



Universidade Federal de Uberlândia
Faculdade de Engenharia Elétrica
Graduação em Engenharia Biomédica

UESLEI SOUZA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO PARA
MANUTENÇÃO PREVENTIVA DOS VENTILADORES PULMONARES DIXTAL
3012 DO HOSPITAL DE CLÍNICAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE
UBERLÂNDIA**

Uberlândia
2022

UESLEI SOUZA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO PARA
MANUTENÇÃO PREVENTIVA DOS VENTILADORES PULMONARES DIXTAL 3012
DO HOSPITAL DE CLÍNICAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**

Trabalho apresentado como requisito parcial de avaliação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Biomédica da Universidade Federal de Uberlândia.

Orientadora: Profª Drª Selma Terezinha Milagre

Orientadora

Uberlândia
2022

Dedico este projeto a Deus, minha família e aos integrantes do setor de Bioengenharia que me incentivaram e me auxiliaram neste desenvolvimento.

AGRADECIMENTOS

Ao longo da minha trajetória como estudante universitário me deparei com inúmeras situações difíceis, no momento eu não entendia muito bem o porquê daquela circunstância que me deixava desconfortável e até mesmo irritado, mas olhando para trás é possível compreender o quão foram benéficas para o meu processo de crescimento como profissional e como pessoa. Agora quando me deparo com uma situação difícil eu faço uma analogia com uma frase dita pelo Rocky no filme do Rocky Balboa de 2006: “Ninguém vai bater tão forte como a vida, mas a questão não é o quão forte você consegue bater. É o quão forte você consegue apanhar e continuar seguindo em frente. É o quanto você consegue aguentar e continuar seguindo em frente. A vitória é feita assim.”, versão traduzida.

E neste momento atual de encerramento do meu ciclo universitário eu sinto que a vitória foi alcançada, mas a guerra ainda não foi vencida, sigo firme, lutando e estudando cada dia mais perto dos meus objetivos.

Agradeço a todos os envolvidos neste processo, primeiramente aos meus pais Agnaldo e Neusa que foram o meu alicerce emocional e financeiro durante estes anos, me aconselhando e amparando em todos os momentos. Agradeço ao meu irmão Marcos Willian que apesar da grande diferença de idade ele era minha válvula de escape, nunca vou esquecer os momentos de diversão no play 2. Sem minha família eu não iria conseguir, amo muito. Agradeço à minha orientadora Professora Dr. Selma Terezinha Milagre pela paciência e compreensão por tornar este projeto uma realidade, também agradeço os colaboradores do setor de Bioengenharia do Hospital de Clínicas de Uberlândia, em especial ao setor de Engenharia Clínica que me ajudaram a desenvolver este trabalho.

RESUMO

Com o cenário pandêmico mundial foram necessários diversos tipos de medidas sanitárias de urgência a fim de conter o avanço do vírus e tratar os pacientes acometidos com a doença respiratória COVID-19. Essa enfermidade altamente contagiosa e em caso grave fatal, fez mais de 4,91 milhões de vítimas ao redor do mundo segundo os dados da *University of Oxford* disponibilizado através do site *Our World in data* até o momento desta pesquisa. Um dos tratamentos para casos graves desta doença, quando resulta em insuficiência respiratória desencadeada por quadro clínico de hipoxemia é a ventilação pulmonar invasiva ou não invasiva, a fim de preservar o pulmão do paciente enquanto se recupera da inflamação acentuada (GONTARSKI, 1996). Então a demanda por ventiladores mecânicos cresceu de forma abrupta em um curto espaço de tempo, obrigando os Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EAS) a disponibilizarem esse tipo de Equipamento Médico-Hospitalar (EMH) de suporte à vida em grande quantidade e com ótimas condições de uso respeitando as normas da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Em vista disso e devido ao grande número de ventiladores mecânicos da marca DIXTAL 3012 que fazem parte do parque tecnológico do Hospital de Clínicas de Uberlândia (HC-UFU), o Procedimento Operacional Padrão (POP) foi desenvolvido em conjunto da equipe técnica do setor de Bioengenharia do HC-UFU, a fim de padronizar as manutenções preventivas dos ventiladores e garantir as boas condições de uso nesse momento de grave crise sanitária mundial. Para tal se faz necessário seguir a sequência e se atentar a cada etapa, devido à complexidade de seu funcionamento para que não se esqueça de nenhum detalhe ao qual poderá futuramente ocasionar em um evento adverso, além de que se tratando de um EMA de suporte à vida qualquer tipo de falha pode ocasionar em perdas fatais. O POP possui uma sequência lógica bem elucidada das etapas, com explicações de cada uma e as causas, sendo o operador guiado pelas ilustrações que estão contidas de maneira nítida e evidenciadas de forma clara e com linguagem objetiva, sendo facilmente realizadas por operadores menos experientes. Assim foram seguidos os passos do POP para realizar as manutenções preventivas dos 49 ventiladores mecânicos no HC-UFU que foram colocados à disposição seguindo todas as boas normas requeridas pela ANVISA. Portanto espera-se que com a confecção deste projeto evidencie a extrema importância da presença da Engenharia Clínica no âmbito hospitalar, difundido o conhecimento através do POP para realizar a capacitação de colaboradores a fim de trazer o bem estar para o paciente.

ABSTRACT

With the global pandemic scenario, several types of urgent sanitary measures were needed in order to contain the spread of the virus and treat patients affected with the respiratory disease COVID-19. This highly contagious disease and, in a severe fatal case, claimed more than 4.91 million victims around the world, according to data from the University of Oxford available through the website Our World in data up to the time of this research. One of the treatments for severe cases of this disease, when it results in respiratory failure triggered by a clinical picture of hypoxemia, is invasive or non-invasive pulmonary ventilation, in order to preserve the patient's lungs while recovering from severe inflammation (GONTARSKI, 1996). So the demand for mechanical ventilators grew abruptly in a short period of time, forcing Health Care Establishments (EAS) to make available this type of Medical-Hospital Equipment (EMH) to support life in large quantities and with excellent conditions of use in compliance with the standards of the National Health Surveillance Agency (ANVISA). In view of this and due to the large number of mechanical ventilators of the DIXTAL 3012 brand that are part of the technological park of the Hospital de Clinicas de Uberlândia (HC-UFU), the Standard Operating Procedure (SOP) was developed in conjunction with the technical team of the sector of Bioengineering at the HC-UFU, in order to standardize the preventive maintenance of ventilators and ensure good conditions for use at this time of serious global health crisis. To do so, it is necessary to follow the sequence and pay attention to each step, due to the complexity of its operation, so that you do not forget any details that may in the future lead to an adverse event, in addition to being an EMH to support the life any kind of failure can lead to fatal losses. The SOP has a well-clarified logical sequence of steps, with explanations for each one and the causes, with the operator being guided by the illustrations that are clearly contained and clearly shown in objective language, being easily performed by less experienced operators. Thus, the steps of the SOP were followed to carry out preventive maintenance on the 49 mechanical fans at the HC-UFU, which were made available following all the good standards required by ANVISA. Therefore, it is expected that with the making of this project, it will show the extreme importance of the presence of Clinical Engineering in the hospital environment, spreading knowledge through the SOP to carry out the training of employees in order to bring well-being to the patient.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Acumulado de mortes por COVID-19 no mundo.....	13
Figura 2: Estruturas componentes do sistema respiratório.....	16
Figura 3: Diagrama de pressões pulmonares.....	18
Figura 4: Diagrama da complacência pulmonar normal.....	20
Figura 5: Funcionamento geral de um VM.....	27
Figura 6: Ventilador Mecânico Dixtal 3012.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparativo entre variáveis respiratórias e variáveis elétricas.....	21
Tabela 2: Componentes utilizados na ventilação mecânica.....	25
Tabela 3: Parâmetros elementares do ventilador mecânico (VM).....	28
Tabela 4: Modos Ventilatórios.....	30
Tabela 5: Modos Operatórios do DIXTAL 3012.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária

ARPV – Ventilação com alívio Intermitente de pressão

COVID-19 - *Corona Virus Disease* – 2019

CPAP – Pressão Positiva Contínua na Via Aérea

EAS - Estabelecimento Assistencial de Saúde

ECA2 - Angiotensina 2

EMA - Equipamento Médico-Assistencial

HC-UFU - Hospital de Clínicas da Universidade Federal de Uberlândia

MERS-CoV - Síndrome Respiratória Médio Oriente

MMV – Ventilação Mandatória Minuto

OMS - Organização Mundial de Saúde

PCR - Transcrição reversa seguida de reação em cadeia da polimerase

PCV – Pressão Controlada

PEEP - Pressão Expiratória Final Positiva

PIP - Pico de Pressão Inspiratória

POP - Procedimento Operacional Padrão

PRVC – Volume Controlado com Pressão

PRVC – Volume Controlado com Pressão Regulada

PSV – Pressão de Suporte

SARS-CoV - Síndrome Respiratória Aguda Grave

SARS-CoV-2 - Coronavírus 2 da Síndrome Respiratória aguda grave

SARS-CoV-2 - *Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2*

SDRA - Síndrome do desconforto respiratório agudo

SIMV – Ventilação Mandatória Intermitente Sincronizada

SpO2 - Saturação de Oxigênio no sangue

TCPL – Ciclado por tempo, limite por pressão com fluxo contínuo

UTI - Unidades de terapia Intensiva

VCV – Volume Controlado

VI – Ventilação Invasiva

VM - Ventilação Mecânica

VMI - Ventilação Mecânica Invasiva

VNI - Ventilação Mecânica Não Invasiva

SUMÁRIO

1. Introdução	12
1.1. Objetivo Geral	14
1.2. Objetivos Específicos	14
2. Desenvolvimento	15
2.1. Fundamentação Teórica	15
2.1.1. Sistema Respiratório	15
2.1.2. Pressões Pulmonares	17
2.1.3. Volumes Pulmonares	18
2.1.4. Capacidades Pulmonares	19
2.1.5. Complacência Pulmonar	19
2.1.6. Doenças Respiratórias	21
2.1.7. COVID-19	23
2.1.8. Ventilador Mecânico (VM)	24
2.1.9. Procedimento para Ventilação Mecânica (VM) para pacientes com COVID-19	33
2.1.10. Ventilador Pulmonar DIXTAL 3012	35
2.1.11. Equipamentos Médico-Assistenciais: Importância e papel da Engenharia Clínica	36
2.1.12. Manutenções em Equipamentos Médico-Assistenciais	38
2.1.13. Procedimento Operacional Padrão (POP)	39
2.1.14. Hospital de Clínicas da Universidade Federal de Uberlândia (HC-UFG)	40
2.1.15. Bioengenharia	41
2.2 Materiais e Métodos	41
2.3 Resultados	43
2.3.1. Desinfecção inicial e período de quarentena	43
2.3.2. Teste de Funcionamento inicial	43
2.3.3. Processo de montagem e início da ciclagem	44
2.3.4. Calibração manual das válvulas internas do ventilador pulmonar	44
2.3.5. Calibração Eletrônica do DIXTAL 3012	45
2.3.6. Teste de Segurança Elétrica	45
2.4 Discussão	46
3. Conclusão	49
4. Referências	50
ANEXO A	55
APÊNDICE A – Procedimento Operacional Padrão	56

1. Introdução

No dia 31 de dezembro de 2019 foi relatado para a Organização Mundial de Saúde (OMS) diversos casos de pneumonia na cidade de Wuhan, mais precisamente na província de Hebei localizada na República Popular da China. Onde um aglomerado de pessoas possuía quadro epidêmico provindo de um tipo de vírus não identificado. Estes pacientes possuíam em comum um histórico de visitas ao mercado de frutos do mar de Huanan (PERRI, 2020).

Realizando testes de fluido da lavagem broncoalveolar e empregando o sequenciamento do genoma completo para a cultura de células e a transcrição reversa seguida de reação em cadeia da polimerase (PCR, sigla em inglês para *reverse-transcriptase polymerase chain reaction*), foi possível isolar o vírus e identificar que possui gênero *beta coronavirus* semelhante à Síndrome Respiratória Aguda Grave (SARS) e a Síndrome Respiratória Médio Oriente (MERS). O vírus se espalhou rapidamente pelo mundo e após um mês da identificação já havia relatos de contaminação em países da Ásia, Europa, América do Norte e Oriente Médio, uma vez que pode ser transmitido por meio de contato próximo de humano para humano. Desta forma, em 1º de fevereiro de 2020 a Organização Mundial de Saúde (OMS) declarou estado de emergência na saúde pública em âmbito internacional (PERRI, 2020).

Identificado o vírus causador, este foi nomeado de SARS-CoV-2 (*Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2*) e devido ao ano de descoberta ter sido 2019, a doença causada por ele foi denominada de COVID-19 (se refere às iniciais de corona virus disease no ano de 2019) (MÖHLENKAM, 2020).

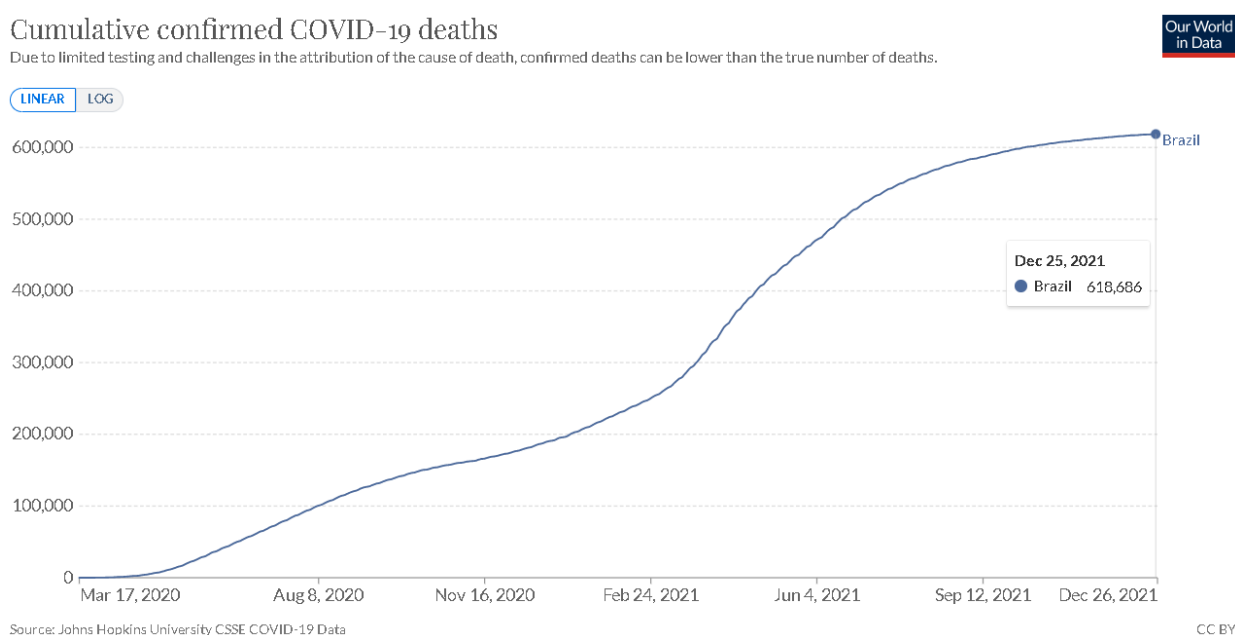
O vírus possui um tempo de incubação entre cinco a seis dias depois do contágio sendo necessário um período de quarentena entre um a quatorze dias (MÖHLENKAM, 2020). Cerca de 80% dos pacientes acometidos com a doença são assintomáticos, enquanto em torno de 15% dos casos são considerados graves necessitando de oxigenoterapia e 5% gravíssimos com desenvolvimento de problemas respiratórios utilizando unidades de terapia intensiva (UTI). Os principais sintomas são: febre, tosse seca, fadiga, perda de olfato ou paladar, mal estar e insuficiência respiratória grave, neste último caso pode levar o paciente ao óbito (BRASIL, 2020; ZHOU, 2021).

Os casos gravíssimos requerem internação devido ao quadro de insuficiência respiratória aguda necessitando de unidades de terapia intensiva especializada localizada em uma ala hospitalar isolada. O parâmetro fisiológico de maior valia para análise da necessidade de internação é a saturação de Oxigênio no sangue (SpO_2).

Caso o indivíduo apresente um valor inferior a 92% de SpO_2 em ar ambiente juntamente com os sintomas gripais e aumento na frequência respiratória maior que 24 incursões respiratórias por minuto é preciso fornecer para este paciente oxigênio de baixo fluxo via nasal através do ventilador pulmonar substituindo ou auxiliando na ventilação espontânea (ANSEI, 2020; MÖHLENKAM, 2020).

Até o momento da elaboração deste trabalho 219,11 milhões de pessoas foram acometidas pela COVID-19 no mundo. No Brasil, foram 22,24 milhões, sendo que 618,6 mil vieram a óbito (OXFORD, 2021) como pode ser visto no gráfico da Figura 1 (Autorização de uso encontra-se no ANEXO A). Segundo ANESI 2020, cerca de 20% dos infectados apresentam síndrome da angústia respiratória aguda (SARA), estima-se que entre 42 a 100% precisam de assistência respiratória por meio dos ventiladores pulmonares.

Figura 1: Acumulado de mortes por COVID-19 no Brasil



Fonte: OXFORD, 2021

Neste contexto, é notória a vital utilidade do equipamento médico-assistencial, onde o ventilador mecânico, também chamado de ventilador pulmonar, atua no suporte à vida principalmente de pacientes acometidos com a doença respiratória COVID-19.

Por se tratar de um equipamento de suporte à vida, durante o seu uso não pode haver falhas de funcionamento, pois estas resultam em fatalidade. Assim para garantir o bom funcionamento não só deste equipamento como todos os outros do parque tecnológico dos Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EASs) é necessário que os equipamentos médico-assistenciais (EMAs) passem por inspeções periódicas, denominadas manutenções preventivas, a fim de garantir que estão conforme as

normas técnicas de segurança, evitando uma parada indesejada durante o funcionamento, custos excessivos e maior tempo de inatividade enquanto realiza uma manutenção corretiva (HERNÁNDEZ, 2020). O setor responsável por realizar estas manutenções e manter as tecnologias em ótimas condições de uso é o setor de Gestão de Tecnologia em Saúde ou também podem ser realizadas pelo fabricante (HERNÁNDEZ, 2020).

1.1. Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo produzir o Procedimento Operacional Padrão (POP) de manutenção preventiva do ventilador pulmonar DIXTAL 3012.

1.2. Objetivos Específicos

- Identificar as peças e acessórios mais requisitados durante o uso do ventilador pulmonar principalmente em um período de alta demanda como exemplo o momento pandêmico;
- Aprofundar os conhecimentos sobre o funcionamento de um ventilador pulmonar;
- Disponibilizar um documento que auxilie os técnicos a realizarem a manutenção preventiva dos ventiladores pulmonares DIXTAL 3012 de forma correta, padronizada e mais rápida;
- Elaborar uma lista de materiais necessários para a manutenção preventiva do ventilador pulmonar DIXTAL 3012;
- Fornecer uma ferramenta de fácil entendimento para guiar novos operadores na execução da manutenção preventiva do ventilador pulmonar DIXTAL 3012.

