

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**FERNANDO NATHAN SCHEMBERGER DE ALMEIDA
PEDRO FELIPE DELL ANHOL**

**DESENVOLVIMENTO DE CIRCUITO ELETRÔNICO PARA
VENTILADOR MECÂNICO HOSPITALAR DE BAIXO ORÇAMENTO
COM INTUITO DE AUXILIAR NO COMBATE AO COVID-19**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2021

FERNANDO NATHAN SCHEMBERGER DE ALMEIDA ✉

PEDRO FELIPE DELL ANHOL ✉

**DESENVOLVIMENTO DE CIRCUITO ELETRÔNICO PARA
VENTILADOR MECÂNICO HOSPITALAR DE BAIXO ORÇAMENTO
COM INTUITO DE AUXILIAR NO COMBATE AO COVID-19**

**DEVELOPMENT OF AN ELECTRONIC CIRCUIT
FOR A LOW-BUDGET HOSPITAL MECHANICAL
VENTILATOR TO HELP COMBAT COVID-19**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel/Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Frederic Corand Janzen ✉

PONTA GROSSA

2021



4.0 Internacional

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**FERNANDO NATHAN SCHEMBERGER DE ALMEIDA
PEDRO FELIPE DELL ANHOL**

**DESENVOLVIMENTO DE UM CIRCUITO ELETRÔNICO PARA VENTILADOR
MECÂNICO HOSPITALAR DE BAIXO ORÇAMENTO COM INTUITO DE
AUXILIAR NO COMBATE AO COVID-19**

Trabalho de Conclusão de Curso de
Graduação apresentado como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Elétrica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 07/dezembro/2021

Frederic Conrad Janzen
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Cristhiane Goncalves
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Joaquim De Mira Junior
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Ponta Grossa

2021

Dedico este trabalho a minha família e aos
meus amigos, pelos momentos de
ausência.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho não poderia ser finalizado sem a ajuda de diversas pessoas e/ou instituições às quais prestamos nossos agradecimentos. Certamente, esses parágrafos não irão abranger a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de nossas vidas. Portanto, desde já pedimos desculpas àquelas que não estão presentes entre estas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte dos nossos pensamentos e de nossas gratidões.

Agradecemos primeiramente a Deus, por nos dar força e conforto durante a nossa graduação e principalmente nesse período caótico de pandemia. Agradecemos em especial os nossos colegas de projeto, sendo eles, Carlos, Henrique, Jakson, Marcelo, Paula e William pela ajuda e companheirismo durante a realização do projeto, e por último os professores Frederic Corand Janzen e Joaquim de Mira Jr pela oportunidade de trabalharmos em um projeto capaz de beneficiar a comunidade em tempos de crise.

Eu Fernando, agradeço meus pais, Jeferson e Alba, pelos ensinamentos deixados, pelos estudos e por tudo que fizeram por mim. Também agradeço à minha esposa, Carla Letícia, por todo o suporte que me deu em épocas difíceis e por sempre estar ao meu lado, me dando forças e ânimo para continuar com meus trabalhos.

Eu Pedro, gostaria de agradecer meus pais, Bortolo e Giovana por me incentivarem e apoiarem durante o curso e me darem a segurança necessária para buscar meus objetivos. Também agradeço meus irmãos, Giulia, Leonardo e Yasmin, e todos os meus amigos, tantos os que cultivei durante a graduação e os de longa data.

*I'm starting with the man in the mirror
I'm asking him to change his ways
And no message could have been any clearer
If you want to make the world a better place
Take a look at yourself, and then make a change. (JACKSON, 1988).*

Eu estou começando com o homem no espelho
Estou pedindo a ele para mudar suas maneiras
E nenhuma mensagem poderia ser mais clara
Se você quer fazer do mundo um lugar melhor
Dê uma olhada em si mesmo e então faça uma mudança. (JACKSON, 1988).

*If somehow the Lord gave me a second chance at that moment,
I would do it all over again. (MILLER, 2020).*

Se Deus me desse uma segunda chance naquele momento,
eu teria feito tudo igual. (MILLER, 2020).

RESUMO

SCHEMBERGER DE ALMEIDA, Fernando Nathan; DELL ANHOL, Pedro Felipe. **Desenvolvimento de Circuito eletrônico Para ventilador mecânico hospitalar de baixo orçamento com intuito de auxiliar no combate ao covid-19..** 2021. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2021.

SARS-Cov-2 é o nome do RNA vírus detectado em dezembro de 2019 na cidade de Wuhan, na China (CODEÇO, 2020), e é causador da doença denominada coronavírus que se espalhou para o mundo inteiro no ano de 2020. A Organização Mundial de Saúde (OMS) em 11 de março de 2020, declarou nível de contaminação como pandêmico (PINHEIRO, 2020), obrigando os países a tomarem atitudes mais severas de combate a disseminação do vírus. A doença em sua forma mais grave, infecciona os pulmões e compromete o sistema respiratório do paciente, assim dificultando o mesmo de respirar, e conseqüentemente podendo levar ao óbito (POSSES, 2020). Logo se fez necessário o uso de ventiladores hospitalares para realizar a ventilação mecânica nos pacientes infectados que não conseguem respirar sozinhos. Porém com número de leitos finitos nos hospitais e um aumento drástico no número de infectados, o número de ventiladores pulmonares não conseguiu suprir a necessidade dos pacientes. Com a alta procura e a baixa oferta, os preços e tempos de entrega dos ventiladores hospitalares cresceram muito (TOLEDO, 2020), resultando em mortes evitáveis que não aconteceriam caso tivessem ventiladores disponíveis (NASCIMENTO, 2020). Para tentar contribuir com a sociedade e ajudar nesse período caótico, uma empresa de caminhões e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, ambas de Ponta Grossa, se uniram e propuseram o desenvolvimento de um ventilador mecânico de baixo custo e rápida construção, tendo como base um motor CC de limpador de para brisa de caminhões, doado pela empresa parceira (BIAZETTO, 2020). Este trabalho detalha a criação do circuito eletrônico para o desenvolvimento de um ventilador mecânico do tipo Ambu automatizado.

Palavras-chave: Pandemia. Covid-19. Ventilador Mecânico.

ABSTRACT

SCHEMBERGER DE ALMEIDA, Fernando Nathan; DELL ANHOL, Pedro Felipe. **Development of an electronic circuit for a low-budget hospital mechanical ventilator to help combat covid-19.** 2021. 55 p. Undergraduate Thesis (Bachelor's Degree in electrical Engineering) — Federal University of Technology — Paraná, Ponta Grossa, 2021.

SARS-Cov-2 is the name of the RNA virus detected in December 2019 in the Wuhan city, China, and is the cause of the disease called coronavirus that spread worldwide in the year 2020. A World Health Organization (WHO) on March 11, 2020, declared level of contamination as a pandemic, forcing countries to countries to take more severe measures to combat the spread of the virus. The disease in its most severe form infects the lungs and compromises the patient's respiratory respiratory system, making it difficult for the patient to breathe, and consequently leading to death. Soon it became necessary to use hospital ventilators to perform mechanical ventilation mechanical ventilation in infected patients who cannot breathe alone. But with the finite number of beds in hospitals and a dramatic increase increase in the number of infected patients, the number of ventilators could not meet the have not been able to meet the needs of the patients. With high demand and low supply, the prices and delivery times of hospital ventilators have increased resulting in preventable deaths that would not have happened if ventilators if ventilators were available. To try to contribute to society and help in this chaotic period, a Federal Technological University of Paraná, both from Ponta Grossa, got together Ponta Grossa, got together and proposed the development of a low-cost mechanical ventilator of low cost and fast construction, based on a windshield wiper DC motor motor, donated by the partner company . This work details the creation of the electronic circuit for the development of an automated Ambu-type mechanical ventilator.

Keywords: Pandemic. Covid-19. Mechanical Ventilator.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ambu Utilizado no Projeto	15
Figura 2 – Curva Pressão x Tempo obtida em um ventilador mecânico convencional.	16
Figura 3 – Exemplo de circuito exposto.	18
Figura 4 – Exemplo de circuito em matriz de contatos (Protoboard).	19
Figura 5 – Exemplo de circuito em placa universal.	20
Figura 6 – Exemplo de circuito impresso pelo método de oxidação.	21
Figura 7 – Exemplo de placas confeccionadas na CNC.	22
Figura 8 – Motor CC utilizado.	25
Figura 9 – Drive Ponte H BTS7960.	26
Figura 10 – Módulo encoder AS5040.	27
Figura 11 – Sensor indutivo LJ121A3.	27
Figura 12 – Sensor de pressão MPX2050DP.	28
Figura 13 – Válvula solenoide.	29
Figura 14 – Transistor NPN TIP 122.	29
Figura 15 – Arduino Mega 2560.	30
Figura 16 – Raspberry Pi 3B+.	30
Figura 17 – Fonte chaveada utilizada.	31
Figura 18 – C.l's reguladores de tensão.	32
Figura 19 – Display LCD 20x4	32
Figura 20 – Botões de aperto (Push Button).	33
Figura 21 – Esquema de ligações ventilador mecânico.	34
Figura 22 – Módulos mecânico e eletrônico.	34
Figura 23 – Prototipagem de placas na universidade.	35
Figura 24 – Esquemático Placa Módulo arduino.	36
Figura 25 – Projeto placa módulo arduino.	36
Figura 26 – Esquemático placa módulo display.	38
Figura 27 – Projeto placa módulo display.	38
Figura 28 – Ambas placas confeccionadas.	40
Figura 29 – Placas terceirizadas.	41
Figura 30 – Conectores e barras de pino.	42
Figura 31 – Chicotes eletrônicos do ventilador mecânico.	43
Figura 32 – Chicotes elétricos do ventilador mecânico.	44
Figura 33 – Suporte encoder magnético no motor.	45
Figura 34 – Suporte das placas de desenvolvimento e drive ponte H.	45
Figura 35 – Ventilador mecânico inteiramente montando.	46
Figura 36 – Módulo eletrônico montado.	46
Figura 37 – Bateria estacionária utilizada.	47
Figura 38 – Circuito exemplo de carga de baterias.	48
Figura 39 – Pulmão Teste Utilizado	50
Figura 40 – Resultados do ventilador quando controlado por pressão.	51
Figura 41 – Resultados do ventilador quando controlado por volume.	52

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

SIGLAS

AMBU	Unidade Manual de Respiração Artificial, do inglês <i>Artificial Manual Breathing Unit</i> .
ANVISA	<i>Agência Nacional de Vigilância Sanitária</i> .
CC	<i>Corrente Contínua</i>
CI	<i>Circuito Integrado</i> .
CNC	<i>Controle numérico Computadorizado</i>
ENIAC	Integrador Numérico Eletrônico e Computador, do inglês <i>Electronic Numerical Integrator and Computer</i> .
IHM	<i>Interface Homem Máquina</i> .
LCD	Tela de Cristal Líquido, do inglês <i>Liquid Cristal Display</i> .
OMS	<i>Organização Mundial da Saúde</i> .
PCI	<i>Placa de Circuito Impresso</i> .
PCV	Ventilador Controlado por Pressão, do inglês <i>Pressure-Controlled Ventilator</i> .
PEEP	Pressão Positiva Expiratória Final, do inglês <i>Positive End-Expiratory Pressure</i> .
PWM	Modulação por Largura de Pulso, do inglês <i>Pulse-Width Modulation</i> .
RNA	Ribonucleic Acid, do inglês <i>Ácido ribonucleico</i> .
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
UTI	<i>Unidade de Tratamento Intensivo</i> .
VCA	<i>Tensão em Corrente Alternada</i> .
VCC	<i>Tensão em Corrente Contínua</i> .
VCV	Ventilador Controlado Por Volume, do inglês <i>Volume-Controlled Ventilator</i> .

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS	13
2	REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1	VENTILAÇÃO PULMONAR HUMANA	14
2.1.1	AMBU	14
2.1.2	PCV - Ventilação controlada a pressão	15
2.1.3	VCV - Ventilação controlada a volume	16
2.1.4	Alarmes	17
2.2	MODELOS DE CIRCUITOS PARA PROTOTIPAGEM	17
2.2.1	Circuito exposto	18
2.2.2	Circuito confeccionado em matriz de contatos (<i>protoboard</i>)	19
2.2.3	Circuito confeccionado em placa universal	19
2.3	CIRCUITOS PROJETADOS EM PROGRAMAS	20
2.4	CIRCUITO CONFECCIONADO EM PLACA DE FENOLITE PELO MÉTODO DE OXIDAÇÃO	21
2.5	CIRCUITO CONFECCIONADO EM PLACA DE FENOLITE PELO MÉTODO DE ESCULTURA (<i>CARVING</i>) VIA CNC	22
2.6	CIRCUITO PRODUZIDO INDUSTRIALMENTE	22
2.7	RESOLUÇÃO ANVISA	23
3	MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1	COMPONENTES UTILIZADOS	25
3.1.1	Motor CC	25
3.1.2	Módulo Ponte H	26
3.1.3	Encoder Magnético	26
3.1.4	Sensor Indutivo	27
3.1.5	Sensor de Pressão	28
3.1.6	Válvula Solenoide	28
3.1.7	Placas de Desenvolvimento	29
3.1.8	Fonte de Alimentação	31
3.1.9	Reguladores de Tensão	31
3.1.10	Display LCD e Botões de Aperto (Push Button)	32
3.2	MONTAGEM DO PROJETO	33
3.2.1	Placa - Módulo Arduino	35
3.2.2	Placa - Módulo Display LCD e Botões.	37
3.2.3	Características das Placas desenvolvidas	39
3.2.4	Confeccionando as Placas	39
3.2.5	Terceirização na Confecção das Placas de Circuito Impressas	40
3.3	CHICOTES E SUPORTE DOS COMPONENTES	41
3.3.1	Chicotes	41
3.3.2	Suporte dos Componentes	44
3.4	ESTRUTURA DO VENTILADOR	46
3.5	BATERIA ESTACIONÁRIA	47
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4.1	CONTROLE POR PRESSÃO	50

4.2	CONTROLE POR VOLUME	51
5	CONCLUSÕES	53
	REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

A humanidade está sempre buscando formas de aperfeiçoar suas atividades, talvez uma de suas maiores características seja a busca incansável pela otimização de processos. As maiores descobertas do Homem sempre desencadearam grandes evoluções tecnológicas. Tempos críticos são os mais ricos em descobertas científicas e evoluções tecnológicas, podendo-se citar como exemplo as tecnologias confeccionadas em épocas de guerra, como por exemplo, o primeiro computador, o ENIAC, desenvolvido durante a 2ª guerra mundial para realizar cálculos balísticos (FRANZÃO, 2021), ou até mesmo as descobertas em meio às crises, como por exemplo o creme de avelã, que foi criado na tentativa de remediar a crise da escassez de grãos de cacau na Itália em decorrência da 2ª guerra (FRANGIONI, 2015).

