piloto.

Ao amigo, Cristiano Medina, com toda a sua sugestão, contribuição e apoio necessário na aplicabilidade através do Microcontrolador Arduino.

Aos colegas mestrandos da UNISANTA, pelos momentos de convívio e de colaboração mútua na busca dos objetivos acadêmicos.

A todo corpo docente do programa de Mestrado de Engenharia Mecânica da UNISANTA, que sabiamente contribuíram para minha formação e à equipe da secretaria, especialmente, à Sra. Sandra e à Sra. Imaculada, pelo respeito, apoio, profissionalismo, atendimento e atenção durante toda as etapas desse Mestrado.

A todos aqueles que me esqueci de referenciar, mas que foram importantes na minha vida, o meu muito obrigado.

RESUMO

O sistema de transporte pneumático consiste de um ou mais tubos pelos quais sólidos são deslocados por ar ou por vácuo. Tem como função transportar produtos ou matérias-primas (pó ou grânulo) de uma origem até um ou mais pontos, onde são utilizadas pressões alta ou, baixa para que ocorra o transporte de materiais. A unidade experimental de transporte pneumático na escala piloto do laboratório de testes de uma universidade não possuía aquisição de resultados de forma eletrônica e, por conseguinte, exigia vários profissionais para a sua operação. Com isso, a pesquisa teve como objetivo geral criar um sistema eletrônico para obter esses resultados de forma mais rápida por meio de uma placa microprocessada. Os objetivos específicos foram criar um sistema de sensoriamento e comparar os valores obtidos de forma eletrônica com os coletados manualmente da pressão estática, velocidade do ar, rotação do alimentador de sólido, temperatura e umidade do ar. Foram realizadas calibrações no código-fonte dessa programação para as leituras supracitadas em um total de 14 parâmetros de variáveis físicas com indicação digital em uma tela LCD *touch*. O sistema desenvolvido permitiu a coleta dos resultados experimentais da planta piloto de forma rápida e eficiente criando uma potente estação de múltiplos sensores.

Palavras-chave: Pressão estática. Temperatura. Velocidade. Transporte pneumático. Arduino.

ABSTRACT

The pneumatic transport system consists of one or more tubes throughout solids are transported by air or vacuum. This kind of transportation system allows to take solids from one point to another. According to solids characteristics fed in the system, the processes conditions could vary, such, as air pressure and air speed. For this, it necessary to carry out experiments in a representative pilot scale to determine the best transportation conditions. The university' experimental unit, which one allow to simulate the pneumatic system in a small scale, did not have an electronic acquisition system to measure, treat and store the data generated during the experiments. Because it, it was necessary a high number of people to do it manually. In order to solve this problem, this study proposes an Arduino microcontroller device. The data were obtained manually and electronically by Arduino microcontroller and both compared. The processes parameters evaluated were static pressure, air speed, solid feed rotation, air temperature and air moisture in a total of 14 parameters of physical variables. It was executed some calibrations in software's font code to allow to show data in an LCD screen. This approach brings about and fast data during experiments in the pneumatic pilot plant in the form of a powerful multi-sensor station.

Key-words: Static pressure. Temperature. Speed. Pneumatic transport. Arduino.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Transporte pneumático em fase densa.....	16
Figura 2 – Transporte pneumático em fase diluída.....	17
Figura 3 – Transporte pneumático.	18
Figura 4 – Transporte por correias.....	19
Figura 5 – Transporte por caçamba.	20
Figura 6 – Transporte helicoidal.....	20
Figura 7 – Indústria de cimento.....	22
Figura 8 – Indústria de panificação e alimentícia.....	24
Figura 9 – Indústria de cervejaria e destilados.....	25
Figura 10 – Polietileno.....	26
Figura 11 – Unidade piloto de transporte pneumático.	29
Figura 12 – Mecanismo de acionamento do sistema:.....	30
Figura 13 – Potenciômetro controlador da válvula rotativa.	30
Figura 14 – Projeto inicial.....	31
Figura 15 – Circuito eletrônico instalado ao lado do medidor de pressão (piezômetro).	32
Figura 16 – Sensor de Pressão MPS20N0040D-D.....	32
Figura 17 – Esquema eletrônico.	33
Figura 18 – Sensor de Obstáculo Infravermelho IR – KY – 032.	34
Figura 19 – Sensor de Temperatura e Umidade DHT22.	36
Figura 20 – Módulo Conversor Célula de Carga - HX711.....	37
Figura 21 – Duto nos pontos 1 e 2.....	38
Figura 22 – Arduino MEGA 2560.	39
Figura 23 – Microcontroladora com seus módulos, sensores e display LCD <i>touch</i> ...40	
Figura 24 – Diagrama de ligações: (A) Arduino MEGA 2560, (B) Tela LCD TOUCH, (C) Módulos conversores de células de cargas, (D) Fonte de Alimentação, (E) Sensor de Pressão e (F) PCB ilhada (Placa de Circuito Impresso).	42
Figura 25 – Arduino MEGA no circuito eletrônico.	42
Figura 26 – Fonte de Alimentação 9V.....	43
Figura 27 – Anemômetro instalado no bocal de sucção.	44
Figura 28 – Sensor de Pressão MPS20N0040D-D nas mangueiras.....	45
Figura 29 – Sensor de pressão com os Módulos Conversores de Células de Cargas -	

HX711	45
Figura 30 – Mangueiras conectadas no pontos 1 e 2 de acrílico com diâmetro interno de 117mm para as leituras dos sensores de pressão de ar DIP (mmca) com os seus Módulos Conversores de Células de Cargas - HX711 para obtenção da velocidade de ar (m/s)	46
Figura 31 – Sensor de rotação (rpm) com o disco de rotação acoplado no motor	46
Figura 32 – Sensor de temperatura e umidade.....	47
Figura 33 – Potenciômetro no ponto intermediário – Frequência = 20Hz.....	50
Figura 34 – Potenciômetro no ponto intermediário – Frequência = 25Hz. Acúmulo de polietileno.	53
Figura 35 – Potenciômetro no ponto intermediário – Frequência = 30Hz. Polietileno deslocado na parte inferior do duto horizontal.	53
Figura 36 – Potenciômetro no ponto intermediário – Frequência = 35Hz. Polietileno deslocado com pouco material na parte inferior do duto.	54
Figura 37 – Pressão estática em função da velocidade.....	58
Figura 38 – Comparação do sensor digital de velocidade com o anemômetro.	58
Figura 39 – Comparação do sensor digital de rotação com o tacômetro.....	59
Figura 40 – Comparação do sensor digital de temperatura e umidade do ar com o termômetro calibrado.	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características elétricas da Fonte de Alimentação	43
Tabela 2 – Verificação das pressões estáticas (mmca) com uma escala de 30cm ou 300mm com suas frequências aferidas no inversor de frequência (Hz) com ar.	48
Tabela 3 – Leituras nos sensores digitais (mmca) com ar.....	48
Tabela 4 - Comparação dos resultados experimental com o digital das Tabelas 2 com 3.	49
Tabela 5 – 1º ensaio: Verificação das pressões estáticas (mmca) com uma escala de 30cm ou 300mm com suas frequências aferidas no inversor de frequência (Hz) e no potenciômetro no ponto intermediário com polietileno.....	50
Tabela 6 – 1º ensaio: Leituras nos sensores digitais no potenciômetro no ponto intermediário com polietileno.....	50
Tabela 7 - Comparação dos resultados experimental com o digital das Tabelas 5 com 6.	51
Tabela 8 – 2º ensaio (duplicata): Verificação das pressões estáticas (mmca) com uma escala de 30cm ou 300mm com suas frequências aferidas no inversor de frequência (Hz) e no potenciômetro no ponto intermediário com polietileno.....	51
Tabela 9 – 2º ensaio (duplicata): Leituras nos sensores digitais no potenciômetro no ponto intermediário com polietileno.....	52
Tabela 10 - Comparação dos resultados experimental com o digital das Tabelas 8 com 9.	52
Tabela 11 – 1º ensaio: Verificação das pressões estáticas (mmca) com uma escala de 30cm ou 300mm com suas frequências aferidas no inversor de frequência (Hz) e no potenciômetro máximo com polietileno.	54
Tabela 12 – 1º ensaio: Leituras nos sensores digitais no potenciômetro máximo com polietileno.	55
Tabela 13 - Comparação dos resultados experimental com o digital das Tabelas 11 com 12.....	55
Tabela 14 – 2º ensaio (duplicata): Verificação das pressões estáticas (mmca) com uma escala de 30cm ou 300mm com suas frequências aferidas no inversor de frequência (Hz) e no potenciômetro máximo com polietileno.	56
Tabela 15 – 2º ensaio (duplicata): Leituras nos sensores digitais no potenciômetro máximo com polietileno.....	56

Tabela 16 - Comparação dos resultados experimental com o digital das Tabelas 14 com 15.....	57
Tabela 17 – Verificação das pressões estáticas P1 e P2 (mmca), diferença da perda de carga ΔP (mmca), frequência F (Hz) e a velocidade de entrada do anemômetro V (m/s).	57
Tabela 18 - Comparação das temperaturas.....	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	–	Área da seção transversal do tubo
CPU	–	<i>Central Process Unit</i>
DC	–	<i>Direct Current</i>
DIP	–	<i>Dual In-line Package</i>
12	–	<i>Hertz</i>
IDE	–	<i>Integrated Development Environment</i>
IN	–	<i>Input</i>
IR	–	<i>Infrared</i>
MB	–	<i>MegaByte</i>
MMCA	–	Milímetro de coluna de água
LED	–	<i>Light Emitting Diode</i>
LCD	–	<i>Liquid Crystal Display</i>
OUT	–	<i>Output</i>
P	–	Pressão
PWM	–	<i>Pulse Width Modulation</i>
RAM	–	<i>Random Access Memory</i>
RPM	–	Rotações por Minuto
KB	–	<i>Quilobyte</i>
KPa	–	Quilopascal
V	–	Velocidade média
Δp	–	Diferença de pressão

LISTA DE SÍMBOLOS

A	–	Sinal analógico
A_r	–	Área da seção transversal do tubo de recalque
A_s	–	Área da seção transversal do tubo de sucção
°C	–	Grau Celsius
D	–	Sinal digital
°F	–	Grau Fahrenheit
K	–	<i>Kelvin</i>
P	–	Pressão do ar
RX	–	Recebe dados
TX	–	Transmite de dados
V_r	–	Velocidade média no recalque
V_s	–	Velocidade média na sucção medida pelo anemômetro
V	–	Velocidade do ar
ρ	–	Massa específica do ar
μ	–	Micro
Ω		Ohms

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1. GENERALIDADES.....	15
1.2. TIPOS DE POLIETILENO E SUAS APLICAÇÕES.....	26
1.3. NECESSIDADE DE ENSAIOS EXPERIMENTAIS.....	27
1.4. OBJETIVO GERAL.....	28
1.5. OBJETIVO ESPECÍFICO.....	28
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	29
2.1. UNIDADE EXPERIMENTAL.....	29
2.1.1. Montagem do protótipo.....	31
2.1.2. Sensores de pressão diferencial.....	32
2.1.3. Sensor de Obstáculo Infravermelho IR – KY – 032 (rotação).....	34
2.1.4. Sensor de temperatura e umidade.....	35
2.1.5. Módulos conversores de células de cargas.....	37
2.1.6. Velocidade de Ar.....	38
2.1.7. Microcontrolador Arduino.....	38
2.1.8. Fonte de alimentação.....	42
2.2. MÉTODOS.....	43
2.2.1. Seleção dos sensores de pressão.....	44
2.2.2. Calibração dos sensores de pressão (mmca).....	45
2.2.3. Calibração dos sensores de pressão para obter a velocidade do ar (m/s).....	45
2.2.4. Calibração do sensor de velocidade de rotação (rpm).....	46
2.2.5. Calibração do sensor de temperatura e umidade do ar.....	46
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
4. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS.....	61
4.1. CONCLUSÃO.....	61
4.2. TRABALHOS FUTUROS.....	62
5. VERSÃO COMPACTA.....	63
REFERÊNCIAS.....	64
APÊNDICE A - CÓDIGO DO ARDUINO.....	68

1. INTRODUÇÃO

1.1. Generalidades

Neste mundo cada vez mais moderno, o Homem vem contribuindo com a sua inteligência e dedicação através de novas pesquisas buscando algo melhor através da inovação para todos nós e com isso, contribuir com o apoio das tecnologias através de um mundo sustentável (MALAQUIAS, 2011).

Muito tempo atrás, existia automação em processos de mecanização na qual o Homem eram substituídos por máquinas nas linhas de produção. Com o decorrer do tempo, precisava da capacidade humana para raciocinar e com isso, surgiram dispositivos eletrônicos para armazenar dados, lê informações e processar as mesmas para agir com ações em um ambiente no qual deveria ser totalmente controlado através da automação de máquinas e os processos não dependeria muito do esforço físico humano para tomar suas decisões (MALAQUIAS, 2011).

Sabemos que certas atividades humanas não foram automatizadas, mas, com certeza absoluta, na economia mundial, o surgimento da automação está sendo cada vez mais importante e urgente nas indústrias. Com o surgimento da Internet das Coisas (IoT), milhões de dispositivos estão conectados no mundo inteiro automatizando muitos equipamentos eletrônicos através da automação e percebemos isso hoje em dia em nosso cotidiano (MALAQUIAS, 2011).

Com o avanço da automação e Inteligência Artificial (IA), há muitos questionamentos sobre gerar desempregos em massa no mundo inteiro por causa das mesmas, porém, com um sistema automático implantando nas indústrias ajuda em muito a mão de obra através de uma qualificação profissional para seus funcionários nos setores das empresas que têm estas tecnologias nas mesmas. Portanto, a automação nos processos industriais tem como grandes objetivos conseguir alta produtividade, excelência em qualidade, crescer a flexibilidade e principalmente, reduções de custos na linha de produção nas empresas. É claro que precisa de muito investimento em automação para sua implantação e manutenção frequente e até, de força humana no seu dia a dia, mas, torna-se viável um conhecimento prévio de todo projeto a ser desenvolvido nas empresas identificando seus pontos positivos e negativos (MALAQUIAS, 2011).

O transporte de sólidos é uma operação unitária de grande importância nas indústrias, a qual visa a movimentação de sólidos granulares ao longo das áreas de produção (SCHEIBEL, 2018).

Já o transporte pneumático pode-se empregar ar ou gases para deslocar partículas no interior dos dutos (TAVARES, 2014).

É comumente dividido em fase densa com volume superior a 30% de sólido e fase diluída abaixo de 1% (PAIXÃO, 1995).

O Transporte pneumático em fase densa trata-se de uma pequena quantidade de ar para movimentar uma grande quantidade de sólidos a granel de forma palpitante em porções através da linha de transporte, contém baixas velocidades que são utilizadas na faixa entre 0,2-5,0 m/s e com alta pressão > 43psi e pode ser o método mais confiável e eficiente para a manipulação de uma grande variedade de sólidos secos a granel adequado (LIMA., 2020).

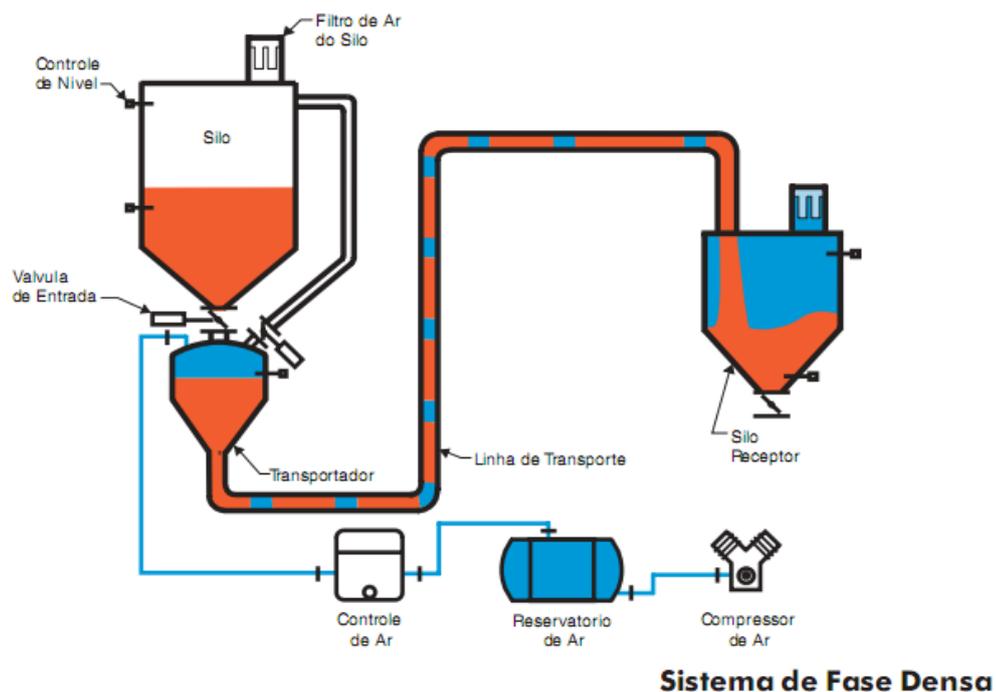


Figura 1 – Transporte pneumático em fase densa

Fonte: www.engquimicasantosp.com.br

Os sistemas pneumáticos em fase diluída contêm baixa pressão \cong 14psi e

utilizam grande quantidade de ar para remover quantidades relativamente pequenas de material em uma suspensão a altas velocidades entre 10-30 m/s, sopradores e/ou ventiladores.

Com essa baixa velocidade de transporte resulta em uma manipulação mais sensível dos sólidos altamente que não toleram degradação. Para muitos materiais frágeis, granulares ou cristalinos, não existe processo mais adequado (LIMA, 2020).

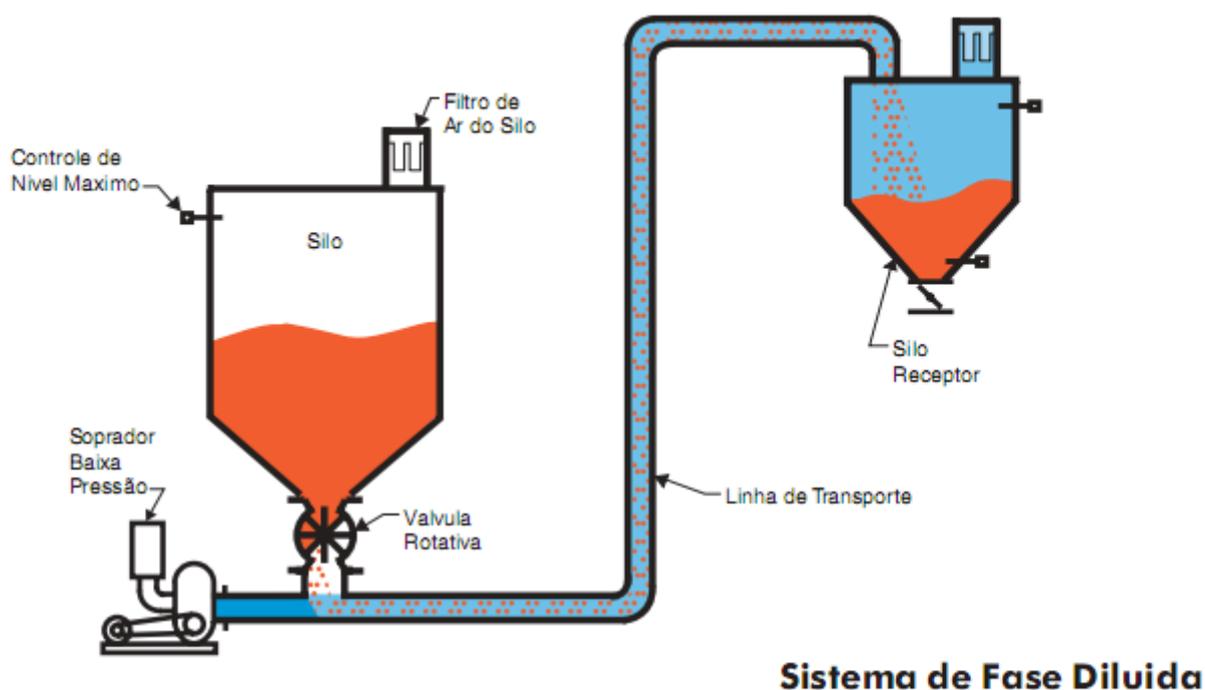


Figura 2 – Transporte pneumático em fase diluída

Fonte: www.engquimicasantosp.com.br

As principais vantagens no transporte de partículas são (MARCUS, 2010; SILVA, 2005):

- a) Não possui contato e ação do ambiente e de tempestade devido a quase nenhum risco de contaminação;
- b) Sistema flexível com dutos verticais, horizontais e inclinados;
- c) Instalação e de manutenção com baixo investimento;
- d) Transporta diversos tipos de materiais no qual suas propriedades sejam parecidas;

- e) Automação simples;
- f) Facilidade de limpeza.