2. Desenvolvimento

2.1. Fundamentação Teórica

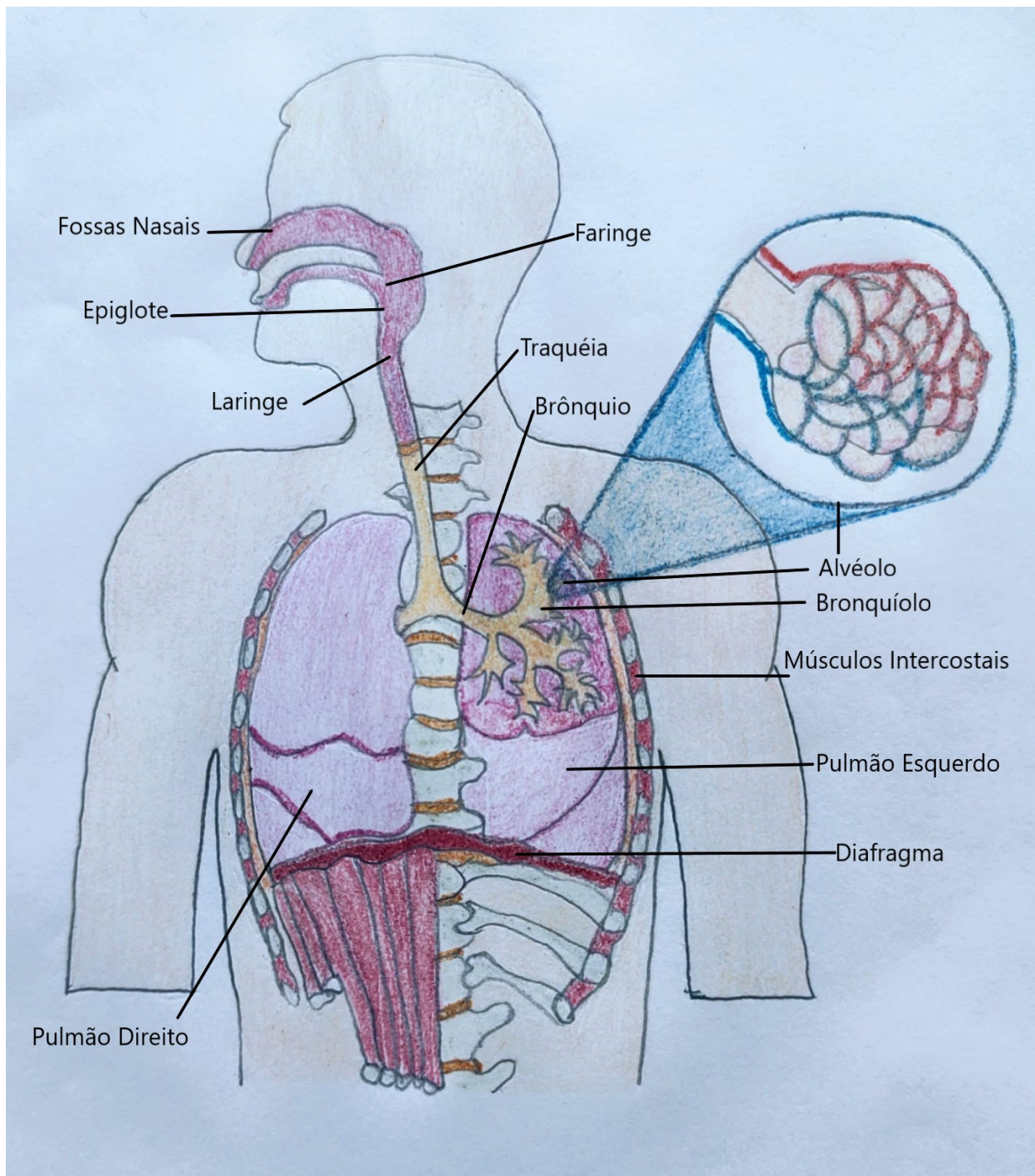
Neste momento pandêmico de reclusão da população mundial devido a uma doença respiratória letal, o mundo passa por grandes mudanças adaptativas visando o enfrentamento dessa nova ameaça.

No atual cenário um tipo de equipamento médico-assistencial de suporte à vida que está em grande evidência é o Ventilador Pulmonar. A fim de esclarecer a função e o procedimento de uso do ventilador pulmonar como também a sua inserção nas vias respiratórias é necessário realizar o estudo da anatomia e fisiologia do ciclo respiratório humano e apresentar as patologias, principalmente referente à COVID-19, que levou à necessidade de maior agilidade na execução da manutenção de EMAs, em especial do ventilador pulmonar.

2.1.1. Sistema Respiratório

A respiração pulmonar é responsável por garantir a troca gasosa no corpo, oferecer oxigênio e recolher dióxido de carbono, para manter o equilíbrio de funções vitais. Neste sentido o ar entra pelo nariz ou pela boca, passa pela faringe, pela laringe e traqueia até chegar aos brônquios, onde estão os alvéolos, estruturas responsáveis pela troca gasosa com o sangue, assim o oxigênio sai dos alvéolos e vai para o sangue e o dióxido de carbono faz o caminho inverso (CALIL, et. al., 2002). Na Figura 2 é possível ver todo o caminho do ar pelo sistema respiratório.

Figura 2: Estruturas componentes do sistema respiratório



Fonte: adaptado de MONIZ, 2013.

O contexto da fisiologia do sistema respiratório inicia-se a partir da ventilação mecânica onde ocorre a entrada de ar da atmosfera para os alvéolos pulmonares e a saída realizando o caminho contrário. No sangue o oxigênio será transportado pelo corpo assim como o dióxido de carbono quando então é realizada a difusão dos dois gases nos alvéolos pulmonares, mais precisamente pelos capilares, e assim ocorre a regulação da ventilação (DOS SANTOS, 2021).

A respiração consiste em duas etapas (CALIL, et. al., 2002):

- A inspiração é um processo ativo onde o diafragma se contrai e simultaneamente ocorre a elevação da caixa torácica através da ação dos músculos intercostais externos e assim move as superfícies inferiores do pulmão para baixo promovendo uma pressão negativa do tórax e o ar entra na cavidade do pulmão;
- A expiração é um processo passivo, quando o diafragma relaxa enquanto os pulmões, a parede torácica e as estrutura abdominais se retraem e cria uma pressão positiva expelindo o ar, se houver esforço provocando uma hiperventilação voluntária à expiração se torna ativa.

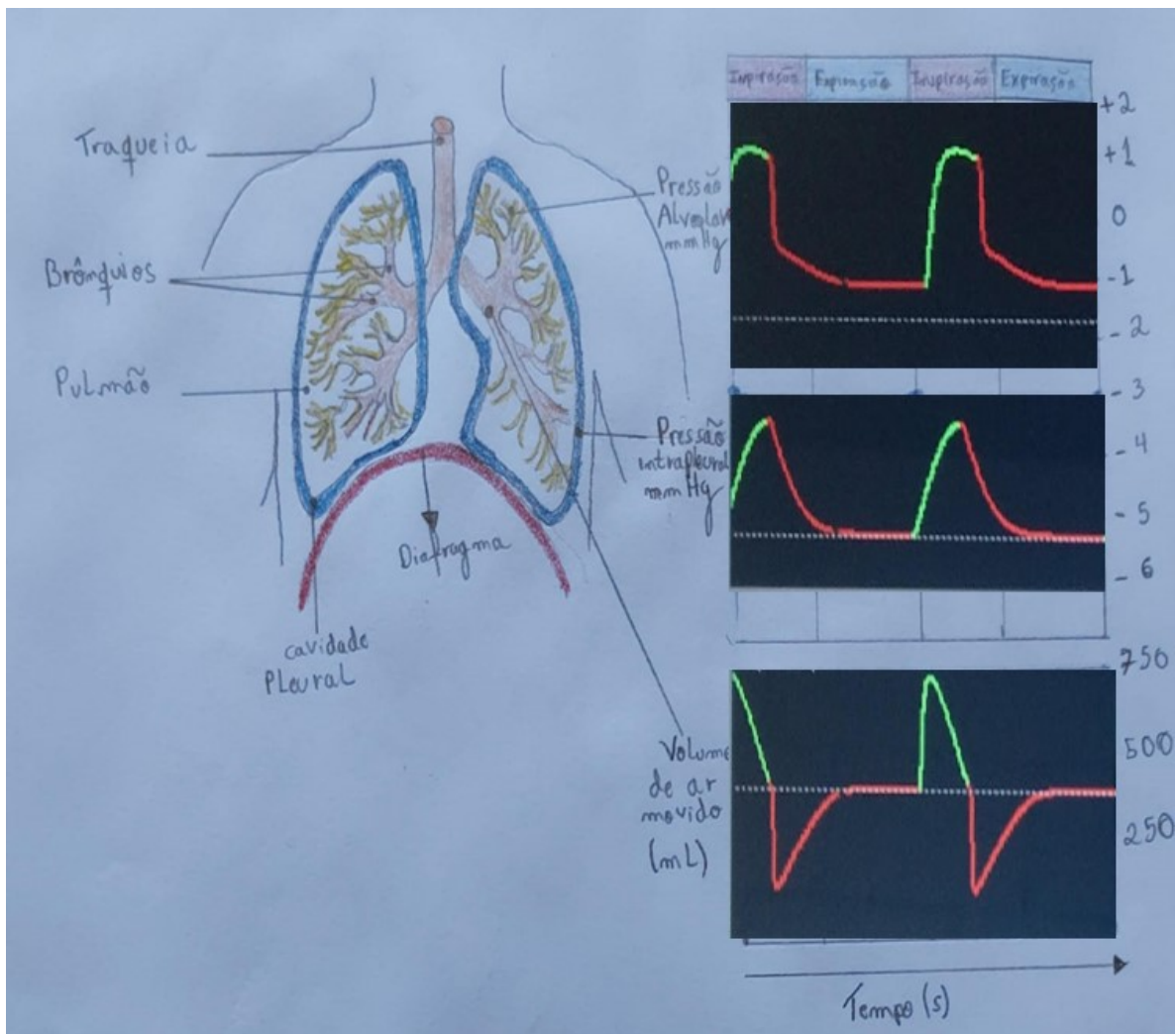
2.1.2. Pressões Pulmonares

O pulmão é uma estrutura elástica que infla sob ação de forças dos músculos, posicionado na cavidade torácica, envolvido pelo líquido pleural ao qual atua como lubrificante e possibilita o movimento de respiração com menor atrito, este modo de funcionamento resulta em três tipos de pressões (HALL, 2011).

Entre a pleura parietal da cavidade torácica e a pleura visceral do pulmão existe um líquido que provoca a pressão pleural, devido ao movimento de inspiração e expiração através da cavidade ocorre uma pressão negativa de aproximadamente 3,5 mmHg quando está em estado de repouso e cerca de 5,6 mmHg na inspiração normal (HALL, 2011). A Figura 3 mostra o diagrama das pressões.

Quando os alvéolos pulmonares estão em repouso, ou seja, no momento que a glote estiver fechada, no seu interior surge uma pressão igual à pressão atmosférica, considerada pressão de referência, sendo 0 mmHg. No momento da inspiração para o ar entrar nos alvéolos é necessário que a pressão esteja negativa, assim a pressão reduz para aproximadamente -1 mmHg, e quando ocorre a expiração a pressão deve ser positiva possibilitando a saída de ar (HALL, 2011). Na Figura 3 é apresentado o gráfico correspondente.

Figura 3: Diagrama de pressões pulmonares



Fonte: adaptado de SHUNKER 2016.

A pressão transpulmonar é o resultado da diferença entre a pressão alveolar e a pressão das superfícies externas dos pulmões, sendo a pressão responsável por vencer as forças elásticas do pulmão e a resistência ao fluxo de ar nas vias aéreas (HALL, 2011).

2.1.3. Volumes Pulmonares

A ventilação pulmonar pode ser analisada através do cálculo do volume de ar que entra e que sai dos pulmões, método chamado de espirometria. No ciclo respiratório pulmonar existem quatro tipos de volumes que quando somados resultam na capacidade expansiva máxima de um pulmão de um adulto saudável (SHUNKER, 2016).

O volume corrente (VC) representa a quantidade de ar inspirado em cada respiração normal, cerca de 500 mililitros. Quando o indivíduo inspira além da

capacidade máxima é denominado de volume de reserva inspiratório (VRI), em torno de 3000 mililitros. Já quando ocorre o inverso onde o indivíduo tenta forçar a expiração é chamado de volume de reserva expiratório (VRE) girando em torno de 1100 mililitros. Mesmo com a expiração forçada ao máximo não é possível retirar todo o ar de dentro dos pulmões esta pequena concentração é chamada de volume residual (VR) cerca de 1200 mililitros (SHUNKER, 2016).

2.1.4. Capacidades Pulmonares

No ciclo respiratório pode haver momentos em que alguns volumes se somam, estas associações recebem o nome de capacidades pulmonares (MENNA, 2012):

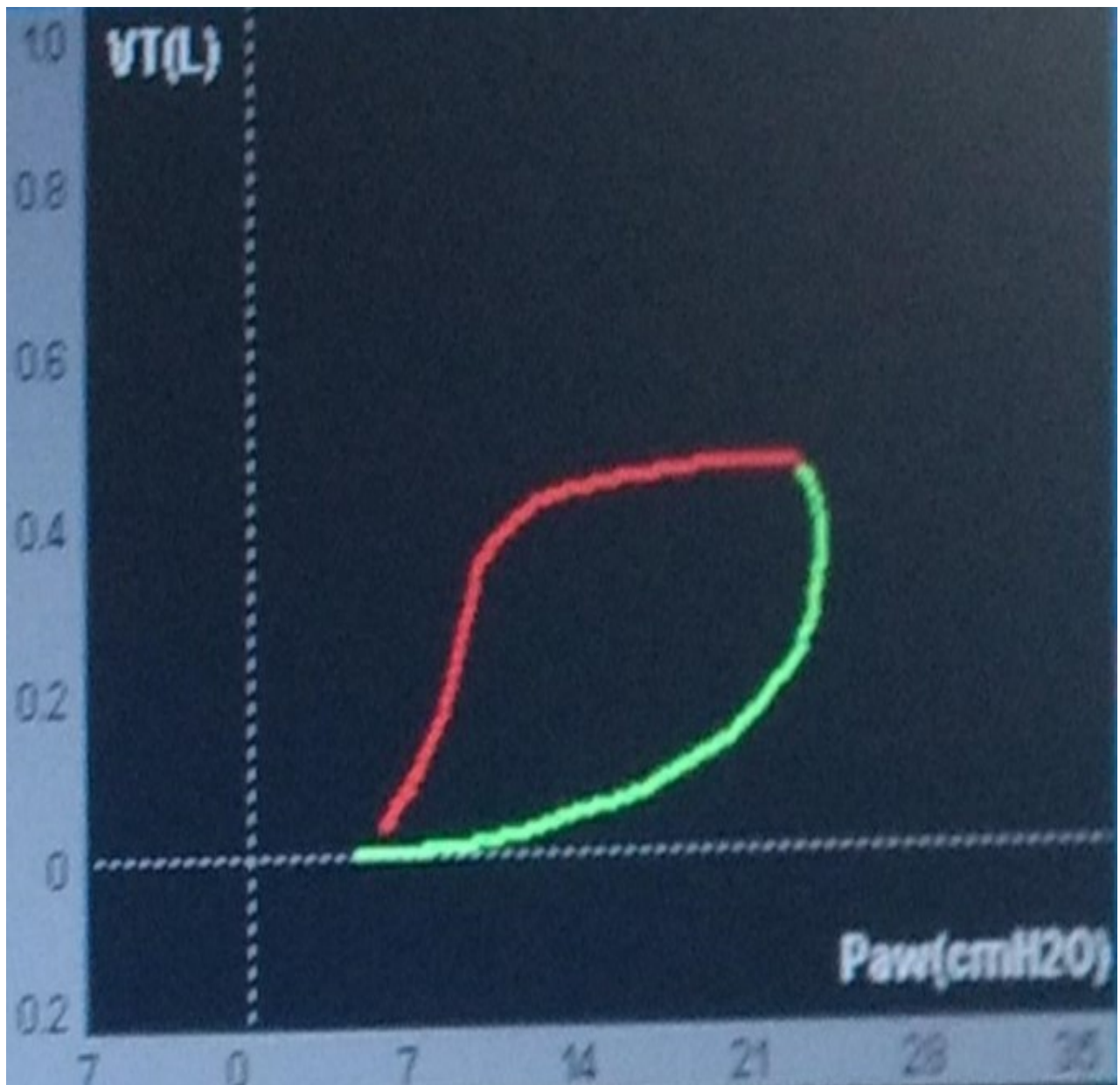
- Capacidade Inspiratória: representa a soma do volume corrente mais o volume de reserva inspiratório, iniciando da expiração normal até a capacidade de expansão dos pulmões, cerca de 3500 mililitros;
- Capacidade Residual Funcional: caracterizada pela quantidade de ar que permanece nos pulmões ao final da expiração normal, sendo a soma do volume de reserva expiratório mais o volume residual;
- Capacidade Vital: após realiza a extensão máxima na inspiração e expelir o máximo possível de ar o volume restante dentro dos pulmões representa a capacidade vital que é a soma do volume corrente mais o volume de reserva inspiratório mais o volume reserva expiratório. Corresponde a cerca de 4600 mililitros;
- Capacidade pulmonar total: representa o maior esforço inspiratório possível para estender de ar os pulmões, é igual a capacidade vital mais o volume residual.

2.1.5. Complacência Pulmonar

A complacência pulmonar mede a capacidade de distensão dos pulmões para cada aumento da pressão transpulmonar. Sendo que em um adulto a complacência total é em torno de 200 mililitros de ar para cada centímetro de pressão de água. Cada variação do volume do pulmão desencadeia uma variação de pressão transpulmonar em torno de aproximadamente $1 \text{ cmH}_2\text{O}$ (HALL, 2011). A complacência é obtida através da relação fracionária da variação de volume pela variação de pressão apresentada na Equação 1. A Figura 4 trás o gráfico do loop fluxo/volume com o cálculo em tempo real da complacência pulmonar de uma pessoa saudável.

$$C_p = \frac{\Delta V}{\Delta P} (1)$$

Figura 4: Diagrama da complacência pulmonar normal



Fonte: de própria autoria.

A curva formada pela variação de pressão pleural e mudança no volume pulmonar é definida pelas ações das forças elásticas que agem nos pulmões sendo elas: A força elástica do tecido pulmonar e as forças elásticas geradas pela tensão superficial do líquido da parede interna dos alvéolos (HALL, 2011). É possível observar a variação do volume dos pulmões em movimento de inspiração e expiração. Em uma alusão entre as componentes do sistema respiratório e as componentes elétricas levando em conta conceito básico como resistência, corrente e tensão constitui a Tabela 1.

Tabela 1: Comparativo entre variáveis respiratórias e variáveis elétricas

Componentes Elétricas	Componentes Pneumáticas
Tensão (V)	Pressão
Corrente (i)	Fluxo (F)
Carga (Q)	Volume (V)
Resistência ($R = \Delta V/i$)	Resistência ($R = \Delta P/F$)
Capacitância ($C = \Delta Q/\Delta V$)	Complacência ($C = \Delta V/\Delta P$)

Fonte: Adaptada de GONTARSKI, 1996.

2.1.6. Doenças Respiratórias

A ventilação mecânica tem o objetivo de auxiliar na respiração em tempo parcial, completo ou temporário, para pacientes com insuficiência respiratória, devido anestesia, defeitos congênitos, acidentes e doenças. Destacam-se as doenças que necessitam de ventilação mecânica:

Hipoxemia é quando ocorre um menor fluxo de oxigênio para o sangue e os tecidos, causado por dois motivos (GONTARSKI, 1996):

- Hipoventilação alveolar: se refere a nível baixo de concentração de oxigênio inspirado, na quantidade de ar levado aos alvéolos e na quantidade de oxigênio retirado dos alvéolos;
- Distúrbio da difusão: redução da capacidade de difusão de oxigênio pela membrana alveolar, devido a sua densidade.