O momento atual também pode ser considerado um tempo crítico. Uma doença emergente e rápida, fatal e devastadora surgindo inesperadamente no final do ano de 2019 (CODEÇO, 2020), a Sars-Cov-2, também conhecido como coronavírus, se espalhou para o mundo inteiro em questão de poucos meses. Mortes dia após dia, num mundo onde já não há mais vagas em hospitais. De fato, em pouco mais de um ano esta doença foi capaz de alterar os hábitos de todos no planeta.

Em meio a este cenário de insegurança e incerteza, as descobertas e tecnologias preventivas e remediativas são um alívio para a sociedade. As grandes empresas estão sempre em busca de uma forma para contribuir no controle da situação.

Pensando no possível colapso do sistema de saúde, universidades se organizaram com empresas para desenvolver equipamentos de emergência e socorro a vítimas do COVID-19. Uma empresa de caminhões de Ponta Grossa, em parceria com a UTFPR propôs o desenvolvimento de um sistema de ventilação auxiliar para pessoas com os pulmões comprometidos devido à comprometimento do sistema respiratório decorrente do vírus.

Tal equipamento, tendo como base o motor CC de limpador de para brisa de caminhões cedido pela empresa, auxiliaria no ciclo respiratório do paciente. Para isso, deve-se levar em consideração os fatores e variáveis relacionados à respiração humana, tais como pressão de inspiração, pressão de expiração, volume de ar, fluxo de ar respirado, relações de tempo entre inspiração e expiração, e uma série de outros fatores.

Este trabalho se estabelece na pesquisa e desenvolvimento do circuito de comando do aparelho desenvolvido pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, conhecido como AIR - Aparelho de Interface Respiratória, e também se complementa com o trabalho de conclusão de curso *Desenvolvimento de Sistema Embarcado para Ventilador Mecânico Pulmonar do Tipo Ambu Automatizado*, escrito por nossos colegas de projeto e que explica o desenvolvimento da programação dos microcontroladores presentes no ventilador desenvolvido.

1.1 OBJETIVOS

Para o desenvolvimento de um equipamento de ventilação mecânica funcional e seguro, se fazem necessários vários cuidados dos desenvolvedores. O objetivo geral da pesquisa é:

- Desenvolver um circuito de comando funcional para um aparelho de ventilação mecânica, seguindo a resolução 286, de 15 de maio de 2020, do Ministério da Saúde/Agência Nacional de Vigilância Sanitária que estabelece as requisitos mínimos de funcionamento para um ventilador mecânico pulmonar de tipo AMBU automatizado;

Para que o objetivo geral da pesquisa seja concluído, é importante que se tenha atenção em uma série de fatores que contribuem na realização desse objetivo. Os objetivos específicos são:

- Entender conceitos básicos relacionados a ventilação mecânica;
- Aprofundar o conhecimento no uso de softwares de modelagem de circuitos impressos;
- Verificar a especificidade de componentes eletrônicos para determinadas situações;
- Entender os padrões de produção de certos tipos de circuitos elétricos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 VENTILAÇÃO PULMONAR HUMANA

Em se tratando de um equipamento destinado à saúde e tratamento de casos com risco de vida, é importante que se conheça a respeito do assunto e dos cuidados necessários.

Logo no início do projeto do ventilador mecânico, uma fisioterapeuta especialista em terapia intensiva e fisioterapia respiratória, que atua nessas áreas em diversos hospitais de Ponta Grossa, foi convidada a participar do projeto. Com um vasto conhecimento em terapias respiratórias e ventiladores pulmonares, a fisioterapeuta fez uma apresentação para o grupo sobre ventiladores mecânicos (características, funcionamento, operação, funcionalidades, etc.). A profissional explicou que os ventiladores hospitalares convencionais tinham modos de operação de controle por pressão e/ou por volume, e que, para cada modo haviam diferentes informações de entrada para a ventilação do paciente, tais como: valor da PEEP (pressão positiva ao final da expiração), tempo inspiratório ou expiratório, pausa inspiratória, pressão máxima e volume máximo. Esses parâmetros são ajustados pelos profissionais da saúde, de acordo com as necessidades de cada paciente.

2.1.1 AMBU

O AMBU, mostrado na figura 2.1.1, sigla para Artificial Manual Breathing Unit (Unidade Manual de Respiração Artificial), é um aparelho, geralmente feito de silicone, manuseado por profissionais de saúde e socorristas em casos de paradas cardiorrespiratórias (ROCHA, 2020), sendo muito utilizados em unidades de tratamento intensiva (UTI) e em casos de primeiros socorros.

Existem tamanhos diferentes de Ambu, pois há variações no volume de ar que deve ser entregue ao paciente, assim, há tamanhos específicos para recém-nascidos, crianças e adultos (ROCHA, 2020).

Figura 1 – Ambu Utilizado no Projeto



Fonte: autoria própria (2021).

2.1.2 PCV - Ventilação controlada a pressão

Os ventiladores mecânicos mais comuns na maioria dos hospitais são controlados por pressão. Neles, a pressão de inspiração é o ponto principal para controle insuflatório, seguido dos seguintes parâmetros:

1. Fluxo contínuo durante inspiração e expiração;
2. O tempo Inspiratório;
3. A relação Inspiração/Expiração ou a frequência respiratória.

Nestes aparelhos, a ciclagem respiratória tem como sua norteadora a pressão dentro dos pulmões. Na fase inalatória, enquanto o ar é inserido nos pulmões do paciente, as paredes destes órgãos fazem oposição à entrada de ar devido às propriedades elásticas do sistema respiratório.

Esta resistência dá origem à pressão inspiratória, a qual quando alcança o parâmetro pré-configurado pelo operador, alterna para a fase exalatória (CARVALHO, 1998). A curva que relaciona pressão e tempo pode ser observada na figura 2, que apresenta a tela de um ventilador convencional.

2.1.4 Alarmes

Motivando-se pela saúde e segurança do paciente, são necessários dispositivos de alerta para que o operador tenha consciência de possíveis problemas na ciclagem respiratória. Avisos como alterações abruptas na pressão de inspiração e expiração, volume abaixo do esperado, sistema de transporte de ar (também chamado de traqueia) desacoplado, PEEP acima ou abaixo do estipulado são essenciais para estes equipamentos.

Percebe-se, então, que para o protótipo do ventilador mecânico deste trabalho são essenciais métodos de mensurar (direta ou indiretamente) parâmetros como: a pressão pulmonar, o volume inalado, o fluxo respiratório, tempos de inspiração e expiração, frequência respiratória e proporção inspiratória.

2.2 MODELOS DE CIRCUITOS PARA PROTOTIPAGEM

É notória a importância do estudo dos métodos de gerenciamento de sinais elétricos dentro de qualquer projeto ou protótipo de equipamento. Dispondo-se do fato das necessidades do equipamento, podem-se levar em consideração 4 métodos de gerenciamento de cabos e sinais elétricos:

1. Circuito Exposto;
2. Circuito confeccionado em interface de matriz de contatos (*proto-board*);
3. Circuito confeccionado em placa universal;
4. Circuitos projetados em programas:
 - a) Circuito confeccionado em placa de fenolite pelo método de oxidação;
 - b) Circuito confeccionado em placa de fenolite pelo método de escultura (*carving*) via CNC;
 - c) Circuito produzido industrialmente.

Todos os métodos serão estudados e analisados para o gerenciamento dos circuitos no projeto em questão.

2.2.1 Circuito exposto

O circuito exposto é o método mais primitivo no gerenciamento de sinais elétricos. É também o mais simples e rápido de montagem. Ao se elaborar um circuito de testes, muitas vezes é preciso obter os resultados de uma forma rápida e prática. A Figura 3 apresenta um exemplo de circuito exposto, que foi implementado para os testes iniciais com o motor.

Figura 3 – Exemplo de circuito exposto.



Fonte: autoria própria (2021).

A desvantagem perceptível aqui é a dificuldade para reparos e análises futuras. Um circuito confeccionado por este método também torna quase impossível sua repetição em série.

Outro ponto a ser observado é que, com o passar do tempo, o transporte do equipamento gera um desgaste nos cabos, o que torna inviável este método para o dispositivo em questão o qual sempre estará em movimento devido à alta taxa de emergências.

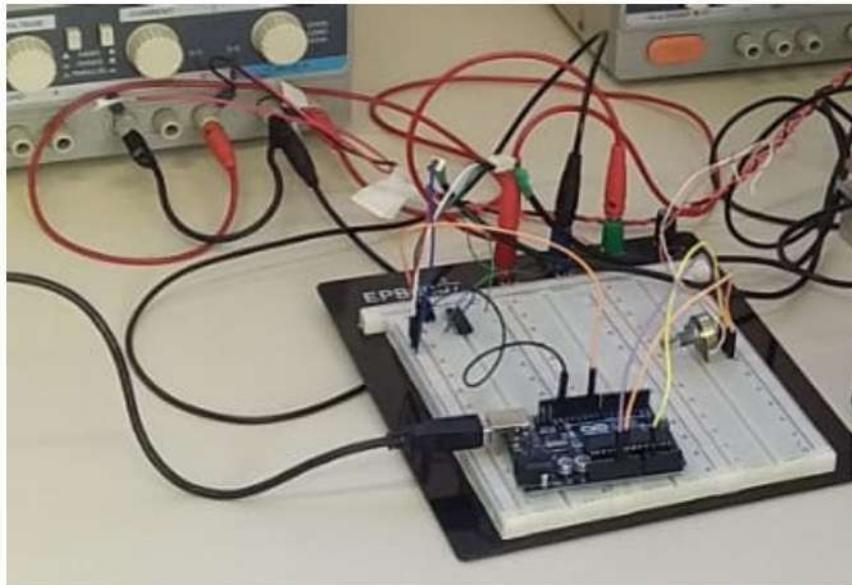
Em dispositivos onde se faz o uso de sinais digitais, um fator importante também é a clareza e veracidade dos sinais transportados. Pelas Leis de Ampère e Faraday (UFSM, 2020), ao passar corrente elétrica pelos fios condutores, um campo magnético é induzido em torno destes fios. Tal campo magnético, por sua vez, gera também uma corrente elétrica indesejada pelo caminho do circuito. Este acontecimento resulta em comprometimento dos dados entregues e recebidos pelo circuito.

Tais características corroboram para uma conclusão a respeito do projeto de que um circuito exposto não é uma boa opção para o desenvolvimento do equipamento de ventilação.

2.2.2 Circuito confeccionado em matriz de contatos (*protoboard*)

A *protoboard* está sempre presente em experimentos envolvendo eletrônica, tanto digital quanto analógica. É um método igualmente simples de se montar um circuito quando comparado ao circuito exposto, entretanto neste cenário as mudanças de equipamentos são de fácil acesso, visto que os componentes são apenas encaixados na placa (ver figura 4).

Figura 4 – Exemplo de circuito em matriz de contatos (Protoboard).



Fonte: autoria própria (2021).

Devido ao uso repetitivo em vários projetos, a matriz de contato acaba perdendo as trilhas de cobre de seu interior, deixando os contatos entre os seus pinos pouco eficientes. Por este motivo seu uso não é indicado ao se construir diversos protótipos.

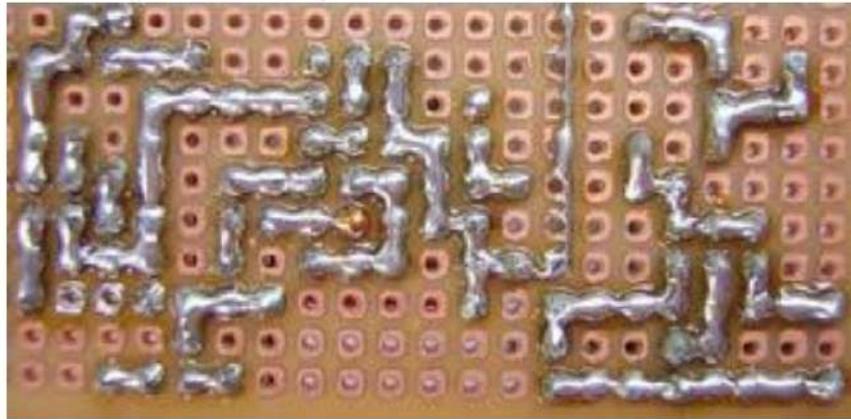
Outro percalço observado na *protoboard* é que seu transporte ocasiona na perda do encaixe dos componentes eletrônicos, dificultando a sua operação em situações de grande movimentação. Tal ferramenta também, devido à sua versatilidade, tem tamanhos que podem ser acima dos permitidos dentro dos projetos, o que a torna uma ferramenta para testes de conceito e pequenas apresentações.