Suas desvantagens são (MARCUS et al, 2010; STOESS, 1970):

- a) Consome muita energia elétrica;
- b) Provoca desgaste principalmente nas curvas e nas partes inferiores dos dutos;
- c) Pode causar deterioração dos sólidos que são transportados;
- d) Deslocam sólidos comumente à distâncias inferiores a 1000m;
- e) Operam em um único sentido para transportar os materiais.

Portanto, nesses sistemas de transporte pneumático são deslocadas partículas finas em distâncias pequenas por causa do seu alto consumo de energia elétrica com procedimento de 400 toneladas/hora, distâncias inferiores a 1000m com partículas de diâmetros menores a 10 mm (MARCUS et al, 2010).



Figura 3 – Transporte pneumático.

Equipamentos para transporte de grãos são altamente empregados nas indústrias responsáveis pelo beneficiamento e processamento de grãos. Existem vários tipos de transportadores, cada um com características distintas em função do tipo de transporte, ou seja, horizontal, vertical ou inclinado dos grãos. Dentre

os equipamentos mais comuns encontrados citam-se o elevador de caçambas, correia transportadora e a transportador helicoidal (POHNDORF et al., 2016).

No transporte por correia transportadora ou fita transportadora horizontal, com mecanismo que possibilita a sua inclinação, o seu funcionamento é realizado através de uma correia sem fim posicionada entre dois tambores. Através da rotação dos mesmos a correia adquire movimento fazendo o transporte do produto (POHNDORF et al., 2016).

Os sistemas de transporte com correias são largamente utilizados em muitas indústrias como parte principal nas suas linhas de produções. O seu simples funcionamento e com alta eficiência, fazem das correias transportadoras uma escolha certa na indústria. Porém, estes sistemas também têm os seus problemas que devem ser investigados e solucionados (ROCHA, 2020).

Sendo assim, o seu rebentamento de correias gera um alto custo, causando um enorme atraso na linha de produção através de constantes paragens e interrupções dos técnicos de manutenção. Portanto, todos estes fatores motivaram o estudo de uma nova solução, que passa pelo estudo dos princípios de funcionamento dos elementos constituintes de um sistema de transporte com correias, o movimento lateral destas ao longo do seu percurso e os sistemas de guiamento existentes de forma a corrigir o problema do descentramento. Depois de citados para uma nova solução, baseada num sistema de guiamento de um sistema de transporte com correias, este foi desenvolvido e caracterizado, assim como o seu impacto na produção (ROCHA, 2020).



Figura 4 – Transporte por correias

Fonte: https://sc01.alicdn.com/kf/HTB10mXvSVXXXayXXXXq6xXFXXG.jpg_350x350.jpg

O elevador de caçambas é um transportador vertical, constituído

basicamente por uma correia circular acionada por uma polia (tambor) superior e outra inferior. Na correia são dispostas caçambas para o carregamento dos grãos (POHNDORF et al.,2012).



Figura 5 – Transporte por caçamba.
Fonte: ftp.ufv.br

Com o transportador helicoidal, o transporte horizontal ou inclinado dos grãos é feito através de um helicóide ou rosca sem fim com movimento giratório sobre uma calha. Os grãos são transportados por (POHNDORF et al.,2012).



Figura 6 – Transporte helicoidal.
Fonte: <https://www.cobrimetal.com.br/rosca-transportadora-helicoidal>

Utilizado para transportar materiais graneleiros em indústrias, o transporte pneumático industrial é formado por um compressor, rede de dutos e válvulas, podendo ser anexado ao sistema um filtro de mangas. Quando há pó proveniente de

algum processo ou mesmo o material a ser processado, o sistema de transporte pneumático industrial realiza o transporte deste material até o local desejado.

Por não necessitar transportadores mecânicos, como correia transportadora ou transportador helicoidal, ou por corrente ou por outro tipo que entre em contato diretamente com o material a ser transportado, o mesmo realiza o contato com o produto através do fluido (ar) como meio de transporte.

Segundo (MILMAN, 2002), a capacidade de processamento de uma Unidade de Beneficiamento de Grãos poderá ser profundamente prejudicada quando os equipamentos de movimentação dos grãos forem mal dimensionados ou mal selecionados, visto que estes normalmente são equipamentos intermediários e responsáveis pelo escoamento do produto (POHNDORF et al., 2016).

Muito utilizado em indústrias que necessitam reaproveitar e minimizar o tempo do material coletado em um filtro de mangas e, ser enviado a um processo seja de beneficiamento ou de queima do pó, ele tem grande versatilidade e qualidades que fazem os usuários optarem por este sistema. Além de tornar um sistema passível de erros, realizar o monitoramento automatizado e confiável, o mesmo substitui o trabalho manual de descarte do material do filtro ou de alimentação de uma máquina de processamento do material e até para coleta de amostras.

Ele é muito utilizado em indústria madeireira, graneleira, portuária, de transbordo, cimenteiras, alimentícia, farmacêutica e outras diversas, as quais precisam transportar pequenos volumes de grãos, poeira, cavacos de madeira e metais a grandes distâncias ou por trajetos sinuosos, com movimentação contínua e que possa ser transportado pela resistência do ar.

As formas de definir o mesmo são feitas por fase diluída ou fase densa, por pressão positiva ou negativa. Analisa-se o comportamento do material e parte para o dimensionamento da linha e do equipamento, prevendo as perdas do sistema. A velocidade e a diluição do volume de material influenciam na pressão e na vazão respectivamente, para o pleno funcionamento do sistema (CORBARI, 2020).

O processo de fabricação do cimento é praticamente o mesmo em todo mundo, diferindo-se apenas na tecnologia e automação (LEITE, 2011).



Figura 7 – Indústria de cimento
Fonte: www.cimentoitambe.com.br

O processo divide-se em cinco etapas principais, são elas, mineração, moagem de cru, clinkerização, moagem de cimento e ensacamento e expedição (LEITE, 2011).

Na Mineração, é o processo de extração da matéria-prima necessária para a produção do cimento. É realizado um estudo do solo através da coleta de materiais onde traça-se um perfil químico do calcário existente na mina. Esse calcário é classificado de acordo com o óxido presente, Calcário Calcítico – alto teor de CaO e Calcário Dolomítico – alto teor de MgO (LEITE, 2011).

Na moagem de cru, através de uma máquina chamada de Retomador, o calcário é coletado a partir da base da pilha, realizando uma pré-homogeneização, na sequência é armazenado em moegas distintas em razão da composição química da pilha da qual foi o calcário foi retomado (LEITE, 2011).

Na clínquerização, consiste na retirada da farinha dos silos através de um sistema de aeração, ela é levada para as torres de ciclone onde recebe calor através de um sistema de exaustores. Durante essa passagem ocorrem algumas reações químicas devido o aquecimento, ao atingir 100°C ocorre a evaporação da água e acima de 500°C ocorre a deshidroxilação dos argilomineais (LEITE, 2011).

Na moagem do cimento, são adicionados insumos (gesso, escória de alto forno, calcário, filler, etc) ao clínquer, de acordo com o cimento que se deseja produzir. Esses insumos passam por balanças dosadoras que definem a quantidade a ser injetada junto ao clínquer. Essa mistura é levada ao moinho de bolas onde é moída a uma temperatura controlada menor que 128°C, para que não ocorra a desidratação do gesso. O resultado dessa mistura é o cimento (LEITE, 2011).

No ensacamento e expedição, o cimento é transportado por aerotransportadoras para os silos de cimento. Dos silos de cimento é ensacada ou vendida a granel em caminhões (LEITE, 2011).

Nem todo sistema de transporte pneumático é direcionado para o transporte de um único produto. Há frequentemente a necessidade para um sistema que transporta uma variedade de produtos e materiais diferentes. Nas indústrias de alimentos por exemplo, há uma variedade imensa de materiais e produtos que podem ser utilizado o transporte pneumático para otimizar e reduzir custos na manipulação de materiais no processo de produção. Dependendo das características físicas dos materiais, podem ser utilizados os dois sistemas de transportes, ou seja, fase densa para transporte em baixa velocidade ou fase diluída em que os materiais podem ser transportados em altas velocidades do ar, pelas linhas tubulares. Produtos como, farinha de trigo, açúcar cristal, podem ser transportados pelo mesmo sistema de linha tubular devido suas características físicas bem próximas. A farinha de trigo pode ser transportada em fase densa com baixa pressão de ar. O açúcar cristal só é vantajoso no sistema de fase diluída, mas com uma velocidade de ar maior porém, com a mesma pressão utilizado na farinha de trigo. (GUSMÃO, 2016).



Figura 8 – Indústria de panificação e alimentícia
Fonte: www.pt.dreamstime.com

A cerveja, produto tradicionalmente aceito e em evidência por milhares de anos, pode ser definida como sendo uma bebida carbonatada de baixo teor alcoólico, preparada a partir da fermentação do malte de cevada, contendo lúpulo e água, podendo ainda utilizar outras matérias-primas como arroz, trigo ou adjuntos (ALTISSIMO, 2016).

Estima-se que o homem começou a utilizar bebidas fermentadas há 30 mil anos. Estudos indicam que a produção da cerveja teve seu início por volta de 8000 a.C. Na Antiguidade, difundiu-se lado a lado com as culturas de milho, centeio e cevada, entre os povos da Suméria, Babilônia e Egito. Também foi produzida por gregos e romanos (AQUARONE, 2013). O setor cervejeiro produziu, em 2015, segundo dados da CervBrasil (2016), 14,1 bilhões de litros de cerveja, gerando um faturamento na ordem de R\$ 70 bilhões, com uma

geração de tributos de aproximadamente R\$ 21 bilhões, empregando cerca de 2,2 milhões de pessoas e movimentando uma cadeia produtiva responsável por 1,6 % do PIB (Produto Interno Bruto) do país (ALTISSIMO, 2016).

O processo de produção da cerveja , alguns componentes acabam sendo agregados à cerveja, e, se não forem eliminados durante o processo produtivo, podem afetar tanto a qualidade do produto final quanto a saúde do consumidor (ALTISSIMO, 2016).



Figura 9 – Indústria de cervejaria e destilados.

Fonte: www.goronah.blog.br

As características físicas ou químicas dos sólidos podem dificultar a sua movimentação como volume, grau de higroscopicidade e friabilidade (SILVA, 2005):

O polietileno, um dos sólidos comumente deslocados nas unidades de transporte pneumático, é um polímero parcialmente cristalino, flexível, cujas propriedades são originadas pela quantidade relativa das fases simples e cristalina. As menores unidades cristalinas são planas, consistem em cadeias com ângulo reto ao plano da cadeia principal e dobradas em curvas, para cada 5 a 15nm, embora haja pequenos defeitos (COUTINHO et al., 2003).

No Brasil, o polietileno ganhou um olhar diferente no seu volume e na sua qualidade, obtendo maior oferta, melhor desempenho e elevada produtividade para a indústria. As poliolefinas englobam quase 60% da meta mundial de termoplásticos (polímero que com sua temperatura alta, sua maleabilidade aumenta, chegando a um ponto semelhante ao de materiais fundidos), onde os polietilenos se encaixam no patamar dos 40%. No Brasil, as poliolefinas representam cerca de 65%, dos quais 43% correspondem aos polietilenos (COUTINHO et al., 2003).



Figura 10 – Polietileno

Fonte: <https://mundodoplastico.plasticobrasil.com.br/oportunidades/pebd-pead-e-pelbd-caracteristicas-e-indica-es-de-cada-polietileno>

1.2. Tipos de Polietileno e suas aplicações

Existe cinco tipos diferentes de polietileno que podem ser produzidos (COUTINHO et al., 2003):

a) Polietileno de baixa densidade (PEBD): é aplicado em filmes para embalagens industriais e agrícolas, de alimentos líquidos e sólidos, laminados e plastificados para alimentos, para produtos farmacêuticos e hospitalares, brinquedos e utilidades domésticas, revestimento de fios e cabos, tubos e mangueiras.

b) Polietileno de alta densidade (PEAD): é utilizado em diferentes segmentos da indústria de transformação de plásticos, mais duro e resistente que o PEBD e é

mais flexível e transparente. É utilizado na fabricação de tampas de rosca rígida e o PEBD na de tampas sem rosca, porém flexíveis.

c) Polietileno linear de baixa densidade (PELBD): é utilizado em filmes para uso industrial, fraldas descartáveis e absorventes, lonas em geral, brinquedos, artigos farmacêuticos e hospitalares, revestimento de fios e cabos.

d) Polietileno de ultra alto peso molecular (PEUAPM): é muito resistente a uma quantidade de produtos químicos, indicado para uso em ambientes corrosivos sob controle de temperaturas. No caso de temperaturas elevadas, só é afetado por oxidantes fortes, como ácido nítrico. Utilizado em aplicações industriais quando a temperatura ambiente não ultrapassar 80 °C.

e) Polietileno de ultrabaixa densidade (PEUBD): seu principal uso é como resina modificadora, principalmente para polietileno de alta (PEAD) e baixa (PEBD) densidades e polipropileno (PP). Sua adição aos polietilenos e ao polipropileno melhora a resistência do impacto, a flexibilidade e a resistência desses polímeros.

1.3. Necessidade de ensaios experimentais

O transporte pneumático exige um pré-requisito para sua aplicação, como pressão, velocidade e quantidade do fluxo de ar necessário para o carregamento do sólido a ser transportado; a potência exigida; e as características físicas do sólido transportado, pois influenciam na atuação desse equipamento (MAGALHÃES, 2003).

Um dos grandes problemas dessa operação unitária é a degradação da parte inferior da tubulação. A velocidade do gás, o diâmetro da partícula e da tubulação, o tipo e a forma da partícula influenciam no transporte pneumático em função desse grande número de variáveis, são realizados ensaios experimentais para cada sólido visando o desperdício de energia elétrica, degradação dos sólidos e curvas, joelhos e têes. Velocidades de ar baixas acarretam desgaste do equipamento e sucessivas paradas da unidade de processo para eventuais substituições de linhas por causa do carregamento das partículas ao longo da parte inferior da tubulação (SANTOS, 2009; MORAES, 2012). A precisão e a velocidade de coleta dos resultados dos ensaios

experimentais são relevantes para o aperfeiçoamento das unidades de transporte pneumático.

1.4. Objetivo Geral

O presente trabalho teve por objetivo principal fazer as leituras digitais na unidade piloto de transporte pneumático utilizando sensores.

1.5. Objetivo Específico

a. Criar um sistema de sensoriamento acessível através de uma placa microcontroladora, uma tela LCD *Touch*, 12 módulos conversores de células de cargas, 14 sensores, um case, uma fonte de alimentação e elaborar um código programável para as leituras digitais.

b. Obter as leituras digitais dos sensores de pressão, temperaturas, umidade, velocidade do ar e de rotação.

c. Comparar os resultados obtidos de forma eletrônica com os coletados manualmente na unidade do piloto de transporte pneumático utilizando grãos de polietileno disponíveis no Laboratório de Operações Unitárias da Universidade Santa Cecília.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Unidade experimental

A unidade piloto de transporte pneumático utilizado para esta pesquisa, representada na Figura 11, foi projetada e instalada no Laboratório de Operações Unitárias da Universidade Santa Cecília.

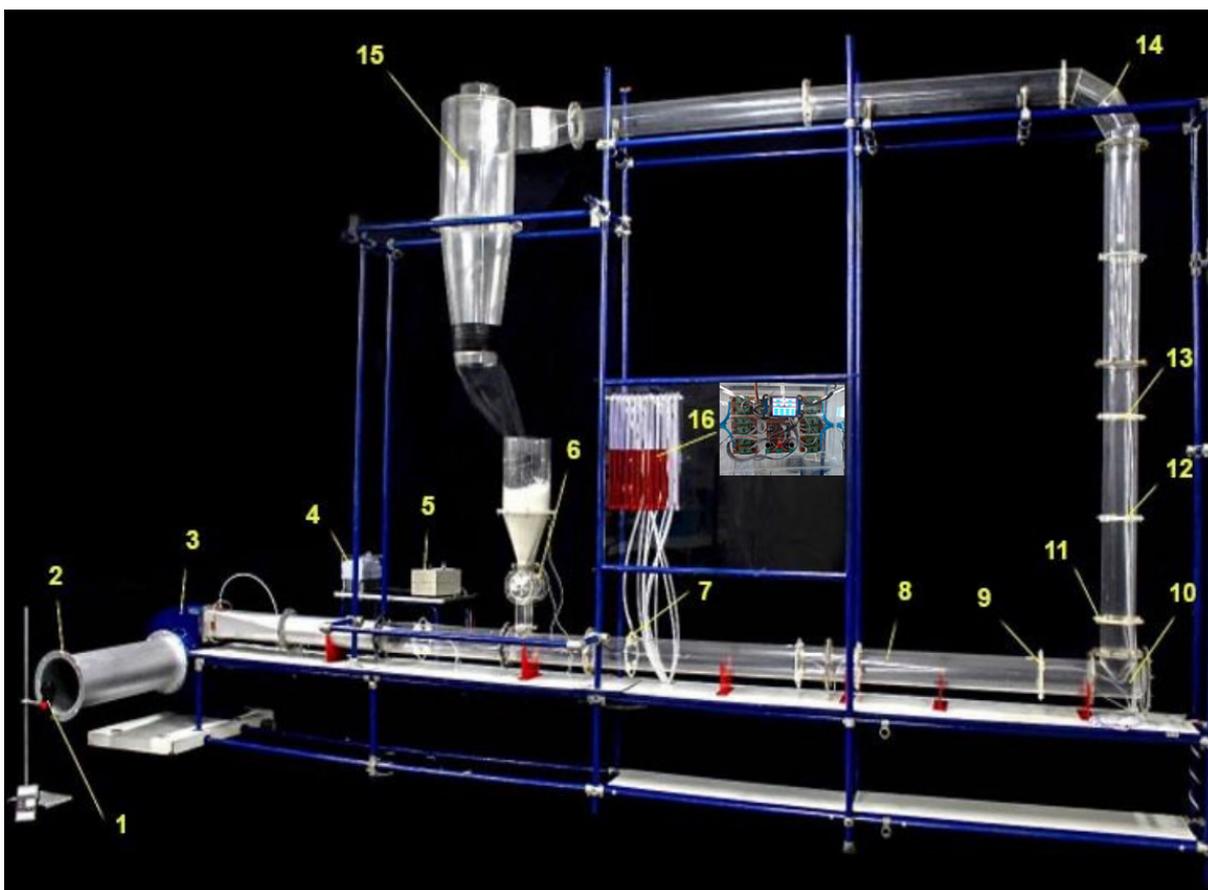


Figura 11 – Unidade piloto de transporte pneumático.