Indivíduos acometidos com esta doença são submetidos ao tratamento de oxigenoterapia, onde é administrada uma maior porcentagem de oxigênio no ar inspirado, elevando a pressão parcial nos pulmões. Em razão das altas pressões parciais ocorre maior difusão de oxigênio. Aumento da taxa de oxigênio dissolvido no sangue proporcionando maior quantidade de oxigênio dos tecidos. É importante salientar que altas taxas de oxigênio no sangue por um período prolongado de tempo pode acarretar problemas estruturais nas células do corpo (GONTARSKI, 1996).

A pneumonia se caracteriza pela infecção no pulmão por bactérias ou vírus. Resultando inflamações das estruturas dos alvéolos, induzindo a presença de líquidos e glóbulos sanguíneos. Este processo acarreta a hipoxemia pela falta de ar nos

alvéolos através da presença de membranas espessas dificultando a troca de ar ou na presença de líquidos que dificultam a passagem do ar (DOS SANTOS, 2021).

O edema Pulmonar é resultado do acúmulo de líquidos nos alvéolos, provocando a insuficiência do ventrículo esquerdo do coração na circulação pulmonar para a circulação sistêmica. Gera um aumento na pressão do capilar e o sangue é retido, assim os fluidos sanguíneos percorrem rapidamente do plasma para os alvéolos e para os espaços intersticiais dos pulmões, assim depositam líquidos e dificulta a troca de gases (DOS SANTOS, 2021).

Indivíduos que possuem anos de prática de fumo acarretam no enfisema pulmonar, onde são ocasionadas várias lesões em áreas das paredes alveolares e assim reduz a área de contato e por consequência a troca gasosa e enfraquecendo os tecidos pulmonares (DOS SANTOS, 2021).

A falência de um dos pulmões ou parte dele é denominada de Atelectasia, para tal são ocasionadas por ferimentos perfurantes na cavidade torácica onde ocorre a entrada de ar para a cavidade intrapleural e interrupção das vias aéreas por tumores ou secreções ou corpos estranhos, dificultando a ventilação adequada (GONTARSKI, 1996).

Asma é caracterizada pela obstrução das vias aéreas devido à inflamação generalizada crônica, acarretando grave insuficiência respiratória no momento do espasmo muscular brônquio por consequência em hipoxemia e até em alguns casos gerando o aumento da concentração de dióxido de carbono, chamada de hiper carbia. Se não houver a reversão espontânea deve ser utilizado medicamentos broncodilatadores e anti-inflamatórios (GONTARSKI, 1996).

Fibrose Cística é definida pela formação de muco denso que impossibilita o movimento mucociliar, devido a uma má formação genética das glândulas exócrinas. Desta forma o muco fica acumulado nas vias aéreas e se torna espesso favorecendo um local de desenvolvimento de bactérias (GONTARSKI, 1996).

Conhecida por ser uma crise respiratória aguda, a Sara é desencadeada pela ausência de surfactantes (substâncias que são capazes de reduzir a tensão superficial facilitando a penetração da água em pequenos espaços) nos pulmões. A limpeza fica prejudicada e desta forma impossibilita a captação de oxigênio alveolar entrando em colapso, contribuindo para a hipoxemia grave. Neste cenário a complacência pulmonar se reduz (GONTARSKI, 1996).

Existem drogas que quando consumidas exacerbadamente afetam o sistema nervoso central reduzindo a capacidade do sistema respiratório, com o paciente acometido incapaz de discernir as substâncias que serão ingeridas pelo fato de estar sedado (GONTARSKI, 1996).

Em casos de traumas cerebrais ocasiona uma lesão que reduz o espaço interno cerebral, causando compressão e distúrbios no centro respiratório, com o intuito de amenizar o edema cerebral é necessário o uso de níveis elevados de oxigênio e por consequência a redução das taxas de dióxido de carbono no sangue (GONTARSKI, 1996).

O embolismo pulmonar é um tipo de distúrbio caracterizado por pequenos coágulos denominados de trombos, aos quais impedem a ventilação pulmonar reduzindo a troca gasosa, onde o oxigênio presente não é usado por consequência gerando o acúmulo do dióxido de carbono (GONTARSKI, 1996).

2.1.7. COVID-19

No final de 2019 surgiram os primeiros casos de COVID-19 em Wuhan na China, sendo este o epicentro de uma doença infectocontagiosa provocada por um novo tipo de coronavírus denominado de SARS-CoV-2, esta por sua vez é a causadora de uma pandemia viral. Este tipo de vírus é comumente encontrado em várias espécies de animais tais como: camelos, gatos, gado e morcegos. Raramente este tipo de vírus infecta o ser humano, onde é possível mencionar dois casos: MERS-CoV Síndrome Respiratória do Oriente Médio e SARS-CoV Síndrome Respiratória Aguda Grave, que assim como o SARS-CoV2 pertence à família *Coronavirinae*, que pode ser transmitido de humano para humano. O que difere o vírus da COVID-19 é a sua alta taxa de contaminação (LU H, et al., 2020).

Esta diferença se deve ao fato do SARS-CoV-2 ser constituído de uma fita simples de RNA, onde possibilita realizar mutações específicas e recombinação genética, assim propicia o desenvolvimento de cepas com maior potencial patológico e alta taxa de contágio, afetando drasticamente a população mundial (OLIVEIRA, et al., 2021). Este vírus possui a proteína S, onde esta traz uma maior relevância na questão infecciosa, propiciando com maior facilidade a entrada nas células humanas, através dos receptores de enzimas conservadora de angiotensina 2 (ECA2), existentes na membrana de diversas células humanas (ZHOU, et al., 2021).

Os primeiros casos de COVID-19 foram identificados em Wuhan na China, onde os pacientes acometidos com a doença tinham em comum um histórico de visitas ao mercado de frutos mar localizado na província de Hebei, partindo disso os pesquisadores levantaram hipóteses de que a transmissão do SARS-CoV-2 para humanos tenham sido através da ingestão de alimentos advindos de animais silvestres vivos, tais como coelhos, pangolins, morcegos e répteis (WU F, et al., 2020).

Segundo WHO (2021), o contágio pode ser através de forma direta ou pela inalação de secreções de vias aéreas advindas de uma pessoa infectada, pela tosse, fala e espirro. Outra forma de transmissão é pela via fecal-oral e por via indireta por meio de superfícies contaminadas.

ZHOU (2021) relata que o período de incubação é de dois a 14 dias após o contágio, após este tempo existe uma heterogeneidade de casos, desde uma infecção assintomática até uma pneumonia grave com decorrência de insuficiência respiratória e perda de função de vários órgãos, chegando a muitos casos ao óbito do doente.

Por ser tratar de uma doença do trato respiratório, o estado grave da infecção resulta na síndrome do desconforto respiratório aguda (SDRA), quando evolui para o quadro clínico de insuficiência respiratória, causada pela deterioração do parênquima pulmonar, com intensa consolidação, associado à inflamação intersticial e resultando em uma oxigenação inadequada. Esta etapa da doença é causada pelo acúmulo de citosinas pró-inflamatórias que o corpo ativa para obter uma inflamação maior, a fim de aniquilar o vírus no organismo (NISHIURA H, et al., 2020). Para este estágio, umas das indicações que se destaca é a Ventilação Mecânica (VM), visando aumentar a concentração de oxigênio, poupar os músculos e auxiliar ou assumir a respiração, até que o paciente esteja livre da inflamação (DAVOLI, et. al., 2021).

2.1.8. Ventilador Mecânico (VM)

Quando o paciente se torna incapaz de realizar de forma autônoma a respiração pulmonar devido a: patologias, anestésias, defeitos genéticos, coma ou por acidentes é utilizado o Ventilador Mecânico, este equipamento médico-assistencial atua na respiração parcial ou total, sendo usado com o intermédio de acessórios dependendo do tipo de ventilação se é invasiva ou não invasiva, utilizando da pressão positiva na etapa de inspiração para entrar do ar (GONTARSKI, 1996). Mas nem sempre foi assim, em meados de 1943 houve os primeiros relatos de VM, mas no século XIX que teve o

primeiro registro histórico, ao qual utilizava a pressão negativa, onde o paciente era inserido em um grande tanque sob pressão, restando somente a cabeça para o lado de fora, assim o tórax era expandido através de um sistema de sucção desobstruindo todas as vias respiratórias e facilitando a entrar de ar (DOS SANTOS, 2021).

Hoje em dia é realizada a mistura dos gases extracorpórea e oferecida ao corpo no ciclo respiratório onde ocorre o deslocamento de ar para os pulmões expandindo a caixa torácica, devido às propriedades elásticas, este processo é chamado de respiração ou ventilação pulmonar (URIBE, 2011). O ciclo só é possível se o equipamento gerar um gradiente de pressão negativo ou um gradiente de pressão positiva. Sendo a ventilação com pressão positiva a mais utilizada nos tempos atuais por proporcionar mais conforto para o paciente (CUNHA, 2013).

Na respiração espontânea a entrada de ar é possível devido à pressão negativa no momento da inspiração. Na ventilação mecânica é utilizada a pressão positiva, forçando a entrada de ar, para manter os níveis de trocas gasosas ideais a fim de regularizar a quantidade de oxigênio que chega aos alvéolos, aumentando o volume pulmonar e reduzindo o trabalho respiratório. Durante este auxílio respiratório os trabalhos clínicos são voltados para a redução: da hipoxemia, da acidose respiratória aguda e da fadiga muscular respiratória. Através da sedação, anestesia ou uso de bloqueadores neuromusculares (BRASIL, 2020).

Para o uso da ventilação mecânica é necessário à utilização de acessórios que facilitem a entrega de ar, desta forma existem dois tipos de ventilação: a ventilação mecânica invasiva (VMI) que utiliza um tubo orotraqueal ou nasotraqueal ou ainda cânula de traqueostomia e a ventilação mecânica não invasiva (VNI) realizada por meio de uso de máscaras (TOUFEN, 2007). Na Tabela 2 é possível observar os componentes utilizados na ventilação mecânica.

Tabela 2: Componentes utilizados na ventilação mecânica (continua)

Componentes para utilização na ventilação mecânica (VM)	
Válvulas de exalação ou respiratória	No circuito esta válvula atua para fechar o circuito de saída de ar na inspiração mantendo a pressão positiva e abrindo quando estiver na expiração mantendo a pressão negativa.

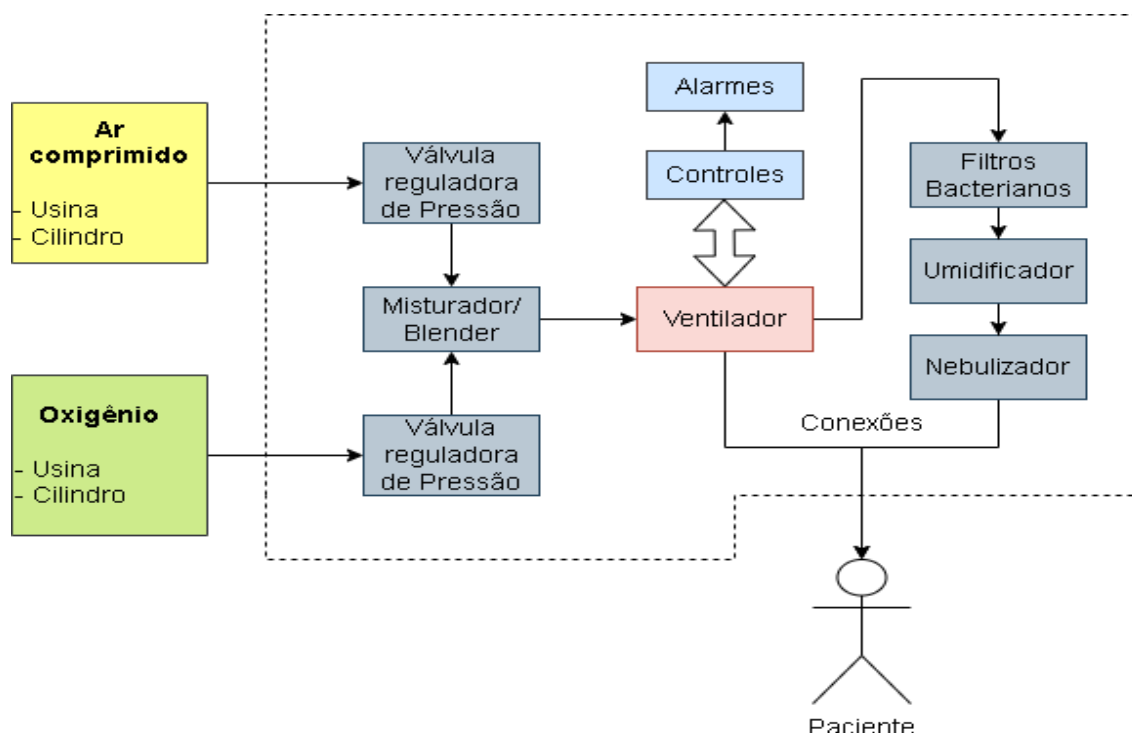
Tabela 2: Componentes utilizados na ventilação mecânica (conclusão)

Componentes para utilização na ventilação mecânica (VM)	
Válvulas reguladoras de pressão	São válvulas que ajustam a pressão dos gases na entrada do ventilador e na entrega de ar para o paciente.
Misturadores (Blenders)	Realizam o trabalho de balanceamento das taxas desejadas de oxigênio no ar inalado, geralmente varia 21% a 100%.
Umidificadores	São utilizados no circuito do paciente para adicionar vapor d'água à mistura de gás inspirado, evitando o ressecamento das vias aéreas por um longo período de uso.
Nebulizadores	Utilizados quando o paciente necessita de drogas por via respiratória ou na forma de aerossol
Alarmes	Necessário para avisar os agentes de saúde sobre algum problema durante o uso do equipamento, como apneia ou pressão muito alta ou baixa.
Filtro	Proporciona a qualidade do ar, evitando a contaminação bacteriológica e possíveis partículas aéreas.
Máscaras	São utilizadas na ventilação mecânica não invasiva, podem ter o auxílio de elásticos ou através de sucção, cobre nariz e boca ou toda a face.
Tubos/Cânulas	Utilizados na ventilação mecânica invasiva, onde iriam atuar como prótese.

Fonte: de própria autoria.

Durante o uso os ventiladores pulmonares devem estar primordialmente ligados à rede elétrica, salvo situações emergenciais onde ocorre o transporte do paciente ou interrupção no fornecimento de energia elétrica, para estes casos os VMs contam com baterias internas as quais possuem pouco tempo de autonomia. Possuem um sistema de controle que são programados para realizar os comandos de ventilação necessários que é possível por meio de um conjunto de sensores que fornecem os dados, sendo estes analisados, armazenados e se tiverem fora da faixa ideal irá soar um alarme de aviso (ANVISA, 2020). A Figura 5 mostra um diagrama breve do funcionamento geral de um ventilador mecânico.

Figura 5: Funcionamento geral de um VM



Fonte: de própria autoria

O VM usualmente funciona com o fornecimento externo de ar comprimido e oxigênio por meio da rede de gases ou de cilindros, geralmente utiliza de 3,5 kPa a 6 kPa de pressão em cada gás, sendo monitorados por válvulas reguladores que possuem manômetros. As mangueiras são ligadas nas entradas das válvulas do VM para cada respectivo gás e internamente após a seleção da porcentagem da mistura de gás o blender administra a função e entrega para os dispositivos de controle, após análise pelos transdutores de fluxo o ar sai pelo ducto inspiratório e passa pelas tranqueias chegando ao umidificador passando pelo nebulizador e assim entregue ao paciente, então ocorre à inspiração que é a entrada da mistura de ar nas vias aéreas e posteriormente a expiração sendo liberado o dióxido de carbono do corpo que é expelido para o ar ambiente por meio do ventilador pulmonar (DIXTAL, 2019).

Por possuir vários modos de ventilação é necessário conhecer as variáveis envolvidas a fim de saber qual a melhor forma para a ventilação. A Tabela 3 mostra as variáveis envolvidas no ciclo respiratório.

Tabela 3: Parâmetros elementares do ventilador mecânico (VM)

Parâmetros elementares do VM	
Pressão	Utilizado como ajuste do valor de pico da pressão inspiratória chamada de PIP, sendo mensurada em centímetros de água (cmH_2O), existe ventiladores que atuam com pressão negativa e positiva.
Volume	Ajusta o volume de ar entregue ao paciente, sendo mensurado em mililitros (ml)
Fluxo	Ajusta o valor de pico do fluxo entregue ao paciente medido em litros por minuto (l / min)
Tempo	Os parâmetros são mensurados de acordo com o tempo de inspiração e expiração
Relação I:E	É a relação entre o tempo de inspiração e o tempo de expiração
Frequência Respiratória	Ciclos realizados podem variar de 1 a 120 respirações por minuto
Sensibilidade	Permite a tentativa de respiração espontânea
PEEP	Pressão positiva expiratória final mantém um valor de pressão dentro dos pulmões para evitar que eles se colabem
Modo de ventilação	Possibilita o modo de operação do ventilador

Fonte: Adaptado de (CALIL; et. al., 2002).

Os ventiladores mecânicos (VMs) atuais têm o funcionamento difundido no trabalho em conjunto do hardware com o software. Após a escolha do modo ventilatório e valores dos parâmetros no software são enviados comandos para o hardware executar. O Hardware é basicamente constituído de comando de válvulas de ar comprimido e oxigênio, atuando em conjunto para admitir o fluxo de gás ideal (MARTELO, 2015). No ventilador os gases são envolvidos pelos misturadores (blender) na proporção predefinida, onde o oxigênio pode variar de 21% a 100%, em seguida passam pelo umidificador e aquecedor responsável por preparar a mistura que será inspirada pelo paciente (SHUNKER, 2016). Os sensores mensuram os valores dos parâmetros e os enviam para o software que por meio dos alarmes avisa a equipe que está monitorando o paciente numa espécie de feedback respiratório. As traqueias são os tubos flexíveis que fazem a intermediação, recebem o ar do ventilador e entregam

para o usuário. O nebulizador possibilita inserir medicamentos por vias aéreas. Os filtros bacterianos têm a função de coibir a contaminação por bactérias. A válvula expiratória tem a função de regular a saída do ar, fecha no momento da inspiração e abre no momento da expiração (MARTELO, 2015).

É possível controlar todos os sistemas por meio de mecanismos que atuam como válvulas de saída dos VM, podendo ser: mecânicos que fazem o uso de polias ou de alavancas; pneumático usando da pressão de gás comprimido; pistões e válvulas eletromecânicas através do fluxo que regula as chaves de pressão; elétrico com chaves eletromecânicas ou dispositivos eletrônicos como diodos, transistores, amplificadores operacionais e microprocessadores (ANVISA, 2020).

O processo ventilatório mecânico é projetado para simular a respiração espontânea do paciente. Este mecanismo em conjunto gera curvas de pressão, fluxo e volume e, desta interação é possível enumerar quatro funções: insuflar os pulmões, parar de inflar, esvaziar pulmões e inflar novamente (MAKHAMED, 2017). Estas funções representam as quatro fases do ciclo respiratório, onde inicia na fase inspiratória mais platô inspiratório, mudança da inspiração para de expiração ou ciclagem, fase expiratória e mudança de fase expiratória para inspiratória ou disparo (TOUFEN, 2007).