2.2.3 Circuito confeccionado em placa universal

A placa universal é um método onde os componentes eletrônicos são soldados na peça de circuito (YANO, 2015), o que evita os problemas com transporte os quais

foram apontados nas secções 2.2.1 e 2.2.2. Nesta montagem o circuito tende a ter minimizados os problemas de contato entre os caminhos dos circuitos. Um exemplo de circuito montado na placa universal pode ser visto na figura 5.

Figura 5 – Exemplo de circuito em placa universal.



Fonte: (YANO, 2015).

Como todos os caminhos precisam ser soldados neste método, algumas vezes deixa de ser prático o uso da placa universal, em projetos onde há várias ligações, uma vez que geralmente é necessária ser feita uma soldagem de cabos na matriz, pois os caminhos de trilhas bloqueiam a passagem.

Em razão de se usar uma ferramenta como o ferro de solda para fazer todos os ligamentos da placa, o processo pode tornar-se lento e passível de erros, o que torna este método menos vantajoso na prototipagem do equipamento de ventilação.

2.3 CIRCUITOS PROJETADOS EM PROGRAMAS

Os circuitos elaborados em *softwares* são formas de otimizar o tempo de confecção de circuitos elétricos, visto que são pensados com o propósito de evitar erros de montagem e padronizar os circuitos. O desenho feito no computador pode ser facilmente replicado ou processado por empresas terceirizadas a fim de se criar uma placa de circuito para o equipamento.

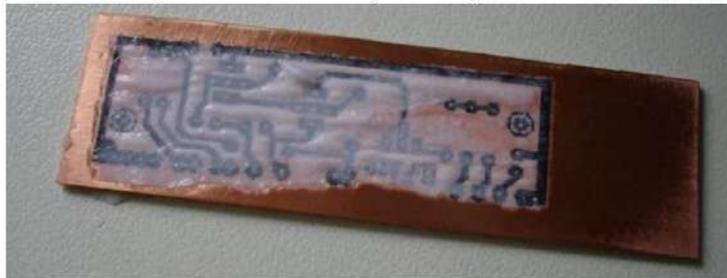
O tempo de confecção destes circuitos é maior do que os outros métodos citados até aqui (YANO, 2015), entretanto fatos como facilidade em montagem, padronização, fácil localização de setores do circuito, estabilidade e resistência dos componentes em transporte fazem dessa opção uma grande vantagem para circuitos de projetos e protótipos.

Dados digitais sendo transportados pelas trilhas dos circuitos impressos também não apresentam problemas com interferência eletromagnética, o que faz dos métodos que usam este tipo de circuito muito vantajosos para elaboração do circuito do aparelho deste trabalho.

2.4 CIRCUITO CONFECCIONADO EM PLACA DE FENOLITE PELO MÉTODO DE OXIDAÇÃO

As placas de fenolite são de baixo custo, e ao reagirem com percloroeto de ferro ($FeCl_3$) geram uma reação química de corrosão (YANO, 2015). Para que o circuito seja feito, são usados materiais para tingir as partes da placa que serão mantidas (geralmente são usados caneta permanente ou papel de fotografia com ferro de passar roupas). Ao mergulhar a placa no percloroeto, as partes que não possuem tinta são totalmente corroídas, em compensação a parte onde a tinta foi depositada permanece intacta (ver figura 6).

Figura 6 – Exemplo de circuito impresso pelo método de oxidação.



Fonte: (YANO, 2015).

Para pequenos protótipos ou projetos com número reduzido de exemplares este método é suficiente, visto que as placas possuem uma finalização satisfatória e com bons acabamentos. O processo de corrosão dura em torno de vinte minutos. Como esta metodologia requer muito cuidado no processo de fabricação, nos processos em série a probabilidade do resultado final ser indesejado ou conter defeitos de fabricação é alta.

A furação das placas aqui também é manual. Após a corrosão, o produtor deve utilizar equipamentos para criar os furos. Em placas com vários furos também pode-se ter um problemas nessa ocasião, visto que o cuidado é ainda maior.

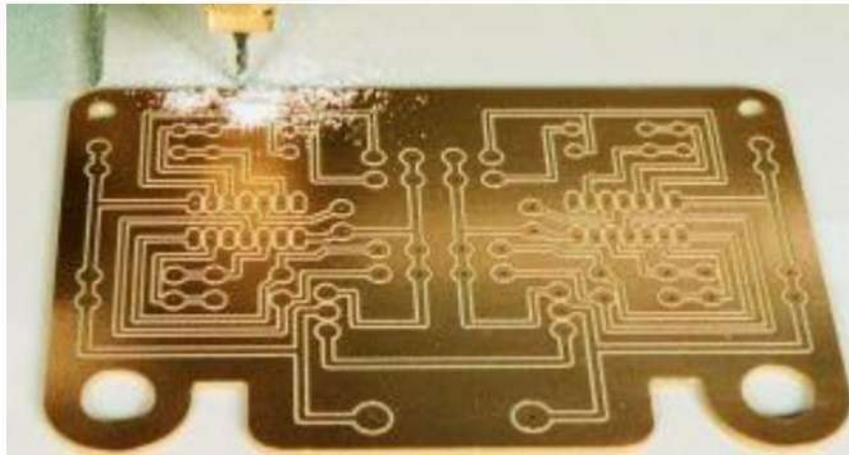
2.5 CIRCUITO CONFECCIONADO EM PLACA DE FENOLITE PELO MÉTODO DE ESCULTURA (*CARVING*) VIA CNC

Pelo procedimento chamado de *encarving*, a retirada da camada de cobre em excesso da placa de fenolite é feita a partir de uma máquina de Controle Numérico Computadorizado (CNC). As fresas da máquina percorrem os caminhos dos vãos, dando origem às trilhas e às malhas. Também é possível fazer o roteamento das trilhas pela frente e verso da placa. Essa possibilidade garante que circuitos complexos possam ser feitos com mais facilidade.

O procedimento de furação pode ser feito na máquina CNC, por meio das brocas. A confecção de uma placa por este método pode demorar entre 15 a 45 minutos, dependendo da complexidade da placa.

Por ser um procedimento feito majoritariamente por computadores, as chances de erro e não conformidades dos resultados finais são menores. A figura 7 ilustra um exemplo de confecção de placas através de uma CNC.

Figura 7 – Exemplo de placas confeccionadas na CNC.



Fonte: (YANO, 2015).

2.6 CIRCUITO PRODUZIDO INDUSTRIALMENTE

Em se tratando de projetos ou construções de circuitos em larga escala, o método industrial é sem dúvidas o mais indicado. O circuito desenvolvido em software é encaminhado à empresa e em poucos dias as placas são entregues para o projeto. As placas de circuito impresso confeccionadas por este modo se encontram em lugares

como eletrodomésticos e computadores.

Por ser um método feito por encomenda, este se torna o mais demorado dos percorridos nesta secção, entretanto é o processo com os melhores resultados. Também é o com o maior custo, mas por ser uma fabricação industrial, o preço diminui em relação ao aumento de peças solicitadas (YANO, 2015).

2.7 RESOLUÇÃO ANVISA

Além dos cuidados relacionados ao circuito do equipamento, outros cuidados foram avaliados. A segurança de um dispositivo hospitalar é essencial. No dia 15 de maio de 2020 foi emitida a resolução número 386. Tal resolução tem como objetivo definir os critérios e procedimentos que devem ser observados na elaboração de dispositivos de ventilação pulmonar categorizados como "Ambu automatizados"(TORRES, 2020), dos quais o aparelho de interface respiratória (AIR), objeto de estudo deste trabalho, se enquadra.

Os pontos avaliados e observados no projeto e desenvolvimento do ventilador mecânico deste trabalho foram os seguintes:

1. ventilação mecânica invasiva controlada a volume (VCV);
2. ventilação mecânica invasiva controlada e limitada a pressão e ciclada a tempo (PCV);
3. controle de delta de pressão (sobre a PEEP) no modo PCV (de 5 a 30 cmH₂O) e controle de volume corrente inspirado no modo VCV (de 50 a 700 ml);
4. controle de fração inspirada de oxigênio- FiO₂ (21 a 100%);
5. pressão positiva ao final da expiração- PEEP (0 até 20 cm H₂O);
6. controle de tempo inspiratório (no modo PCV) em segundos (0,3 - 2,0 s) e fluxo inspiratório (no modo VCV) - até 70 L/min;
7. controle de frequência respiratória - 8 a 40 RPM;
8. medida de pressão de vias aéreas (manômetro analógico ou digital);
9. medida de volume corrente expirado sempre que possível;
10. alarme de pressão máxima em vias aéreas, vazamento e queda de rede de gases;
11. possibilidade de anexar filtro tipo HEPA de alta capacidade (N99 ou N100)

no ramo expiratório;

12. bateria com pelo menos 2 horas de capacidade.

Tais pontos são de crucial importância para o ideal funcionamento e para a objetividade do dispositivo. A respeito dos componentes utilizados e dimensionados para este projeto, uma análise será feita na secção 3.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 COMPONENTES UTILIZADOS

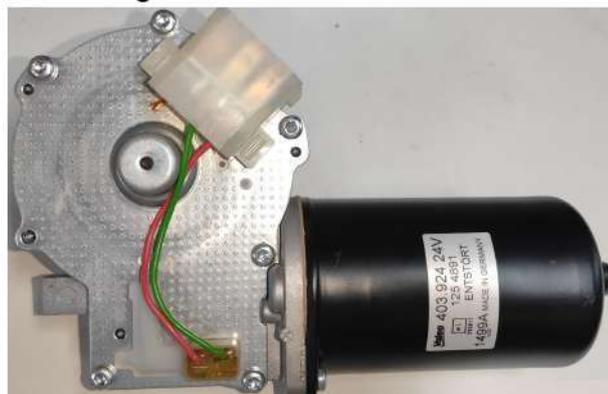
Como já descrito na secção 2, para o bom funcionamento e eficiência do equipamento, uma série de componentes foi avaliada para implementação. As considerações levantadas serão abordadas individualmente a cada componente.

3.1.1 Motor CC

Motor elétrico é um equipamento capaz de converter energia elétrica em energia mecânica. Motor CC é um motor alimentado por corrente contínua e sua velocidade pode ser controlada variando sua tensão de alimentação (SILVEIRA, 2016).

Para a realização deste trabalho foi utilizado um motor doado pela empresa de caminhões parceira do projeto e foi a partir dele que todos os aspectos do ventilador mecânico foram escolhidos. O motor em questão figura pode ser visto na 8 e é de corrente contínua de ímã permanente que originalmente era utilizado para a realizar o processo de limpeza em para brisas de caminhões. O motor trabalha nas tensões de 12 e 24 VCC, e possui dois modos distintos de operação, sendo eles os de alta e baixa rotação. No primeiro modo de operação, operando em 24 VCC, a velocidade do motor é maior enquanto o torque do mesmo é menor. No segundo modo, operando em 12 VCC, a velocidade do motor é menor enquanto o torque disponível é maior. Para o projeto, foi utilizado o motor no modo de maior velocidade.

Figura 8 – Motor CC utilizado.



Fonte: autoria própria (2021).

3.1.2 Módulo Ponte H

Ponte H na eletrônica é um circuito de potência que possibilita através da abertura e fechamento de chaves, inverter o sentido da corrente elétrica que chega a uma carga (GUIMARÃES, 2018), e que normalmente é usado para inverter o sentido de rotação em motores. No projeto foi utilizado o módulo drive ponte H BTS7960, que pode ser visto na figura 9, pois o mesmo atende tanto os requisitos de tensão e corrente do motor.

Figura 9 – Drive Ponte H BTS7960.



Fonte: autoria própria (2021).

3.1.3 Encoder Magnético

Com o intuito de verificar a posição do braço mecânico, ou seja a posição angular do eixo motor, responsável pelo aperto do AMBU, a equipe avaliou o uso de um sensor de posicionamento angular externo. Utilizando esse sensor de posição é possível ter o controle do aperto do AMBU, para que o fluxo de ar para o paciente seja o mais preciso possível. Foi escolhido um encoder, sensor capaz transformar a posição angular em um sinal elétrico digital (ALTUS, 2019), do tipo magnético, AS 5040. Por ser magnético, o mesmo não necessita de contato físico com o eixo do motor, assim havendo um isolamento entre a parte elétrica e a mecânica, resultando em uma proteção tanto na manutenção do aparelho, quanto na segurança do paciente. O encoder utilizado pode ser visto na figura 10.

Figura 10 – Módulo encoder AS5040.



Fonte: autoria própria (2021).

3.1.4 Sensor Indutivo

Sensores indutivos são sensores de proximidade capazes de detectar objetos metálicos dentro de pequenas distâncias e transformar essa detecção em um sinal elétrico digital (SILVEIRA, 2015).