1) anemômetro digital; 2) tubo de sucção com diâmetro interno de 217 mm; 3) ventilador centrífugo de pás semiabertas com diâmetro de 238 mm; 4) inversor de frequência que controla energia ao motor elétrico; 5) potenciômetro controlador da válvula de alimentação; 6) alimentação de sólido composta por silo e válvula rotativa; 7) tomada de pressão após a alimentação de sólido; 8) tubo de recalque em acrílico de 117 mm de diâmetro interno; 9) tomada de pressão a montante da singularidade; 10) Tê saída de lado; 11, 12 e 13) tomadas de pressão a jusante da singularidade; 14) curva de 90° em gomos; 15) ciclone; 16) banco de manômetros de tubo em “U” ligados às tomadas de pressão.

Fonte: De Castro (2015 e p. 30)

Apresenta-se na Figura 12, o inversor de frequência, um motor elétrico de 0,75 hp, um sistema formado de correia e polias e um ventilador centrífugo de pás semiabertas.

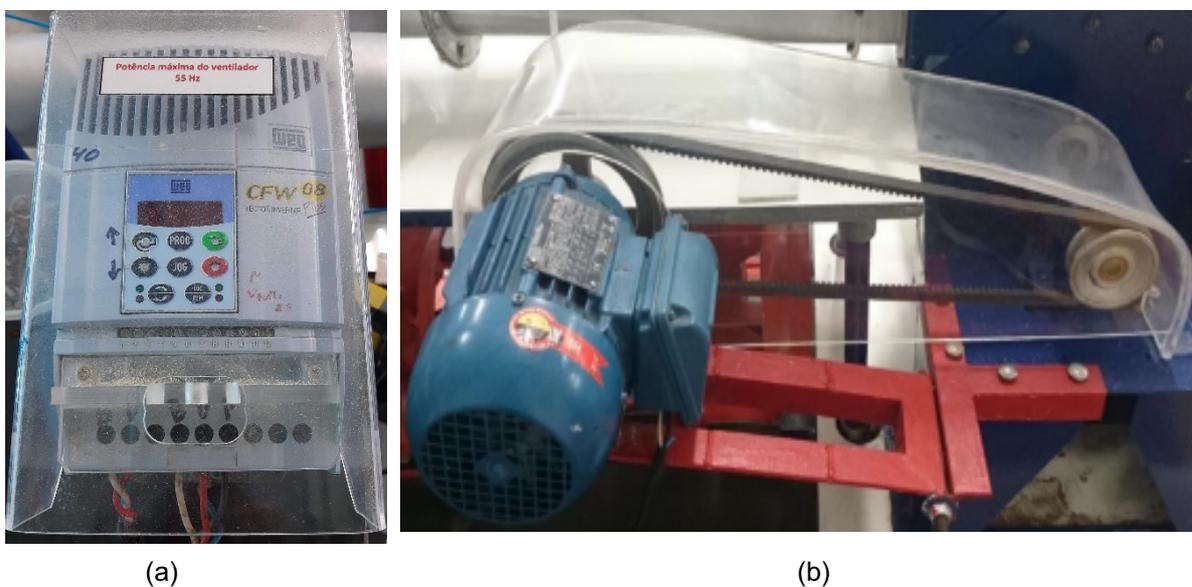


Figura 12 – Mecanismo de acionamento do sistema:
a) Inversor de frequência; b) Motor de 0,75 hp e 3420 rpm acoplado ao ventilador com rotor semiaberto com diâmetro de 238 mm.

Na Figura 13, apresenta-se o potenciômetro que controla a válvula rotativa (item 5 – Figura 1).



Figura 13 – Potenciômetro controlador da válvula rotativa. .

2.1.1. Montagem do protótipo

Na elaboração desse circuito eletrônico foi construído um protótipo, exibido na Figura 14, que auxiliasse nas escolhas dos sensores para esse projeto. Nesse dispositivo foram testados os sensores de pressão de ar dip (*dual in-line package*) para fazer as leituras do nível da água contida em uma garrafa.

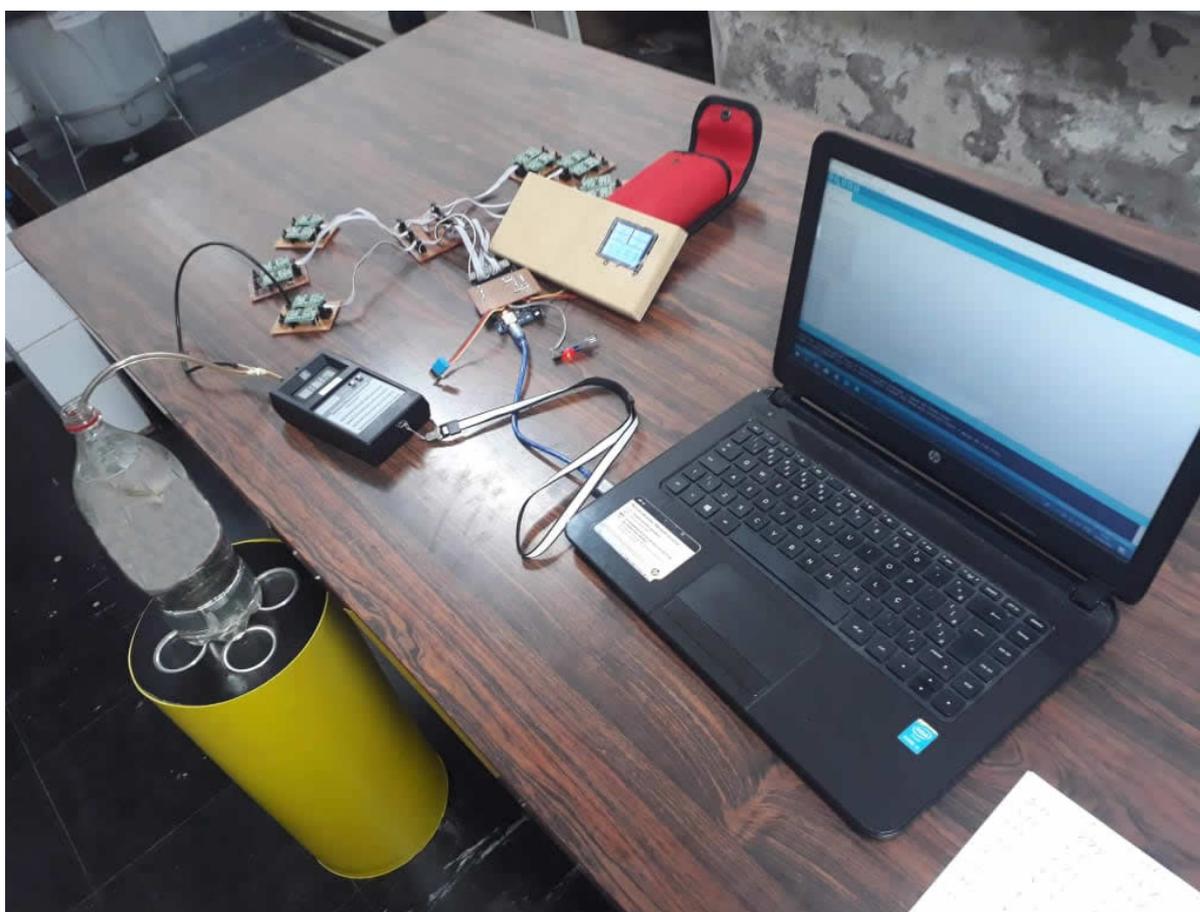


Figura 14 – Projeto inicial.

O protótipo utilizado trata-se de uma garrafa cilíndrica de plástico com capacidade de 2 litros e 36 centímetros de altura com local para instalação de uma mangueira ligada a um aparelho calibrador e conectada a um circuito eletrônico com os seus sensores de pressão de ar dip, ambos conectados a um microcontrolador Arduino e a uma fonte de alimentação de 0~24DCV.

Na figura 15, apresenta-se o circuito eletrônico digital para esse protótipo com a determinação das pressões estáticas por meio de sensores de pressão,

temperaturas através do sensor de temperatura, velocidade de ar e de rotação por meio de seus sensores do ventilado com o uso da placa microcontroladora Arduino, o “display” LCD “touch”, os módulos conversores de células de cargas e uma fonte de alimentação.

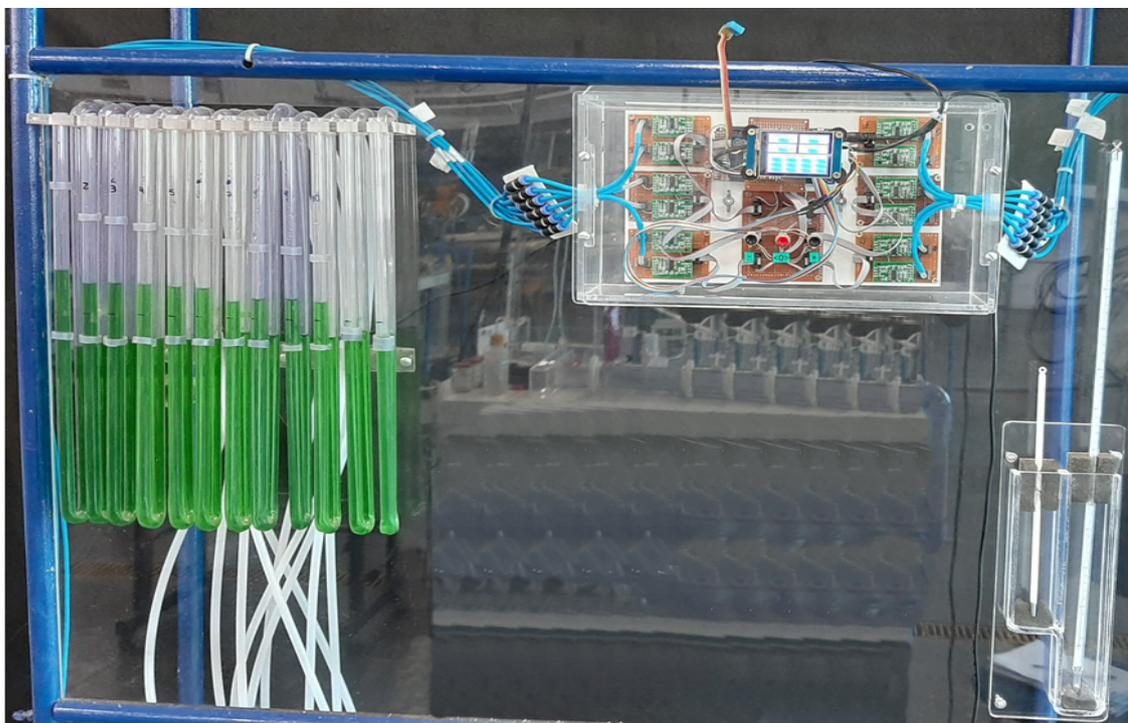


Figura 15 – Circuito eletrônico instalado ao lado do medidor de pressão (piezômetro).

2.1.2. Sensores de pressão diferencial

Esse projeto utilizou 10 sensores de pressão diferencial MPS20N0040D-D, conforme figura 16.



Figura 16 – Sensor de Pressão MPS20N0040D-D.

Fonte: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/187330/FTCC_Diego_Claudio_%2520da_%2520Silva.pdf?sequence=3&isAllowed=1&clen=4196700, 2018.

O seu circuito eletrônico do sensor de pressão está representado na figura 17:

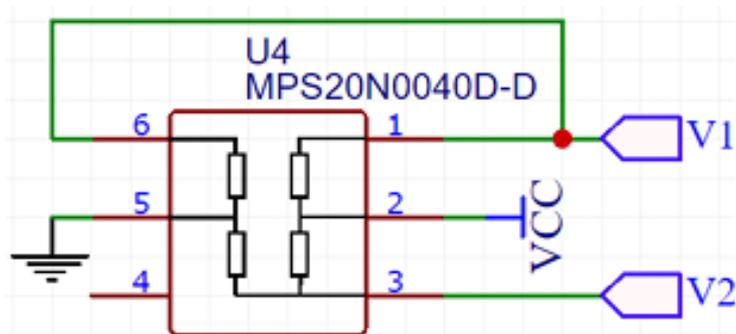


Figura 17 – Esquema eletrônico.

Fonte: //efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Frepositorio.ufsc.br%2Fbitstream%2Fhandle%2F123456789%2F187330%2FTCC_Diego_Claudio_%2520da_%2520Silva.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&clen=4196700, 2018.

O Sensor de Pressão MPS20N0040D-D é um sensor que tem a função de medir a pressão diferencial de qualquer tipo de gás, desde que seja seco e não corrosivo. Ele pode trabalhar com *Arduino*, *Raspberry*, *Pic* e até mesmo com Placas ARM, desde que tenha um amplificador de sinal, como o Módulo Conversor Célula de Carga HX711 (CURTO CIRCUITO, 2019).

O Sensor de Pressão MPS20N0040D-D é capaz de medir a pressão diferencial em gases entre 0kPa a 40kPa, sendo seu máximo de leitura até 3 vezes a faixa de pressão, trabalha com tensão de alimentação de 5V e suporta temperaturas de -40°C até 85°C (CURTO CIRCUITO, 2019).

Portanto, esse Sensor de Pressão Diferencial MPS20N0040D-D é utilizado para ter um controle maior da vazão do ar, fazendo o monitoramento, por exemplo, de equipamentos e do meio ambiente. Ele pode ser utilizado em projetos do tipo (CURTO CIRCUITO, 2019):

- a) Máquinas pneumáticas;
- b) Rodo-ar (Equipamento de calibragem automática de pneus);
- c) Vazão de tubulações;
- d) Emissão de gases.

Suas especificações técnicas estão listadas a seguir (CURTO CIRCUITO,

2019):

- a) Faixa de medição da pressão: 0 a 40kPa;
- b) Pressão máxima: 3 vezes a faixa de medição;
- c) Tensão de trabalho: 5 V;
- d) Gama: 40kPa (pressão diferencial);
- e) Impedância de entrada: 4-6 K Ω ;
- f) Impedância de saída: 4-6 K Ω ;
- g) Temperatura de operação: -40 a 85°;
- h) Temperatura de armazenamento -40 a 125°C;
- i) Tensão de polarização: \pm 25 mV;
- j) Tensão de saída em grande escala: 50 a 100 mV;
- k) Linearidade: \pm 0,3% F.S;
- l) Coeficiente de temperatura: \pm 0,08% do F.S. /°C;
- m) Coeficiente de temperatura da sensibilidade: -0,21% FS //°C.

2.1.3. Sensor de Obstáculo Infravermelho IR – KY – 032 (rotação)

Esse projeto utilizou 1 sensor de obstáculo infravermelho que é um circuito composto por um emissor e um receptor IR, além do CI comparador LM393, que facilita sua conexão com microprocessadores como Arduino, PIC ou *Raspberry Pi*, visto que sua tensão de funcionamento é de 3,3-5V.

Seu funcionamento consiste no processo de reflexão do raio infravermelho emitido pelo emissor, essa luz refletida é recebida de volta pelo receptor e através disso é determinado se existe um obstáculo no caminho, conforme demonstrado na figura 18 (CURTO CIRCUITO, 2020):



Figura 18 – Sensor de Obstáculo Infravermelho IR – KY – 032.

Fonte: <https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Frepositorio.pucgoias.edu.br%2Fjspui%2Fbitstream%2F123456789%2F1629%2F1%2FAUTOMA%25c3%2587%25c3%2583O%2520RESIDENCIAL%2520UMA%2520PROPOSTA%2520SIMPLES%2520E%2520DE%2520BAXO%2520CUSTO.pdf&cLen=3572358>, 2021.

O Sensor de Obstáculo Infravermelho - KY-032 é composto por um emissor e um receptor. A reflexão do raio infravermelho emitido pelo emissor, é recebida de volta pelo receptor e através disso é determinado se existe um obstáculo no caminho, tais como (CURTO CIRCUITO, 2020):

- a) Fim de curso;
- b) Alarmes;
- c) Detector de objetos;
- d) Robôs.

Suas principais especificações técnicas são (CURTO CIRCUITO, 2020):

- a) Tensão de funcionamento: 3,3 ~ 5VDC;
- b) Corrente de trabalho: 20mA;
- c) Temperatura de trabalho: -10°C ~ 50°C;
- d) Distância de detecção: 2 ~ 40 cm;
- e) IO interface: 4 pinos (-/+S/EN);
- f) Sinal de saída: Nível TTL;
- g) Ângulo eficaz: 35 °;
- h) Tamanho: 28 x 23mm;
- i) Comparador: LM393;
- j) *Datasheet*: Sensor de Obstáculo Infravermelho- KY-032.

2.1.4. Sensor de temperatura e umidade

Esse projeto utilizou 1 Sensor de Temperatura e Umidade DHT22, também conhecido como Sensor AM2302, é um sensor que faz a medição da temperatura e da umidade com alta precisão, sendo que é permitido fazer leituras de temperaturas entre -40° a 80° Celsius e umidade entre 0 a 100% (CURTO CIRCUITO, 2020).

O DHT22 funciona através de um sensor capacitivo de umidade e um termistor para medir o ar circundante, todos enviando informações para um microcontrolador de 8 bits que responde com um sinal digital para outro microcontrolador, como Arduino ou Pic. Ele trabalha com tensão de 3,5 a 5,5V e possui um baixo

consumo de corrente, por volta de 1mA a 1,5mA, sendo que em *stand by* é de 40 μ A a 50 μ A, sem contar que sua precisão para medição de umidade chega a aproximadamente 2% RH e a de temperatura é de mais ou menos 0,5°C, tendo um excelente custo benefício para estudantes, amantes e profissionais da área de eletrônica, conforme demonstrado na figura 19 (CURTO CIRCUITO, 2020):



Figura 19 – Sensor de Temperatura e Umidade DHT22.

Fonte: //efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Frepositorio.pucgoias.edu.br%2Fjspui%2Fbitstream%2F123456789%2F1629%2F1%2FAUTOMA%25c3%2587%25c3%2583O%2520RESIDENCIAL%2520UMA%2520PROPOSTA%2520SIMPLES%2520E%2520DE%2520BAIXO%2520CUSTO.pdf&cLen=3572358, 2021.

Esse Sensor Temperatura e Umidade DHT22 é um sensor capaz de detectar a temperatura ambiente e a umidade do ar de forma simples e precisa, sem precisar alterar muitas configurações, tais como (CURTO CIRCUITO, 2020):

- a) Estação meteorológica e de saúde;
- b) Barômetro;
- c) Termômetro;
- d) Psicrômetro.

Suas especificações técnicas são (CURTO CIRCUITO, 2020):

- a) Faixa de medição de umidade: 0 a 100% RH;
- b) Faixa de medição de temperatura: -40° a 80°C;
- c) Alimentação: 3,3 a 5,5VDC;
- d) Corrente de medição: 1 a 1,5mA;
- e) Corrente em *stand by*: 40 μ A a 50 μ A;
- f) Precisão de medição de umidade: \pm 2% ~ \pm 5% RH;
- g) Precisão de medição de temperatura: \pm 0,5 °C;
- h) Saída: Digital;

- i) Histerese de umidade: $\pm 0,3\%$;
- j) Dimensões: 15,1 x 33,6 x 7,7mm (com terminais);
- k) *Datasheet*: Sensor Temperatura e Umidade DHT22.