Na fase inspiratória o ventilador realiza a insuflação dos pulmões, onde é produzida uma pressão positiva a fim de estabelecer um fluxo gasoso em direção aos alvéolos pulmonares partindo das vias aéreas. É necessário nesta fase que o gerador de fluxo, regulado pelas válvulas, seja constante mesmo frente à resistência pulmonar, atingindo a pressão máxima inspiratória. Paralelo a esta operação outro componente gera fluxos que variam de maneira padronizada durante a inspiração, esta operação é obtida através de um gerador cíclico em relação ao tempo atuando juntamente com uma válvula ajustável que alivia a pressão (MARTELO, 2015).

Entre a fase inspiratória e a expiratória ocorre à fase de ciclagem, nela é possível identificar que existem quatro técnicas diferentes para obter o volume corrente, mas isso depende do tipo de ciclagem do ventilador utilizado (URIBE, 2011):

- Ventiladores que ciclam a volume encerram a fase inspiratória após fornecer um volume de gás pré-definido;
- Ventiladores que ciclam por fluxo possuem a característica de terminar a fase inspiratória quando um nível de fluxo é alcançado;

- Ventiladores que ciclam a tempo terminam a fase inspiratória após um período de tempo definido independente dos outros fatores;
- Ventiladores que ciclam por pressão onde o término da fase de inspiração é estabelecido por uma pressão definida.

A fase expiratória é caracterizada pelo fechamento da válvula inspiratória e simultaneamente a abertura da válvula expiratória, deste modo a pressão do sistema respiratório irá se equilibrar com a pressão expiratória final que é definida no ventilador. É importante salientar que neste momento a válvula de exalação ainda mantém uma pressão positiva expiratória final chamada de PEEP para que os pulmões não se colapsem, neste ponto a expiração termina, e os pulmões contêm uma pressão um pouco maior que a PEEP. No final da expiração a válvula de inspiração se abre e assim se inicia um novo ciclo inspiratório, é denominada de transição da fase expiratória para inspiratória (ANVISA 2020; TOUFEN, 2007).

Existem diversos tipos de modalidades de ventilação, sendo que o modo selecionado irá depender do modelo de ventilador e das características necessárias de ventilação para cada paciente. Na Tabela 4 é possível ver a sigla e o significado de alguns tipos de modos ventilatórios. Os modos de ventilação mecânica com controle de pressão ou de volume são comumente usados em equipamentos mais antigos, enquanto que existem ventiladores mais atuais, que possuem modo dual de controle, aos quais alteram o modo ventilatório automaticamente a depender da resposta do paciente (CALDERÓN, 2006).

Tabela 4: Modos ventilatórios (continua)

Modos	Modalidade	Significado
Controlado	VCV/CMV	Ventilação Controlada a Volume
	VCP/PVC	Ventilação Controlada a pressão
	PCV/AV	Ventilação de volume assegurado por controle de pressão

Tabela 4: Modos ventilatórios (conclusão)

Modos	Modalidade	Significado
Assistido	SIMV/V	Ventilação Mandatória intermitente sincronizada com controle de volume
	SIMV/P	Ventilação mandatória intermitente sincronizada com controle de pressão
Espontâneo	MMV	Ventilação com volume minuto mínima
	BIPV	Ventilação espontânea com dois níveis de pressão
	CPAP	Ventilação com pressão positiva contínua das vias aéreas
	PSV/AV	Ventilação de volume assegurado por suporte de pressão
	VSV	Servo ventilação volumétrica com suporte de pressão

Fonte: de própria autoria.

A Tabela 4 apresenta diversos modos ventilatórios, onde o uso irá depender do modelo do ventilador, do tipo de enfermidade, condição física e quadro clínico do paciente, conhecendo estes parâmetros o fisioterapeuta ou médico podem definir qual a melhor estratégia ventilatória para o indivíduo.

Na ventilação controlada o indivíduo não tem nenhum tipo de controle na respiração, geralmente é utilizada quando o paciente está desacordado ou sedado e não consegue realizar a respiração de forma autônoma. Assim é necessário que o profissional de saúde programe a modalidade de ventilação entre pressão ou volume gerado e selecione a quantidade de fluxo de ar por meio de uma frequência respiratória (CALDERÓN, 2006; CALIL, et. al., 2002).

Existem duas modalidades de ventilação controlada (CALDERÓN, 2006):

- A ventilação controlada a pressão (VCP) necessita que um operador programe os parâmetros que serão utilizados, neste caso o principal parâmetro é a pressão. Uma vez definida a pressão inspiratória o ventilador balanceia o fornecimento na faixa ideal de gás para manter este valor constante. Desta forma o volume será relacionado à pressão inspirada em relação ao tempo de inspiração escolhido (MAKAHAMED, 2017). Os parâmetros para ajuste são: pressão inspiratória máxima, tempo de inspiração, frequência respiratória, fluxo inspiratório máximo, PEEP, sensibilidade e nível de concentração de O_2 .
- A ventilação controlada a volume (VCV) os parâmetros ajustados são: volume corrente, fluxo máximo inspiratório, PEEP, pressão máxima inspiratória, sensibilidade assistida, frequência inspiratória, nível de concentração de O_2 e tempo de apnéia (pausa inspiratória). Sendo o volume corrente a variável que permanecerá constante tal como o fluxo. Quando ocorre a inspiração a pressão sobe até que seja atingido o valor definido de volume, é possível que durante o período de um ciclo de respiração ao atingir o valor de volume o ventilador use a apneia.

A ventilação assistida supervisiona o ciclo respiratório do indivíduo, dessa maneira, quando o paciente tentar realizar a respiração com uma pressão maior ou igual à sensibilidade definida, o ventilador mecânico proporcionará a ventilação. A respiração espontânea é caracterizada pela queda de pressão, assim ao ser sentida uma queda de pressão é acionado o circuito do paciente (CALIL et al., 2002).

O modo ventilação assistido-controlada pode ser usado tanto o volume controlado como a pressão controlada, sendo que quando o ciclo assistido não ocorre é acionado o disparo por tempo em relação à frequência definida. Para tal existem quatro modalidades de ventilação assistida (CALIL, 2002; MARTELO, 2015):

- Caso o paciente esteja apto para realizar respiração espontânea é utilizada a Pressão positiva contínua nas vias aéreas (CPAP) a fim de melhorar a relação de perfusão, utilizando da pressão positiva no ciclo respiratório. Mas causa bastante desconforto e quando se faz o uso da máscara pode ocorrer o escape de ar;
- Quando o paciente não realiza a respiração espontânea o ventilador irá detectar e acionará o modo assistido, assim o paciente pode realizar a respiração normalmente e em momentos de apneia o ventilador mandará ciclos de respiração, sendo controlado por válvulas atuando de forma intercalada, este modo é denominado de ventilação mandatória intermitente sincronizada (SIMV) ou ventilação mandatória intermitente (IMV);
- Outro modo é a ventilação minuto-mandatória (MMV), para este procedimento o paciente tem um volume-minuto que deve ser atingido, deste modo o paciente respira de forma autônoma o tanto que conseguir e o ventilador irá fornecer o restante, sendo mantido o fluxo gasoso constante a todo o momento. Quando o ventilador não detecta a inalação,

o pistão do cilindro se enche e empurra o gás até que atinja o volume selecionado. Assim, ao aumentar o volume minuto espontâneo o pistão demora mais tempo para chegar ao valor do volume e quando a frequência mandatória é reduzida consequentemente aumenta o valor do volume minuto.

Quando é necessário poupar o paciente de um esforço excessivo na fase de inspiração é utilizado o modo de Ventilação com pressão de suporte ou ciclada a fluxo. Também denominado de Pressão assistida, tem o objetivo de oferecer um valor de pressão positiva e constante nas vias aéreas na fase de inspiração, sendo controlada por fluxo, respeitando o tempo do ciclo de respiração do paciente. O ventilador reconhece que o tempo da inspiração termina quando o valor do fluxo atinge 25% do máximo (POLETTTO, 2012).

2.1.9. Procedimento para Ventilação Mecânica (VM) para pacientes com COVID-19

Com o aumento da pandemia vieram as mudanças de estratégias no combate, na prevenção e no tratamento da mesma. As recomendações atuais indicam que os pacientes sejam intubados mais rápido possível tanto com a ventilação não invasiva (VNI) por meio do uso de máscaras faciais ou a ventilação invasiva (VMI) por meio de tubos endotraqueal ou cânula de traqueostomia. O uso precoce da ventilação é necessário quando há o quadro de hipoxemia grave. Nesta situação o resultado da relação de pressão parcial de oxigênio no sangue arterial (PaO_2) sobre a fração inspirada de oxigênio (FiO_2) é menor que 200 mmHg por um longo período atendendo os critérios de Berlim de síndrome da angústia respiratória aguda (SDRA) de moderada a grave. A ventilação precoce também protege os profissionais da exposição e consequentemente o contágio com o vírus (MÖHLENKAM, 2020).

Portanto, por motivos de segurança e padronização dos métodos adotados para tratamento de pacientes acometidos com a doença COVID-19 seguindo as recomendações da Organização Mundial de Saúde (OMS), foram definidas análises que dependem da saturação de oxigênio do paciente. Assim, a sequência de etapas começa pelo tratamento paliativo até a intubação a depender da progressão do quadro clínico (CAMPOS, 2020). A ventilação mecânica não garante o combate à inflamação generalizada do sistema respiratório, denominada de hipoxemia. Quando ocorre além da inflamação, alta necessidade de oxigênio e febre elevada, este tipo de manobra em

alguns casos pode até piorar as condições do paciente pelo fato de ocorrer lesão pulmonar durante o processo. Desta forma a VM tem o intuito de realizar o maior tempo de suporte à vida, reduzimos os riscos de lesão até que a inflamação reduza (MÖHLENKAM, 2020).

Segundo Roberto (2020), a utilização da ventilação não invasiva ou da oxigenoterapia nasal de alto fluxo não são recomendados para quadro clínicos de pacientes com COVID-19 em estado gravíssimo, sendo necessária avaliação, a fim de evitar as lesões causadas no processo e representar um maior risco de contaminação da equipe e do ambiente.

Para a inserção da ventilação mecânica invasiva o procedimento correto seria o circuito fechado para aspiração da via aérea, a umidificação passiva (HME), o filtro de barreira na válvula exalatória (HEPA), os inaladores pressurizados dosimetrados com adaptador para administração de broncodilatadores, a pressão do balonete do tubo traqueal entre 25 e 32 cmH_2O , mantendo a atenção ao checar e zerar vazamentos. É necessário realizar a cada 30 minutos à uma hora a checagem do índice de oxigenação, colher a gasometria e realizar o raio-x do tórax após a intubação por via orotraqueal (WHO, 2021).

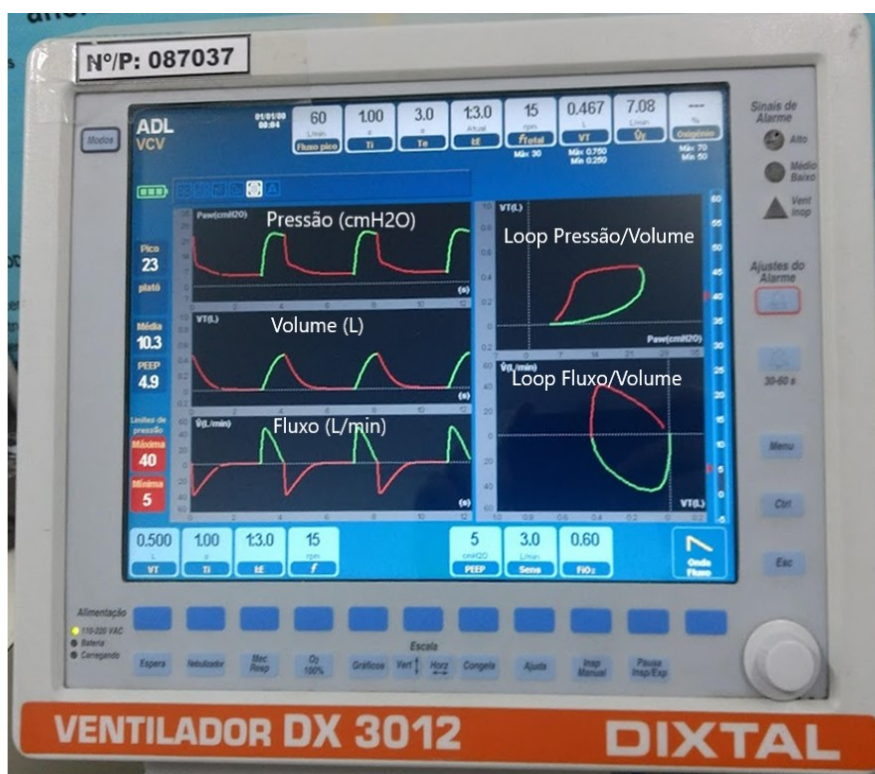
A ventilação não invasiva proporciona maior comodidade para o paciente com hipoxemia, falências respiratórias ou ambas causadas pela COVID-19, em quadros clínicos mais leves. Realizada por meio de máscaras externas nasais, faciais, bocais e oronasal reduz o esforço respiratório e promove uma melhora na oxigenação e na saturação periférica de oxigênio (LEWIS SR, et al., 2021), mas em contrapartida representa um grande risco, devido ao contato com partículas aerossóis que podem provocar o contágio (ROBERTO, et al., 2020).

Nos casos graves onde a inflamação se encontra mais acentuada é utilizada a ventilação invasiva em conjunto com a posição prona no paciente, a fim de amenizar a hipoxemia caracterizada por baixo percentual de oxigênio e a hipercapnia definida por alto porcentual de dióxido de carbono (SELFRRIDGE, et. al. 2016), oferecendo um auxílio e descanso dos músculos respiratórios até a redução da inflamação quando o paciente poderá conseguir realizar a ventilação espontânea (BOTELHO, 2021).

2.1.10. Ventilador Pulmonar DIXTAL 3012

O equipamento médico-assistencial de suporte à vida, o ventilador pulmonar DIXTAL 3012 incorpora os modos mais avançados de tecnologia controlados por um microprocessador, sendo mais utilizado em hospitais sob a coordenação de um profissional de saúde, por pacientes: adultos, pediátricos e neonatais, incluindo os prematuros na forma invasiva e não invasiva. Mantendo qualidade, conforto e segurança durante o uso (DIXTAL, 2019) Na Figura 6 é possível visualizar o ventilador pulmonar DIXTAL 3012.

Figura 6: Ventilador Mecânico Dixtal 3012



Fonte: de própria autoria.

As curvas de pressão, volume e fluxo em relação ao tempo, loop pressão/volume, loop fluxo/volume e loop pressão/fluxo, além da saturação de oxigênio em tempo real são apresentadas através de um cristal líquido em cores de 12" diferenciadas pelas cores: verde para inspiração e vermelho para expiração, sendo indicados pelos respectivos alarmes (DIXTAL, 2019).

O ventilador DIXTAL 3012 efetua auto testes de mecânica respiratória sendo eles: auto-PEEP, Pontos de inflexão em curva P/V (P/Vflex), Complacência Dinâmica e

Estática, Resistência Inspiratória e Expiratória, capacidade vital não forçada, volume aprisionado, Pressão Inspiratória Máxima e cálculo de VD/VT fisiológico (DIXTAL, 2019). Assim garantindo um movimento linear durante o uso.

O ventilador possui diversos modos respiratórios que estão na Tabela 5, além de possuir um alto fluxo inspiratório de até 180 L/min.

Tabela 5: Modos operatórios do DIXTAL 3012

Adulto/Pediatria	Neonatos
Volume Controlado (VCV), Assistido/Controlado	Volume Controlado (VCV), Assistido/Controlado
Pressão Controlada (PCV), Assistida/Controlada	Pressão Controlada (PCV), Assistida/Controlada
Pressão de Suporte (PSV)	Pressão de Suporte (PSV)
Pressão Positiva Contínua na Via Aérea (CPAP)	CPAP + PSV
SIMV (VCV) + PSV	SIMV (VCV) + PSV
SIMV (PCV) + PSV	SIMV (PCV) + PSV
Ventilação Mandatória Minuto (MMV) + PSV	Ciclado por Tempo, Pressão Limitada e fluxo contínuo (TCPL)
PSV + VT Garantido	TCPL/SIMV + PSV
Ventilação com Alívio Intermitente de Pressão (APRV)	CPAP com Fluxo Contínuo (com compensação de fugas)
Ventilação Não Invasiva (VNI) + PSV (com compensação de fugas)	
Volume Controlado com Pressão Regulada (PRVC)	

Fonte: Adaptada do DIXTAL, 3012.

2.1.11. Equipamentos Médico-Assistenciais: Importância e papel da Engenharia Clínica

É notória a rápida evolução das tecnologias visando sempre o máximo aperfeiçoamento e benefícios para a qualidade de vida da humanidade. Estes avanços são reconhecidos em todas as áreas, principalmente no âmbito hospitalar, pela busca

de desenvolvimento de tecnologias multidisciplinares que visam melhorar significativamente o bem-estar do paciente, tendo como propósito criar processos que não exponha o usuário a procedimentos invasivos e inseguros. Neste cenário é possível constatar a importância dos Equipamentos Médico-Assistenciais (EMA) que trazem maior comodidade, segurança e praticidade a cada tecnologia desenvolvida, criando uma relação de dependência destes equipamentos nos processos clínicos (AZEVEDO, 2010). Além disso, é necessário sempre estar atualizado para acompanhar e gerir o lançamento, o uso e a aquisição dessas novas tecnologias, com o objetivo de extrair o melhor custo benefício.

Pensando nisso a Engenharia Clínica tem o objetivo de atuar nas tecnologias voltadas para a saúde, realizando o gerenciamento, a aquisição, instalação, manutenção e aferindo a qualidade dos Equipamentos Médico-Assistenciais (EMA), abrangendo diversas áreas do conhecimento para exercer a integração entre elas e assim extrair o melhor desempenho, tanto no âmbito de saúde e comodidade humana como no campo financeiro (BRASIL, 2011).

Segundo GORDON (1990), em Janeiro de 1942 nos Estados Unidos da América, mais precisamente na cidade de St. Louis, que houve o primeiro registro histórico do início da Engenharia Clínica, através de um curso de manutenção de equipamentos médicos que foi oferecido pelas forças armadas Americanas, sendo posteriormente o precursor para a criação da escola de manutenção de equipamentos médicos do exército localizado na cidade de Denver no estado do Colorado e também na base da força aérea de Sheppard no Texas. Sendo criado o termo Engenheiro Clínico por Thomas Hargest, o primeiro Engenheiro Clínico com certificação foi César Cáceres nos anos 70, profissão que visa gerenciar o parque tecnológico de um hospital mantendo em ótimas condições de uso, por meio de aquisições, manutenções, treinamento de novas tecnologias, verificação de segurança e otimização de processos (GORDON, 1990).