Como medida de proteção para caso o braço mecânico ultrapasse uma posição de rotação final pré estabelecida, assim danificando o próprio braço, foi instalado o sensor indutivo LJ12A3 próximo ao mecanismo de aperto. O sensor indutivo utilizado pode ser visto na figura figura 11.

Figura 11 – Sensor indutivo LJ121A3.



Fonte: autoria própria (2021).

3.1.5 Sensor de Pressão

Sensor de pressão é um dispositivo capaz de mensurar variações na pressão de fluídos e converter esse valor em um sinal elétrico analógico (MARQUES, 2020). Sendo um item intrínseco em qualquer ventilador, sensores de pressão se fazem necessário tanto para a ventilação correta quanto segurança do paciente caso haja irregularidades na pressão final que chega ao mesmo. O sensor de pressão utilizado no projeto foi o MPX2050DP da NXP, que pode ser visto na figura 12, um sensor aprovado para uso em equipamentos de cunho médico, pois trabalha em cmH_2O , unidade de pressão usada em ventiladores convencionais.

Figura 12 – Sensor de pressão MPX2050DP.



Fonte: autoria própria (2021).

3.1.6 Válvula Solenoide

Válvula é um dispositivo de regulagem e controle no fluxos de fluídos através de abertura e fechamento parcial ou total de suas passagens. Uma válvula solenoide nada mais é que uma válvula eletromecânica normal com uma bobina elétrica com um núcleo ferromagnético chamado êmbolo (SILVEIRA, 2017), que libera e/ou interrompe o fluxo do fluído dependendo do sinal elétrico recebido.

Durante o processo de ventilação do paciente, na fase de expiração, para que o ar expirado não retorne para o AMBU, uma válvula solenoide foi instalada para redirecionar o fluxo expiratório para fora do sistema de ventilação, assim garantindo a ciclagem correta de oxigênio do paciente. A válvula solenoide utilizada pode ser vista

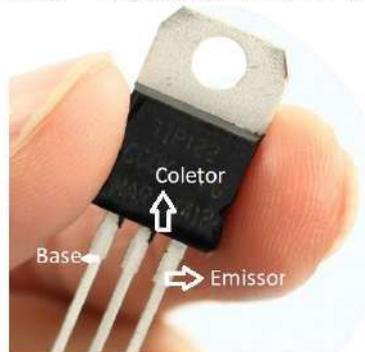
na figura 13 e é uma 2/2 X 3/8 NPT com abertura de 3,2 milímetros e com uma bobina de 24VCC. O acionamento da válvula é feito com o chaveamento do pino base de um transistor NPN TIP 122 visto na figura 14. Quando há corrente no pino base, a válvula solenoide é acionada e quando não corrente no pino base, a mesma é desacionada.

Figura 13 – Válvula solenoide.



Fonte: autoria própria (2021).

Figura 14 – Transistor NPN TIP 122.



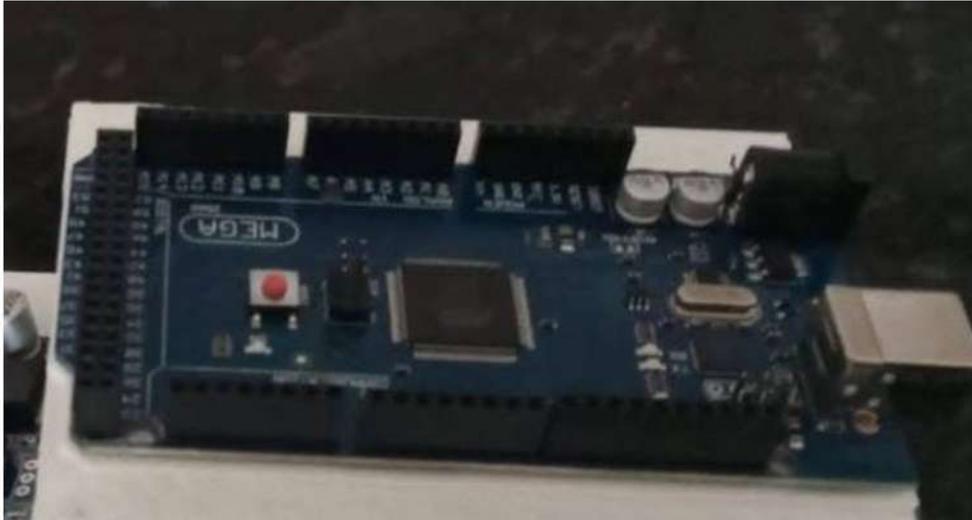
Fonte: autoria própria (2021).

3.1.7 Placas de Desenvolvimento

Para realizar o controle do motor e todos os transdutores, foi utilizado o microcontrolador ATMEGA 2560, o mesmo incorporado ao projeto Arduíno, visto na figura 15, que é uma placa de desenvolvimento muito utilizada para prototipagem de produtos. A escolha por essa placa foi tomada com base no seu baixo preço, na sua grande quantidade de pinos digitais, 54 no total, dos quais 14 oferecem saída PWM que é muito utilizado no projeto. Outros fatores que influenciaram na escolha do microcontrolador

foi a facilidade de se programar nele, já que o mesmo utiliza uma linguagem baseada em C/C++, a quantidade de material de apoio disponibilizado para a pesquisa e uma grande compatibilidade com diversos sensores e drives externos (THOMSEN, 2014).

Figura 15 – Arduino Mega 2560.



Fonte: autoria própria (2021).

Também foi utilizada uma placa de desenvolvimento Raspberry Pi, modelo 3B+ visto na figura 16, para a criação de uma DASHBOARD (painel visual que apresenta algumas informações) com o intuito de realizar o monitoramento do ventilador como um todo. Como a placa disponibiliza uma saída de vídeo HDMI, a mesma consegue se conectar a um monitor externo e exibir informações do ventilador mecânico, sendo algumas dessas informações como gráficos de pressão, volume e vazão, e também alertar quando há algum problema na ventilação do paciente.

Figura 16 – Raspberry Pi 3B+.



Fonte: autoria própria (2021).

3.1.8 Fonte de Alimentação

Fontes chaveadas são conversores estáticos de corrente alternada para corrente contínua reguladas por chaveamento e são amplamente usadas em equipamentos eletrônicos, pois apresentam maiores eficiências, regulação melhor de energia e possuem tamanhos muito menores comparados com fontes lineares (BRAGA, 2012). Para alimentar todos os componentes do projeto, foi utilizada uma fonte chaveada capaz de suprir as necessidades de tensão e corrente do projeto, fornecendo saída com tensão de 24VCC e corrente de 14A. A fonte utilizada pode ser vista na figura 17, também é um modelo bivolt, sendo capaz de operar nas tensões de 127 e 220 VCA.

Figura 17 – Fonte chaveada utilizada.



Fonte: autoria própria (2021).

3.1.9 Reguladores de Tensão

Há componentes no ventilador que necessitam de tensões diferentes da tensão de 24 VCC fornecido pela fonte, logo se fez necessário a utilização de reguladores de tensão, componentes eletrônicos que tem por finalidade reduzir e regular um valor de

tensão específica para uma determinada carga (GUEDES, 2020). Para o nosso projeto, foram utilizados dois circuitos integrados (CI) de regulação de tensão, sendo eles o LM7812 para ter uma tensão de 12 VCC e o LM7805 para ter uma tensão de 5VCC, que podem ser vistos na figura 18.

Figura 18 – C.I's reguladores de tensão.



Fonte: autoria própria (2021).

3.1.10 Display LCD e Botões de Aperto (Push Button)

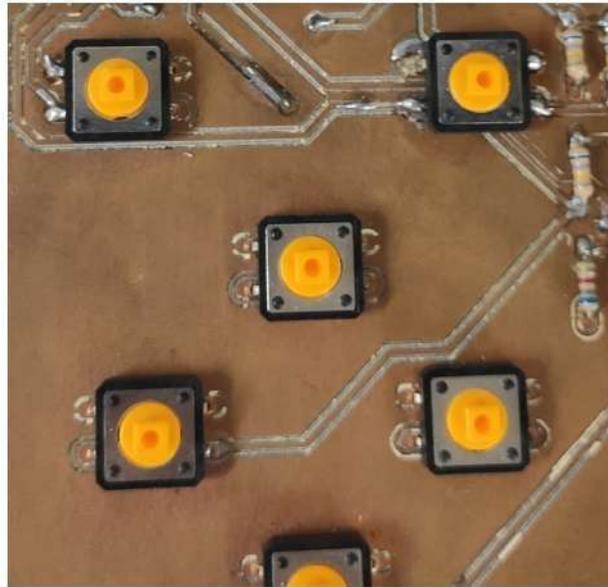
Como há a necessidade de ajustar e visualizar parâmetros, tais quais, como valores de pressão, volume, etc, foi desenvolvido uma Interface Homem-Máquina (IHM), com a utilização de um Display LCD 20x4 e vários botões de aperto, mais conhecidos com push button, que podem ser vistos nas figuras 19 e 20.

Figura 19 – Display LCD 20x4



Fonte: autoria própria (2021).

Figura 20 – Botões de aperto (Push Button).



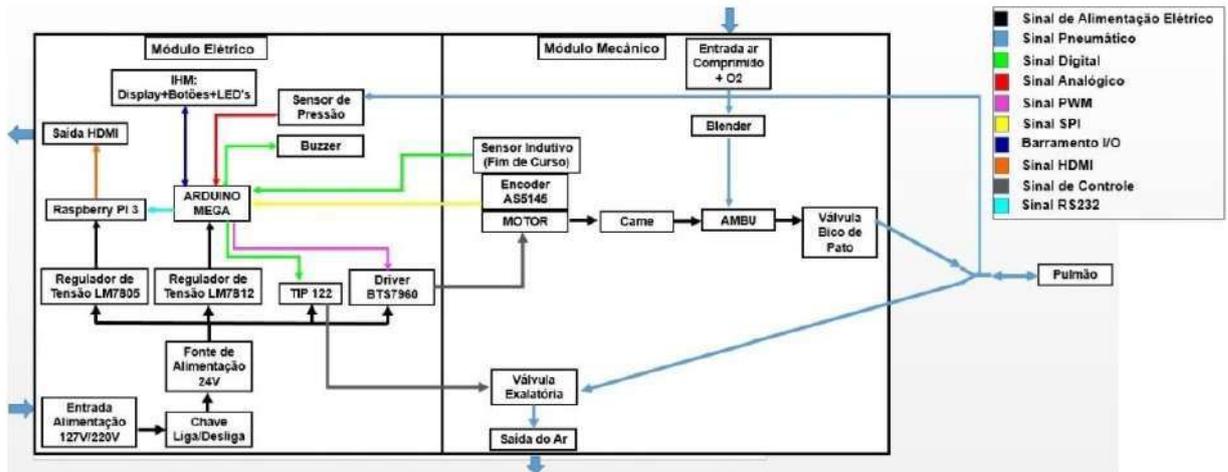
Fonte: autoria própria (2021).

3.2 MONTAGEM DO PROJETO

Durante o início do projeto, matrizes de contato, as denominadas protoboard's (sessão 2.2.2) foram amplamente utilizadas para realizar testes e provas de conceitos, e ainda no primeiro protótipo apresentado, em conjunto com o uso dessas protoboard's, também foram muito utilizados os circuitos expostos (sessão 2.2.1) para conexão dos componentes do ventilador. Para um primeiro protótipo, o uso desses modelos de circuitos são perfeitamente razoáveis e funcionais, porém os constantes imprevistos ocasionados pelos maus contatos, tornou o uso desses modelos de circuitos muito inconvenientes. Logo se viu a necessidade de evoluir o projeto.

Após a apresentação do primeiro protótipo, foi desenvolvido um esquema de ligações do ventilador mecânico que podem ser visto na figura 21. Esse esquema auxiliou na decisão de se fazer uma segunda versão do ventilador, esta tendo um aspecto modular, ou seja, separando-os em módulo mecânico e eletrônico, podendo ser visto na figura 22. Isso ajudou tanto na montagem, quanto em possíveis manutenções, pois havendo algum problema em qualquer um dos módulos, o mesmos podem ser trocados por outros módulos funcionais em questão de minutos.

Figura 21 – Esquema de ligações ventilador mecânico.



Fonte: autoria própria (2021).