2.1.5. Módulos conversores de células de cargas

Esse projeto utilizou de 12 Módulos Conversores de Células de Cargas - HX711 que é um tipo de conversor A/D e amplificador de 24 Bits que possui 2 canais, com tensões de 4,8 até 5,5V, diversos produtos em conjunto com um Arduino, por exemplo uma célula de carga, sendo possível realizar medições de peso com maior facilidade e precisão. Possui fácil interação com qualquer microcontrolador com interface SPI, conforme demonstrado na figura 20 (CURTO CIRCUITO, 2019):

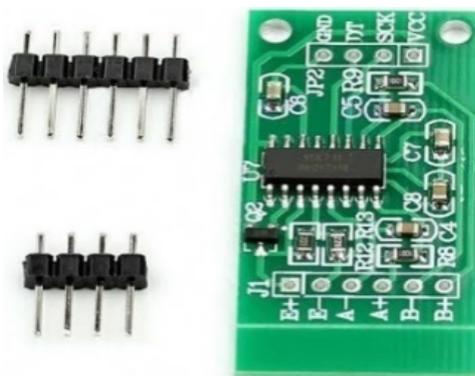


Figura 20 – Módulo Conversor Célula de Carga - HX711.

Fonte://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fspace.doctum.edu.br%2Fbitstream%2F123456789%2F2063%2F1%2FTRABALHO%2520DE%2520CONCLUS%25c3%2583O%2520DE%2520CURSO-%2520MARCUS%2520VIN%25c3%258dCIUS.pdf&clen=888078, 2019.

As especificações técnicas do conversor HX711 são:

- a) Tensão de trabalho: 4,8V ~ 5,5V;
- b) Corrente de trabalho: 1,6mA;
- c) Conversor A/D com resolução de 24Bits;
- d) Número de Canais: 2;
- e) Dimensão: 2,9 x 1,7 x 0,4 cm (C x L x A);
- f) Peso: 2 gramas.

2.1.6. Velocidade de Ar

Com o intuito de calcular a velocidade de ar em m/s na unidade piloto de Transporte Pneumático, foram utilizados 2 Sensores de Pressão Diferencial MPS20N0040D-D, sendo um inserido no início da tubulação e o outro, no meio da tubulação, visando o cálculo da velocidade de ar através da equação 1 extraída da Figura 26 de tendência quadrática através de ensaio:

$$Y = 1,4829x^2 + 1,8862x - 0,1666 \quad (1)$$

Sendo:

Y a diferença da pressão estática ΔP (mmca);

X a Velocidade de entrada do aparelho Anemômetro (m/s);

Tem-se na figura 21 os sensores de pressão nos pontos 1 e 2 do duto:



Figura 21 – Duto nos pontos 1 e 2.

2.1.7. Microcontrolador Arduino

Após a seleção de todos os sensores e seus módulos de células de cargas, eles foram ligados aos pinos I/O de uma placa microcontroladora com o modelo Arduino MEGA 2560, representada na Figura 22.

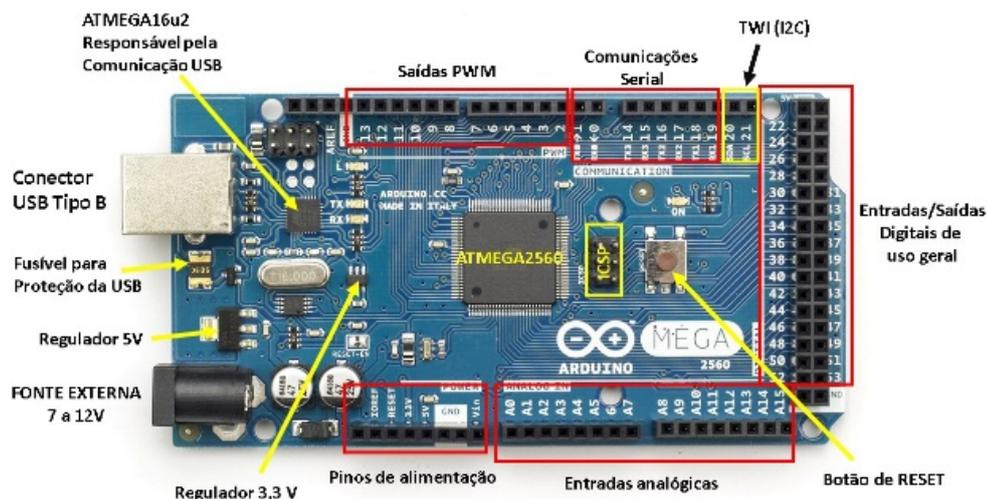


Figura 22 – Arduino MEGA 2560.

Fonte: <https://jurnal.unived.ac.id/index.php/jmi/article/view/276/257>

A plataforma de desenvolvimento Arduino é formada por um computador completo, no qual sistemas digitais ligados aos sensores são capazes de medir variáveis no ambiente físico. Além dos pinos I/O, ela é composta por CPU (Unidade central de processamento), memória flash e RAM (Memória de acesso aleatório).

O Arduino foi programado de forma simples, com uma linguagem compreensível e ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) baseado em *Processing*, utilizando uma linguagem própria de código aberto, que permitiu que o tempo de variação do nível da água entre os sensores fosse registrado (MCROBERTS, 2015).

O valor registrado em milissegundos foi exibido em um *display* acoplado à placa, apresentado na Figura 23, e o código do Arduino encontra-se no Apêndice A no qual foi programado de acordo com o sistema e inserido essa programação na microcontroladora.

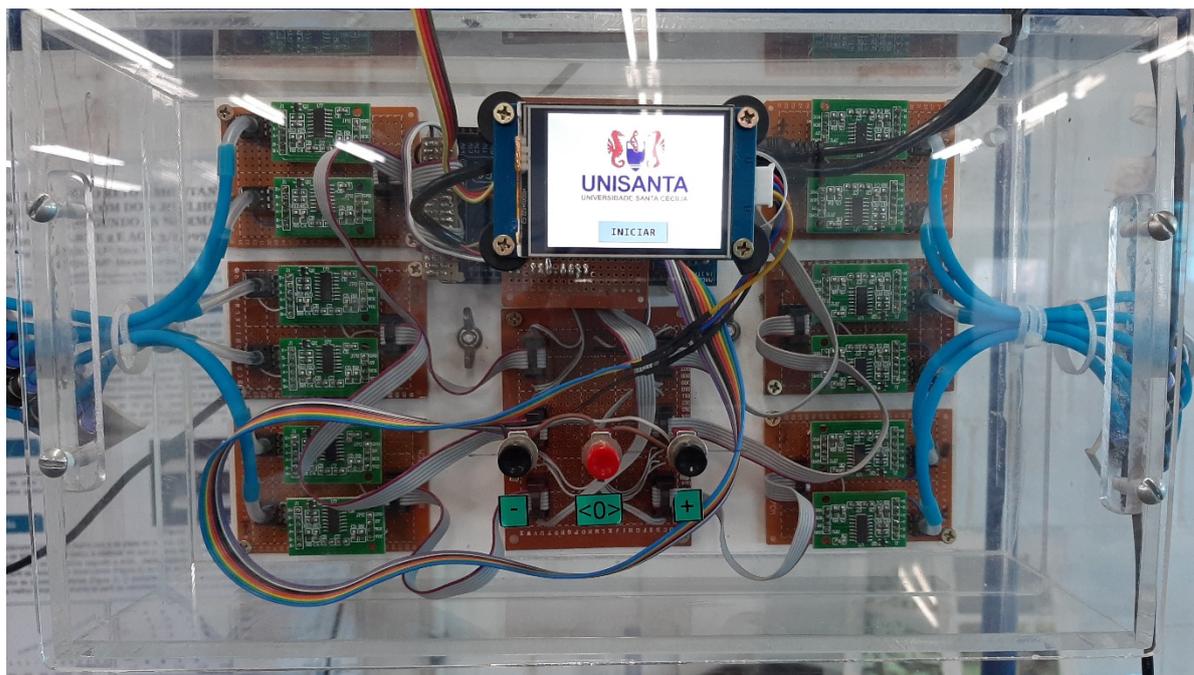


Figura 23 – Microcontroladora com seus módulos, sensores e display LCD touch

O Arduino MEGA 2560Uno R3 é uma plataforma de desenvolvimento *open source* de hardware e código fonte, com um microcontrolador Atmel de 8 bits, fácil conexão com computadores por meio de comunicação USB para se comunicar com a sua IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado) que também é *open source* e utiliza uma linguagem baseada em C/C++ para fazer a programação do Arduino (CURTO CIRCUITO, 2019).

O Arduino MEGA R3 (*MEGA board*) é a segunda principal Placa Arduino, atrás apenas do Arduino Uno sendo a principal placa quando o projeto é considerado mais avançado ou que exija grande quantidade de portas para comunicação.

Apresenta compatibilidade com a maioria dos Shields Arduino, tem incluso na sua placa um conversor FTDI USB SERIAL para a comunicação com computador tanto para programar através da sua Arduino IDE quanto para alimentação, além de que sua fonte de alimentação (*power supply*). Pode ser tanto com 9V quanto com 12V, já que na própria placa Arduino há um regulador de tensão para evitar possíveis danos a placa. Ele também conta com a vantagem de possuir uma boa quantidade de portas I/O digitais (*digital input output pins*) e entradas analógicas, um pino *reset (rest pin)*, além da facilidade de programação e suporte da disponibilidade de códigos e

bibliotecas para os mais diversos *shields*, sensores e módulos, conseguindo assim atender uma enorme quantidade de projetos (CURTO CIRCUITO, 2019).

A placa Arduino MEGA 2560 é muito utilizada em projetos de que há a necessidade de maior processamento e um maior número de portas para comunicação entre módulos e sensores, já que o Arduino MEGA tem mais portas analógicas, digital, *pwm* e RX e TX, além de sua alimentação externa podendo ser feita através das portas USB de um PC ou por baterias e fontes. Ela pode ser utilizada em projetos do tipo (CURTO CIRCUITO, 2019):

- a) Automação residencial;
- b) Sistemas de monitoramento;
- c) Máquinas industriais;
- d) Robôs de combate.

Portanto, as principais características elétricas do Arduino MEGA 2560 são (CURTO CIRCUITO, 2019):

- a) Microcontroller: ATMEGA2560;
- b) Tensão de Operação: 5 VDC;
- c) Tensão de Alimentação (Recomendada): 7 à 12 VDC;
- d) Tensão de Alimentação (LIMITES): 6 à 20 VDC;
- e) Pinos I/O Digitais: 54 (15 possuem PWM por Hardware);
- f) Pinos Análogos: 16 (10 Bits / 0 à 5 VDC);
- g) Corrente DC por pino I/O: 20 mA;
- h) Corrente DC por pino 3,3V: 50 mA;
- i) Flash Memory: 256 KB (8K usados pelo bootloader);
- j) SRAM: 8 KB;
- k) EEPROM: 4 KB;
- l) Clock Speed: 16 MHz.

São fornecidas nas Figuras 24 o esquema eletrônico dos dispositivos periféricos utilizados em conexão com o Arduino MEGA 2560 para a leitura de dados e os seus respectivos diagramas de ligações:

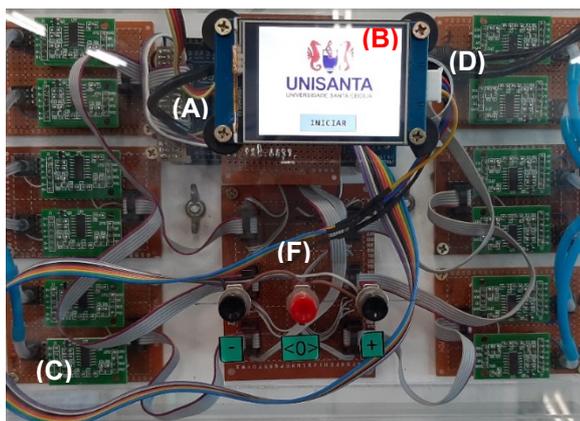


Figura 24 – Diagrama de ligações: (A) Arduino MEGA 2560, (B) Tela LCD TOUCH, (C) Módulos conversores de células de cargas, (D) Fonte de Alimentação, (E) Sensor de Pressão e (F) PCB ilhada (Placa de Circuito Impresso).

O circuito eletrônico do Arduino MEGA foi desenvolvido conforme a Figura 25.

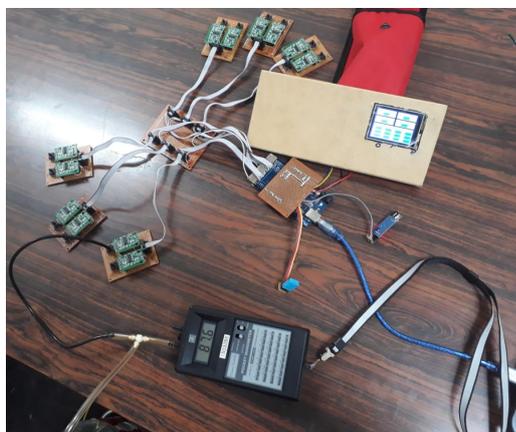


Figura 25 – Arduino MEGA no circuito eletrônico.

2.1.8. Fonte de alimentação

A Fonte DC Chaveada 9V com plug P4 é ideal para alimentar as placas Arduino pois se encaixa perfeitamente e tem corrente de saída igual a 1A. A fonte é bivolt, ou seja, ajusta automaticamente a energia de entrada, podendo ser utilizada em 127V ou 220V. Muito leve, possui plug no padrão universal, o que evita a necessidade de utilização de adaptadores conforme demonstrada na figura 26 (FILIPEFLOP, 2019):



Figura 26 – Fonte de Alimentação 9V

Fonte: <https://jurnal.unived.ac.id/index.php/jmi/article/view/276/257>

As características elétricas da fonte de alimentação encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Características elétricas da Fonte de Alimentação

Dados técnicos	
Tensão de entrada	Bivolt 100~250VAC 47~64Hz
Tensão de saída	9VDC
Corrente de saída máxima	1A
Padrão do conector	P4 (5.5mm x 2.1mm)
Comprimento do cabo	110cm

2.2. Métodos

Foram realizados testes experimentais para definir a velocidade mínima de ar necessária para evitar o acúmulo de sólido em cada uma das vazões. Variou-se a velocidade de ar utilizando-se o inversor de frequência (Figura 2) conectado por um cabo ao motor elétrico do ventilador. Foram escolhidas as frequências do inversor referentes às mínimas velocidades de ar necessárias para transportar o material sem acúmulo. Variou-se a frequência estabelecida em intervalos de 5 Hz visando disponibilizar velocidades de ar, a partir da velocidade mínima, para cada vazão do sólido.

As frequências selecionadas foram utilizadas apenas para facilitar o manuseio do equipamento durante os ensaios realizados. A velocidade do ar foi obtida em cada ensaio através de um anemômetro (Figura 27) instalado no tubo de sucção de ar, faceado e centralizado ao bocal de sucção (DE CASTRO, 2015).



Figura 27 – Anemômetro instalado no bocal de sucção.

Como o diâmetro do tubo de sucção é maior que o do tubo de recalque, foi utilizada a equação da continuidade simplificada (Equação 2), igualando-se as vazões volumétricas de sucção e recalque e considerando o ar incompressível nas condições de operação (DE CASTRO, 2015).

$$v_s \cdot A_s = v_r \cdot A_r \quad (2)$$

Sendo:

v_s a velocidade média na sucção medida pelo anemômetro (m/s);

A_s a área da seção transversal do tubo de sucção (m²);

v_r a velocidade média no recalque (m/s);

A_r a área da seção transversal do tubo de recalque (m²).

2.2.1. Seleção dos sensores de pressão

A confecção do protótipo foi necessária para auxiliar a seleção do melhor tipo de sensor a ser utilizado. Para testar os sensores de pressão de ar DIP (*dual in-line package*), abasteceu-se o protótipo com água e foi verificando à leitura digital desses sensores no display em mmca para poder calibrar o mesmo no código-fonte dentro do Arduino. Os ensaios foram repetidos várias vezes até achar o seu fator de correção para poder calibrar o mesmo (Figura 28).

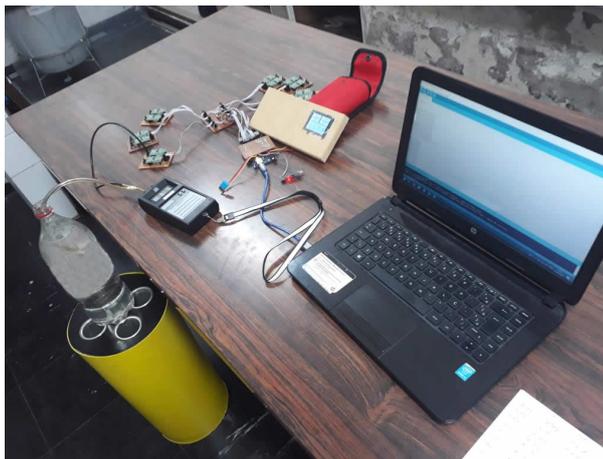


Figura 28 – Sensor de Pressão MPS20N0040D-D nas mangueiras

2.2.2. Calibração dos sensores de pressão (mmca)

O método utilizado para calibrar um sensor de pressão foi implementar o uso dos Módulos Conversores de Células de Cargas - HX711 para amplificar o sinal obtido de cada sensor de pressão de ar instalados, conforme demonstrado na Figura 29.



Figura 29 – Sensor de pressão com os Módulos Conversores de Células de Cargas - HX711

2.2.3. Calibração dos sensores de pressão para obter a velocidade do ar (m/s)

O método utilizado para calibrar a velocidade de ar (m/s), foi utilizar dois sensores de pressão de ar DIP (mmca) com o uso dos Módulos Conversores de Células de Cargas - HX711 para amplificar o sinal obtido de cada sensor de pressão de ar instalados no duto nos pontos 1 e 2 e, com isso, obter a velocidade de ar (m/s) através da equação (1) obtida através de uma Figura 26 de tendência linear obtida pelo ensaio realizado (Figura 30).



Figura 30 – Mangueiras conectadas no pontos 1 e 2 de acrílico com diâmetro interno de 117mm para as leituras dos sensores de pressão de ar DIP (mmca) com os seus Módulos Conversores de Células de Cargas - HX711 para obtenção da velocidade de ar (m/s)

2.2.4. Calibração do sensor de velocidade de rotação (rpm)

O método utilizado para calibrar a velocidade de rotação (rpm), foi utilizar um disco de rotação para fazer à leitura em rpm no display (Figura 31).



Figura 31 – Sensor de rotação (rpm) com o disco de rotação acoplado no motor

2.2.5. Calibração do sensor de temperatura e umidade do ar

O método utilizado para calibrar o sensor de temperaturas e umidade de ar, foi utilizar o uso de uma biblioteca idDHT11.h na IDE do Arduino e fazer as conversões necessárias para as obtenções das temperaturas em Celsius (°C), Fahrenheit (°F) e Kelvin (K) bem como a porcentagem e a umidade do ar no ambiente, conforme demonstrado nas equações 4 e 5 e na Figura 32:

Transformação de Grau Celsius para Grau Fahrenheit:

$$C = 5/9 \cdot (F-32) \quad (3)$$

Transformação de Grau Celsius para Kelvin:

$$K = C + 273 \quad (4)$$

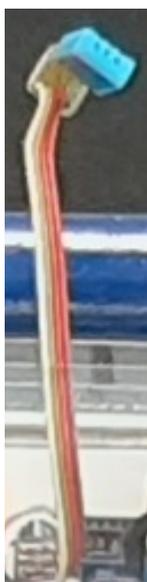


Figura 32 – Sensor de temperatura e umidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Seleção do sensor de pressão

O sensor de pressão de ar DIP no protótipo da Figura 4 foi testado com o objetivo de verificar a pressão estática em cada ponto da unidade piloto de transporte pneumático. Foi realizado esse ensaio com ar apenas para aferir esse equipamento eletrônico, apresentados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Verificação das pressões estáticas (mmca) com uma escala de 30cm ou 300mm com suas frequências aferidas no inversor de frequência (Hz) com ar.