Refletindo para os dias atuais o Engenheiro Clínico tem um papel indispensável no ambiente hospitalar, realizando a coordenação, planejamento, qualidade e confiança seguindo as recomendações e normas vigentes no país. No Brasil a ANVISA por meio da RDC Nº 63 de 2011 que Dispõe sobre os Requisitos de Boas Práticas de Funcionamento para os Serviços de Saúde, determina que dentro dos EASs é necessário ter profissionais especializados para realizar o gerenciamento das tecnologias em saúde (ANVISA, 2011). Desta forma os profissionais que compõem o

departamento de Engenharia Clínica são designados a cumprir com os critérios básicos definidos pela RDC Nº 509 de 2021 que “Dispõe sobre o gerenciamento de tecnologias em saúde em estabelecimentos de saúde (ANVISA, 2021)”:

Art. 1º Esta Resolução possui o objetivo de estabelecer os critérios mínimos, a serem seguidos pelos estabelecimentos de saúde, para o gerenciamento de tecnologias em saúde utilizadas na prestação de serviços de saúde, de modo a garantir a sua rastreabilidade, qualidade, eficácia, efetividade e segurança e, no que couber, desempenho, desde a entrada no estabelecimento de saúde até seu destino final, incluindo o planejamento dos recursos físicos, materiais e humanos, bem como, da capacitação dos profissionais envolvidos no processo destes.

[...]

Art. 7º O estabelecimento de saúde deve designar profissional com nível de escolaridade de superior, com registro ativo junto ao seu conselho de classe, quando couber, para exercer a função de responsável pela elaboração e implementação do Plano de Gerenciamento de cada Tecnologia utilizada na prestação de serviços de saúde.

2.1.12. Manutenções em Equipamentos Médico-Assistenciais

Como visto os EMAs têm fator importante no âmbito hospitalar atuando em diversos tipos de procedimentos principalmente em terapias onde pode-se citar o uso de: monitores multiparamétricos, aparelhos de anestesia, bisturis de argônio, etc: no diagnóstico por imagem: tomógrafo computadorizado, cintilógrafo, ressonância magnética nuclear, equipamento de ultra sonografia entre outros e em processos cirúrgicos: videolaparoscópio e artroscópio (AZEVEDO, 2010).

Entre os muitos EMAs existentes, na atualidade, devido à pandemia de COVID-19, os equipamentos de suporte à vida, em especial os ventiladores mecânicos também chamados de ventiladores pulmonares, tornaram-se essenciais. De acordo com a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) 185 de 2001, que trata do registro, alteração, revalidação e cancelamento do registro de produtos médicos na Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA, os ventiladores pulmonares possuem classificação de classe de risco nível III – Alto Risco (ANVISA, 2001).

Um EMA de suporte à vida é utilizado para auxiliar o paciente quando este é incapaz de realizar as funções vitais de maneira autônoma por um período de tempo devido a algum tipo de patologia. Desta forma, no momento que o equipamento está em uso não podem ocorrer falhas, interrupções inesperadas e muito menos eventos

adversos. Resultando em sequelas e perdas irreparáveis. Para isso é necessário que o EMA esteja em ótimas condições de uso e garantindo segurança para o paciente.

Assim, o EMA deve ser submetido a serviços periódicos de inspeção, as chamadas manutenções preventivas, visam prevenir uma falha futura e uma possível manutenção corretiva. Portanto, para garantir o uso de forma eficiente, disponibilidade, segurança e redução de custos dos EMAs é necessário realizar um plano de manutenção bem estruturado e eficaz (PENTÓN, 2001).

Os tipos mais comuns de manutenções realizadas em EMA são:

- Manutenção Preventiva tem o papel de prever a falha antes que ocorra, reduzindo as chances de uma irregularidade. Através de um estudo do equipamento ou de indicações do fabricante é definido o período que irá ocorrer a manutenção preventiva (BORGES, 2014). Deve ser levado em consideração o tipo de equipamento, marca, modelo, número de série, ano de fabricação, data de aquisição e setor onde está sendo utilizado e, por meio dessas informações se desenvolve um criar um *check list* onde é possível identificar os itens que serão analisados na manutenção e qual o tempo de periodicidade para ser executado (BORGES, 2014), e assim criar um plano de manutenção. É necessário incluir as manutenções preventivas nas rotinas de atividades do Setor de Engenharia Clínica do Hospital, ativando notificações no software de uso do departamento.
- Manutenção Corretiva é realizada quando o EMA apresenta uma interrupção inesperada durante o uso ou qualquer tipo de funcionamento que não condiz com o desempenho pré-definido. A qual visa restabelecer as funções normais de uso da tecnologia (NUNES, 2001). Diferente da manutenção preventiva, na manutenção corretiva não há um plano predefinido, é necessário averiguar a causa do problema e inspecionar todos os itens do EMA, até que seja possível identificar o erro do equipamento. Este serviço demanda reserva de peças disponibilidade da equipe para realizar a manutenção. Quando o EMA é considerado de alto risco deve-se buscar realizar a manutenção corretiva em menor tempo possível, para o equipamento retorne ao setor e taranta a segurança e bem-estar do paciente (BRASIL, 2016).

2.1.13. Procedimento Operacional Padrão (POP)

Uma forma de minimizar os erros funcionais e aumentar a segurança durante o uso de um EMA é submetê-los a manutenções periódicas, durante as quais serão inspecionados os itens pré-definidos na programação da manutenção preventiva. Com esse objetivo são desenvolvidos os Procedimentos Operacionais Padrão (POP) de manutenções preventivas nos quais as ações são organizadas em uma sequência de passos a serem executadas sequencialmente. Segundo Gourevitch (2008) o POP é um

documento que traz detalhadamente cada etapa a ser executada de maneira clara e objetiva. A importância da padronização é necessária para evitar que o operador negligencie alguma das etapas e futuramente possam ocorrer problemas durante o uso ou contaminação do EMA mesmo após o equipamento ser submetido a um POP (WALTER, 2016). Para reforçar Graban (2013) diz que o melhor modo de garantir o resultado desejado e a mais alta qualidade, utilizando o mínimo de recursos é a por meio da padronização.

Assim o POP deve estar de acordo com todas as condições estabelecidas pelo fabricante, respeitando as normas pertinentes. Para isso é necessário confeccionar um documento que contenha uma sequência de etapas e testes os quais visam garantir o desempenho e boas condições de uso do equipamento (DUARTE, 2005). O POP é utilizado na manutenção preventiva a fim de prevenir as falhas ou detectar sinais de possíveis erros. Este documento deve conter uma sequência de etapas de inspeção claras, objetivas e especificando cada peça utilizada, de modo que o profissional que irá executá-lo não tenha dúvidas sobre a tarefa, além de conter a periodicidade para repetição do procedimento. Assim o POP visa garantir o bom funcionamento, qualidade, segurança do EMA e, conseqüentemente o bem-estar do paciente (VILHENA et. al. 2017).

2.1.14. Hospital de Clínicas da Universidade Federal de Uberlândia (HC-UFU)

O Hospital de Clínicas de Uberlândia é uma instituição que atende cerca de 80 municípios na região do triângulo mineiro abrangendo uma população de mais de dois milhões de habitantes, é o terceiro maior hospital de Minas Gerais. É uma instituição que pertence a Universidade Federal de Uberlândia e foi fundada na década de 70, inicialmente para servir como ensino profissionalizante do curso de graduação em Medicina da Escola de Medicina e Cirurgia de Uberlândia (EBSERH, 2021).

Hoje o HCU-UFU conta com mais de 50 mil m² possuindo 520 leitos e mais de 3400 colaboradores, que contribuem e realizam em média 2700 procedimentos de alta e média complexidade, onde estão divididos em 30 setores sendo eles: de internação, ambulatorios, cirúrgicos, de urgência e emergência. Ao todo conta com 187 consultórios e 112 salas para consultas não-médicas e procedimentos, todos estes números o tornam referência no setor da saúde sendo o maior hospital prestador de serviços pelo SUS no estado de Minas Gerais (EBSERH, 2021). Um hospital necessita de uma grande demanda de recursos e serviços multidisciplinares e neste cenário foi desenvolvido o presente trabalho.

2.1.15. Bioengenharia

A Bioengenharia do HC-UFU foi fundada em no ano 2000 com o objetivo de prestar serviços de Engenharia para o hospital, sendo responsável por realizar serviços de infraestrutura hospitalar, gerenciamento do parque tecnológico, planejar e desenvolver projetos (HC-UFU, 2020).

O Setor é dividido entre as áreas de Engenharia Civil, Clínica, Elétrica, Mecânica e Arquitetura, sendo responsáveis por gerenciar um EAS de grande porte com mais de 50 anos de fundação, com alta demanda diversos tipos de serviços. Em especial na Engenharia Clínica, que é o setor responsável pela gestão de todos os EMAs do HC-UFU, realizando manutenções corretivas e preventivas, além de compras de acessórios e aquisição de EMA (HC-UFU, 2020).

2.2 Materiais e Métodos

Diante deste cenário da pandemia da COVID-19, de novembro de 2020 a maio de 2021 a equipe técnica da eletrônica do setor de Bioengenharia do HC-UFU desenvolveu um planejamento para o enfrentamento desta pandemia. No dia 16 de dezembro de 2020 foi realizada uma reunião com os técnicos, estagiários e os Engenheiros do setor. Onde foram debatidos vários pontos relevantes, entre eles como disponibilizar e garantir a segurança dos ventiladores pulmonares para os pacientes acometidos como a COVID-19 em casos graves. Desta forma foram analisados todos os modelos de VM que o HC-UFU possui no seu parque tecnológico por meio do *software* SisBiE e foi realizada também inspeção nos setores, sendo que, a partir deste momento fiquei responsável por verificar quais modelos de ventiladores pulmonares não possuíam POPs.

Após a identificação do equipamento que ainda não possuía POP, deu-se início ao desenvolvimento do POP para o VM. O desenvolvimento do trabalho foi realizado no Laboratório de eletrônica da Bioengenharia do HC-UFU no período de 04 de janeiro de 2021 a 05 de abril de 2021. Na sequência, entre os dias 04 janeiro de 2021 a 12 de janeiro de 2021, em conjunto com os técnicos do setor foi realizado um estudo consultando o SisBiE para checar o histórico de manutenções corretivas do VM escolhido e o manual do equipamento, a fim de estabelecer quais seriam os itens que compõem o *kit* para preventiva e por fim realizar o pedido de compra.

Após a chegada dos Kits de manutenção preventiva na primeira semana de Fevereiro, foi feito o esclarecimento junto aos setores que possuem o VM informando sobre a importância da realização das manutenções preventivas no equipamento. Foi elaborado também o planejamento junto com o setor para que os VMs fossem liberados de um a um para a realização da manutenção preventiva. Após a realização da preventiva o VM é devolvido ao setor.

Então na primeira semana do mês de fevereiro chegaram os kits, com isso foi necessário comunicar os setores sobre a importância destas manutenções e elaborar uma forma de manejo para liberar um VM por vez a fim de realizar todas as etapas do POP e devolver para o setor.

Após realizar o acompanhamento de algumas manutenções preventivas e adquirir o conhecimento e prática necessários para realizá-las de maneira autônoma, pude confeccionar o POP do VM DIXTAL modelo 3012 que contém a sequência de tarefas a serem executadas para a realização da manutenção preventiva respeitando o período de tempo definido pelo manual de operações de 5000 horas de uso do VM ou anualmente, o que ocorrer primeiro. A confecção do POP foi realizada de 23 de novembro de 2020 a 18 de maio de 2021.

As etapas que irão compor o POP consistiram em:

- Desinfecção inicial e período de quarentena;
- Teste de funcionamento Inicial;
- Processo de montagem e início da ciclagem;
- Desmontagem do Ventilador Pulmonar;
- Calibração eletrônica do DIXTAL 3012;
- Remontagem do Ventilador Pulmonar;
- Teste de Segurança Elétrica;
- Simulação de Uso.

Importante ressaltar que o local de manutenção deve possuir uma rede de gases, composta por oxigênio e ar comprimido que fornecem cerca de $3,5 \text{ kg/cm}^2$ a 7 Kg/cm^2 de pressão para cada gás. Foi definido pelos técnicos do setor que seria necessário manter um período de 24 horas de ciclagem do VM, para possíveis sinais de anormalidade do funcionamento.

2.3 Resultados

Após a verificação de qual modelo de ventilador pulmonar não possuía POP, identificou-se que o VM DIXTAL modelo 3012 ainda não possuía um Procedimento Operacional Padrão. Assim, esse foi o VM escolhido para elaboração do POP e desenvolvimento desse trabalho de conclusão de curso.

Por meio da busca realizada no SisBiE e inspeção nos setores identificou-se que no HC-UFU existem 49 ventiladores pulmonares DIXTAL modelo 3012 divididos em quatro setores.

Após a análise sobre as peças necessárias para a realização da preventiva, ficou definido que o *kit* seria composto por:

- Junta de fechamento DX 3012/3010 ventilador pulmonar DIXTAL;
- Célula de analytical de O₂;
- Bateria Li-Ion 09 células DX-3012 DIXTAL;
- Ventilador Cooler 60*60*25 DC12V 1,50W DX 3012/3010 DIXTAL;
- Válvula Exalatória para ventilador DIXTAL DX 3012 Cód. DR-217-0.

2.3.1. Desinfecção inicial e período de quarentena

Com o contexto de pandemia é necessário garantir, ainda mais, tanto a segurança do operador como a segurança do paciente. Assim, é indispensável realizar a desinfecção e período de quarentena do ventilador. Para executar a atividade de desinfecção, o operador deve estar devidamente paramentado com máscara facial, luvas e roupas para descartáveis.

Com o auxílio de um pano e álcool isopropílico efetuar a limpeza em todas as partes do VM. Após realizar a desinfecção é recomendado deixar o ventilador pulmonar em um local seguro durante um período de quarentena, por cerca de 24h.

2.3.2. Teste de Funcionamento inicial

Neste teste é analisado visualmente o ventilador a fim de detectar quaisquer tipos de irregularidade na carcaça que seja indício de falhas futuras, de acordo com a norma ABNT NBR ISO nº 13485 de 2016 (ANVISA, 2016), a qual orienta que o equipamento médico deve oferecer qualidade para conforto e segurança evitando falhas fatais, principalmente em EMAs de suporte a vida com no caso do Ventilador DIXTAL 3012.

No item 7.2.2 da norma ISO nº 13485 de 2016 menciona que devem ser realizadas análises críticas dos requisitos referentes ao funcionamento do produto,

definindo-as e documentando. A alínea b do item 6.2 determina que as organizações de saúde forneçam treinamento ou adotem ações ou manutenções necessárias para manter a qualidade do produto. Desta forma para assegurar a qualidade dos itens da norma em relação ao VM foram definidos que os testes simulariam o bom funcionamento do mesmo, tanto na locomoção como na integridade física das partes que compõem todo o circuito respiratório.

2.3.3. Processo de montagem e início da ciclagem

Esse processo deve conter as seguintes etapas:

- Conectar o ventilador pulmonar em uma rede gases que fornece entre 3,5 a 7 kg/cm^2 ou aproximadamente 50 a 100 P.S.I de oxigênio e de ar comprimido;
- Conectar a uma alimentação de 100 a 240 Volts alternado;
- Encaixar o circuito do paciente composto pela válvula expiratória e as traqueias de silicone mais a peça Y juntamente com o simulador de pulmão;
- Configurar para o modo VCV.

Após a realização dessas atividades inicia-se a ciclagem por um período de 24 horas definido pelos técnicos do setor. Essa ciclagem é supervisionada observando-se durante este período possíveis sinais de anormalidade no funcionamento do VM. Este procedimento é adotado para certificar que o ventilador não apresenta nenhum tipo de falha e que só necessita da manutenção preventiva.

2.3.4. Calibração manual das válvulas internas do ventilador pulmonar

Se o ventilador pulmonar não apresentar nenhum tipo de falha no período de ciclagem, inicia-se o procedimento de desmontagem do ventilador para realizar a calibração manual das válvulas de ar comprimido, oxigênio e do blender.

O procedimento de desmontagem é feito na seguinte sequência:

- Retirar a tampa traseira e todo o conjunto eletrônico;
- Retirar a junta externa e separar a parte posterior da parte anterior;
- Retirar o compartimento de válvulas e conectá-la na parte traseira onde será conectada a mangueira de ar comprimido a fim de iniciar a calibração de pressão das válvulas de ar comprimido e oxigênio;
- Conferir a leitura de ar comprimido na tela do analisador de gases. Para as válvulas de oxigênio e ar comprimido o valor de pressão é de

aproximadamente 2,47 bar com uma faixa de erro de 0,02 bar para cima e para baixo, já para o blender deve ser 0,7 bar.

Na remontagem do ventilador é necessário substituir a bateria de Li-Ion de nove células, cooler e a célula de O₂ é necessário deixa-lá em contato com o ar durante cerca de 20 minutos. Ao realizar o fechamento do ventilador é colocada a junta de vedação entre a parte anterior e a posterior do VM. Depois de realizado o fechamento é inserida a válvula expiratória na parte inferior do ventilador.

2.3.5. Calibração Eletrônica do DIXTAL 3012

Após realizar a calibração manual deve ser realizada a calibração eletrônica, verificando-se a coincidência entre os valores em bits que o computador reconhece com os valores reais medidos pelas válvulas.

É necessário conectar o circuito do paciente em um pulmão de teste de precisão, que permite ajustar valores dos parâmetros respiratórios. Desta forma é necessário configurar a complacência pulmonar em 50 ml/cmH₂O e a resistência em 5 cmH₂O.

Para acessar o menu de teste deve-se digitar a senha indicada no POP para realizar a inspeção. O primeiro parâmetro a ser ajustado é a data e hora, em seguida são ajustados os parâmetros das entradas analógicas de fluxo de ar, fluxo de oxigênio, válvula de ar, válvula de oxigênio e válvula do *blender* seguindo o passo a passo dos valores que estão no gráfico do modo de serviço técnico para o microcontrolador reconhecer. Ao final da sequência será exibido na tela do VM um gráfico do fluxo de cada válvula em relação aos valores de bytes.

Repete-se o mesmo processo para o fluxo de ar de oxigênio e para as válvulas de ar, de oxigênio e do *blender*, seguindo os valores de 2, 15, 20 até o valor 160 l/min. Para a válvula PEEP é necessário fechar o circuito, ligando uma traqueia na outra. No final desse procedimento o EMA estará calibrado tanto eletronicamente quanto mecanicamente.

2.3.6. Teste de Segurança Elétrica

A fim de garantir a segurança elétrica durante o uso do equipamento é necessário que o Estabelecimento Médico Assistencial mantenha condições ideais de regulamentação da rede elétrica, do equipamento e dos testes do EMA.

Os EMAs devem atender à norma de segurança ABNT NBR IEC nº 60601-1 de 2010 (ABNT, 2010) que aborda os “Requisitos gerais para segurança básica e desempenho essencial” de equipamentos eletromédicos e a norma ABNT NBR ISO 80601-2-12:2014 que trata dos “Requisitos particulares para a segurança básica e desempenho essencial de ventiladores para cuidados críticos” (ABNT, 2014).

O ventilador pulmonar é de classe de risco III, sendo considerado de alto risco pela RDC 185 de 2001, onde existe alto risco ao indivíduo e/ou ao profissional de saúde pela complexidade das funcionalidades e riscos da tecnologia (ANVISA, 2001). Este equipamento deve ter a fonte seguramente condicionada evitando qualquer tipo de risco durante o uso. Assim, deve possuir as partes que estão em contato com o paciente livre de qualquer risco de indução elétrica, garantindo que a carcaça do EMA seja composta com dupla isolação ou reforçada.