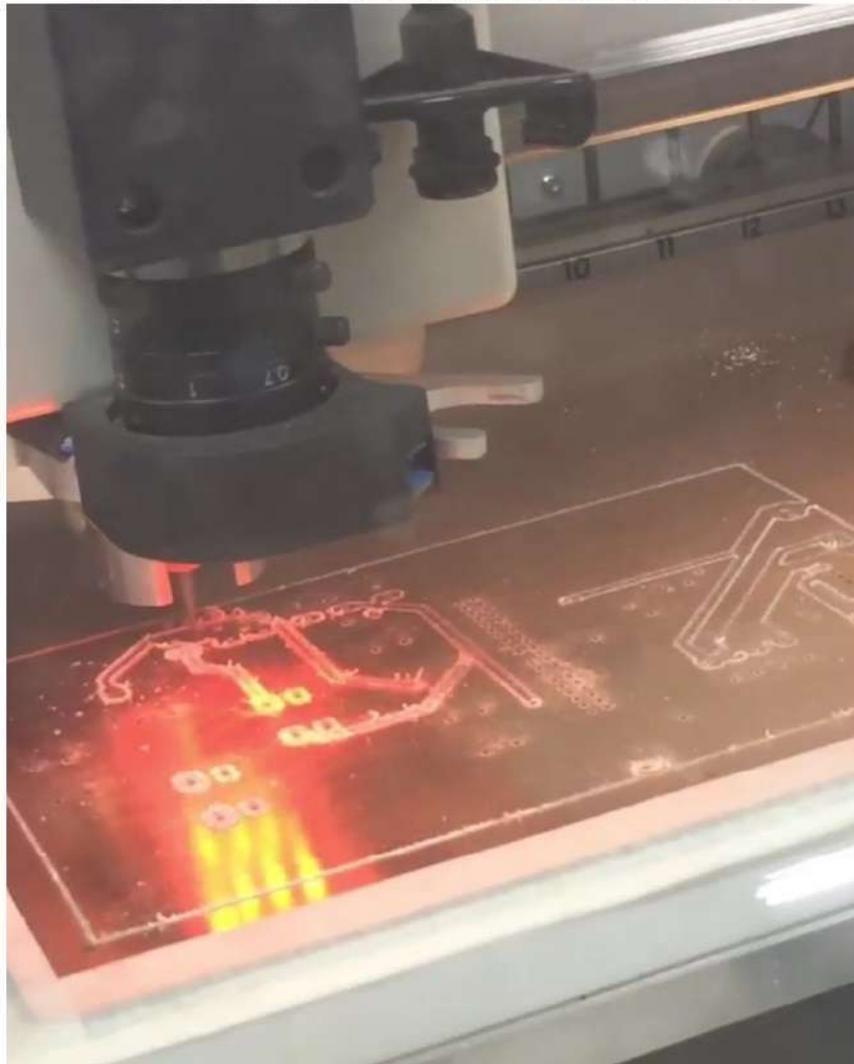
Figura 22 – Módulos mecânico e eletrônico.



Fonte: autoria própria (2021).

Após validar os esquemas elétricos e eletrônicos do ventilador, foram desenvolvidas placas de circuito impresso para auxiliar na reprodução dos mesmos. Para o desenvolvimento das placas, foi utilizado o método descrito na sessão 2.3, ou seja, as placas foram modeladas através do uso de software, em nosso caso, o Eagle da Autodesk com uma licença gratuita disponibilizada para estudantes. Depois de modeladas, utilizando o método descrito na sessão 2.5, as placas foram confeccionadas em uma CNC na prototipadora da própria universidade, como pode ser visto na figura 23.

Figura 23 – Prototipagem de placas na universidade.

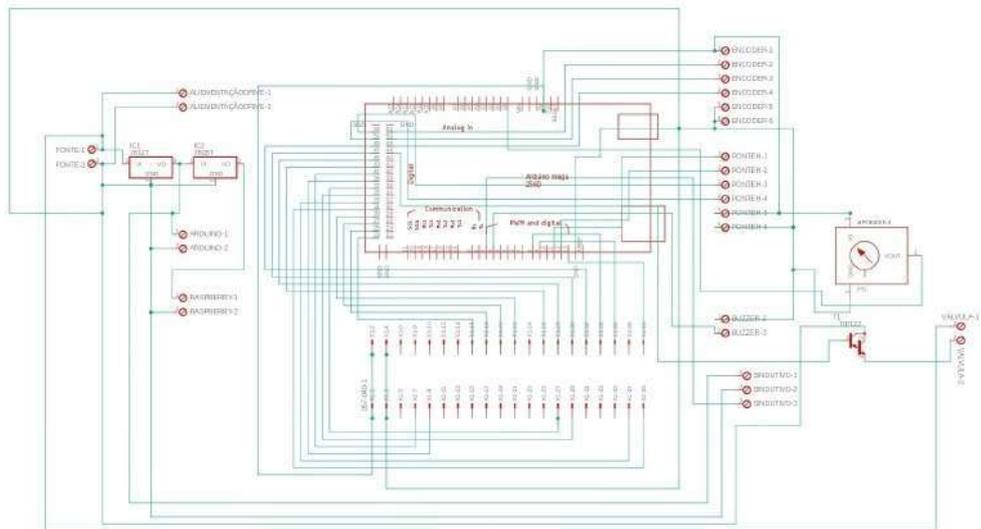


Fonte: autoria própria (2021).

3.2.1 Placa - Módulo Arduino

A primeira placa de circuito impresso desenvolvida foi a placa denominada de módulo Arduino. Todos os sensores e drives do ventilador mecânico são conectados a essa placa, pois a mesma é acoplada a placa de desenvolvimento Arduino. No software Eagle, na parte de criação de esquemáticos, o circuito do ventilador foi recriado, com todas as conexões corretas. O esquemático da placa de circuito impresso do módulo arduino pode ser visto na figura 24.

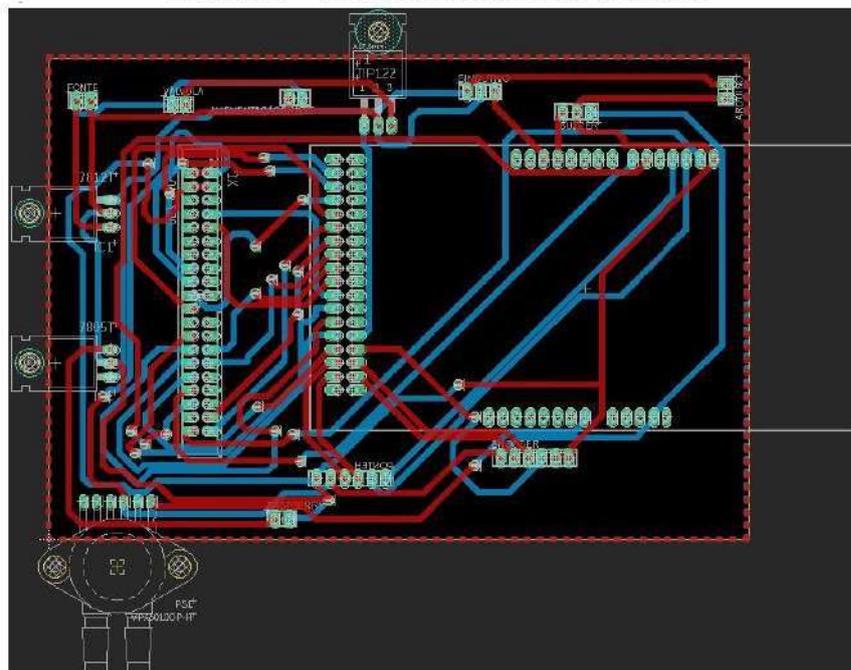
Figura 24 – Esquemático Placa Módulo arduino.



Fonte: autoria própria (2021).

Após a criação do esquemático, ainda no software Eagle, o projeto foi transportado para a parte de modelagem, para então assim criar as trilhas de contato entre os componentes. Como havia uma quantidade enorme de conexões houve a necessidade de criar as trilhas da placa em duas camadas, sendo elas a superior e inferior. A placa ficou com as dimensões de 120x70 milímetros. A figura 25 mostra o projeto modelado, sendo as trilhas em vermelho correspondentes a camada superior da placa e as trilhas em azul correspondentes a camada inferior.

Figura 25 – Projeto placa módulo arduino.



Fonte: autoria própria (2021).

3.2.2 Placa - Módulo Display LCD e Botões.

A segunda placa projetada foi nomeada de placa-display, nela foram inseridos todos os componentes responsáveis pela IHM, que possibilita a interação entre o usuário e o aparelho. Para mostrar os dados referentes ao ciclo respiratório, a equipe de desenvolvimento optou por um display de cristal líquido com capacidade de 4 linhas e 20 colunas. Desta forma, os dados poderiam ser apresentados com mais clareza de informação. Além disso, pensando em uma fácil navegação pelas configurações do sistema, um display com 4 linhas pode disponibilizar os parâmetros de uma forma mais eficaz.

Os botões foram planejados em uma forma de 4 direcionais (cima, baixo, esquerda e direita), além de mais dois botões de "decisão"(confirmar e anular). Dessa forma, mesmo com limitações, ainda é possível ter-se uma navegação intuitiva pelos menus do equipamento. Também pensando na clareza da navegação os botões direcionais possuem cores neutras, enquanto que o botão de confirmação é verde e o de anulação é vermelho.

Em se tratando de um equipamento de emergência, é indispensável a presença de ferramentas as quais tornem possível o alarde de situações que requerem atenção do operador. Dessa forma, a equipe projetou a interface com 4 indicadores de LED, sendo eles: vermelho, amarelo, azul e verde. Cada um desses LEDs serve para indicar situações diferentes.

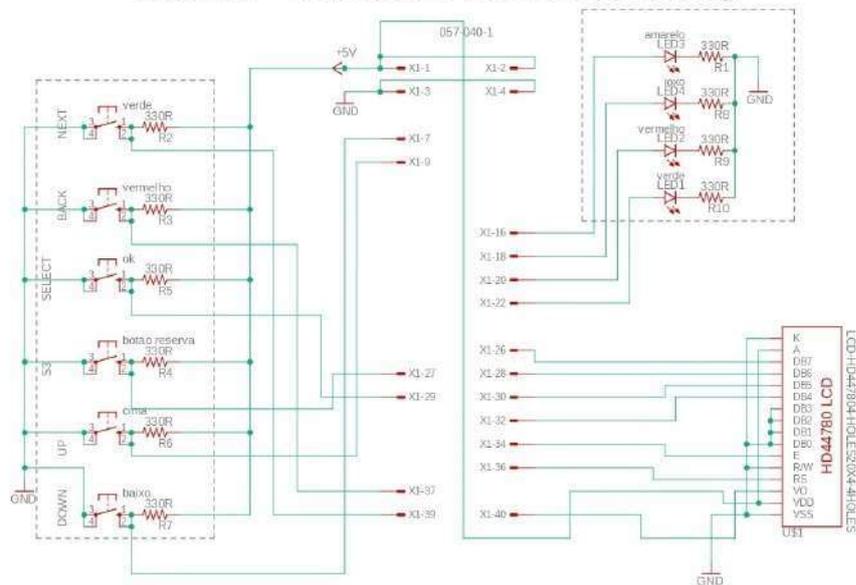
Os alarmes de urgência, quando acionados, são também sinalizados por um *buzzer*, uma vez que o sinal sonoro pode auxiliar o operador, nos casos em que ele estiver distante da máquina.

A comunicação entre o circuito de comando e a placa de interface foi elaborada pela equipe com o intuito de reduzir os ruídos e as falhas nas transmissões de dados. Como a placa de interface possui um display LCD, qualquer problema em comunicação pode causar um grande resultado negativo na exibição dos dados. O método de comunicação dos dados foi via cabo Flat, com 40 vias, sendo 4 para os LEDs de alerta, 6 para os botões, 6 para o display LCD, e mais 2 para cada terminal de alimentação.

Com todos os periféricos e especificações levantados, foi então possível a elaboração do circuito esquemático de todo o módulo do display. O circuito da Figura 26 apresenta os componentes utilizados, sendo que à esquerda se concentram as

entradas (*inputs*) e à direita as saídas (*outputs*).

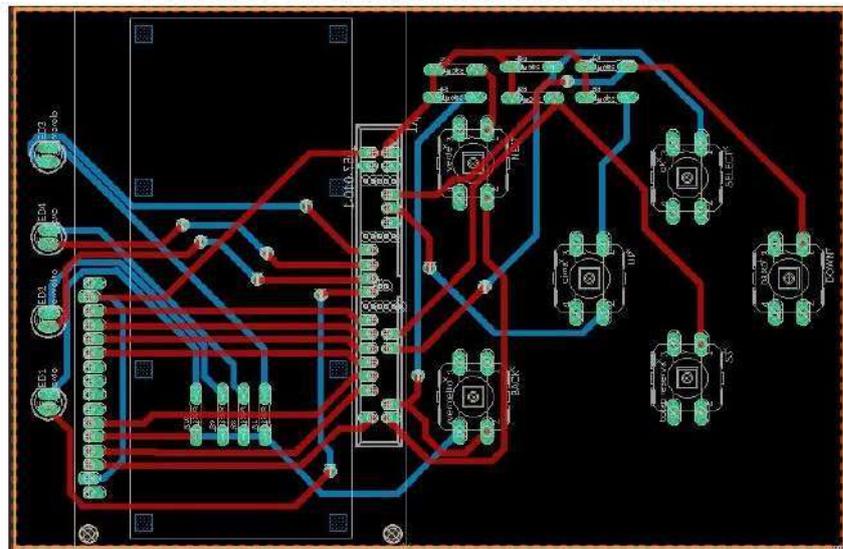
Figura 26 – Esquemático placa módulo display.



Fonte: autoria própria (2021).

Dessa forma as duas placas praticavam a sua comunicação de dados processados e inseridos. Pode-se perceber, na Figura 27, a presença do conector *Flat*, por onde ocorre a comunicação dos dados da interface. A placa tem dimensão de 150x95 milímetros.

Figura 27 – Projeto placa módulo display.



Fonte: autoria própria (2021).