Frequências (Hz)	Anemômetro V (m/s)	Pressão Estática (mmca) Escala de 30 cm/300mm									
		P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀
20	2,3	38	34	30	28	28	30	22	22	20	22
25	2,9	60	46	44	44	42	42	32	32	30	30
30	3,4	82	68	64	60	60	64	46	44	46	44
35	4,1	112	90	86	86	84	84	64	64	64	62
40	4,6	144	114	108	108	106	106	80	80	78	78
45	5,3	164	126	128	124	122	122	96	96	94	94
50	5,5	204	160	154	152	152	150	116	114	114	112
55	5,8	224	180	170	170	168	166	166	166	166	166

Tabela 3 – Leituras nos sensores digitais (mmca) com ar.

Frequências (Hz)	Sensor V (m/s)	Pressão Estática (mmca) Sensores digitais									
		S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁₀
20	2,2	38	28	27	28	26	27	20	20	20	18
25	2,8	60	45	41	44	39	43	32	32	32	30
30	3,3	83	63	57	60	55	57	42	42	43	42
35	4,0	110	84	77	81	71	79	53	56	57	56
40	4,5	139	105	99	104	92	100	68	72	74	71
45	5,2	167	128	119	125	111	118	84	81	89	86
50	5,5	196	152	141	145	137	140	109	106	106	100
55	5,7	221	169	157	162	149	154	118	113	116	113

O tempo médio do ensaio apresentado foram de 50 minutos. Em posse do resultado dos testes dos sensores de pressão de ar dip para verificar as pressões estáticas (mmca) em cada ponto do piloto do transporte pneumático, verificou-se a aproximação e até precisão dos valores obtidos nesses sensores de pressão comparado com os valores analógicos medidos na escala de 30cm ou 300mm,

diminuindo assim, o tempo de medição dos mesmos e eventuais erros de leituras em milímetros (mm) com essa escala.

O ensaio forneceu (Tabelas 2 e 3) leituras semelhantes para velocidades dadas pelo anemômetro de 2,3 a 5,8 m/s e suas pressões estáticas comparada na Tabela 4 utilizando o cálculo do desvio (%):

$$[(\text{resultado experimental} - \text{resultado digital}) / \text{resultado experimental}] \times 100\% \quad (5)$$

Tabela 4 - Comparação dos resultados experimental com o digital das Tabelas 2 com 3.

Freq. (Hz)	Anemômetro c/ Sensor V (m/s)	Pressão Estática com Sensores digitais									
		P ₁ c/ S ₁	P ₂ c/ S ₂	P ₃ c/ S ₃	P ₄ c/ S ₄	P ₅ c/ S ₅	P ₆ c/ S ₆	P ₇ c/ S ₇	P ₈ c/ S ₈	P ₉ c/ S ₉	P ₁₀ c/ S ₁₀
		20	4,35%	0,0%	17,6%	10,0%	0,0%	7,1%	10,0%	9,1%	9,1%
25	3,45%	0,0%	2,2%	6,8%	0,0%	7,1%	-2,4%	0,0%	0,0%	-6,7%	0,0%
30	2,94%	-1,2%	7,4%	10,9%	0,0%	8,3%	10,9%	8,7%	4,5%	6,5%	4,5%
35	2,44%	1,8%	6,7%	10,5%	5,8%	15,5%	6,0%	17,2%	12,5%	10,9%	9,7%
40	2,17%	3,5%	7,9%	8,3%	3,7%	13,2%	5,7%	15,0%	10,0%	5,1%	9,0%
45	1,89%	-1,8%	-1,6%	7,0%	-0,8%	9,0%	3,3%	12,5%	15,6%	5,3%	8,5%
50	0,00%	3,9%	5,0%	8,4%	4,6%	9,9%	6,7%	6,0%	7,0%	7,0%	10,7%
55	1,72%	1,3%	6,1%	7,6%	4,7%	11,3%	7,2%	28,9%	31,9%	30,1%	31,9%

Sendo assim, foram feitos também outros ensaios com duração em média de 40 à 55 minutos cada, agora utilizando o sólido polietileno, no qual foi definido a rotação da válvula no ponto intermediário do potenciômetro. Com isso, foi obtido uma vazão intermediária do produto a ser deslocado no duto através da frequência de 20 Hz e as pressões dos pontos iniciais aumentaram por conta da quantidade de material que ficou depositada no duto, não houve arrasto (Figura 33).

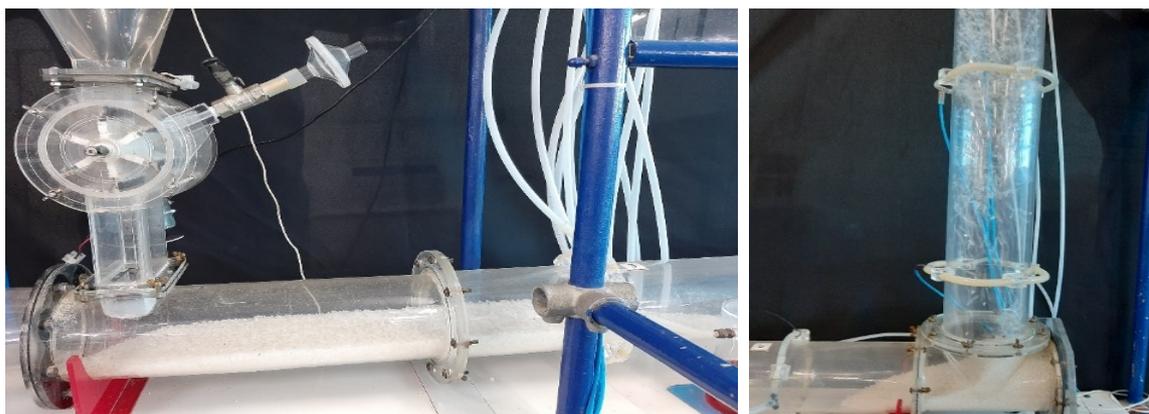


Figura 33 – Potenciômetro no ponto intermediário – Frequência = 20Hz.

Tabela 5 – 1º ensaio: Verificação das pressões estáticas (mmca) com uma escala de 30cm ou 300mm com suas frequências aferidas no inversor de frequência (Hz) e no potenciômetro no ponto intermediário com polietileno.

Frequências (Hz)	Tacômetro (rpm)	Anemômetro V (m/s)	Pressão Estática (mmca) Escala de 30 cm/300mm									
			P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀
20	13,0	1,4	44	32	26	28	28	28	16	16	16	16
25	11,4	1,6	68	50	50	46	46	46	26	26	30	26
30	11,4	2,2	90	64	64	60	60	60	36	40	40	40
35	11,4	2,6	116	80	80	80	76	76	50	54	54	50
40	11,6	3,0	140	100	96	96	96	96	64	70	70	64
45	11,5	3,3	170	120	120	116	116	110	76	80	84	80
50	11,2	3,5	190	136	136	130	130	126	90	90	96	96
55	11,8	3,7	214	150	150	144	140	136	100	104	104	100

Tabela 6 – 1º ensaio: Leituras nos sensores digitais no potenciômetro no ponto intermediário com polietileno.

Frequências (Hz)	Sensor de Rotação (rpm)	Sensor de V (m/s)	Pressão Estática (mmca) Sensores digitais									
			S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁₀
20	6,5	1,3	37	33	20	25	15	30	12	15	12	11
25	9,2	1,6	61	51	46	43	41	41	22	26	25	24
30	8,0	1,9	86	69	60	58	57	56	36	39	36	84
35	8,5	2,4	109	84	71	78	71	72	47	52	48	48
40	9,5	2,8	135	99	91	94	86	89	60	61	59	60
45	8,2	3,1	161	122	108	110	106	105	78	73	75	72
50	9,7	3,5	182	136	125	124	119	121	89	82	87	79
55	8,0	3,8	203	154	137	141	134	132	104	98	90	88

Apresenta-se na tabela 7 a comparação entre dos resultados obtidos e foram inseridas as equações para as suas conversões, conforme apresentado no item 3.1.

Tabela 7 - Comparação dos resultados experimental com o digital das Tabelas 5 com 6.

Freq. (Hz)	Sensor de Rotação	Sensor de	Pressão Estática com Sensores digitais									
	(rpm)	V (m/s)	P1 c/ S ₁	P2 c/ S ₂	P3 c/ S ₃	P4 c/ S ₄	P5 c/ S ₅	P6 c/ S ₆	P7 c/ S ₇	P8 c/ S ₈	P9 c/ S ₉	P10 c/ S ₁₀
20	50%	7,1%	15,9%	-3,1%	23,1%	10,7%	46,4%	-7,1%	25,0%	6,3%	25,0%	31,3%
25	19%	0,0%	10,3%	-2,0%	8,0%	6,5%	10,9%	10,9%	15,4%	0,0%	16,7%	7,7%
30	30%	13,6%	4,4%	-7,8%	6,3%	3,3%	5,0%	6,7%	0,0%	2,5%	10,0%	- 110,0%
35	25%	7,7%	6,0%	-5,0%	11,3%	2,5%	6,6%	5,3%	6,0%	3,7%	11,1%	4,0%
40	18%	6,7%	3,6%	1,0%	5,2%	2,1%	10,4%	7,3%	6,3%	12,9%	15,7%	6,3%
45	29%	6,1%	5,3%	-1,7%	10,0%	5,2%	8,6%	4,5%	-2,6%	8,8%	10,7%	10,0%
50	13%	0,0%	4,2%	0,0%	8,1%	4,6%	8,5%	4,0%	1,1%	8,9%	9,4%	17,7%
55	32%	-2,7%	5,1%	-2,7%	8,7%	2,1%	4,3%	2,9%	-4,0%	5,8%	13,5%	12,0%

Tabela 8 – 2º ensaio (duplicata): Verificação das pressões estática (mmca) com uma escala de 30cm ou 300mm com suas frequências aferidas no inversor de frequência (Hz) e no potenciômetro no ponto intermediário com polietileno.

Frequências (Hz)	Tacômetro (rpm)	Anemômetro V (m/s)	Pressão Estática (mmca) Escala de 30 cm/300mm									
			P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀
20	11,4	1,1	46	30	26	28	26	26	12	12	10	10
25	11,4	1,6	66	50	40	40	40	40	14	14	14	12
30	11,6	2,2	90	64	64	64	64	60	36	36	40	40
35	11,8	2,6	114	84	84	80	80	80	48	50	50	52
40	11,8	3,1	140	104	100	100	96	96	60	68	68	68
45	11,7	3,4	170	120	116	116	116	110	76	80	80	80
50	11,7	3,7	190	144	136	136	130	130	96	96	96	90
55	11,6	3,9	214	150	146	146	140	136	100	100	100	100

Tabela 9 – 2º ensaio (duplicata): Leituras nos sensores digitais no potenciômetro no ponto intermediário com polietileno.

Frequências (Hz)	Sensor de Rotação (rpm)	Sensor de V (m/s)	Pressão Estática (mmca) Sensores digitais									
			S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁₀
20	10,2	1,3	38	30	25	27	26	25	16	15	14	12
25	11,2	1,5	61	51	34	38	39	37	21	24	24	21
30	13,0	1,8	83	64	58	58	58	55	34	37	36	35
35	14,2	2,3	107	83	70	78	78	71	48	52	49	49
40	10,5	2,7	134	103	91	92	92	88	64	61	61	62
45	10,0	3,1	160	126	109	111	111	105	70	77	77	69
50	10,5	3,4	183	141	124	126	126	119	88	85	87	82
55	11,5	3,5	201	154	133	137	138	130	85	89	91	92

Apresenta-se na tabela 10 a comparação entre dos resultados obtidos e foram inseridas as equações para as suas conversões, conforme apresentado no item 3.1.

Tabela 10 - Comparação dos resultados experimental com o digital das Tabelas 8 com 9.

Freq. (Hz)	Sensor de Rotação (rpm)	Sensor de Velocidade (m/s)	Pressão Estática com Sensores digitais									
			P ₁ c/ S ₁	P ₂ c/ S ₂	P ₃ c/ S ₃	P ₄ c/ S ₄	P ₅ c/ S ₅	P ₆ c/ S ₆	P ₇ c/ S ₇	P ₈ c/ S ₈	P ₉ c/ S ₉	P ₁₀ c/ S ₁₀
20	10,5%	-18,2%	17,4%	0,0%	3,8%	3,6%	0,0%	3,8%	-33,3%	-25,0%	-40,0%	-20,0%
25	1,8%	6,3%	7,6%	-2,0%	15,0%	5,0%	2,5%	7,5%	-50,0%	-71,4%	-71,4%	-75,0%
30	-12,1%	18,2%	7,8%	0,0%	9,4%	9,4%	9,4%	8,3%	5,6%	-2,8%	10,0%	12,5%
35	-20,3%	11,5%	6,1%	1,2%	16,7%	2,5%	2,5%	11,3%	0,0%	-4,0%	2,0%	5,8%
40	11,0%	12,9%	4,3%	1,0%	9,0%	8,0%	4,2%	8,3%	-6,7%	10,3%	10,3%	8,8%
45	14,5%	8,8%	5,9%	-5,0%	6,0%	4,3%	4,3%	4,5%	7,9%	3,8%	3,8%	13,8%
50	10,3%	8,1%	3,7%	2,1%	8,8%	7,4%	3,1%	8,5%	8,3%	11,5%	9,4%	8,9%
55	0,9%	10,3%	6,1%	-2,7%	8,9%	6,2%	1,4%	4,4%	15,0%	11,0%	9,0%	8,0%

Apresentou-se nas figuras 34, 35, e 36 os ensaios para as frequências de 25,30 e 35 Hz dado pelo inversor do ventilador.

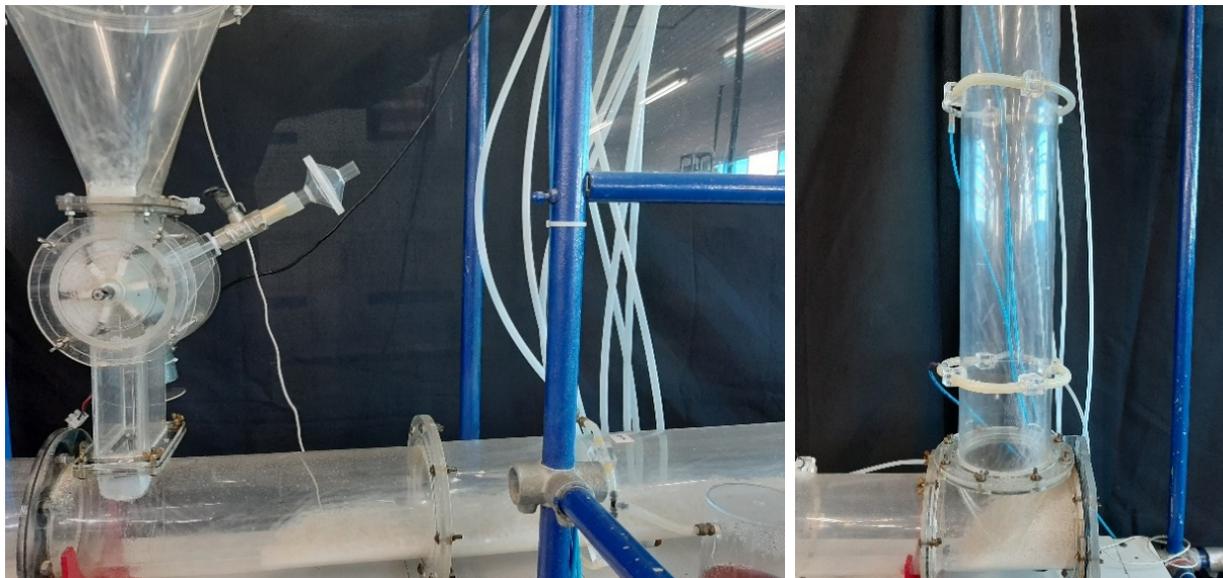


Figura 34 – Potenciômetro no ponto intermediário – Frequência = 25Hz. Acúmulo de polietileno.



Figura 35 – Potenciômetro no ponto intermediário – Frequência = 30Hz. Polietileno deslocado na parte inferior do duto horizontal.

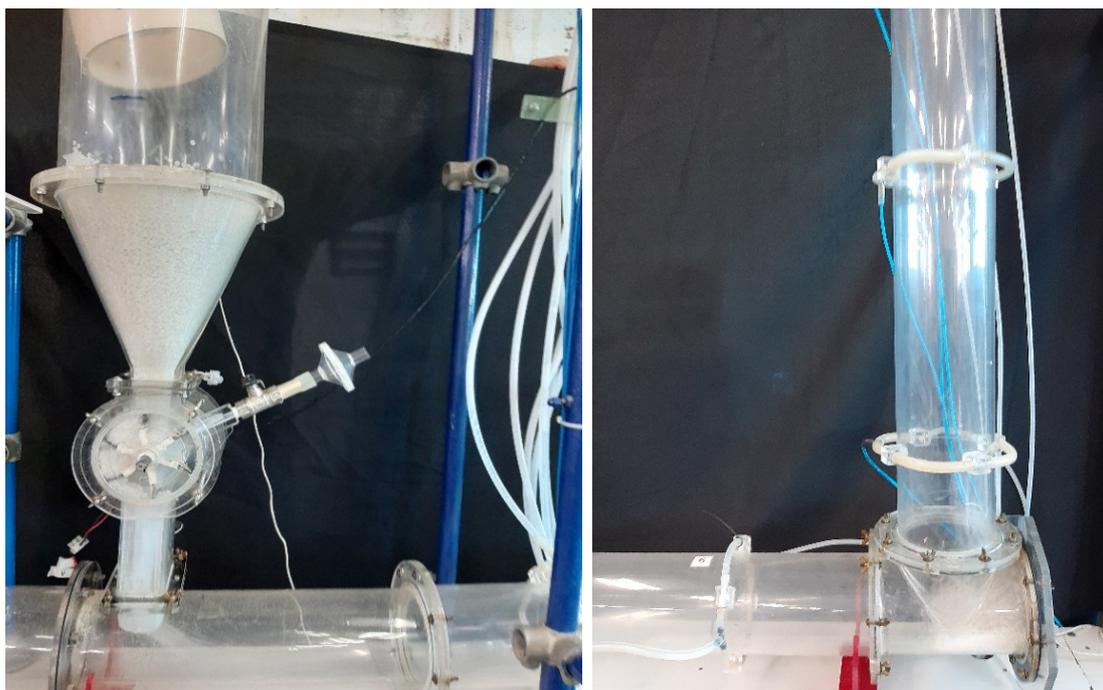


Figura 36 – Potenciômetro no ponto intermediário – Frequência = 35Hz. Polietileno deslocado com pouco material na parte inferior do duto.

A partir de uma frequência de 40 Hz, o material fluiu normal no duto.

Tabela 11 – 1º ensaio: Verificação das pressões estáticas (mmca) com uma escala de 30cm ou 300mm com suas frequências aferidas no inversor de frequência (Hz) e no potenciômetro máximo com polietileno.