Assim, o teste de segurança elétrica visa garantir a conformidade durante o funcionamento e a segurança elétrica. O resultado indica se há algum tipo de fuga de corrente e certifica se o aterramento está conforme. Para isso é conectado o analisador de segurança elétrica na entrada de alimentação do EMA, e outro cabo vai no ponto de aterramento, sendo que o valor não pode ser superior a 0,200 Ohms. No segundo teste o analisador realiza de maneira automática, exibindo na tela, o resultado de aprovação ou de reprovação.

O teste é realizado ao final de qualquer tipo de manutenção ou no momento de aquisição de um EMA atendendo o disposto na norma ABNT NBR IEC 62353 que trata de “Equipamento eletromédico – Ensaio recorrente e ensaio após reparo de Equipamento eletromédico” (ABNT, 2019).

Por se tratar de um equipamento médico-assistencial de suporte à vida é necessário que ao final do POP seja realizado um teste de simulação de uso por um período de 48 horas, a fim de observar o modo de operação e a ocorrência de falhas.

2.4 Discussão

No POP desenvolvido estão descritos todos os passos a serem executado para realização da manutenção, assim até mesmo os profissionais com menor experiência na execução da manutenção preventiva do ventilador pulmonar DIXTAL 3012 conseguirão realizar essa manutenção.

Esse POP se apresentou importante na execução das manutenções preventivas dos ventiladores pulmonares DIXTAL 3012, principalmente no contexto de pandemia que ora se apresenta, pois irá agilizar o serviço de manutenção preventiva, e permitirá atender com maior rapidez a grande demanda para esses EMAs.

Como o POP foi desenvolvido no período de pandemia e, o HC-UFU passou por diversas mudanças, no intuito de adequar-se à demanda de pacientes acometidos com a COVID-19, gerando alta demanda de VMs, houve dificuldade para recolher o equipamento a fim de executar a manutenção preventiva. Mas em diálogo com os responsáveis dos setores e demonstrando a importância da realização do POP, para levar a maior segurança e reduzir paradas indesejadas, foi possível negociar uma forma de rodízio no qual era disponibilizado um VM a cada vez para realizar todas as etapas do POP.

Durante o desenvolvimento do POP houve várias reuniões com os técnicos responsáveis, a fim de alinhar a melhor estratégia de execução. Inicialmente foi verificado no manual de operação quais peças teriam maior desgaste, também foi inspecionado no SisBiE o histórico de manutenções corretivas deste EMA e as principais causas. Com isso estes dados foram possíveis identificar quais as peças deveria ser trocas durante a manutenção preventiva.

A cada execução eram relatadas as etapas e as possíveis falhas na execução do POP para o técnico responsável como forma de organizar um *feedback* e aperfeiçoar o POP, como exemplo a inclusão da junta de fechamento DX 3012/3010 e do Ventilador Cooler 60*60*25 DC 12V de 1,5W no kit de troca da preventiva. Devido à consulta no SisBiE junto aos técnicos do setor verificou – se que haviam recorrentes pedidos de serviço de manutenção para estes dois itens, então ficou definido que seriam incluídos na troca da MP do VM DIXTAL modelo 3012. A última versão deste POP foi utilizada pelos técnicos e estagiários do setor na MP do VM DIXTAL modelo 3012.

Após a confecção e teste do POP foi possível acompanhar a sua implementação na execução da preventiva. Foi notória a melhoria e eficiência das manutenções preventivas após a implementação do POP no HC-UFU, principalmente no momento de alta demanda devido ao contexto de pandemia, onde foram adquiridos os kits dos materiais necessários e iniciando uma força tarefa de realização das preventivas para receber os pacientes acometidos pela COVID-19. Assim foi possível, de forma mais rápida e com maior segurança e qualidade, submeter todos os ventiladores DIXTAL modelo 3012 pela manutenção preventiva e serem liberados para uso.

Assim como durante o desenvolvimento houve modificações no POP, futuramente poderão surgir alterações visando sempre à melhoria da estratégia de manutenção. No APÊNDICE A encontra-se o POP confeccionado no formato usado na Bioengenharia.

3. Conclusão

O POP foi idealizado em um momento de grande necessidade de equipamentos médico-assistenciais de suporte à vida, onde era essencial a realização de manutenções preventivas dos ventiladores mecânicos para serem usados nos leitos destinados aos pacientes com COVID-19, garantindo a eficiência e padronização do serviço de manutenção preventiva deste EMA executado por técnicos e estagiários da Bioengenharia, proporcionando uma maior segurança para os pacientes.

Com o desenvolvimento do POP, sua aplicação foi bem recebida pelo setor sendo um exemplo de método para a manutenção preventiva do equipamento. O POP foi elaborado de uma maneira prática e intuitiva com ilustrações bem detalhadas, apresentando figuras nítidas e instrutivas.

Portanto, por meio do desenvolvimento deste estudo foi possível entender o grande impacto que um Procedimento Operacional Padrão representa na qualidade e padronização do serviço de manutenção, o quanto é importante a consulta a manuais, aos dados disponibilizados sobre as manutenções realizadas, o envolvimento da equipe técnica e profissionais dos setores que fazem uso do equipamento e quanto é importante o planejamento para aumentar a disponibilidade dos EMAs.

Ressalta-se que o setor de Bioengenharia do HC-UFU implementou este documento como referência na execução de manutenções preventivas do ventilador mecânico DIXTAL 3012.

4. Referências

ANESI, G. L. Coronavirus disease 2019 (COVID-19): Critical care and airway management issues. UpToDate. Abril de 2020. Disponível em: <https://www.uptodate.com/contents/coronavirus-disease-2019-covid-19-critical-care-and-airway-management-issues#H4080233186>. Acessado em: 16 dez 2021.

ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 509, de 27 de maio de 2021**. Dispõe sobre o gerenciamento de tecnologias em saúde em estabelecimentos de saúde. Brasília: Anvisa, 2021.

ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº. 63, de 25 de novembro de 2011**. Dispõe sobre os Requisitos de Boas Práticas de Funcionamento para os Serviços de Saúde. Brasília: Anvisa, 2011.

ANVISA. RESOLUÇÃO DE DIRETORIA COLEGIADA – RDC No 185, DE 22 DE OUTUBRO DE 2001, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, (ABNT). **NBR IEC 62353: Equipamento Elétrico Médico - Teste e Teste Recorrentes após o Reparo de Equipamentos Elétrico Médicos**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR IEC 80601-1:2010**: Equipamento eletromédico – Requisitos gerais para segurança básica e desempenho essencial. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 13485:2016**: Produtos para saúde — Sistemas de gestão da qualidade — Requisitos para fins regulamentares. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 80601-2-12:2014** Equipamento eletromédico - Requisitos particulares para a segurança básica e o desempenho essencial de ventiladores para cuidados críticos. Rio de Janeiro, 2014, p. 1-92.

AZEVEDO, Flávio da Silva - Gestão de equipamentos médico-hospitalares em estabelecimentos assistenciais de saúde. Lisboa: ISCTE, 2010. Dissertação de mestrado. Disponível em [www:<http://hdl.handle.net/10071/2525>](http://hdl.handle.net/10071/2525). Acessado em: 20 out. 2021.

BORGES, I. P. C. **Análise de Indicadores de Manutenção dos Ventiladores Pulmonares do HCU-UFU**. 2014. 45 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Biomédica) – Universidade Federal de Uberlândia, 2014.

BOTELHO, L. et. al., Ventilação Mecânica, parâmetro de troca gasosa e desmame do ventilador em pacientes com COVID-19, Revista Eletrônica Acervo Científico, vol. 28, p. 1-7. Mai. 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Diretrizes Metodológicas**: elaboração de estudos para avaliação de equipamentos médico-assistenciais. Brasília: Ministério da Saúde, 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Política Nacional de Gestão de Tecnologias em Saúde**. 1. 48 p. ed., 1. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. Protocolo de manejo clínico do coronavírus (COVID-19) na atenção primária à saúde. Brasília - DF, 2020.

CALDERON, R. J. **Confiabilidade Metrológica de Ventiladores Pulmonares**. Rio de Janeiro, Brasil: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 12 abr. 2006.

CALIL, S. J.; GOMIDE, E.T. (Org.) **Equipamentos Médico-Hospitalares e o Gerenciamento da Manutenção: Capacitação a distância**. 379 p. Brasília, 2002.

CAMPOS, N. G.; COSTA, R. F. Alterações pulmonares causadas pelo novo Coronavírus (COVID-19) e o uso da ventilação mecânica invasiva. **J Health Biol Sci. J**; 8(1):1-3. 2020.

CUNHA, S. Ventilação Mecânica: Métodos Convencionais, **Revista HUPE**, nº 3, vol12, p. 85-91, jun. - set. 2013.

DAVOLI, L. B. B.; MUNIZ, P.; GOMES, P. Estratégias de ventilação mecânica e ajustes dos parâmetros ventilatórios utilizados em pacientes com COVID-19 hospitalizados: revisão de literatura. **Revista Interdisciplinar de Saúde e Educação**, v. 2, n. 1, p. 125-138, 27 jul. 2021.

DIXTAL BIOMÉDICA. TECME S. A. Manual de Operação 2019. Disponível em: <<https://www.yumpu.com/pt/document/view/62134929/ventilador-dx-3012-manual-de-operacao-fabricante-tecme-sa-distribuidor-dixtal-biomedica> > Acessado em: 10 out. 2021.

DOS SANTOS, M. C. A Evolução tecnológica dos ventiladores pulmonares: análise dos registros de falhas e manutenção dos ventiladores pulmonares atendidos pela força tarefa de enfrentamento à pandemia da COVID-19, **Revista Fatec de Tecnologia e Ciências**, nº 1, vol 6, p. 1-49, Jan. 2021.

DUARTE, R. L. Procedimento Operacional Padrão: a Importância de se Padronizar Tarefas nas BPLC. **Curso de BPLC**. Belém, 2005.

EBSERH. **Institucional | HCU-UFU**. Disponível em: <<https://www.gov.br/ebserh/pt-br/hospitais-universitarios/regiao-sudeste/hc-ufu/acesso-a-informacao/institucional>>. Acesso em: 21 out. 2021.

FORNAZIER, C.; PERLATO, M. T.; TRINDADE, E. Abordagem de Vigilância Sanitária de Produtos para Saúde Comercializados no Brasil : Ventilador Pulmonar, Boletim Informativo de Tecnovigilância, nº 03, Brasília - DF, Set. 2011.

GONTARSKI, C. E. **Estudo de metodologias para gerenciamento de Ventiladores Pulmonares**. 1996. 192 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, 1996.

GORDON, G. J. Hospital technology management: the Tao of clinical engineering. In: **Journal of clinical engineering**, Filadélfia, v. 15, n. 2, p. 111-117, 1990.

GOUREVITCH, P.; MORRIS, E. **Procedimento operacional padrão: uma história de guerra**. São Paulo: Companhia das Letras, 2008

GRABRAN, M. Hospitais Lean – Melhorando a qualidade, a segurança dos pacientes e o envolvimento dos funcionários. 2º ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

HALL, E.; EDWARD, J. GUYTON, E. **Tratado de Fisiologia Médica**, 12. Ed. – Rio de Janeiro, Brasil: Elsevier, 2011.

HCU-UFU. **Estagiários de Engenharia Biomédica contribuem com manutenção de equipamentos no Hospital de Clínicas**. Disponível em:

<<https://www.gov.br/ebserh/pt-br/hospitais-universitarios/regiao-sudeste/hc-ufu/comunicacao/ultimas-noticias/estagiarios-de-engenharia-biomedica-contribuem-com-manutencao-de-equipamentos-no-hospital-de-clinicas>>. Acesso em: 24 out 2021.

HERNANDEZ, A. L.; PIMENTEL, A. B.; ORTIZ, M. P. An index to prioritize the preventive maintenance of medical equipment. **Health Technol.** 10, 399–403 (2020). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12553-019-00371-y>. Acessado em: 20 out 2021.

LEWIS SR, et al. High-flow nasal cannulae for respiratory support in adult intensive care patients (Review). *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2021: CD010172

LU, H.; Stratton, C. W.; Tang, Y. W. Outbreak of pneumonia of unknown etiology in Wuhan China: The mystery and the miracle, **Journal Medical Virology**, nº 92; p. 401-402, 2020.

LUCATELLI, M. V. **Estudo de procedimentos de Manutenção Preventiva de Equipamentos Eletromédicos**. 1998. 155 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.

MAKHAMED, P. S. M. **Análise do Processo de Calibração de um Ventilador Pulmonar**. p. 44, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Biomédica, Natal - RN, 2017.

MARTELO, P. J. M. P. **Ventiladores Pulmonares: Definição do método de calibração/ensaio, aplicação regulamentar e estudo da situação atual**. 2015. 202 f. Dissertação (Mestrado). Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, Portugal, 2015.

MENNA, S. B.; Volumes e Capacidades Pulmonares, **Jornal Pneumol**, nº 28 vol. 3, p. 83-94, Out. 2012.

MÖHLENKAM, S.; THIELE, H. Ventilation of COVID-19 patients in intensive care units. **Nature Public Health Emergency Collection**, v 45, p.329-331, Abr. 2020.

MONIZ, P. Semana de Biotecnologia do Estado do Rio de Janeiro. (Simpósio). 2013.

NISHIURA, H.; LINTON, N.; AKHMETZHANOV, A. Serial interval of novel coronavirus (COVID-19) infections, **International Journal of Infectious Diseases**, vol 93, p 284-286, Abr. 2020.

NUNES, E. L. **Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC): análise da implantação em uma sistemática de manutenção preventiva consolidada**. 2001. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

OLIVEIRA, T. F.; CASTRO, J. M.; TEXEIRA, W. J. C. Principais Características do COVID-19: Revisão Narrativa, **Revista Artigos.com**, vol. 25, 9 f, Centro Universitário de Caratinga (UNEC), Caratinga – MG, 2021.

PENTÓN, Y. B.; MARTÍNEZ, E. M. P. Procedimiento para la Selección de Alternativas de Mantenimiento para Activos Fijos Hospitalarios. In: **Revista Latino-Americana de Enfermagem**, Ribeirão Preto, v.5, n.2, 2001.

PERRI, N.; SHRESTHA, N.; RAHMAN, M.; ZAKI, R.; TAN, Z.; SAANA.; B.; BAGHBANZADEH, M.; AGHMAOHAMMADI, N.; ZHANG, W.; UBYDUL, H. The SARS, MERS and novel coronavirus (COVID-19) epidemics, the newest and biggest global health threats: what lessons have we learned?, **International Journal of Epidemiology**, no. 10.1093, p. 1-10, Fev. 2020.

POLETTTO, L. C. **Estudo do funcionamento da ventilação assistida proporcional plus em um sistema pulmonar mecânico**. 2012. 118 f. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

PREFEITURA DE UBERLÂNDIA. **Boletim Municipal - Informe epidemiológico - Portal da Prefeitura de Uberlândia**. Disponível em: <<https://www.uberlandia.mg.gov.br/prefeitura/secretarias/saude/coronavirus/boletim-municipal-informe-epidemiologico/>>. Acesso em: 28 out. 2021.

RITCHIE, H.; MATHIEU, E.; RODÉS-GUIRAO, L.; APPEL, C. G.; ORTIZ-OSPINA, E.; HASELL, J.; MACDONALD, B.; BELTEKIAN, D.; ROSER, M.; - "Coronavirus Pandemic (COVID-19)". University of Oxford, 2021. Published online at: Our World Data.org. Retrieved from: <<https://ourworldindata.org/coronavirus>>. Acessado em: 25 out. 2021

ROBERTO, G. A. et al. Ventilação mecânica em pacientes portadores de COVID-19. *Revista Ulakes*, v. 1, p. 142–150, 2020.

ROMERO, J. Confiabilidade Metrológica de Ventiladores Pulmonares. 2006. 150 f. Dissertação (Mestrado). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 2006. Acessado em: 15 out. 2021. Disponível em: <<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/colecao.php?strSecao=resultado&nrSeq=9233@1>>.

SELFRRIDGE, A. C; CAVADAS, M. A; SCHOLZ, C. C; SZNAJDER, J. I; CUMMINS, E. P; TAYLOR, C. T. Hypercapnia Suppresses the HIF-dependent Adaptive Response to Hypoxia. **The Journal of Biological Chemistry**, nº 22 , vol 291, p.11800-11808, March 2016.

SHUNKER, S. A. ---**Mechanical Ventilation Learning Package**. Intensive Care: Learning Packages, 75 p. Liverpool ICU, UK, 2016.

TOUFEN JUNIOR, C.; CARVALHO, C. R. R. DE. Ventiladores mecânicos. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, v. 33, n. Supl 2, p. 71–91, 2007.

URIBE, J. R. L. **Desempenho de Ventiladores Mecânicos em Centro de Tratamento Intensivo: Considerações Metrológicas**. 2011. 187 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

VILHENA, C. L. et al. **Desenvolvimento de Procedimento Operacional Padrão de Manutenção Preventiva de Esfigmomanômetros Aneróides**. In: Anais do V Congresso Brasileiro de Eletromiografia e Cinesiologia e X Simpósio de Engenharia Biomédica. Uberlândia: Center Convention, 2018. Disponível em: <<http://www.sbeb.org.br/site/anais-do-cbeb/>>.

WALTER, R. R. et al. Procedimento operacional padrão no ambiente hospitalar: percepção de enfermeiros. **Revista Cuidado é Fundamental**, v. 8, n. 4, p. 5114-5119, 2016.

World Health Organization (WHO). What is a pandemic? Disponível em: https://www.who.int/csr/disease/swineflu/frequently_asked_questions/pandemic. Acessado em: 23/12/2021

WU, F.; ZHAO, S.; YU, B.; CHEIN, M. Y.; WANG, W. A new coronavirus associated with human respiratory disease in China. **Nature**, Vol 579, p 265-268, Jan. 2020.

ZHANG, W. E.; Yang, L.; Bei, M.; Shuo, L.; Jia-Wei, Y.; Hai-Wen, L. Association between age and clinical characteristics and outcomes of COVID-19, **European Respiratory Journal**, vol 55, 2020.

ZHOU, P.; HU, B.; GUO, H.; SHI, Z. I. Characteristics of SARS-CoV-2 and COVID-19, **Nat Ver Microbiol**. vol 19, ed 3, p.141-154, Mar. 2021.

ANEXO A

Autorização para uso da Figura 1

Licença: Todo o material produzido por Our World in Data, incluindo visualizações interativas e código, são de acesso totalmente aberto sob a licença Creative Commons BY. Você tem permissão para usar, distribuir e reproduzi-los em qualquer meio, desde que a fonte e os autores sejam creditados. Todos os outros materiais, incluindo dados produzidos por terceiros e disponibilizados por Our World in Data, estão sujeitos aos termos de licença dos autores terceiros originais.

The screenshot shows a web browser window with the URL ourworldindata.org/coronavirus. The page displays a citation in BibTeX format:

```
@article{owidcoronavirus,
  autor = {Hannah Ritchie, Edouard Mathieu, Lucas Rod s-Guir o, Cameron Appel, Charlie Giattino, Esteban Ortiz-Ospina, Joe Hasell, Bobbie Macdonald, Diana Beltekian and Max Roser},
  título = {Pand mia de Coronavirus (COVID -19)},
  journal = {Our World in Data},
  ano = {2020},
  nota = {https://ourworldindata.org/coronavirus}
}
```

Below the citation, there is a yellow banner with the text: "Nosso mundo em dados   gratuito e acessível para todos. Ajude-nos a fazer este trabalho fazendo uma doação." and a red button labeled "DOE agora >".