3.2.3 Características das Placas desenvolvidas

Ambas as placas desenvolvidas possuem as mesmas características de projeto, sendo elas:

1. A espessura das trilhas de cobre e dos furos é de 1 milímetro;
2. A distância mínima entre as trilhas de cobre é de 1 milímetro;
3. A distância dos Pads (ilhas de cobre ao redor dos furos) é 1 milímetro;
4. Os pads possuem formatos ovais, pois auxiliam na hora de soldar as placas;
5. As placas possuem, tanto no lado superior quanto inferior, vazamentos de cobre (Copper pour) conectados ao pino terra, assim formando malhas de terra, fazendo com que a impedância total da placa diminua e com isso melhorando a qualidade final da mesma;
6. As placas possuem diversas vias para conectar trilhas da parte superior e inferior.

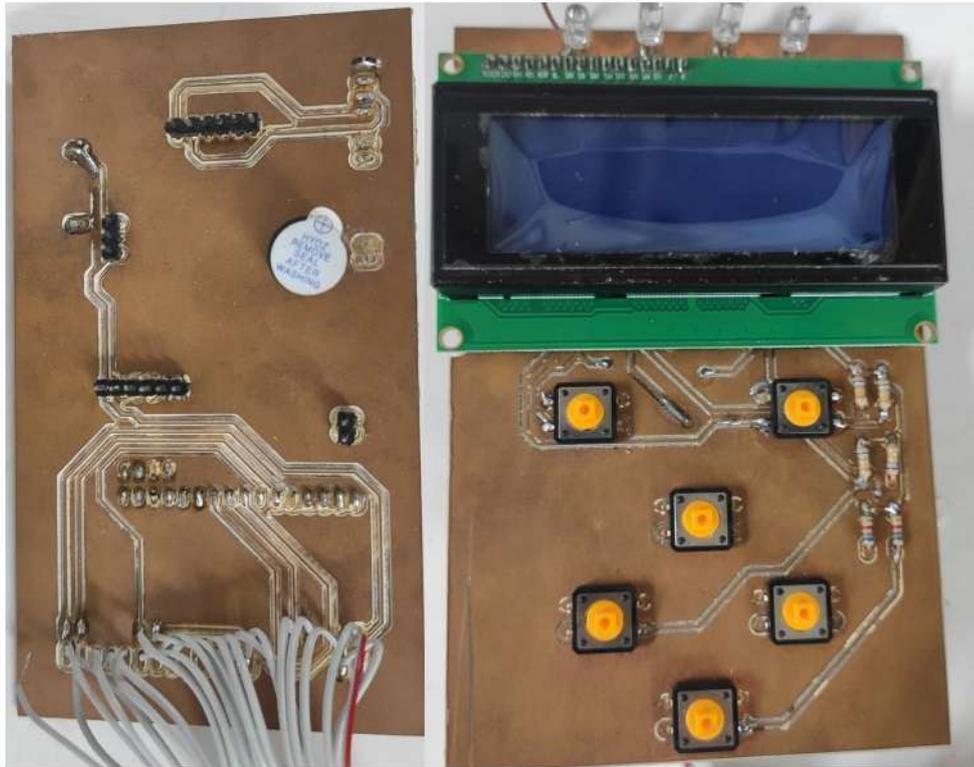
3.2.4 Confeccionando as Placas

Após o desenvolvimento das placas no Eagle, as mesmas foram carregadas para o software de comando da prototipadora da universidade. Com o projeto carregado, o processo de confecção das placas foi o seguinte:

1. Foi depositado uma placa de fenolite cobreada na base da prototipadora;
2. Foi realizado 4 furos, um em cada extremidade da placa, denominados pontos fiduciais, com uma de broca de 2 milímetros. Quando a placa de fenolite é invertida, uma câmera da prototipadora faz a leitura desses pontos para continuar a confecção do outro lado sem erros de alinhamento;
3. Foi realizado todos os furos da placa com uma broca de 1 milímetro;
4. Foi realizado o processo de encaving da parte superior da placa com uma fresa de 1 milímetro;
5. Foi realizado a inversão da placa de fenolite na base da prototipadora;
6. A câmera localizou os pontos fiduciais;
7. Foi realizado o processo de encaving da parte inferior da placa com uma fresa de 1 milímetro;
8. Foi realizado um corte final ao redor da placa com uma broca de 2 milímetros.

As placas confeccionadas podem ser vistas na figura 28.

Figura 28 – Ambas placas confeccionadas.



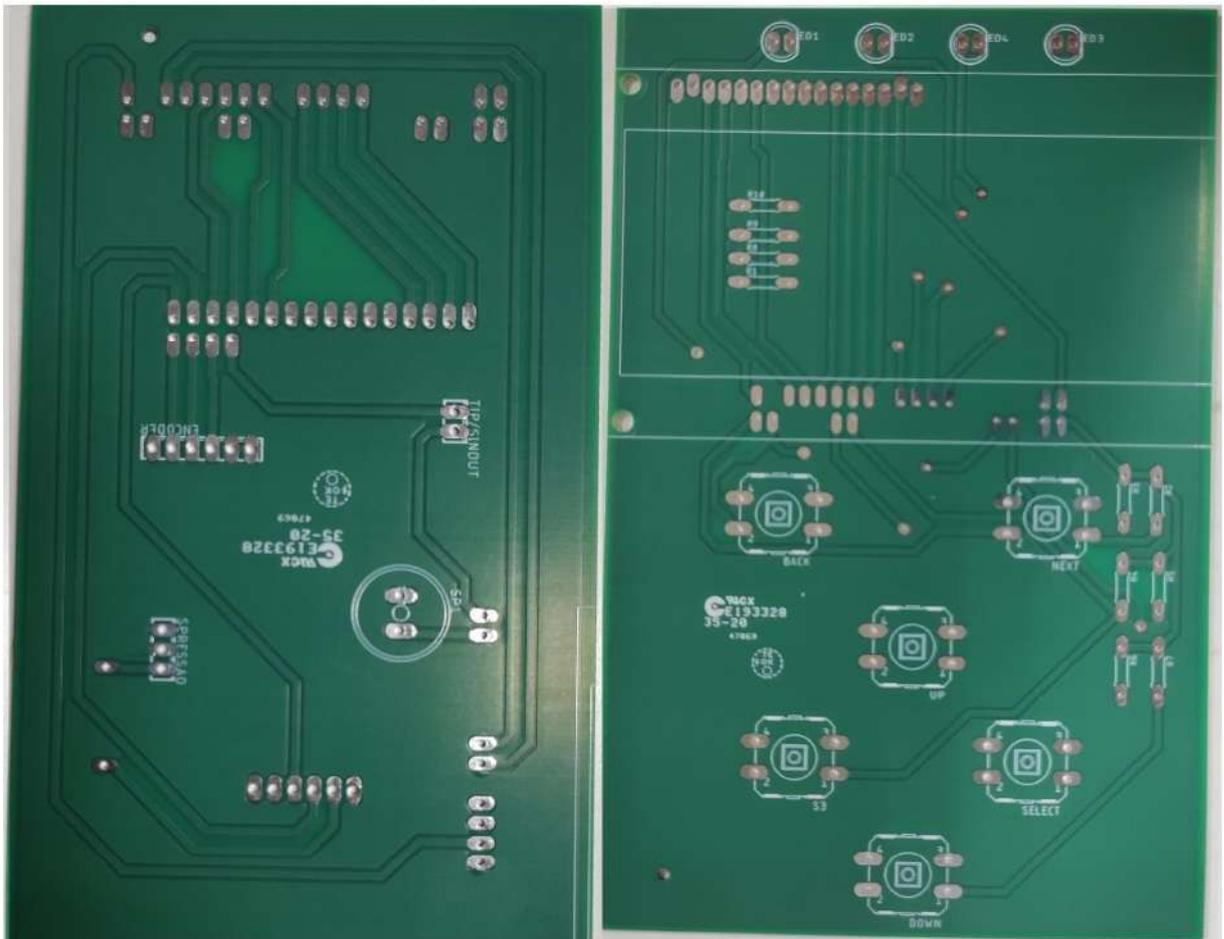
Fonte: autoria própria (2021).

3.2.5 Terceirização na Confeção das Placas de Circuito Impressas

As placas desenvolvidas na prototipadora da universidade foram testadas e validadas, porém, como as placas de fenolite cobreadas, as brocas e fresas disponíveis para uso eram de qualidade inferior, nem sempre o resultado final era satisfatório. As vezes as placas saíam com pequenos defeitos que precisavam ser corrigidos através de adaptações. Com o intuito evitar constantes retrabalhos e diminuir o tempo de confecção das placas, optou-se por contratar a confecção de 10 pares de placas para um empresa especializada.

As placas confeccionadas pela empresa especializada, além de serem de melhor qualidade, também vieram com uma camada de máscara de isolamento elétrico na cor verde e uma camada de máscara de solda sobre as ilhas, assim protegendo a placa contra possíveis curtos circuitos e também auxiliando no processo de solda da mesma. A figura 29 mostra as placas encomendadas.

Figura 29 – Placas terceirizadas.



Fonte: autoria própria (2021).

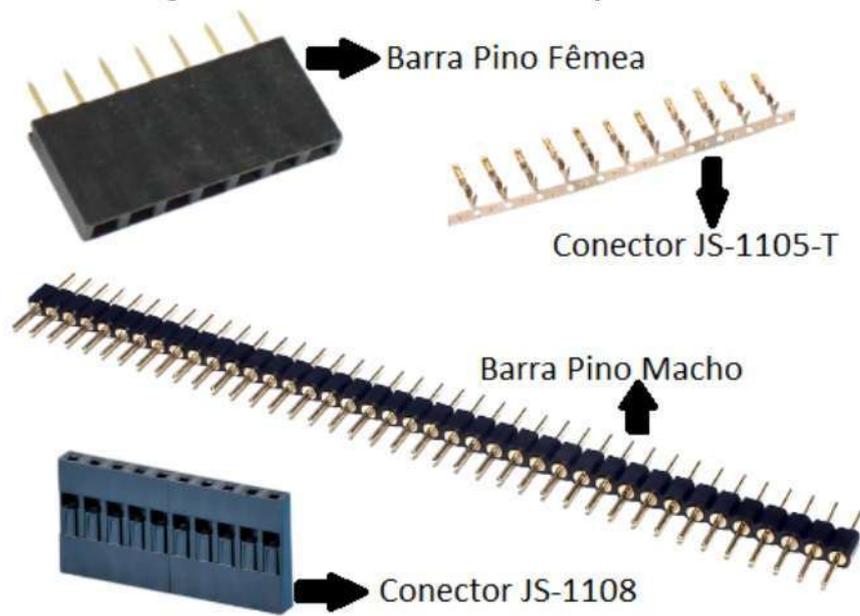
3.3 CHICOTES E SUPORTE DOS COMPONENTES

3.3.1 Chicotes

Em algumas partes do circuito projetado não foi possível a comunicação pela PCI. Seja pela distância entre os componentes e a placa, ou as possíveis interferências causadas ou sofridas. Valendo-se do fato de que alguns componentes, sejam transdutores ou exibidores de dados, podem operar com correntes diferentes, as probabilidades de perda de informações ou corrupção de dados acabam sendo grandes causadoras da não exatidão dos dados. Com o intuito de minimizar este fenômeno, optou-se pela confecção de chicotes eletrônicos utilizando cabos de diferentes bitolas e conectores JS-1105T e JS-1108 (figura 30). Barras de pino do tipo macho e fêmea foram soldadas nas placas de circuito impresso para permitir a conexão com os chicotes.

Os chicotes elaborados foram responsáveis pela comunicação da placa módulo

Figura 30 – Conectores e barras de pino.



Fonte: autoria própria (2021).

arduíno com componentes como:

- Chicote da Placa Módulo Arduíno até a Placa Módulo Display;
- Chicote da Placa Módulo Arduíno até o transistor TIP 122;
- Chicote da Placa Módulo Arduíno até o Encoder Magnético;
- Chicote da Placa Módulo Arduíno até o Drive Ponte H;
- Chicote da Placa Módulo Arduíno até o Sensor Indutivo.

Também foram fabricados chicotes elétricos para realizar a alimentação dos componentes, tais quais:

- Chicote do Fonte Chaveada até o TIP 122;
- Chicote da Fonte Chaveada até o Drive Ponte H;
- Chicote da Fonte Chaveada até a Válvula Solenoide;
- Chicote da Fonte Chaveada até os Reguladores de Tensão;
- Chicote do Regulador de Tensão LM7812 até o Arduíno;
- Chicote do Regulador de Tensão LM7805 até o Raspberry Pi 3B+;
- Chicote dos Reguladores de Tensão até o Sensor Indutivo;
- Chicote do Drive Ponte H até o Motor;
- Chicote do TIP 122 até a Válvula Solenoide.

Os cabos de alimentação dos componentes tem bitola de 1 milímetro quadrado (1mm²), e ficou padronizado que a cor azul seria o cabo positivo e a cor branco seria o

cabo negativo. Os cabos de dados tem bitola de 0.1 milímetro quadrado (0.1mm^2).