Frequências (Hz)	Tacômetro (rpm)	Anemômetro V (m/s)	Pressão Estática (mmca) Escala de 30 cm/300mm									
			P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀
20	23,7	1,2	44	32	16	28	30	28	10	14	14	14
25	24,1	1,6	68	50	40	44	44	44	26	26	26	22
30	25,2	2,2	92	70	58	58	58	56	40	40	40	32
35	25,0	2,7	136	88	80	80	80	76	50	50	50	46
40	25,3	3,1	142	144	100	100	92	92	64	64	64	58
45	25,2	3,5	170	144	116	116	112	110	74	76	76	74
50	25,3	3,7	194	144	134	130	130	126	88	88	88	80
55	25,2	4,0	210	156	146	146	140	136	94	94	96	96

Tabela 12 – 1º ensaio: Leituras nos sensores digitais no potenciômetro máximo com polietileno.

Frequências (Hz)	Sensor de Rotação (rpm)	Sensor de V (m/s)	Pressão Estática (mmca) Sensores digitais									
			S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁₀
20	14,5	1,2	42	34	20	26	28	26	8	15	14	12
25	14,7	1,5	62	51	33	37	39	35	18	23	23	21
30	15,0	1,7	87	73	61	53	55	50	29	32	31	28
35	13,0	2,2	109	84	73	72	73	68	42	44	44	42
40	16,0	2,7	134	104	90	91	92	84	53	56	57	52
45	16,5	3,0	160	121	103	108	108	100	65	69	68	64
50	14,5	3,4	182	138	122	121	122	113	77	79	77	75
55	15,5	3,7	201	154	132	135	134	124	90	84	85	82

Apresenta-se na tabela 13 a comparação entre dos resultados obtidos e foram inseridas as equações para as suas conversões, conforme apresentado no item 3.1.

Tabela 13 - Comparação dos resultados experimental com o digital das Tabelas 11 com 12.

Freq. (Hz)	Sensor de Rotação (rpm)	Sensor de Velocidade (m/s)	Pressão Estática com Sensores digitais									
			P1 c/ S ₁	P2 c/ S ₂	P3 c/ S ₃	P4 c/ S ₄	P5 c/ S ₅	P6 c/ S ₆	P7 c/ S ₇	P8 c/ S ₈	P9 c/ S ₉	P10 c/ S ₁₀
20	38,8%	0,0%	4,5%	-6,3%	-25,0%	7,1%	6,7%	7,1%	20,0%	-7,1%	0,0%	14,3%
25	39,0%	6,3%	8,8%	-2,0%	17,5%	15,9%	11,4%	20,5%	30,8%	11,5%	11,5%	4,5%
30	40,5%	22,7%	5,4%	-4,3%	-5,2%	8,6%	5,2%	10,7%	27,5%	20,0%	22,5%	12,5%
35	48,0%	18,5%	19,9%	4,5%	8,8%	10,0%	8,8%	10,5%	16,0%	12,0%	12,0%	8,7%
40	36,8%	12,9%	5,6%	27,8%	10,0%	9,0%	0,0%	8,7%	17,2%	12,5%	10,9%	10,3%
45	34,5%	14,3%	5,9%	16,0%	11,2%	6,9%	3,6%	9,1%	12,2%	9,2%	10,5%	13,5%
50	42,7%	8,1%	6,2%	4,2%	9,0%	6,9%	6,2%	10,3%	12,5%	10,2%	12,5%	6,3%
55	38,5%	7,5%	4,3%	1,3%	9,6%	7,5%	4,3%	8,8%	4,3%	10,6%	11,5%	14,6%

Tabela 14 – 2º ensaio (duplicata): Verificação das pressões estáticas (mmca) com uma escala de 30cm ou 300mm com suas frequências aferidas no inversor de frequência (Hz) e no potenciômetro máximo com polietileno.

Frequências (Hz)	Tacômetro (rpm)	Anemômetro V (m/s)	Pressão Estática (mmca) Escala de 30 cm/300mm									
			P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀
20	25,0	1,2	44	32	16	24	30	28	16	16	20	16
25	25,0	1,7	68	48	36	42	42	40	22	26	26	22
30	25,2	2,1	92	70	56	56	56	54	34	36	36	30
35	25,1	2,7	114	84	80	78	78	74	46	52	52	48
40	25,1	3,1	140	100	98	98	92	90	60	60	64	58
45	25,2	3,5	168	124	114	114	110	106	74	74	78	70
50	25,1	3,7	190	140	132	132	124	124	84	84	88	80
55	25,5	3,9	210	154	144	140	138	134	96	96	96	90

Tabela 15 – 2º ensaio (duplicata): Leituras nos sensores digitais no potenciômetro máximo com polietileno.

Frequências (Hz)	Sensor de Rotação (rpm)	Sensor de V (m/s)	Pressão Estática (mmca) Sensores digitais									
			S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁₀
20	26,2	1,2	39	35	11	17	19	24	12	16	15	14
25	25,5	1,5	60	50	34	37	37	37	22	24	24	21
30	22,5	1,7	85	72	49	51	52	50	35	32	31	28
35	26,5	2,2	106	84	73	73	73	69	45	47	46	41
40	25,7	2,6	131	101	89	88	87	84	60	56	56	53
45	21,5	2,9	157	123	103	106	106	100	70	69	68	63
50	21,2	3,4	178	137	118	119	122	114	84	76	77	74
55	24,2	3,6	196	150	129	133	130	125	87	85	85	81

Apresenta-se na tabela 16 a comparação entre dos resultados obtidos e foram inseridas as equações para as suas conversões, conforme apresentado no item 3.1.

Tabela 16 - Comparação dos resultados experimental com o digital das Tabelas 14 com 15.

Freq. (Hz)	Sensor de Rotação (rpm)	Sensor de Veloc. (m/s)	Pressão Estática com Sensores digitais									
			P ₁ c/ S ₁	P ₂ c/ S ₂	P ₃ c/ S ₃	P ₄ c/ S ₄	P ₅ c/ S ₅	P ₆ c/ S ₆	P ₇ c/ S ₇	P ₈ c/ S ₈	P ₉ c/ S ₉	P ₁₀ c/ S ₁₀
20	-4,8%	0,0%	11,4%	-9,4%	31,3%	29,2%	36,7%	14,3%	25,0%	0,0%	25,0%	12,5%
25	-2,0%	11,8%	11,8%	-4,2%	5,6%	11,9%	11,9%	7,5%	0,0%	7,7%	7,7%	4,5%
30	10,7%	19,0%	7,6%	-2,9%	12,5%	8,9%	7,1%	7,4%	-2,9%	11,1%	13,9%	6,7%
35	-5,6%	18,5%	7,0%	0,0%	8,8%	6,4%	6,4%	6,8%	2,2%	9,6%	11,5%	14,6%
40	-2,4%	16,1%	6,4%	-1,0%	9,2%	10,2%	5,4%	6,7%	0,0%	6,7%	12,5%	8,6%
45	14,7%	17,1%	6,5%	0,8%	9,6%	7,0%	3,6%	5,7%	5,4%	6,8%	12,8%	10,0%
50	15,5%	8,1%	6,3%	2,1%	10,6%	9,8%	1,6%	8,1%	0,0%	9,5%	12,5%	7,5%
55	5,1%	7,7%	6,7%	2,6%	10,4%	5,0%	5,8%	6,7%	9,4%	11,5%	11,5%	10,0%

3.2. Seleção do sensor de velocidade

Através dos valores da tabela 12, obtida através do ensaio realizado no laboratório de Operações Unitárias com o piloto do Transporte Pneumático, foi obtida a equação para a calibração do sensor de velocidade (Figura 37).

Tabela 17 – Verificação das pressões estáticas P1 e P2 (mmca), diferença das perdas de carga ΔP (mmca), frequência F (Hz) e a velocidade de entrada do anemômetro V (m/s).

ENSAIO				
Frequência (Hz)	Anemômetro (m/s)	P1 (mmca)	P2 (mmca)	ΔP (mmca)
20	1,3	17	12	5
25	1,7	27	20	7
30	2,2	39	28	11
35	2,5	51	37	14
40	2,8	63	46	17
45	3,1	81	61	20
50	3,4	94	70	23
55	3,6	106	80	26

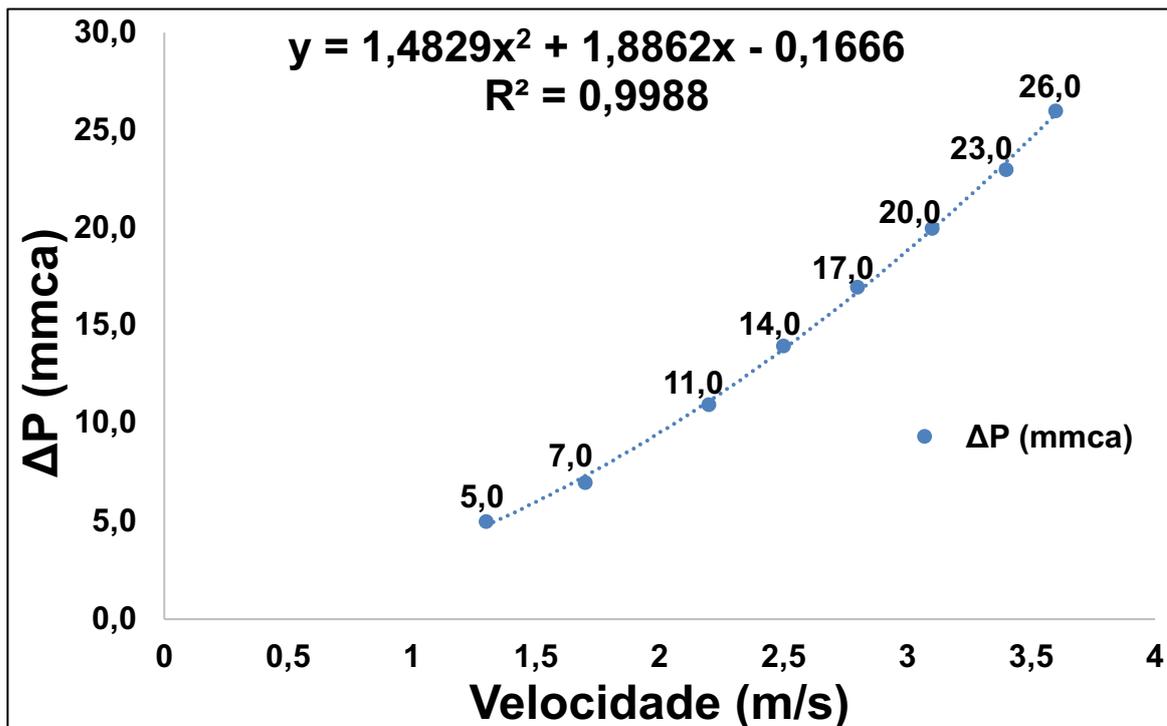


Figura 37 – Pressão estática em função da velocidade.

Sendo:

Y a diferença das pressões estáticas (mmca);

X a Velocidade de entrada do aparelho Anemômetro (m/s);

Com isso, foi possível fazer a leitura digital no sensor de velocidade comparado com o aparelho Anemômetro, conforme mostrado na (Figura 38):



Figura 38 – Comparação do sensor digital de velocidade com o anemômetro.

3.3. Seleção do sensor de rotação

Foi comparado também, as leituras digitais no sensor de rotação com o aparelho Tacômetro (Figura 39):

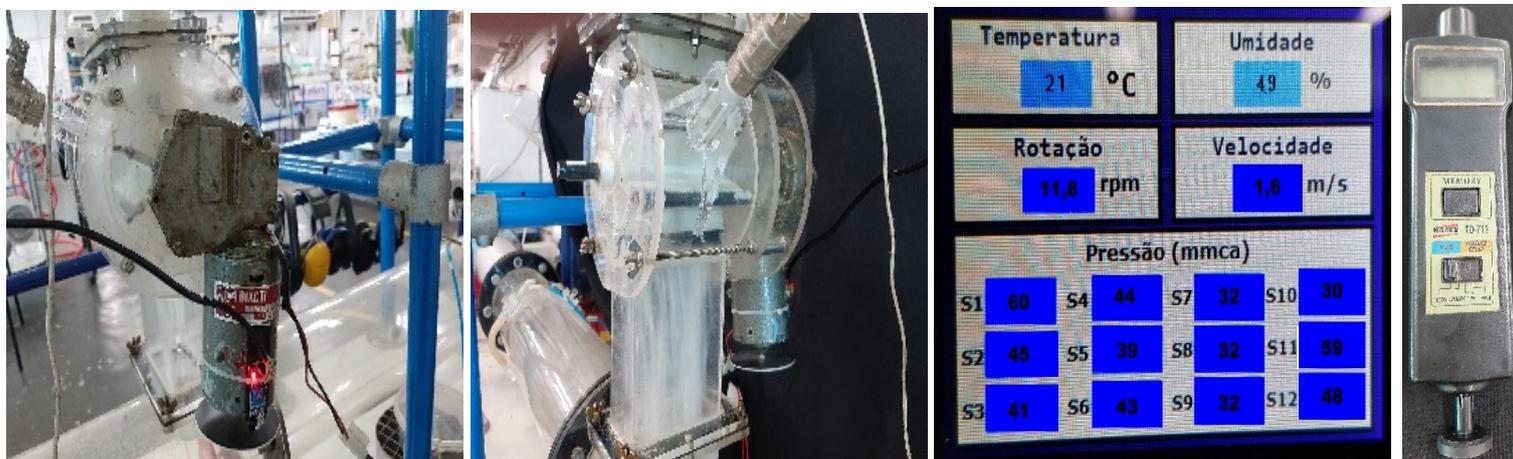


Figura 39 – Comparação do sensor digital de rotação com o tacômetro.

3.4. Seleção do sensor de temperatura e umidade

No sensor de temperatura e umidade do ar (Figura 40), foram inseridas as equações para as suas conversões, conforme apresentado no item 2.2.5.

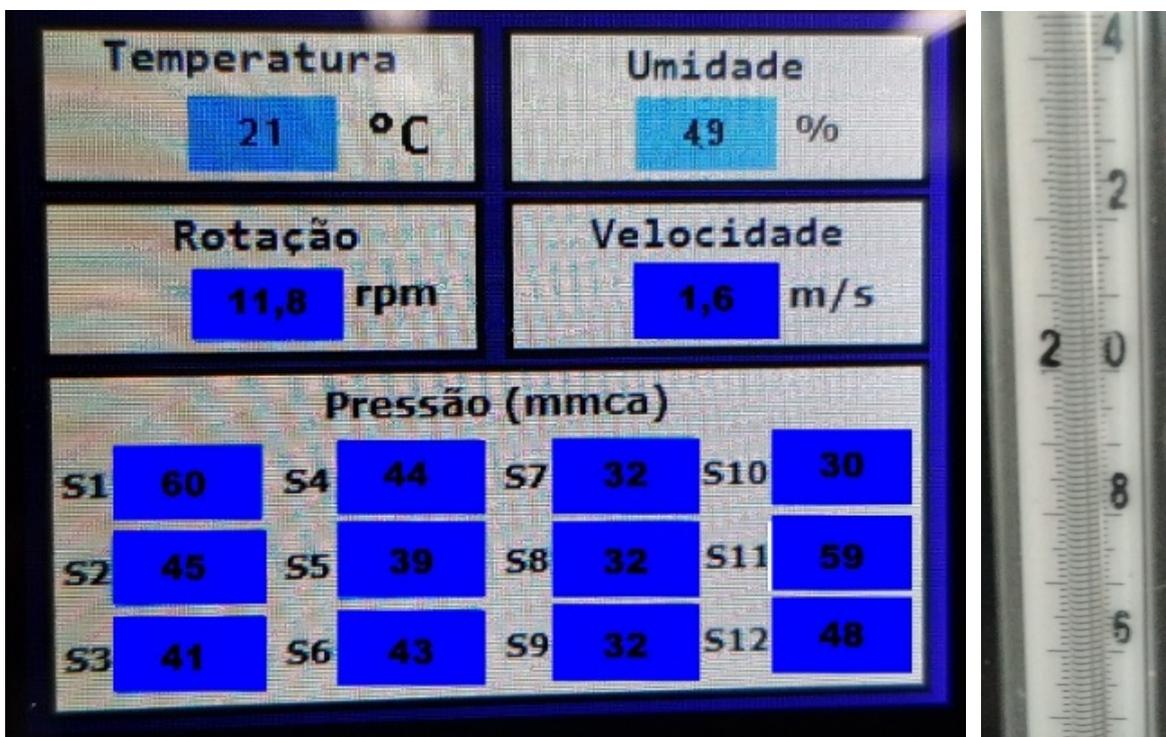


Figura 40 – Comparação do sensor digital de temperatura e umidade do ar com o termômetro calibrado.

Apresenta-se na tabela 18 a comparação entre a temperatura do termômetro e a indicada no sensor.

Tabela 18 - Comparação das temperaturas.

Termômetro (°C)	Sensor (°C)	Desvio (%)
22,5	21	$[(22,5 - 21) / 22,5] * 100 = 6,67$
23,0	22	$[(23,0 - 22) / 23,0] * 100 = 4,35$

4. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

4.1. Conclusão

O presente trabalho permitiu as seguintes conclusões.

a. A construção de uma unidade eletrônica com sensores de pressão de ar permitiu quantificar as pressões estáticas em cada ponto da unidade piloto de transporte pneumático e determinar as velocidades de ar, as rotações do alimentador de sólido, a temperatura ambiente e a umidade de ar;

b. A construção do circuito eletrônico, a programação técnica inserida no código-fonte de uma placa microcontroladora e a substituição do uso de um piezômetro reduziram eventuais erros no processo de coleta de resultados experimentais e diminuíram o tempo dos ensaios;

c. Através dos resultados obtidos nos ensaios de comparação da coleta manual com a eletrônica percebeu-se que:

1) No primeiro ensaio realizado com ar apenas no duto, os valores fornecidos pelo sistema eletrônico forneceram desvios de 10% em relação ao piezômetro e anemômetro, conforme consta nas tabelas 2 e 3;

2) Nos demais ensaios com diferentes vazões de sólidos e de ar, constatou-se em média desvio de 10% dos valores indicados na tela em relação aos fornecidos pelo piezômetro, anemômetro e tacômetro (tabelas 4 e 5, 6 e 7, 8 e 9 e 10 e 11);

d. Percebeu-se também que utilizando um piezômetro para fazer as medições das pressões estáticas, anemômetro e um tacômetro ocorre um erro de reprodutibilidade.

4.2. Trabalhos futuros

Visando a continuidade dos estudos dessa pesquisa, sugere-se:

- a. Realizar estudos com outros sensores de pressão de ar com faixas de medições maiores e precisas;
- b. Exportar os dados armazenados nesses sensores e exportar para um arquivo em Excel e/ou Access, criando automaticamente uma planilha eletrônica e/ou banco de dados preenchida com eles para análises e estudos;
- c. Gerar um gráfico de dispersão dinâmico automaticamente da pressão estática (mmca) em função da Velocidade (m/s) em uma outra tela LCD *touch* com esses dados coletados, mostrando a curva no mesmo;
- d. Acoplar um computador para ajustar todas as variáveis no início da operação;
- e. Mostrar toda a leitura digital através desses sensores em uma tela maior, como por exemplo, em um Tablet ou mesmo em uma tela LCD 15", facilitando assim, uma melhor visualização desses valores digitais;
- f. Verificar nesse sistema elétrico automatizado utilizando outros sólidos, como por exemplo, soja, milho e feijão.