The footer of the page is dark blue and contains the following information:

- Sobre**, **Contato**, **Comentários**, **Empregos**, **Financiamento**, **Como usar**, **Doar**, **Política de Privacidade**
- Trabalho mais recente**, **Todos os gráficos**, **Twitter**, **o Facebook**, **GitHubGenericName**, **Feed RSS**
- Logos for **OXFORD MARTIN SCHOOL**, **UNIVERSITY OF OXFORD**, and **Y Combinator**
- Lic ncia:** Todo o material produzido por Our World in Data, incluindo visualizações interativas e código, são de acesso totalmente aberto sob a **lic ncia Creative Commons BY**. Você tem permissão para usar, distribuir e reproduzi-los em qualquer meio, desde que a fonte e os autores sejam creditados. Todos os outros materiais, incluindo dados produzidos por terceiros e disponibilizados por Our World in Data, estão sujeitos aos termos de lic ncia dos autores terceiros originais.
- Consulte nosso **aviso legal** completo.
- Our World In Data   um projeto do **Global Change Data Lab**, uma instituição de caridade registrada na Inglaterra e no País de Gales (Charity Number 1186433).
- Logo for **GC DL**

APÊNDICE A – Procedimento Operacional Padrão

 Hospital de Clínicas De Uberlândia	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO	
Título: Protocolo de Manutenção Preventiva Ventilador Pulmonar DIXTAL 3012	Elaborado por: Ueslei Souza Silva	Data: 08/01/2021
	Versão: 1.0	Data: 08/01/2021
	Periodicidade: 365 dias	
SUMÁRIO 1.OBJETIVO..... 2.FERRAMENTAS E MATERIAIS UTILIZADOS..... 3. CRITÉRIOS PRÉ DEFINIDOS..... 4.CONJUNTO DE PROCEDIMENTOS..... 4.1 – Desinfecção inicial e período de quarentena..... 4.2 – Teste de Funcionamento Inicial..... 4.3 - Processo de montagem e início da ciclagem..... 4.4 - Procedimento Operacional Padrão DIXTAL 3012..... 4.4.1. Desmontagem do Ventilador Pulmonar..... 4.4.2. Calibração manual das válvulas interna do Ventilador Pulmonar..... 4.4.3. Remontagem do Ventilador Pulmonar..... 4.4.4. Calibração Eletrônica do Ventilador Pulmonar..... 4.4.5. Teste de Segurança Elétrica..... 4.4.6. Simulação de Uso..... 1 1 1 2 2 2 2 5 5 10 12 17 27 29		

1.OBJETIVO

Este documento possui o propósito de demonstrar para o profissional da Bioengenharia como é realizada a manutenção preventiva anual do ventilador pulmonar DIXTAL 3012 realizando as atividades descritas abaixo.

2. FERRAMENTAS E MATERIAIS UTILIZADOS

- Chave Philips;
- Chave de Fenda;
- Chave Allen Hexagonal;
- Chave inglesa;
- Analisador de fluxo de gás;
- Analisador de Segurança Elétrica;
- Simulador de pulmão portátil;
- Junta de fechamento DX 3012/3010 ventilador pulmonar DIXTAL;
- Célula de O₂ analytical;
- Bateria Li - Ion 09 células DX-3012 DIXTAL;
- Ventilador Cooler 60*60*25 DC12V 1,50W DX 3012/3010 DIXTAL;
- Válvula Exalatória para ventilador DIXTAL DX 3012 Cód. DR-217-0;
- Álcool isopropílico;
- Tecido para Limpeza;

3. CRITÉRIOS PRÉ DEFINIDOS

Como a manutenção preventiva exige substituição de acessórios internos no ventilador pulmonar é necessário verificar se todos os itens para a reposição estão disponíveis, sendo eles: Junta de fechamento DX 3012/3010 ventilador pulmonar DIXTAL; Célula de O₂ analytical; Bateria Li - Ion 09 células DX-3012 DIXTAL; Ventilador Cooler 60*60*25 DC12V 1,50W DX 3012/3010 DIXTAL; Válvula Exalatória para ventilador DIXTAL DX 3012 Cód. DR-217-0; Assim como a rede de gases e o analisador de fluxo de gás, ainda há o requisito de tempo, pois a manutenção preventiva deve ser feita no intervalo de um ano ou quando o equipamento atingir 5000 horas de uso. Respeitando todos os critérios pré definidos é possível iniciar a manutenção preventiva seguindo todos os passos indicados. Como o ventilador pulmonar é um equipamento de suporte à vida se faz necessário realizar um período de observação do seu funcionamento sendo este de 48 horas após a manutenção preventiva a fim de identificar possíveis falhas, caso não apresente nenhuma o equipamento se encontra apto para uso.

4. CONJUNTO DE PROCEDIMENTOS

4.1 – Desinfecção inicial e período de quarentena

Devido ao uso do equipamento em vias respiratórias para evitar qualquer tipo de contaminação é indispensável que faça a desinfecção inicial. O operador deve estar com máscara cobrindo o nariz e boca, com luvas e roupas para descarte, devidamente parametrizado o operador deve iniciar a desinfecção com auxílio de um pano e utilizando o álcool isopropílico. Realizar a higienização de todo o ventilador, passando o pano embebido de álcool em todas as partes e desconectar as mangueiras deixando escorrer no interior um pouco de álcool. Após esta desinfecção é necessário deixar o ventilador pulmonar em um período de quarenta de 24h.

4.2 – Teste de Funcionamento Inicial

Passo 1 - Verificar se a carcaça do equipamento está em boas condições.

Passo 2 - Realizar uma simulação de locomoção do equipamento a fim de verificar se as 4 rodas estão deslizando livremente e não apresentam travamentos.

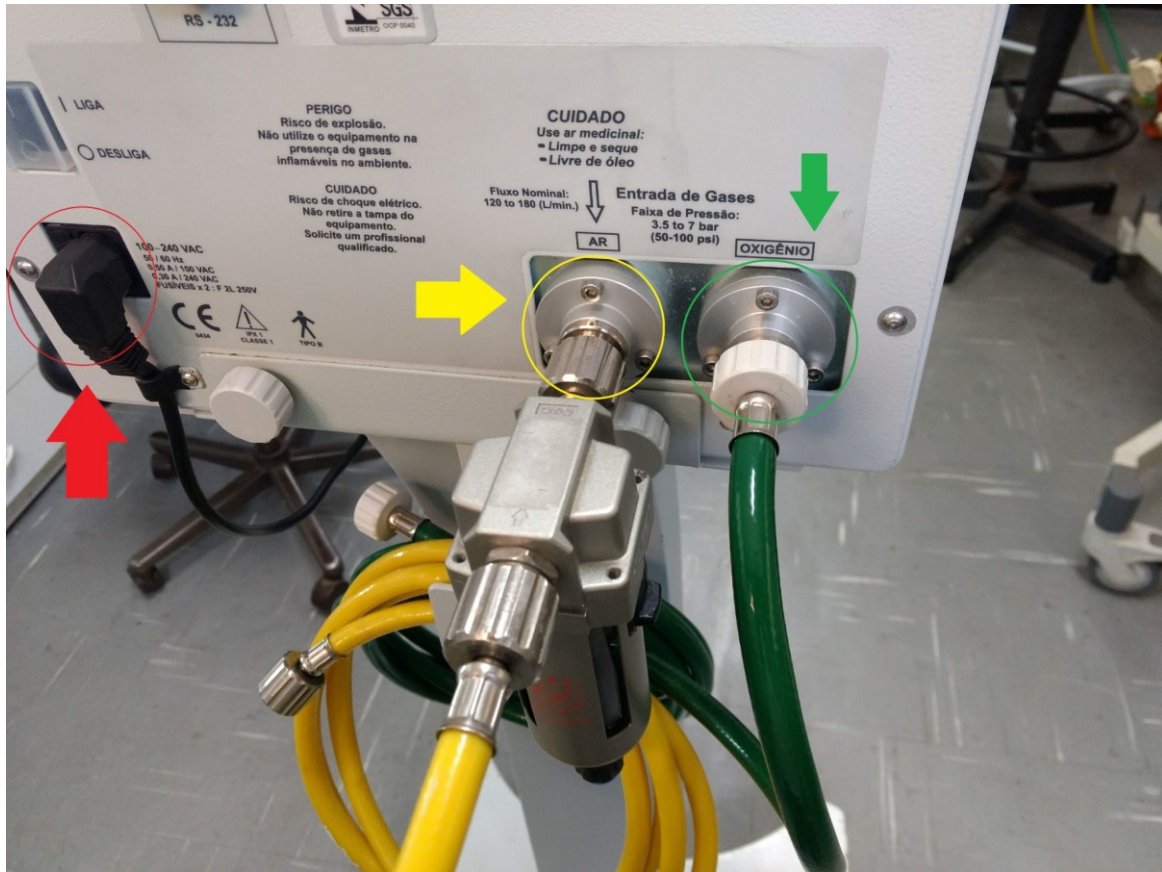
Passo 3 - Verificar se as mangueiras de oxigênio (em verde), ar medicinal (em amarelo) e as mangueiras corrugadas siliconadas não apresentam furos, rachaduras ou rompimentos, como mostra a figura 1.

4.3 - Processo de montagem e início da ciclagem

Por se tratar de um equipamento de suporte à vida é de extrema importância realizar inicialmente testes de funcionamento para detectar qualquer tipo de anomalia que possa necessitar primeiramente de uma manutenção corretiva. Desta forma é essencial que faça a montagem do ventilador para iniciar o modo de ciclagem.

Passo 1 - Realizar a conexão dos gases necessários. Nesta etapa é importante que o ambiente de manutenção possua um sistema de gases que fornece entre 3,5 e 7 kg/cm^2 ou aproximadamente 50 a 100 P.S.I de oxigênio e de ar comprimido, na figura 1 é possível observar onde há a indicação de cor amarela será o encaixe da mangueira de ar comprimido onde possui indicação na cor verde será o encaixe da mangueira de oxigênio. É importante ressaltar que na mangueira de ar possui um filtro e este deve estar devidamente encaixado.

Figura 1: Conexão das mangueiras dos gases



Fonte: de própria autoria.

Passo 2 - Conexão da alimentação elétrica, o ambiente de manutenção deve possuir uma alimentação elétrica que fornece de 100 a 240 V AC. Na figura 1 é possível observar onde deve ser conectado o cabo de alimentação.

Passo 3 - Encaixe as traqueias de silicone na válvula expiratória e na saída do paciente, como mostra a figura 2. Indicado de azul é a válvula expiratória e indicado de verde é a saída do paciente.

Figura 2: Conexão das traqueias de silicone.



Fonte: de própria autoria.

Passo 7 - Encaixe o simulador de pulmão no local indicado na cor vermelha.

Passo 8 - Ligue e configure o ventilador pulmonar para a categoria adulto e utilize a opção de VCV a qual se refere ao volume controlado/assistido. Pode ser visto na figura 3.

Figura 3: Ventilador pronto para ciclagem.



Fonte: de própria autoria.

Passo 6 - Deixa o ventilador pulmonar DIXTAL 3012 nestas configurações de ciclagem por 24 horas. Durante ou após este período observar os possíveis sinais de mau funcionamento. Exemplos: algum odor estranho, superaquecimento, alarmes indevidos para a operação, conferência dos valores pré definidos com os valores reais medidos.

Passo 7 - Se após o período determinado o equipamento não apresentar nenhum tipo de anomalia no funcionamento este então se torna apto para o início do procedimento operacional padrão.

4.4 - Procedimento Operacional Padrão DIXTAL 3012

Antes de iniciar o processo de desmontagem do ventilador pulmonar DIXTAL 3012 é indispensável ligar o analisador de fluxo de gases, pois este equipamento de calibração necessita de um determinado tempo para ligar e estabilizar o seus dados com o ambiente.

4.4.1. Desmontagem do Ventilador Pulmonar

Para o início é necessário realizar a desmontagem do ventilador pulmonar, começando pela parte posterior do equipamento mostrado na figura 4, retirando a mangueiras de ar e de oxigênio em seguida os parafusos que fixam o ventilador no suporte (em laranja)

Figura 4: Vista posterior com indicação dos parafusos



Fonte: de própria autoria

Após remover os parafusos que fazem a conexão do suporte com o ventilador é necessário deslizar o ventilador através da calha de sustentação, lembrando que as quatro rodas devem estar travadas e assim garantir a segurança e facilitar a retirada. O ventilador deve ser colocado em uma superfície emborrachada e remover os parafusos tipo allen da tampa traseira (em roxo).

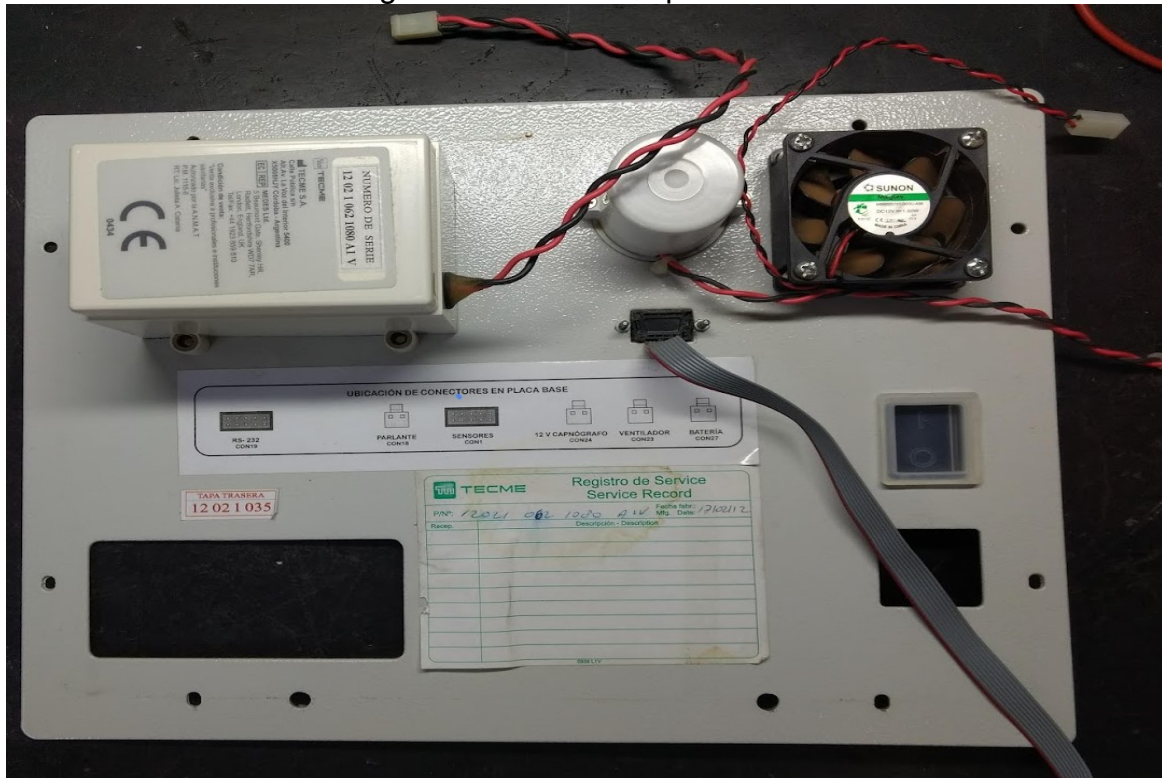
Figura 5: Vista posterior com as marcações do parafusos Allen



Fonte: de autoria própria

Retirando o tampa traseira do ventilador visto na figura 6 é possível acessar o interior do mesmo, neste momento deve ter uma maior atenção, pois os fios conectores do ventilador, alto falante, sensores, do módulo de capnografia, bateria e o RS-232 estão justamente conectados a placa do interior, caso use força excessiva romperá os fios, então deve ser desconectados antes de retirar completamente a tampa traseira do ventilador.

Figura 6: Vista da tampa traseira



Fonte: de autoria própria

Com a tampa traseira retirada mudar a posição do ventilador colocando a parte lateral do ventilador na superfície emborrachada facilitando a retirada dos parafusos inferiores frontais com a chave allen tipo 25 - 42 TX vistos na figura 7 (em verde).

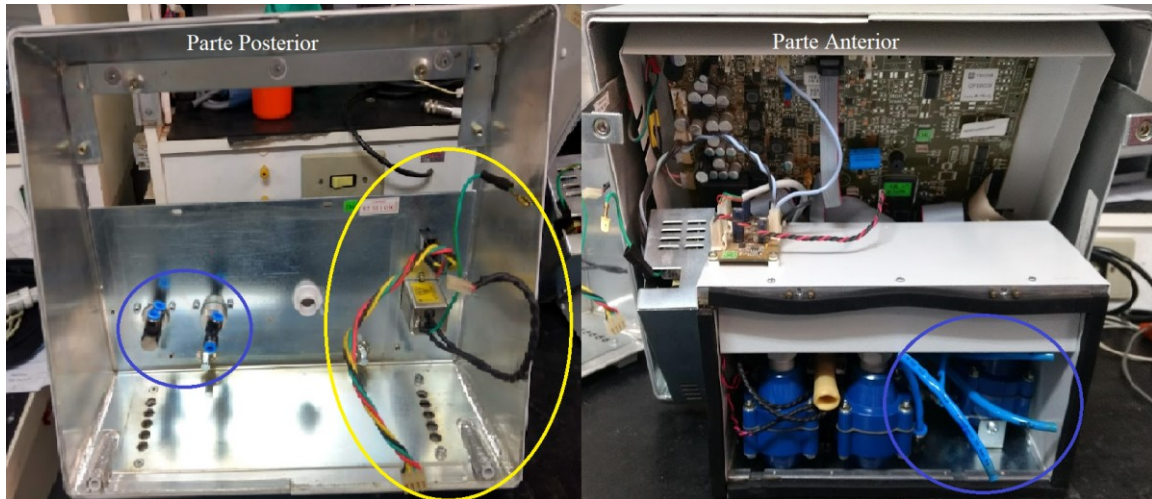
Figura 7: Parafusos Allen frontais



Fonte: de própria autoria

Efetue a separação das partes posterior e anterior do ventilador com bastante cuidado, pois há três fios conectados à placa além das quatro mangueiras: duas de ar e duas de oxigênio, estas mangueiras são conectadas através do engate rápido para retirar é necessário realizar uma pressão em direção ao lado contrário onde deseja retirar e em seguida uma rotação vide figura 8 em azul os conectores do engate rápido das mangueiras de ar e oxigênio e em amarelo os fios.