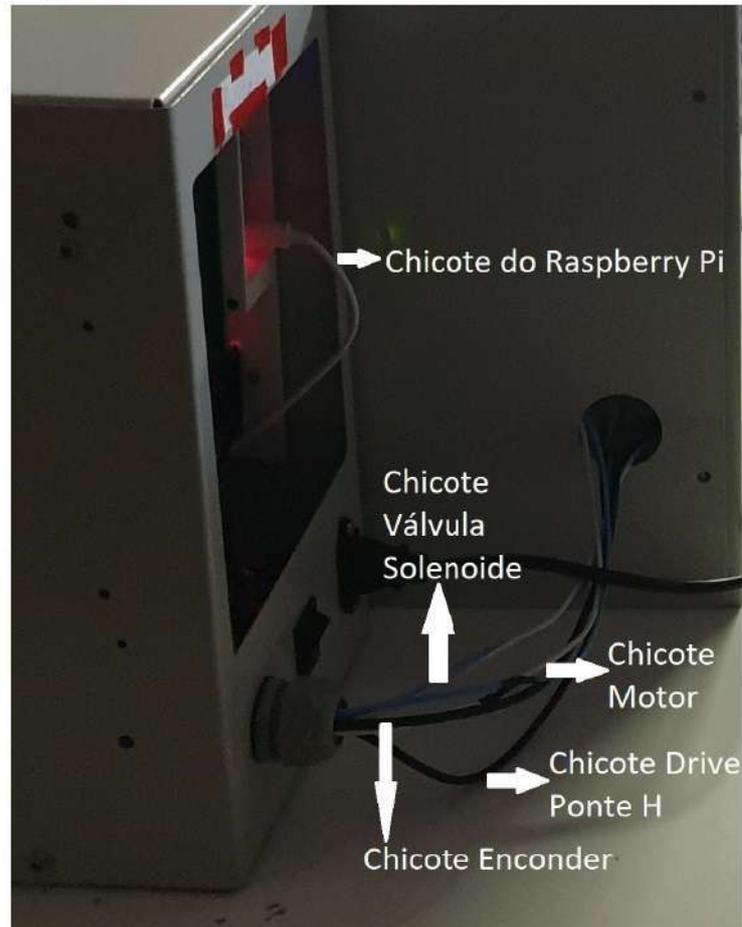
A figura 31 apresenta os chicotes eletrônicos fabricados para o ventilador mecânico e a figura 32 mostra alguns dos chicotes elétricos fabricados para o ventilador.

Figura 31 – Chicotes eletrônicos do ventilador mecânico.



Fonte: autoria própria (2021).

Figura 32 – Chicotes elétricos do ventilador mecânico.



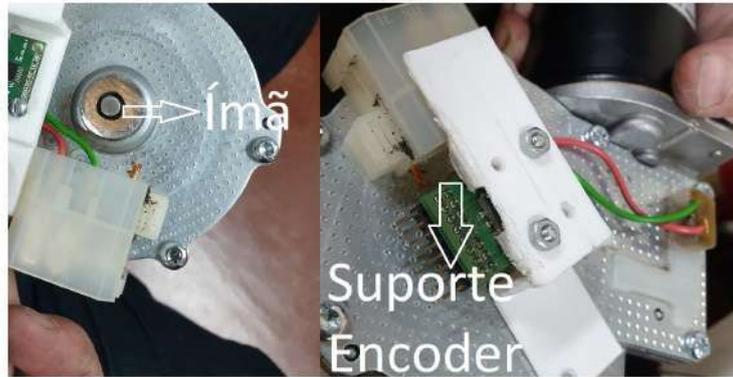
Fonte: autoria própria (2021).

3.3.2 Suporte dos Componentes

Utilizando impressoras 3D foram fabricados suportes para auxiliar no processo de montagem do ventilador mecânico.

A figura 33 mostra o suporte projetado e fabricado para acoplar o encoder magnético no eixo do motor, que primeiramente foi colado um ímã no eixo do mesmo e depois foi parafusado o suporte com o encoder à carcaça do motor para realizar as leituras da posição angular.

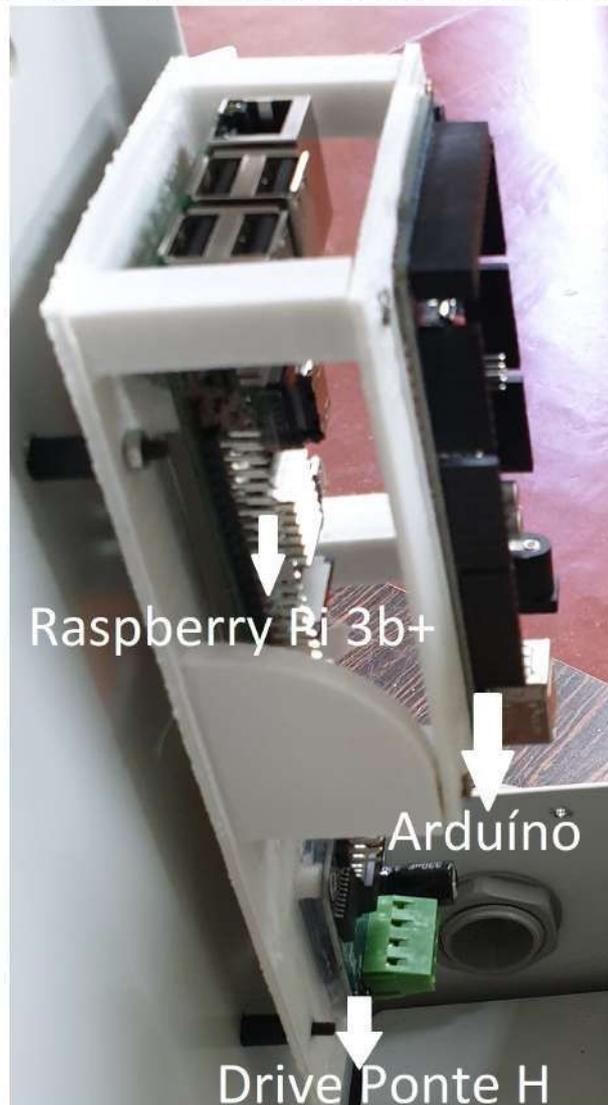
Figura 33 – Suporte encoder magnético no motor.



Fonte: autoria própria (2021).

A figura 34 mostra o suporte projetado e fabricado para acomodar e prender o Arduíno, o Raspberry Pi e o Drive Ponte H na lateral do módulo eletrônico.

Figura 34 – Suporte das placas de desenvolvimento e drive ponte H.

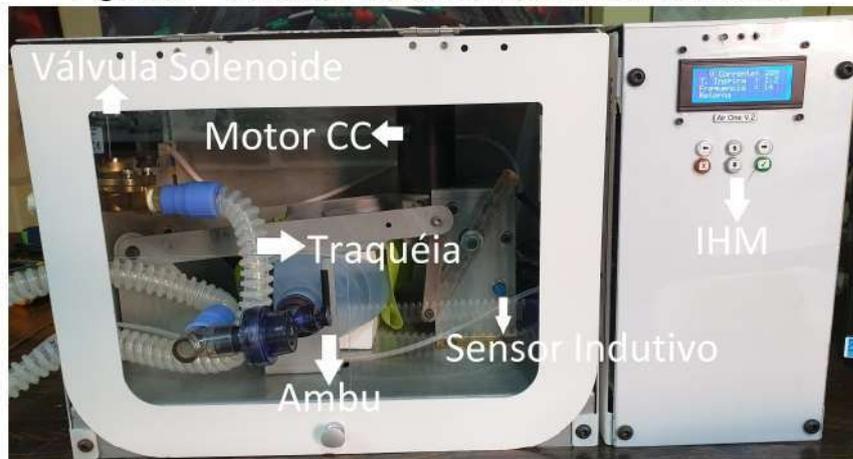


Fonte: autoria própria (2021).

3.4 ESTRUTURA DO VENTILADOR

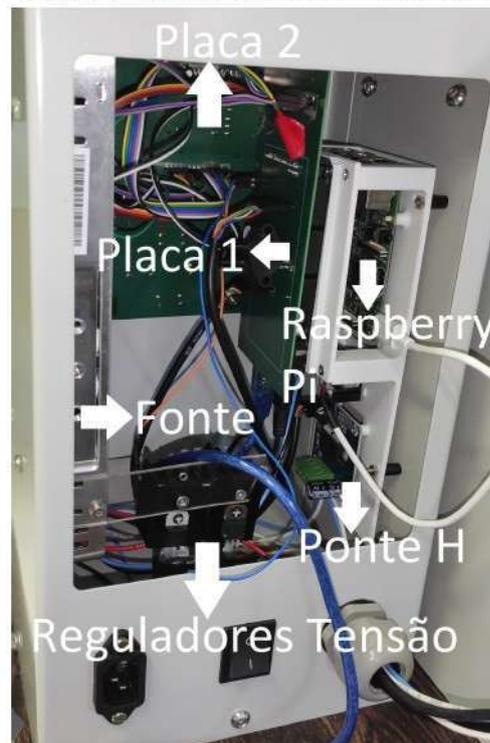
A estrutura do ventilador foi fabricada em aço carbono com uma espessura de 1,5 milímetros, assim garantindo robustez sem torna-lo muito pesado. A figura 35 apresenta o ventilador inteiramente montado e a figura 38 apresenta o módulo eletrônico montando, sendo que Placa 1 é a placa módulo arduino e Placa 2 é a placa módulo display e botões.

Figura 35 – Ventilador mecânico inteiramente montado.



Fonte: autoria própria (2021).

Figura 36 – Módulo eletrônico montado.

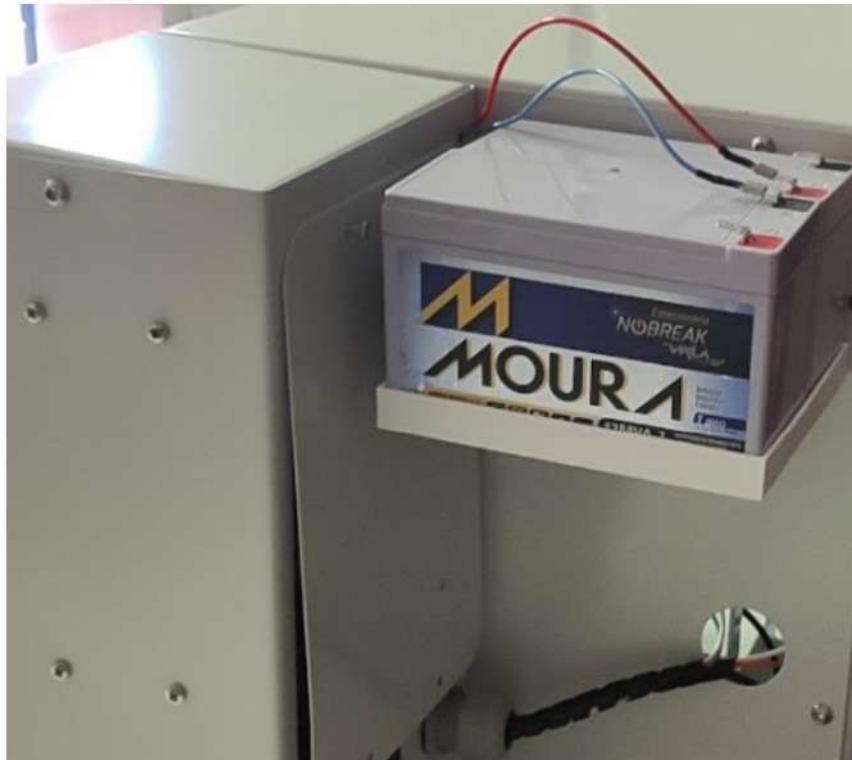


Fonte: autoria própria (2021).

3.5 BATERIA ESTACIONÁRIA

A fim de atender o item 12 da resolução 386 da ANVISA (seção 2.7), foi incorporado ao projeto uma bateria estacionária com o intuito de manter o aparelho funcionando por no mínimo 2 horas fora da tomada. A bateria utilizada é da marca MOURA, modelo VRLA, bateria de 12 VCC e 7 A/h, específica para utilização em no-break's . A bateria estacionária utilizada pode ser vista na figura 37.

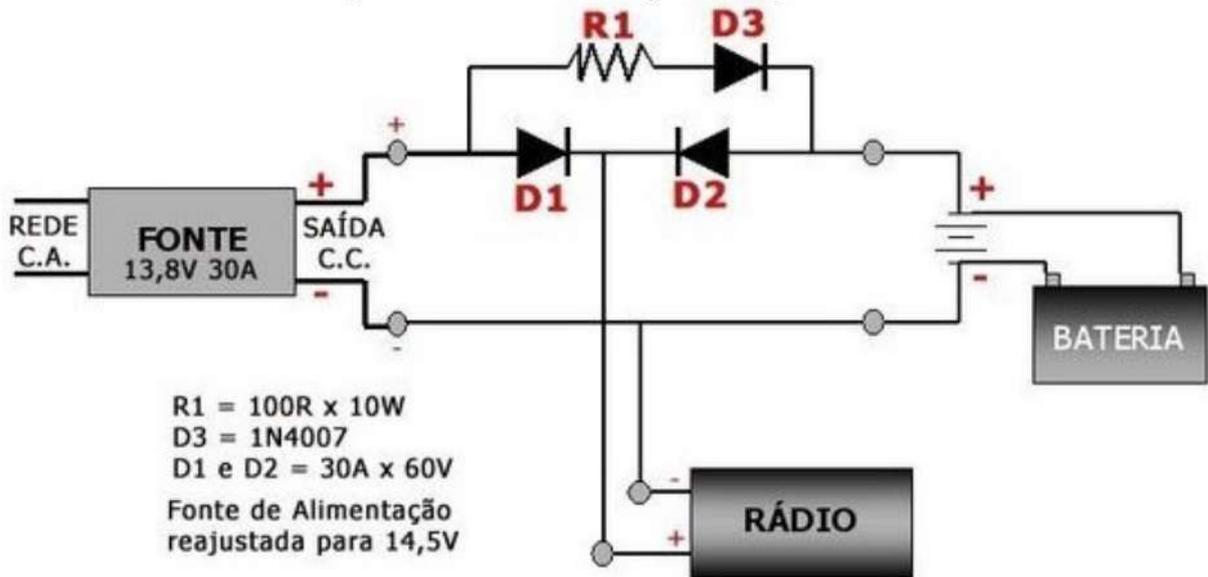
Figura 37 – Bateria estacionária utilizada.