5. VERSÃO COMPACTA

LINK: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BJT/article/view/35335>



Brazilian Journal of Technology

DECLARAÇÃO

A revista Revista Brazilian Journal of Technology, ISSN: 2595-5748, declara para os devidos fins, que o artigo intitulado **“Aquisição eletrônica de dados da pressão estática, temperatura, velocidade do ar e rotação do ventilado utilizando o microcontrolador arduino em uma unidade experimental de piloto de transporte pneumático”** de autoria de *Rodney Gomes da Silva, Deovaldo de Moraes Júnior, Aldo Ramos Santos*, foi publicado no v.4, n. 3, p.120-143.

A revista é on-line, e os artigos podem ser encontrados ao acessar o link:

<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BJT/issue/view/140>

DOI: <https://doi.org/10.38152/bjtv4n3-001>

Por ser a expressão da verdade, firmamos a presente declaração.

São José dos Pinhais, 01 de Setembro de 2021.



Dr. Edilson Antonio Catapan
Editor Chefe

REFERÊNCIAS

ALTISSIMO, R. G. **Estudo de caso da viabilidade técnico-econômica da reutilização do resíduo de terra diatomácea em indústria cervejeira.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pág. 3-5. Porto Alegre, 2016. Disponível em: [//efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.lume.ufrgs.br%2Fbitstream%2Fhandle%2F10183%2F150681%2F01009315.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&cflen=1552989](https://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.lume.ufrgs.br%2Fbitstream%2Fhandle%2F10183%2F150681%2F01009315.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&cflen=1552989) Acesso em 18/09/21.

BARCELOS L., MARCUS. V.; DE SOUZA CASTRO, TAMARA. P. **IMPACTO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO RESIDENCIAL COM CÉLULAS DE CARGAS NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO BAIRRO LUCÍLIA EM JOÃO MONLEVADE-MG.** Faculdade Doctum de João Monlevade, pág. 28. João Monlevade, 2019. Disponível em: [//efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fspace.doctum.edu.br%2Fbitstream%2F123456789%2F2063%2F1%2FTRABALHO%2520DE%2520CONCLUS%25c3%2583O%2520DE%2520CURSO-%2520MARCUS%2520VIN%25c3%258dCIUS.pdf&cflen=888078](https://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fspace.doctum.edu.br%2Fbitstream%2F123456789%2F2063%2F1%2FTRABALHO%2520DE%2520CONCLUS%25c3%2583O%2520DE%2520CURSO-%2520MARCUS%2520VIN%25c3%258dCIUS.pdf&cflen=888078) Acesso em 18/09/21.

CORBARI - Engenharia de Controle Ambiental. **Transporte pneumático industrial.** Disponível em: <http://www.corbari.com.br/transporte-pneumatico-industrial#:~:text=O%20Transporte%20pneum%C3%A1tico%20industrial%20%C3%A9%20muito%20utilizado%20em%20ind%C3%BAstria%20madeireira,ou%20por%20trajetos%20sinuosos%2C%20com> Acesso em 23/10/2020.

COUTINHO, F. M. B.; IVANA L. MELLO; LUIZ C. DE SANTA MARIA **Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações.** Instituto de Química, UERJ. Polímeros v.13 n.1 São Carlos ene./mar. 2003. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282003000100005&lng=es&nrm=iso. Acesso em 12/08/2020.

CURTO CIRCUITO. **Sensor de Pressão Diferencial MPS20N0040D-D.** Disponível em: <https://www.curtocircuito.com.br/sensor-de-pessao-diferencial-mps20n0040d-d.html>. Acesso em 08/01/2019.

DE CASTRO, Y. R. **Determinação experimental da equação do coeficiente da carga cinética para tê com saída de lado e curva no transporte pneumático de polipropileno em fase diluída.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica - Mestrado em Engenharia Mecânica, pág. 74. Santos, 2015.

FARIA, H. A.. Automação Residencial: **Uma Proposta Simples e de Baixo Custo.** TCC Engenharia de Computação, pág. 24. Goiânia, 2021. Disponível em: [//efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Frepositorio.pucgoias.edu.br%2Fjspui%2Fbitstream%2F123456789%2F1629%2F1%2FAUTOMA%25c3%2587%25c3%2583O%2520RESIDENCIAL%2520UMA%2520PROPOSTA%2520SIMPLES%2520E%2520DE%2520BAIXO%2520CUSTO.pdf&cflen=3572358](https://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Frepositorio.pucgoias.edu.br%2Fjspui%2Fbitstream%2F123456789%2F1629%2F1%2FAUTOMA%25c3%2587%25c3%2583O%2520RESIDENCIAL%2520UMA%2520PROPOSTA%2520SIMPLES%2520E%2520DE%2520BAIXO%2520CUSTO.pdf&cflen=3572358) Acesso em 18/09/2021.

FILIPEFLOP. **Fonte DC Chaveada 9V 1ª Plug P4.** Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/fonte-dc-chaveada-9v-1a-plug-p4/>. Acesso em 08/01/2019.

GUSMÃO, J. C L. **O Transporte Pneumático na Indústria de Alimentos.** Disponível em: <https://docplayer.com.br/17598769-O-transporte-pneumatico-na-industria-de-alimentos.html> Acesso em 19/09/21.

LEITE., R. R. F. **AUTOMAÇÃO DO ABASTECIMENTO DE UM MOINHO DE CIMENTO.** Universidade Federal de Campina Grande, pág. 4-8, 2011. Disponível em: [//efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/viewer.html?pdfurl=http%3A%2F%2Fspace.sti.ufcg.edu.br%3A8080%2Fjspui%2Fbitstream%2F17618%2F1%2FRICARDO%2520RANGEL%2520DE%2520FIGUEIR%25c3%258aDO%2520LEITE%2520%25e2%2580%2593%2520TCC%2520ENG.%2520EL%25c3%2589TRICA%25202011.pdf&clen=1566095](http://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/viewer.html?pdfurl=http%3A%2F%2Fspace.sti.ufcg.edu.br%3A8080%2Fjspui%2Fbitstream%2F17618%2F1%2FRICARDO%2520RANGEL%2520DE%2520FIGUEIR%25c3%258aDO%2520LEITE%2520%25e2%2580%2593%2520TCC%2520ENG.%2520EL%25c3%2589TRICA%25202011.pdf&clen=1566095) Acesso em 18/09/21.

LIMA. E. R., **Transporte Pneumático.** Disponível em: http://www.unicamp.br/fea/ortega/aulas/aula23_TransportePneumatico.ppt Acesso em 23/10/2020.

MAGALHÃES, A. C., **Desenvolvimento e Avaliação de uma Máquina Recolhedora de Café em Terreiro Utilizando Transporte Pneumático.** Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, 2003.

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

MALQUIAS, C. J.. **Mapeamento dos Impactos da Automação Industrial: Um Estudo de Caso em uma Mineradora de Grafite Natural Cristalino Situada na Região Centro Oeste de Minas Gerais.** Centro Universitario De Formiga – UNIFOR-MG, pág. 11. Formiga/MG, 2011. Disponível em: [//efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fbibliotecadigital.unifor.br%3A21015%2Fjspui%2Fbitstream%2F123456789%2F120%2F1%2FLauroJesusMalaquias-EP.pdf&clen=1493845](http://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fbibliotecadigital.unifor.br%3A21015%2Fjspui%2Fbitstream%2F123456789%2F120%2F1%2FLauroJesusMalaquias-EP.pdf&clen=1493845) Acesso em 18/09/21.

MARCUS, R. D., LEUNG L. S., KLINZING G. E., RIZK F.; **Pneumatic conveying of solid.** London: Chapman and Hall. 2010.

MORAES, M. S. de, **Convecção forçada de partículas poliméricas em fase diluída: Curvas de pressão e distribuição de partículas** (Tese Doutorado), UNICAMP, Campinas, 2012.

PAIXÃO, A. E. A.; **Modelagem do Transporte Pneumático vertical em fase diluída: Aplicações em Transferência de calor e Secagem,** (Tese Doutorado), Unicamp, Campinas, Outubro de 1995.

PERRY, RH. **Chemical Engineers' Handbook.** 7ª. Ed. NovaYork:McGraw-Hill, 1999.

PERRY, R. H. GREEN, D. W.; **Perry's Chemical Engineer's Handbook;** McGraw-Hill; 8th edition, 2008; p 6-16, 6-22.

PITA, M. G.. **Estudo da pressão estática em uma unidade piloto de transporte pneumático de grãos de milho em fase diluída – influência da singularidade tê.**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica - Mestrado em Engenharia Mecânica, pág. 130. Santos, 2016.

POHNDORF, R. S.; ARAÚJO, Á. S.. **Desenvolvimento de Software Auxiliar para o Dimensionamento de Equipamentos de Transporte de Grãos. XVIII CIC - I ENPOS- Mostra científica, 2016** Faculdade de Engenharia Agrícola, Campus UFPeL. Disponível em: [//efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww2.ufpel.edu.br%2Fcic%2F2009%2Fcd%2Fpdf%2FEN%2FEN_00178.pdf&clen=43236&chunk=true](https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww2.ufpel.edu.br%2Fcic%2F2009%2Fcd%2Fpdf%2FEN%2FEN_00178.pdf&clen=43236&chunk=true) Acesso em 18/09/21.

ROCHA, R. M. R.. **Desenvolvimento de um Sistema de Transporte com Correias para a Indústria de pavimentação com Cortiça**, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2020. Disponível em: [//efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Frecipp.ipp.pt%2Fbitstream%2F10400.22%2F16979%2F1%2FDM_RicardoRocha_2020_MEM.pdf&clen=6192584](https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Frecipp.ipp.pt%2Fbitstream%2F10400.22%2F16979%2F1%2FDM_RicardoRocha_2020_MEM.pdf&clen=6192584) Acesso em 18/09/21.

SANTOS, S. M. **Projeto e montagem de unidade piloto de transporte pneumático em fase diluída para estudo da distribuição de partículas granulares.** (Tese de Doutorado). UNICAMP, Campinas, 2009.

SCHEIBEL, M.. **Avaliação e Dimensionamento de um Sistema de Transporte Pneumático em uma Indústria de Leite em Pó.** Universidade Do Vale Do Taquari – Univates, Lajeado, 2018. Disponível em: [//efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.univates.br%2Fbdu%2Fbitstream%2F10737%2F2313%2F1%2F2018MatheusScheibel.pdf&clen=2518571](https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.univates.br%2Fbdu%2Fbitstream%2F10737%2F2313%2F1%2F2018MatheusScheibel.pdf&clen=2518571) Acesso em 18/09/21.

SILVA, D. C.; **Monitor multiparamétrico com conexão Wi-Fi para uso portátil e domiciliar.** TCC(graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico. Engenharia Eletrônica, pág. 58. Florianópolis/SC, 2018. Disponível em: [//efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Frepositorio.ufsc.br%2Fbitstream%2Fhandle%2F123456789%2F187330%2FTCC_Diego_Claudio_%2520da_%2520Silva.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&clen=4196700](https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Frepositorio.ufsc.br%2Fbitstream%2Fhandle%2F123456789%2F187330%2FTCC_Diego_Claudio_%2520da_%2520Silva.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&clen=4196700) Acesso em 18/09/2021.

SILVA, D.R.; **Transporte Pneumático – Tecnologia, projetos e aplicações na indústria e nos serviços.** Artliber. 2005, 172 p.

SOUZA, D. V. de; FRANÇA, A. V. A. de; LOPES, F. C. F.; COSTA, L.; **Estudo da pressão estática em uma unidade piloto de transporte pneumático em fase diluída.** Anais do Conic-Semesp. 2013 - Faculdade Anhanguera de Campinas - Unidade 3. ISSN 2357-8904.

STOESS Jr, H. A.; **Pneumatic Conveying.** New York: John Wiley & Son – Interscience, 1970, 217 p.

VANDERLEI A. T. **Transporte pneumático de soja em fase diluída: obtenção da pressão estática e distribuição de partículas na seção transversal da tubulação horizontal.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica - Mestrado em

Engenharia Mecânica, pág. 92. Santos, 2014.

APÊNDICE A - CÓDIGO DO ARDUINO

```

#include <dht.h> // Biblioteca do sensor de temperatura e umidade
#include "Nextion.h" // Biblioteca da tela Nextion
#include <HX711.h> // Biblioteca do conversor HX711 para os sensores de pressão
#include <EEPROM.h> // Biblioteca para a memória EEPROM do arduino

#define dht_dpin A0 // Define que o sensor DHT está ligado na entrada A0

dht DHT; // Declara a variável dht como uma instância da classe DHT

int pino_D0 = 2; // Declara que o sensor de rotação está ligado na entrada 2
int rpm; // Declara a variável rpm para armazenar a rotação calculada
float velocidade; // Variável para armazenar a velocidade do ar em m/s
int TEMPO_GRAVAR=0; // Variável para definir o tempo de gravação dos fatores
na memória
//volatile byte pulsos;
int pulsos;
unsigned long timeold;

int EM_CALIBRACAO = 0;

const int BOTAO_MAIS = 50; // Fator +
const int BOTAO_MENOS = 51; // Fator -
const int BOTAO_ZERO = 52; // Zero

int ESTADO_MAIS = 0;
int ESTADO_MENOS = 0;
int ESTADO_ZERO = 0;

double S1; // Variável que armazena o valor medido no sensor S1
double S2; // Variável que armazena o valor medido no sensor S2
double S3; // Variável que armazena o valor medido no sensor S3
double S4; // Variável que armazena o valor medido no sensor S4
double S5; // Variável que armazena o valor medido no sensor S5
double S6; // Variável que armazena o valor medido no sensor S6
double S7; // Variável que armazena o valor medido no sensor S7
double S8; // Variável que armazena o valor medido no sensor S8
double S9; // Variável que armazena o valor medido no sensor S9
double S10; // Variável que armazena o valor medido no sensor S10
double S11; // Variável que armazena o valor medido no sensor S11
double S12; // Variável que armazena o valor medido no sensor S12

////////////////////////////////////
//double FATOR_S1 = 6830; //
//double FATOR_S2 = 6469; //
//double FATOR_S3 = 6790; //
//double FATOR_S4 = 6770; //
//double FATOR_S5 = 5665; //
//double FATOR_S6 = 5844; //////////////////////////////////////

```



```

uint32_t CAL_S12;
uint32_t CAL_ROT;

int SPAN=4000;          // Valor máximo de pressão em mmca nos sensores

void contador()
{
  //Incrementa contador
  pulsos++;
}

/////////////////////////////////////////////////////////////////
HX711 scale1(39,41);           //
HX711 scale2(45,43);           //
HX711 scale3(47,49);           //
HX711 scale4(40,38);           //
HX711 scale5(42,44);           ///////////////////////////////////////////////////////////////////
HX711 scale6(48,46);           // Define os pinos onde estão //
HX711 scale7(35,37);           // ligados os conversores HX711 //
HX711 scale8(33,31);           ///////////////////////////////////////////////////////////////////
HX711 scale9(27,29);           //
HX711 scale10(36,34);          //
HX711 scale11(30,32);          //
HX711 scale12(28,26);          //
/////////////////////////////////////////////////////////////////

int err, vel;
float temp, humi;

NexNumber txt_Vel = NexNumber(1, 1, "txt_Vel");
NexNumber txt_Temp = NexNumber(1, 18, "Temp");
NexNumber txt_ROT = NexNumber(1, 3, "txt_ROT");
NexNumber txt_Umid = NexNumber(1, 4, "txt_Umid");
NexNumber txt_S1 = NexNumber(1, 5, "txt_S1");
NexNumber txt_S2 = NexNumber(1, 6, "txt_S2");
NexNumber txt_S3 = NexNumber(1, 7, "txt_S3");
NexNumber txt_S4 = NexNumber(1, 8, "txt_S4");
NexNumber txt_S5 = NexNumber(1, 9, "txt_S5");
NexNumber txt_S6 = NexNumber(1, 10, "txt_S6");
NexNumber txt_S7 = NexNumber(1, 11, "txt_S7");
NexNumber txt_S8 = NexNumber(1, 12, "txt_S8");
NexNumber txt_S9 = NexNumber(1, 13, "txt_S9");
NexNumber txt_S10 = NexNumber(1, 14, "txt_S10");
NexNumber txt_S11 = NexNumber(1, 15, "txt_S11");
NexNumber txt_S12 = NexNumber(1, 16, "txt_S12");

NexNumber txt_S1_c = NexNumber(2, 3, "txt_S1_c");
NexNumber txt_S2_c = NexNumber(3, 3, "txt_S2_c");
NexNumber txt_S3_c = NexNumber(4, 3, "txt_S3_c");
NexNumber txt_S4_c = NexNumber(5, 3, "txt_S4_c");

```

```

NexNumber txt_S5_c = NexNumber(6, 3, "txt_S5_c");
NexNumber txt_S6_c = NexNumber(7, 3, "txt_S6_c");
NexNumber txt_S7_c = NexNumber(8, 3, "txt_S7_c");
NexNumber txt_S8_c = NexNumber(9, 3, "txt_S8_c");
NexNumber txt_S9_c = NexNumber(10, 3, "txt_S9_c");
NexNumber txt_S10_c = NexNumber(11, 3, "txt_S10_c");
NexNumber txt_S11_c = NexNumber(12, 3, "txt_S11_c");
NexNumber txt_S12_c = NexNumber(13, 3, "txt_S12_c");
NexNumber txt_ROT_c = NexNumber(14, 3, "txt_ROT_c");

```

```

NexNumber txt_Fator_S1 = NexNumber(2, 4, "txt_Fator_S1");
NexNumber txt_Fator_S2 = NexNumber(3, 4, "txt_Fator_S2");
NexNumber txt_Fator_S3 = NexNumber(4, 4, "txt_Fator_S3");
NexNumber txt_Fator_S4 = NexNumber(5, 4, "txt_Fator_S4");
NexNumber txt_Fator_S5 = NexNumber(6, 4, "txt_Fator_S5");
NexNumber txt_Fator_S6 = NexNumber(7, 4, "txt_Fator_S6");
NexNumber txt_Fator_S7 = NexNumber(8, 4, "txt_Fator_S7");
NexNumber txt_Fator_S8 = NexNumber(9, 4, "txt_Fator_S8");
NexNumber txt_Fator_S9 = NexNumber(10, 4, "txt_Fator_S9");
NexNumber txt_Fator_S10 = NexNumber(11, 4, "txt_Fator_S10");
NexNumber txt_Fator_S11 = NexNumber(12, 4, "txt_Fator_S11");
NexNumber txt_Fator_S12 = NexNumber(13, 4, "txt_Fator_S12");
NexNumber txt_Fator_ROT = NexNumber(14, 4, "txt_Fator_ROT");

```

```

NexNumber CALIBRAR_S1 = NexNumber(2, 5, "CALIBRAR_S1");
NexNumber CALIBRAR_S2 = NexNumber(3, 5, "CALIBRAR_S2");
NexNumber CALIBRAR_S3 = NexNumber(4, 5, "CALIBRAR_S3");
NexNumber CALIBRAR_S4 = NexNumber(5, 5, "CALIBRAR_S4");
NexNumber CALIBRAR_S5 = NexNumber(6, 5, "CALIBRAR_S5");
NexNumber CALIBRAR_S6 = NexNumber(7, 5, "CALIBRAR_S6");
NexNumber CALIBRAR_S7 = NexNumber(8, 5, "CALIBRAR_S7");
NexNumber CALIBRAR_S8 = NexNumber(9, 5, "CALIBRAR_S8");
NexNumber CALIBRAR_S9 = NexNumber(10, 5, "CALIBRAR_S9");
NexNumber CALIBRAR_S10 = NexNumber(11, 5, "CALIBRAR_S10");
NexNumber CALIBRAR_S11 = NexNumber(12, 5, "CALIBRAR_S11");
NexNumber CALIBRAR_S12 = NexNumber(13, 5, "CALIBRAR_S12");
NexNumber CALIBRAR_ROT = NexNumber(14, 5, "CALIBRAR_ROT");