Fonte: autoria própria (2021).

O circuito apresentado na figura 38 é utilizado para fazer a carga da bateria. Deve-se atentar ao dimensionamento do resistor R_1 para que não haja sobrecorrente dentro da bateria.

Figura 38 – Circuito exemplo de carga de baterias.



Fonte: autoria própria (2021).

O ponto crítico do circuito é o momento em que a bateria está completamente descarregada. Para dimensionar o resistor através da corrente, utiliza-se a Lei de Kirchoff das malhas. Dessa forma:

$$v_f = v_{d3} + i \cdot R_1$$

Onde:

- v_f é a tensão da fonte (12V)
- v_{d3} é a queda de tensão presente do diodo D_3 (0,7V)
- i é a corrente da malha

Segundo o manual do fabricante da bateria, a corrente máxima permitida pelo equipamento é 10% da carga nominal. No caso da bateria de 7 A.h, a corrente máxima então é de 0,7 Ampères. Dessa forma, tem-se:

$$24 = 0.7 + 0.7 \cdot R_1$$

$$R_1 = 33,29\Omega$$

A fim de aproximar o valor do resistor a algo comercial, pode-se optar pelo resistor de 36Ω. Assim temos:

$$24 = 0.7 + i.36$$

$$i = 0,65A$$

E a potência dissipada no resistor R_1 é de:

$$P = R_1.i^2 = 36.0,65^2 = 15,21W$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após toda a montagem dos protótipos, os mesmos foram submetidos a testes, com o intuito de avaliar o desempenho deles comparados a equipamentos usados atualmente nas salas de emergência hospitalares.

Além dos testes feitos no Laboratório Colaborativo - COLLAB, uma unidade do aparelho foi apresentada para profissionais da saúde no Hospital Regional de Ponta Grossa. Uma unidade, em sua última versão, foi levada para uma avaliação técnica por um engenheiro clínico em Curitiba, no laboratório de eletromedicina do complexo hospitalar do trabalhador, vinculado a secretaria de estado do Paraná. O profissional foi responsável pela avaliação nos modos de controle por volume e pressão, além de avaliar os requisitos de controle de PEEP e tempos de inspiração e expiração.

Para as avaliações, os equipamentos não foram usados em seres humanos, tampouco em animais. A fim de verificar o controle em um sistema fechado, o equipamento foi testado com um pulmão artificial (figura 39) que simula a resistência torácica humana.

Figura 39 – Pulmão Teste Utilizado



Fonte: autoria própria (2021).

4.1 CONTROLE POR PRESSÃO

Como comentado na seção 2.1.2, a ventilação é controlada por pressão, assim, o ventilador envia exatamente uma pressão especificada por um profissional da saúde, junto com outros parâmetros como pressão de PEEP, tempo inspiratório e expiratório, levando em consideração as necessidades de cada paciente.

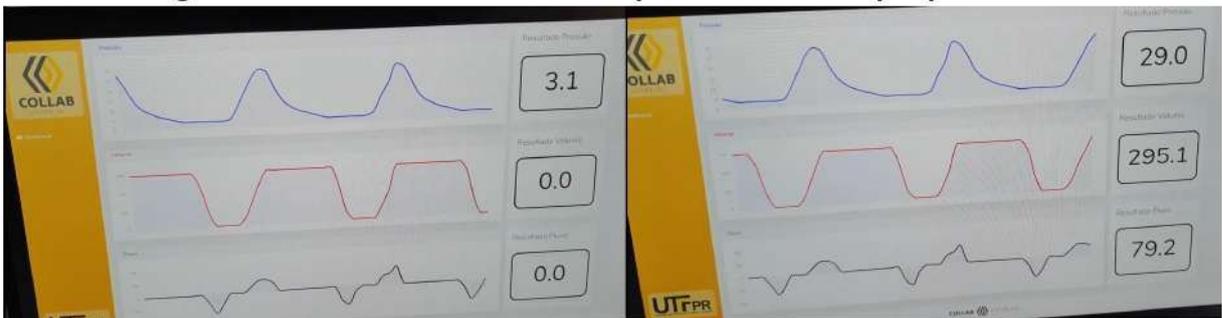
No protótipo do ventilador desenvolvido, essas informações são ajustadas através da IHM (3.2.2), sendo que a pressão gerada pelo ventilador é proporcional a

velocidade do movimento de compressão do Ambu pelo braço mecânico . Em uma rodada de teste, o ventilador foi ajustado para operar no modo de controle por pressão com os seguintes parâmetros:

1. Pressão Final de 30 cmH_2O ;
2. Pressão de PEEP de 3 cmH_2O ;
3. Tempo Inspiratório de 1,5 segundos;
4. Pausa Expiratória de 0,35 segundos;
5. Tempo Expiratório de 2,8 segundos;

Analisando os gráficos da figura 40, pode-se verificar que os valores obtidos estão muito próximos dos parâmetros ajustados na IHM, sendo os gráficos da esquerda correspondente a pressão de PEEP e os da direita correspondentes a pressão final entregue ao pulmão de teste.

Figura 40 – Resultados do ventilador quando controlado por pressão.



Fonte: autoria própria (2021).

4.2 CONTROLE POR VOLUME

Como comentado na seção 2.1.3, a ventilação é controlada por volume, assim o ventilador envia um volume de ar especificado por um profissional da saúde, junto com outros parâmetros como pressão de PEEP, tempo inspiratório e expiratório, levando em consideração características de cada paciente, como sexo, peso e altura.

No protótipo do ventilador desenvolvido, essas informações são ajustadas através da IHM, sendo que o volume gerado pelo ventilador é proporcional a quantidade de compressão do Ambu pelo braço mecânico.

Em uma rodada de teste, o ventilador foi ajustado para operar no modo de controle por volume com os seguintes parâmetros:

1. Volume Final de 300 mL;

2. Pressão de PEEP de 5 cmH_2O ;
3. Tempo Inspiratório de 1 segundos;
4. Pausa Expiratória de 0,3 segundos;
5. Tempo Expiratório de 2,7 segundos;

Analisando os gráficos da figura 41, pode-se verificar que os valores obtidos estão muito próximos dos parâmetros ajustados na IHM, sendo os gráficos da esquerda correspondente a pressão de PEEP e os da direita correspondentes ao volume entregue ao pulmão de teste.

Figura 41 – Resultados do ventilador quando controlado por volume.



Fonte: autoria própria (2021).

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentado detalhes de todos os componentes utilizados e toda a metodologia encontrada para o desenvolvimento de um circuito eletrônico para a construção de um ventilador mecânico hospitalar funcional de baixo custo, sendo que nosso produto custa dez por cento do menor valor pago por um ventilador comercial, ou seja, aproximadamente cinco mil reais (R\$5000,00).

Durante todos os passos do projeto, buscou-se seguir todas as resoluções da normativa 386 da ANVISA, para que assim o uso desses aparelhos desenvolvidos seja permitido em hospitais e unidades de saúde.

Há diversas oportunidades de melhorias no projeto, tais como implementação de sensores de fluxo e volume para melhor acuracidade dos dados, a troca do motor CC de limpador de para brisas de caminhões por um servo motor para que haja mais precisão no aperto do ambu, e com isso, também removeria a necessidade de um encoder. Outra melhoria que poderia acontecer seria a troca das duas placas de desenvolvimento (Arduíno e Raspberry Pi) por uma única placa mais poderosa capaz de desempenhar o trabalho das duas, como uma BeagleBoard por exemplo. Também é possível trocar o display LCD e os botões por uma tela de toque (touch screen) de tamanho maior, assim também eliminando a necessidade de um monitor externo para visualizar os gráficos de pressão, volume e fluxo, unindo a IHM com a tela de monitoramento.

Em um futuro onde pandemia já esteja finalizada e o uso desses aparelhos não forem tão necessários, os mesmos podem ser usados em locais onde o acesso a esse tipo de equipamento é escasso.

Por fim, esse projeto também mostrou a capacidade que nossa universidade tem de desenvolver tecnologia para beneficiar as pessoas e a comunidade em geral, assim mostrando o real valor do sistema público de ensino para com a sociedade, em um país que cada vez menospreza e buscar desincentivar o conhecimento científico.

REFERÊNCIAS

- ALTUS. **O que é quando devo utiliza um encoder?** [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <https://www.altus.com.br/post/242/o-que-e-e-quando-devo-utilizar-um-encoder-3F#:~:text=0>.
- BIAZETTO, P. **Em Ponta Grossa, profissionais da engenharia e acadêmicos desenvolvem protótipo de ventilador mecânico.** [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: <https://www.crea-pr.org.br/ws/arquivos/30852>.
- BRAGA, N. C. **Fontes Chaveadas.** [S.l.: s.n.], 2012. Disponível em: <https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/eletronica/52-artigos-diversos/5549-art711>.
- CARVALHO, W. B. de. **Ventilação pulmonar mecânica em pediatria.** [S.l.: s.n.], 1998. Disponível em: <http://www.jpmed.com.br/conteudo/98-74-S113/port.pdf>.
- CODEÇO, C. T. **Emergência do novo coronavírus (SARS-CoV-2) e o papel de uma vigilância nacional em saúde oportuna e efetiva.** [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csp/a/sHYgrSsxqKTZNK6rJVpRxQL/?lang=pt#..>
- FRANGIONI, Z. **A Nutella e a Segunda Guerra Mundial.** [S.l.: s.n.], 2015. Disponível em: <https://chocolatrasonline.com.br/a-nutella-e-a-segunda-guerra-mundial/>.
- FRANZÃO, L. **Do ENIAC ao notebook: confira a evolução dos computadores nas últimas décadas.** [S.l.: s.n.], 2021. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/tecnologia/do-eniac-ao-notebook-confira-a-evolucao-dos-computadores-nas-ultimas-decadas/>.
- GUEDES, K. **O que são reguladores de tensão e como eles funcionam na eletrônica?** [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: <https://www.topgadget.com.br/howto/eletronica/o-que-sao-reguladores-de-tensao-e-como-eles-funcionam-na-eletronica.htm>.
- GUIMARÃES, F. **Ponte H – O que é e como funciona.** [S.l.: s.n.], 2018. Disponível em: <https://mundoprojetado.com.br/ponte-h-o-que-e-e-como-funciona/>.
- JACKSON, M. **Man In The Mirror.** Nova Iorque, Nova Iorque, E.U.A: [s.n.], jan. 1988. Epic Records. Song.
- MARQUES, S. **Como funciona um transmissor de pressão?** [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: <https://blog.wika.com.br/know-how/como-funciona-um-transmissor-de-pressao/>.
- MILLER, J. **The Last Of Us Part II.** Santa Mônica, Califórnia, E.U.A: [s.n.], jun. 2020. Naughty Dog. PS4 game.

NASCIMENTO, P. **BH tem 4 mortes em 72h por falta de respiradores e demora para UTI.** [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: <https://noticias.r7.com/minas-gerais/bh-tem-4-mortes-em-72h-por-falta-de-respiradores-e-demora-para-uti-29032021>.

PINHEIRO, L. **OMS declara pandemia de coronavírus.** [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/bemestar/coronavirus/noticia/2020/03/11/oms-declara-pandemia-de-coronavirus.ghml>.

POSSES, F. P. das. **Acometimento Pulmonar pela COVID-19.** [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: <https://star.med.br/acometimento-pulmonar-pos-covid/>.

ROCHA, H. **O que é e como utilizar um Ambu de forma correta?.** [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: <https://blog.maconequi.com.br/como-utilizar-um-ambu/>.

SILVEIRA, C. B. **Como Funciona a Válvula Solenoide e Quais os Tipos?** [S.l.: s.n.], 2017. Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/valvula-solenoide/>.

SILVEIRA, C. B. **Motor CC: Saiba como Funciona e de que forma Especificar.** [S.l.: s.n.], 2016. Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/motor-cc/>.

SILVEIRA, C. B. **Sensor Indutivo: O que é e como funciona?** [S.l.: s.n.], 2015. Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/sensor-indutivo/>.

THOMSEN, A. **O que é Arduino?** [S.l.: s.n.], 2014. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-arduino/>.

TOLEDO, L. F. **Preço de respirador comprado por estados varia até 4 vezes e enfrenta apurações.** [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/saude/preco-de-respirador-comprado-por-estados-varia-ate-4-vezes-e-enfrenta-apuracoes/>.

TORRES, A. B. **DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO - RESOLUÇÃO - RDC Nº 386.** [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-rdc-n-386-de-15-de-maio-de-2020-258335933>.

UFSM. **Leis do Eletromagnetismo.** [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: <https://www.ufsm.br/cursos/graduacao/santa-maria/fisica/2020/02/21/leis-do-eletromagnetismo/>.

YANO, V. **Placas de Circuito Impresso, Métodos de Produção.** [S.l.: s.n.], 2015. Disponível em: http://paginapessoal.utfpr.edu.br/vitoryano/el06d-laboratorio-de-eletronica/pci-parte2.pdf/at_download/file.