```

```

NexTouch *nex_listen_list[] =
{
    &CALIBRAR_S1,
    &CALIBRAR_S2,
    &CALIBRAR_S3,
    &CALIBRAR_S4,
    &CALIBRAR_S5,
    &CALIBRAR_S6,
    &CALIBRAR_S7,
    &CALIBRAR_S8,
    &CALIBRAR_S9,
    &CALIBRAR_S10,

```

```

    &CALIBRAR_S11,
    &CALIBRAR_S12,
    &CALIBRAR_ROT,
    NULL
};

void LER_FATORES_MEMORIA()
{
    FATOR_S1 = EEPROM.get(0, FATOR_S1);
    FATOR_S2 = EEPROM.get(10, FATOR_S2);
    FATOR_S3 = EEPROM.get(20, FATOR_S3);
    FATOR_S4 = EEPROM.get(30, FATOR_S4);
    FATOR_S5 = EEPROM.get(40, FATOR_S5);
    FATOR_S6 = EEPROM.get(50, FATOR_S6);
    FATOR_S7 = EEPROM.get(60, FATOR_S7);
    FATOR_S8 = EEPROM.get(70, FATOR_S8);
    FATOR_S9 = EEPROM.get(80, FATOR_S9);
    FATOR_S10 = EEPROM.get(90, FATOR_S10);
    FATOR_S11 = EEPROM.get(100, FATOR_S11);
    FATOR_S12 = EEPROM.get(110, FATOR_S12);
    FATOR_ROT = EEPROM.get(120, FATOR_ROT);
}

void GRAVAR_FATORES_PADRAO()
{
    // Valores antigos, calibrado em bancada
    // FATOR_S1 = 6830;// FATOR_S2 = 6469;// FATOR_S3 = 6790;// FATOR_S4 =
    6770;// FATOR_S5 = 5665;// FATOR_S6 = 5844;
    // FATOR_S7 = 6580;// FATOR_S8 = 6120;// FATOR_S9 = 6810;// FATOR_S10 =
    6815;// FATOR_S11 = 6805;// FATOR_S12 = 6785;
    // unsigned FATOR_ROT = 10;

    //Valores novos, calibrados no dia 09/11/2019 no laboratório da Unisanta
    FATOR_S1 = 14460;
    FATOR_S2 = 13908;
    FATOR_S3 = 15020;
    FATOR_S4 = 14551;
    FATOR_S5 = 12241;
    FATOR_S6 = 12894;
    FATOR_S7 = 14440;
    FATOR_S8 = 14399;
    FATOR_S9 = 15721;
    FATOR_S10 = 16293;
    FATOR_S11 = 14612;
    FATOR_S12 = 14820;
    unsigned FATOR_ROT = 1;

    EEPROM.put(0,FATOR_S1);
    EEPROM.put(10,FATOR_S2);

```

```
EEPROM.put(20,FATOR_S3);
EEPROM.put(30,FATOR_S4);
EEPROM.put(40,FATOR_S5);
EEPROM.put(50,FATOR_S6);
EEPROM.put(60,FATOR_S7);
EEPROM.put(70,FATOR_S8);
EEPROM.put(80,FATOR_S9);
EEPROM.put(90,FATOR_S10);
EEPROM.put(100,FATOR_S11);
EEPROM.put(110,FATOR_S12);
EEPROM.put(120,FATOR_ROT);

}

void ESCREVER_FATORES_MEMORIA()
{
EEPROM.put(0,FATOR_S1);
EEPROM.put(10,FATOR_S2);
EEPROM.put(20,FATOR_S3);
EEPROM.put(30,FATOR_S4);
EEPROM.put(40,FATOR_S5);
EEPROM.put(50,FATOR_S6);
EEPROM.put(60,FATOR_S7);
EEPROM.put(70,FATOR_S8);
EEPROM.put(80,FATOR_S9);
EEPROM.put(90,FATOR_S10);
EEPROM.put(100,FATOR_S11);
EEPROM.put(110,FATOR_S12);
EEPROM.put(120,FATOR_ROT);
}

void ESCREVER_FATORES_TELA()
{
txt_Fator_S1.setValue(FATOR_S1);
txt_Fator_S2.setValue(FATOR_S2);
txt_Fator_S3.setValue(FATOR_S3);
txt_Fator_S4.setValue(FATOR_S4);
txt_Fator_S5.setValue(FATOR_S5);
txt_Fator_S6.setValue(FATOR_S6);
txt_Fator_S7.setValue(FATOR_S7);
txt_Fator_S8.setValue(FATOR_S8);
txt_Fator_S9.setValue(FATOR_S9);
txt_Fator_S10.setValue(FATOR_S10);
txt_Fator_S11.setValue(FATOR_S11);
txt_Fator_S12.setValue(FATOR_S12);
txt_Fator_ROT.setValue(FATOR_ROT);
}

void LER_CALIBRAR()
{
```

```

CALIBRAR_S1.getValue(&CAL_S1);
CALIBRAR_S2.getValue(&CAL_S2);
CALIBRAR_S3.getValue(&CAL_S3);
CALIBRAR_S4.getValue(&CAL_S4);
CALIBRAR_S5.getValue(&CAL_S5);
CALIBRAR_S6.getValue(&CAL_S6);
CALIBRAR_S7.getValue(&CAL_S7);
CALIBRAR_S8.getValue(&CAL_S8);
CALIBRAR_S9.getValue(&CAL_S9);
CALIBRAR_S10.getValue(&CAL_S10);
CALIBRAR_S11.getValue(&CAL_S11);
CALIBRAR_S12.getValue(&CAL_S12);
CALIBRAR_ROT.getValue(&CAL_ROT);

if (CAL_S1 == 1){
  if (digitalRead(BOTAO_ZERO) == HIGH){scale1.tare();}
  if (digitalRead(BOTAO_MAIS) == HIGH){FATOR_S1 = FATOR_S1 + 100;}
  if (digitalRead(BOTAO_MENOS) == HIGH){FATOR_S1 = FATOR_S1 - 100;}
  txt_Fator_S1.setValue(FATOR_S1);
  scale1.set_scale(FATOR_S1);
  txt_S1_c.setValue(S1);
}

if (CAL_S2 == 1){
  if (digitalRead(BOTAO_ZERO) == HIGH){scale2.tare();}
  if (digitalRead(BOTAO_MAIS) == HIGH){FATOR_S2 = FATOR_S2 + 100;}
  if (digitalRead(BOTAO_MENOS) == HIGH){FATOR_S2 = FATOR_S2 - 100;}
  txt_Fator_S2.setValue(FATOR_S2);
  scale2.set_scale(FATOR_S2);
  txt_S2_c.setValue(S2);
}

if (CAL_S3 == 1){
  if (digitalRead(BOTAO_ZERO) == HIGH){scale3.tare();}
  if (digitalRead(BOTAO_MAIS) == HIGH){FATOR_S3 = FATOR_S3 + 100;}
  if (digitalRead(BOTAO_MENOS) == HIGH){FATOR_S3 = FATOR_S3 - 100;}
  txt_Fator_S3.setValue(FATOR_S3);
  scale3.set_scale(FATOR_S3);
  txt_S3_c.setValue(S3);
}

if (CAL_S4 == 1){
  if (digitalRead(BOTAO_ZERO) == HIGH){scale4.tare();}
  if (digitalRead(BOTAO_MAIS) == HIGH){FATOR_S4 = FATOR_S4 + 100;}
  if (digitalRead(BOTAO_MENOS) == HIGH){FATOR_S4 = FATOR_S4 - 100;}
  txt_Fator_S4.setValue(FATOR_S4);
  scale4.set_scale(FATOR_S4);
  txt_S4_c.setValue(S4);
}

```

```

if (CAL_S5 == 1){
  if (digitalRead(BOTAO_ZERO) == HIGH){scale5.tare();}
  if (digitalRead(BOTAO_MAIS) == HIGH){FATOR_S5 = FATOR_S5 + 100;}
  if (digitalRead(BOTAO_MENOS) == HIGH){FATOR_S5 = FATOR_S5 - 100;}
  txt_Fator_S5.setValue(FATOR_S5);
  scale5.set_scale(FATOR_S5);
  txt_S5_c.setValue(S5);
}

```

```

if (CAL_S6 == 1){
  if (digitalRead(BOTAO_ZERO) == HIGH){scale6.tare();}
  if (digitalRead(BOTAO_MAIS) == HIGH){FATOR_S6 = FATOR_S6 + 100;}
  if (digitalRead(BOTAO_MENOS) == HIGH){FATOR_S6 = FATOR_S6 - 100;}
  txt_Fator_S6.setValue(FATOR_S6);
  scale6.set_scale(FATOR_S6);
  txt_S6_c.setValue(S6);
}

```

```

if (CAL_S7 == 1){
  if (digitalRead(BOTAO_ZERO) == HIGH){scale7.tare();}
  if (digitalRead(BOTAO_MAIS) == HIGH){FATOR_S7 = FATOR_S7 + 100;}
  if (digitalRead(BOTAO_MENOS) == HIGH){FATOR_S7 = FATOR_S7 - 100;}
  txt_Fator_S7.setValue(FATOR_S7);
  scale7.set_scale(FATOR_S7);
  txt_S7_c.setValue(S7);
}

```

```

if (CAL_S8 == 1){
  if (digitalRead(BOTAO_ZERO) == HIGH){scale8.tare();}
  if (digitalRead(BOTAO_MAIS) == HIGH){FATOR_S8 = FATOR_S8 + 100;}
  if (digitalRead(BOTAO_MENOS) == HIGH){FATOR_S8 = FATOR_S8 - 100;}
  txt_Fator_S8.setValue(FATOR_S8);
  scale8.set_scale(FATOR_S8);
  txt_S8_c.setValue(S8);
}

```

```

if (CAL_S9 == 1){
  if (digitalRead(BOTAO_ZERO) == HIGH){scale9.tare();}
  if (digitalRead(BOTAO_MAIS) == HIGH){FATOR_S9 = FATOR_S9 + 100;}
  if (digitalRead(BOTAO_MENOS) == HIGH){FATOR_S9 = FATOR_S9 - 100;}
  txt_Fator_S9.setValue(FATOR_S9);
  scale9.set_scale(FATOR_S9);
  txt_S9_c.setValue(S9);
}

```

```

if (CAL_S10 == 1){
  if (digitalRead(BOTAO_ZERO) == HIGH){scale10.tare();}
  if (digitalRead(BOTAO_MAIS) == HIGH){FATOR_S10 = FATOR_S10 + 100;}
  if (digitalRead(BOTAO_MENOS) == HIGH){FATOR_S10 = FATOR_S10 - 100;}
  txt_Fator_S10.setValue(FATOR_S10);
}

```

```

    scale10.set_scale(FATOR_S10);
    txt_S10_c.setValue(S10);
}

```

```

if (CAL_S11 == 1){
    if (digitalRead(BOTAO_ZERO) == HIGH){scale11.tare();}
    if (digitalRead(BOTAO_MAIS) == HIGH){FATOR_S11 = FATOR_S11 + 100;}
    if (digitalRead(BOTAO_MENOS) == HIGH){FATOR_S11 = FATOR_S11 - 100;}
    txt_Fator_S11.setValue(FATOR_S11);
    scale11.set_scale(FATOR_S11);
    txt_S11_c.setValue(S11);
}

```

```

if (CAL_S12 == 1){
    if (digitalRead(BOTAO_ZERO) == HIGH){scale12.tare();}
    if (digitalRead(BOTAO_MAIS) == HIGH){FATOR_S12 = FATOR_S12 + 100;}
    if (digitalRead(BOTAO_MENOS) == HIGH){FATOR_S12 = FATOR_S12 - 100;}
    txt_Fator_S12.setValue(FATOR_S12);
    scale12.set_scale(FATOR_S12);
    txt_S12_c.setValue(S12);
}

```

```

if (CAL_ROT == 1){
    if (digitalRead(BOTAO_ZERO) == HIGH){scale12.tare();}
    if (digitalRead(BOTAO_MAIS) == HIGH){FATOR_ROT = FATOR_ROT + 100;}
    if (digitalRead(BOTAO_MENOS) == HIGH){FATOR_ROT = FATOR_ROT - 100;}
    txt_Fator_ROT.setValue(FATOR_ROT);
    scale12.set_scale(FATOR_ROT);
    txt_ROT_c.setValue(rpm);
}
}

```

```

void CALIBRAR_SENSORES()
{
    scale1.set_scale(FATOR_S1);
    scale2.set_scale(FATOR_S2);
    scale3.set_scale(FATOR_S3);
    scale4.set_scale(FATOR_S4);
    scale5.set_scale(FATOR_S5);
    scale6.set_scale(FATOR_S6);
    scale7.set_scale(FATOR_S7);
    scale8.set_scale(FATOR_S8);
    scale9.set_scale(FATOR_S9);
    scale10.set_scale(FATOR_S10);
    scale11.set_scale(FATOR_S11);
    scale12.set_scale(FATOR_S12);
}

```

```

void LER_VALOR_SENSORES()
{

```

```

S1 = 2 * scale1.get_units(1);
S2 = 2 * scale2.get_units(1);
S3 = 2 * scale3.get_units(1);
S4 = 2 * scale4.get_units(1);
S5 = 2 * scale5.get_units(1);
S6 = 2 * scale6.get_units(1);
S7 = 2 * scale7.get_units(1);
S8 = 2 * scale8.get_units(1);
S9 = 2 * scale9.get_units(1);
S10 = 2 * scale10.get_units(1);
S11 = 2 * scale11.get_units(1);
S12 = 2 * scale12.get_units(1);

```

```

if (S1<0){ S1=0;}
if (S2<0){ S2=0;}
if (S3<0){ S3=0;}
if (S4<0){ S4=0;}
if (S5<0){ S5=0;}
if (S6<0){ S6=0;}
if (S7<0){ S7=0;}
if (S8<0){ S8=0;}
if (S9<0){ S9=0;}
if (S10<0){ S10=0;}
if (S11<0){ S11=0;}
if (S12<0){ S12=0;}

```

```

if (S1>SPAN){ S1=SPAN;}
if (S2>SPAN){ S2=SPAN;}
if (S3>SPAN){ S3=SPAN;}
if (S4>SPAN){ S4=SPAN;}
if (S5>SPAN){ S5=SPAN;}
if (S6>SPAN){ S6=SPAN;}
if (S7>SPAN){ S7=SPAN;}
if (S8>SPAN){ S8=SPAN;}
if (S9>SPAN){ S9=SPAN;}
if (S10>SPAN){ S10=SPAN;}
if (S11>SPAN){ S11=SPAN;}
if (S12>SPAN){ S12=SPAN;}

```

```

}

```

```

void ESCREVER_SENSORES_TELA()
{
txt_Vel.setValue(velocidade);
txt_Temp.setValue(temp);
txt_ROT.setValue(rpm);
txt_Umid.setValue(humi);
txt_S1.setValue(S1);
txt_S2.setValue(S2);
txt_S3.setValue(S3);

```

```

txt_S4.setValue(S4);
txt_S5.setValue(S5);
txt_S6.setValue(S6);
txt_S7.setValue(S7);
txt_S8.setValue(S8);
txt_S9.setValue(S9);
txt_S10.setValue(S10);
txt_S11.setValue(S11);
txt_S12.setValue(S12);
}

void CALCULA_VELOCIDADE()
{
//velocidade=(2.6438*(S11-S12)) - 5.9977; Fórmula de 27/08
//velocidade=(0.9679*(S11-S12)); Fórmula de 17/10
//velocidade=(0.5340*(S11-S12)); //Fórmula de 30/11
//velocidade=(0.0299*pow(S11-S12,3))-(1.2898*pow(S11-S12,2))+(19.432*(S11-
S12))-(88.333); Testado 30/11 sem sucesso
//velocidade=(4.1557*(S11-S12)) - 17.844; //Fórmula de 08/08

//velocidade=(5.1972*(S11-S12)) - 7.5036;

velocidade=((8.3156+((S11/2)-(S12/2)))/9.2002) * 10;

if (S11<=0){ velocidade=0;}
if (S12<=0){ velocidade=0;}

if (velocidade<0){ velocidade=0;}

}

void CALCULA_ROTACAO()
{
//Atualiza contador a cada segundo
if (millis() - timeold >= 1000)
{
//Desabilita interrupcao durante o calculo
// detachInterrupt(0);
//rpm = (60 * 100 / 1 ) / (millis() - timeold) * pulsos;
rpm=((pulsos*pulsos/3)/100)*2.5;
timeold = millis();
pulsos = 0;
// attachInterrupt(0, contador, FALLING);
}
}

// Ponto RPM   ARD
// 3    5,8   11
// 4    8,9   13
// 5   11,5  17

```

```
// 6   14,4  16
// 7   17,5  18
// 8   20,4  20
// 9   22,8  23
// 10  25,0  25

//void CALCULA_ROTACAO()
//{
//  pulsos=0;
//  attachInterrupt(0, contador, FALLING);
//  delay(1000);
//  detachInterrupt(0);
//  pulsos=pulsos*60/16;
//  rpm=pulsos;
//
//
//}

void ZERAR_TODOS(){
  scale1.tare();
  scale2.tare();
  scale3.tare();
  scale4.tare();
  scale5.tare();
  scale6.tare();
  scale7.tare();
  scale8.tare();
  scale9.tare();
  scale10.tare();
  scale11.tare();
  scale12.tare();
}

void setup()
{

  pinMode(BOTAO_MAIUS,INPUT);
  pinMode(BOTAO_MENOS,INPUT);
  pinMode(BOTAO_ZERO,INPUT);

  Serial.begin(115200);
  nexInit();
  nexLoop(nex_listen_list);

  //GRAVAR_FATORES_PADRAO();
  LER_FATORES_MEMORIA();

  CALIBRAR_SENSORES();

  ZERAR_TODOS();
```

```

pinMode(pino_D0, INPUT);
attachInterrupt(0, contador, FALLING);
pulsos = 0;
rpm = 0;
timeold = 0;

ESCREVER_FATORES_TELA();

}

void loop()
{
  if (digitalRead(BOTAO_ZERO) == HIGH){ZERAR_TODOS();}
  nexLoop(nex_listen_list);
  DHT.read11(dht_dpin);
  humi = DHT.humidity;
  temp = DHT.temperature;
  LER_VALOR_SENSORES();
  CALCULA_VELOCIDADE();
  CALCULA_ROTACAO();
  ESCREVER_SENSORES_TELA();
  LER_CALIBRAR();
  //EM_CALIBRACAO = CAL_S1 + CAL_S2 + CAL_S3 + CAL_S4 + CAL_S5 +
  CAL_S6 + CAL_S7 + CAL_S8 + CAL_S9 + CAL_S10 + CAL_S11 + CAL_S12 +
  CAL_ROT;
  //if (EM_CALIBRACAO == 0){ESCREVER_SENSORES_TELA();}

  // TEMPO_GRAVAR++;
  // if (TEMPO_GRAVAR>=15){          // Espera 1 minuto para gravar os fatores de
  calibração na memória do arduino
  // ESCREVER_FATORES_MEMORIA(); // O número de gravações é limitado a 100
  000 gravações
  // TEMPO_GRAVAR=0;
  // }

```