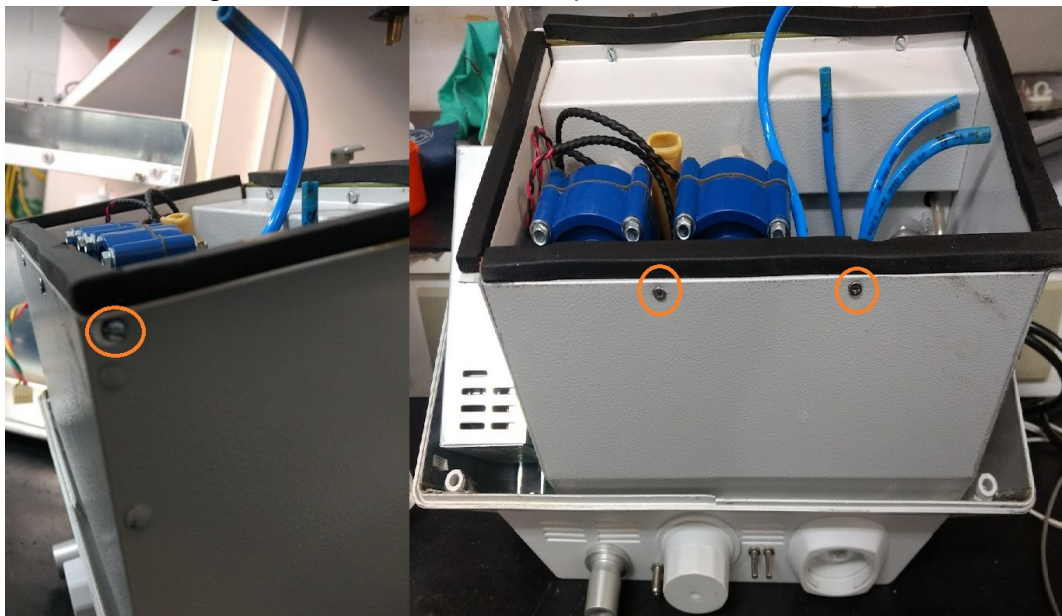
Figura 8: Vista da parte anterior e posterior



Fonte: de própria autoria.

Para acessar as válvulas é necessário retirar o compartimento através do deslizamento pela canaleta, para isso é necessário retirar quatro parafusos, sendo dois estrelas e dois de tipo fenda que encontram - se na parte inferior mostrados na figura 9 em laranja.

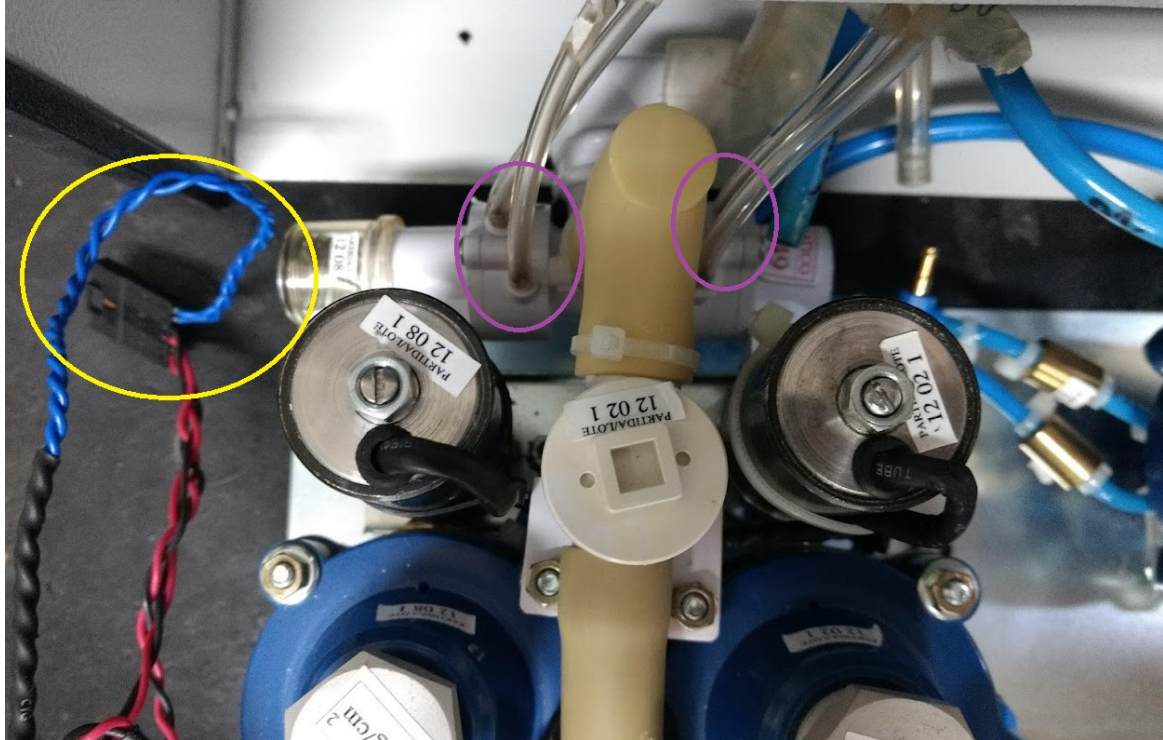
Figura 9: Parafusos do compartimento de válvulas



Fonte: de própria autoria

Com o compartimento de válvulas liberado é necessário retirar as quatro mangueiras transparentes do misturador de ar, para isso é preciso puxar com uma força moderada as mangueiras até que possam se desconectar, podem ser vistas na figura 10 em roxo e também o conector eletrônico das válvulas em amarelo.

Figura 10: Mangueiras do misturador de ar



Fonte: de própria autoria.

Sem nenhum tipo de conexão com a parte anterior é possível deslizar por completo através da calha e retirar compartimento das válvulas do ventilador, pode ser visto na figura 11.

Figura 11: Compartimento das válvulas de ar liberado por completo do ventilador

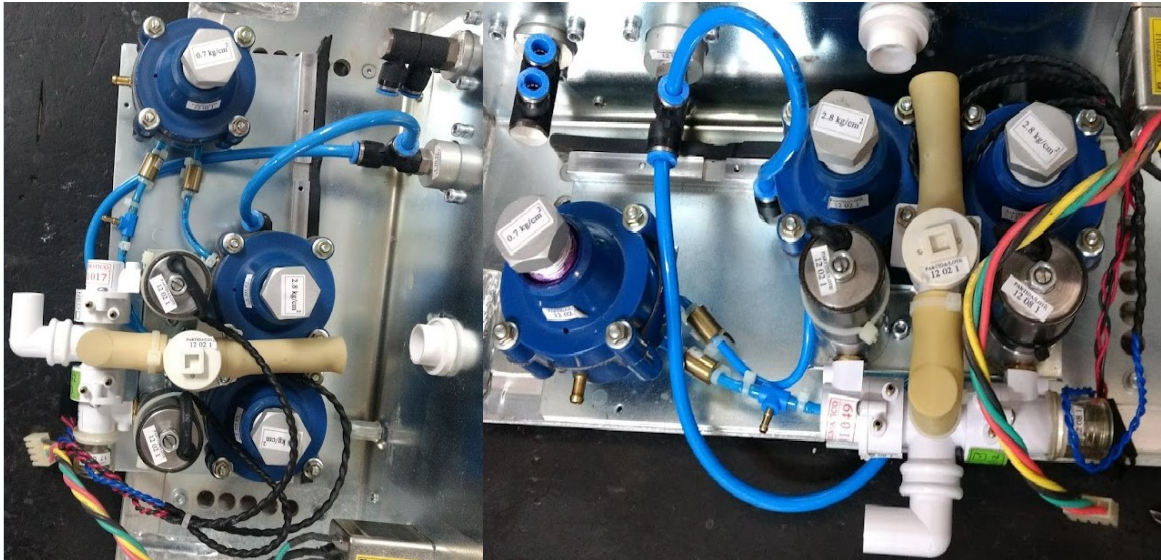


Fonte: de própria autoria.

4.4.2. Calibração manual das válvulas interna do Ventilador Pulmonar

Conectar as mangueiras azuis de entrada de ar e entrada de oxigênio do compartimento de válvulas na entrada de ar e saída do ar da parte posterior do ventilador pulmonar apresentado na figura 12.

Figura 12: Conexão do compartimento de válvulas com a parte posterior.

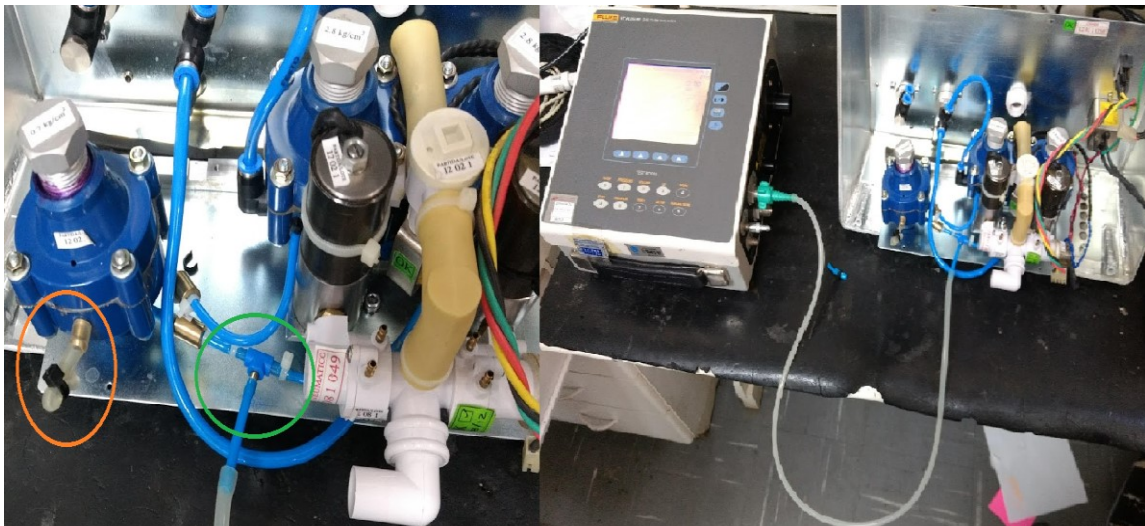


Fonte: de própria autoria.

Pode colocar o compartimento de válvulas em cima da parte posterior, conectar a mangueira azul de entrada de oxigênio na entrada de ar e a mangueira azul de entrada de ar na saída de ar visto na figura 12.

Obstruir a saída de ar do regulador com um mangueira de mesma largura envolvida por uma abraçadeira de nylon Hellermann, conectar o bico entre a entrada do blend e a saída das válvulas ao analisador de gases e em seguida liberar a válvula de ar com pressão de 5 kg/cm^2 . Esta conexão é mostrada na figura 13.

Figura 13: Conexão com o Analisador de Gases

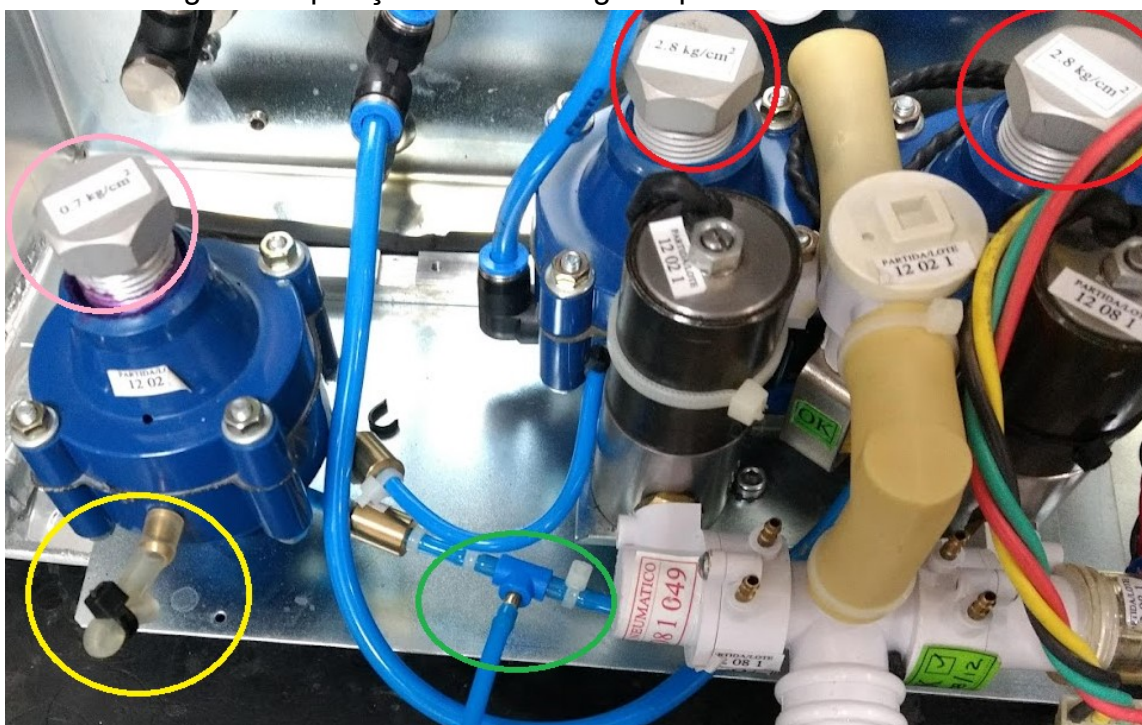


Fonte: de própria autoria

Na figura 13 é possível ver a saída da válvula do regulador obstruída e o nebulizador em verde conectado ao analisador de gases para medir a pressão das válvulas.

O valor ideal de pressão que deve ser medido no analisador é 2,74 bar ou $2,7942 \text{ kg/cm}^2$ aproximadamente $2,8 \text{ kg/cm}^2$. Não considere a primeira medida ao conectar a mangueira no analisador, deixe o ar circular no analisador desrosquear a mangueira e rosquear novamente, após este processo verificar a leitura correta. A margem de erro é de 0,02 bar para cima ou para baixo, caso não esteja nesta margem é necessário realizar a calibração. Com a chave inglesa adequadamente encaixada irá rosquear a válvula até ajustar na faixa de valor ideal, na figura 14 em vermelho indica o local onde deve ser posicionada a chave.

Figura 14: posição da chave inglesa para calibrar a válvula.



Fonte: de própria autoria

Obstruir o bico do nebulizador em verde na figura 14 e conectar a mangueira do analisador de gases na saída do misturador em amarelo na figura 14. Não considera o primeiro valor medido no analisador, desrosquear e rosquear a mangueira do analisador verificar o valor se estiver entre 0,6 bar e 0,8 bar está em uma faixa aceitável, caso o valor esteja fora desta faixa é necessário realizar a calibração com uma chave inglesa na válvula do blend a parte em rosa na figura 14, ajuste até que o valor fique dentro da zona aceitável de valores.

Na figura 15 é possível ver a tela do analisador de gases mostrando o valor ótimo de medição da válvula de ar.

Figura 15: Analisador de gases apresentando o valor ideal de pressão da válvula de ar.



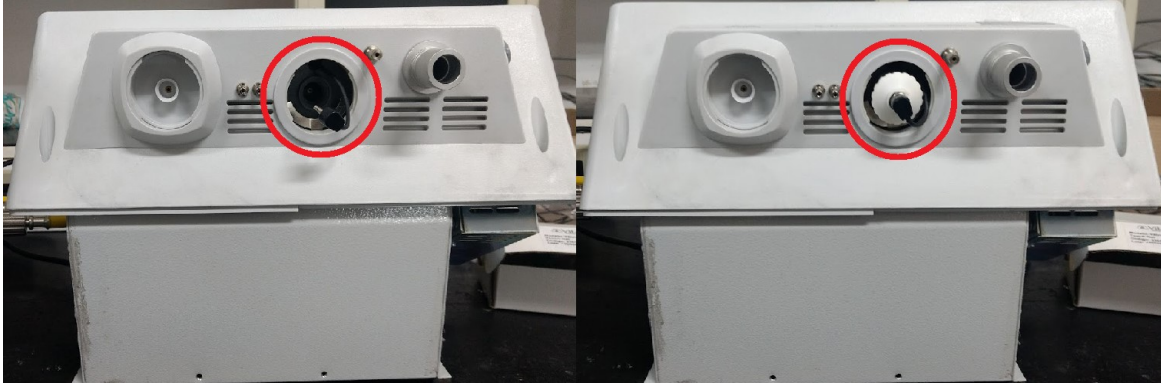
Fonte: de própria autoria.

4.4.3. Remontagem do Ventilador Pulmonar

Após a etapa de calibração manual realizar a remontagem do equipamento, desconectar a mangueira do analisador de gases e a mangueira de entrada de ar da parte posterior.

Posicione a peça anterior do ventilador com a tela vira para cima como mostra a figura 16, assim terá acesso para substituir a célula de O_2 na parte inferior destacado em vermelho na figura 16, retirar a proteção e desrosquear a célula antiga desconectar o conector P2 e colocar a nova célula O_2 , é necessário deixar a nova célula exposta ao ar durante 20 minutos antes de fechar.

Figura 16: Substituição da célula de O_2



Fonte: de própria autoria.

Na figura 17 mostra o compartimento de válvulas em vermelho com quatro mangueiras transparentes, uma mangueira transparente de maior espessura para o misturador, duas mangueiras azuis de saída de ar e saída de oxigênio, uma mangueira corrugada e um conector eletrônico.

Figura 17: Compartimento de válvulas antes de conectar.



Fonte: de própria autoria

Conectar as quatro mangueiras transparente no misturados vide figura 18, são duas mangueiras para o ar sendo uma positiva e outra negativa e duas

mangueiras para o oxigênio sendo uma negativa e outro positiva, as mangueiras negativas são conectadas próximas as bobinas pretas das válvulas e estão indicadas na figura 18 pela cor vermelha, as mangueiras positivas estão indicadas pela cor azul, sendo o lado direito da figura 18 para as mangueiras de ar e o lado esquerdo para as mangueiras de oxigênio.

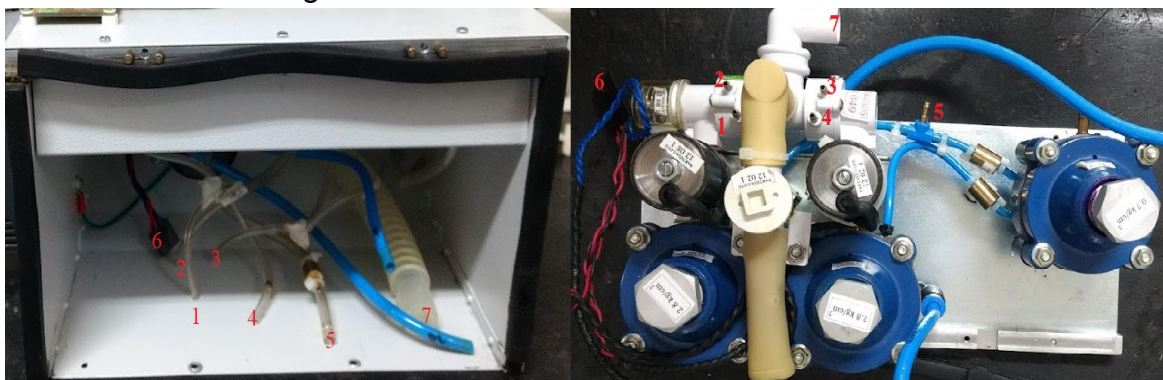
Figura 18: Conexão das mangueiras negativas e positivas de ar e oxigênio



Fonte: de própria autoria.

Na figura 19 é possível ver um comparativo enumerados em ordem crescente de onde deve ser conectada cada uma das partes em seus respectivos lugares.

Figura 19: Locais de conexão enumerados.



Fonte: de própria autoria.

Em seguida deslize o compartimento de válvulas pela canaleta e parafusei os dois parafusos estrela na parte inferior e dois parafusos fenda na parte lateral

vide figura 9.

Com o compartimento todo encaixado conectar as quatro mangueiras azuis na parte posterior do ventilador, como mostra um comparativo na figura 20, conectar os fios da parte eletrônica do ventilador destacados em amarelo na figura 8.

Figura 20: Demonstrativo de conexões



Fonte: de própria autoria.

Em seguida substituir a junta de fechamento DX 3012/3010 Ventilador Pulmonar Dixtal, este acessório fica entre a parte posterior e a anterior ao realizar a junção das partes. Vide figura 21 destacado em vermelho o local para se posicionar e ao lado a fotografia da nova junta de fechamento.

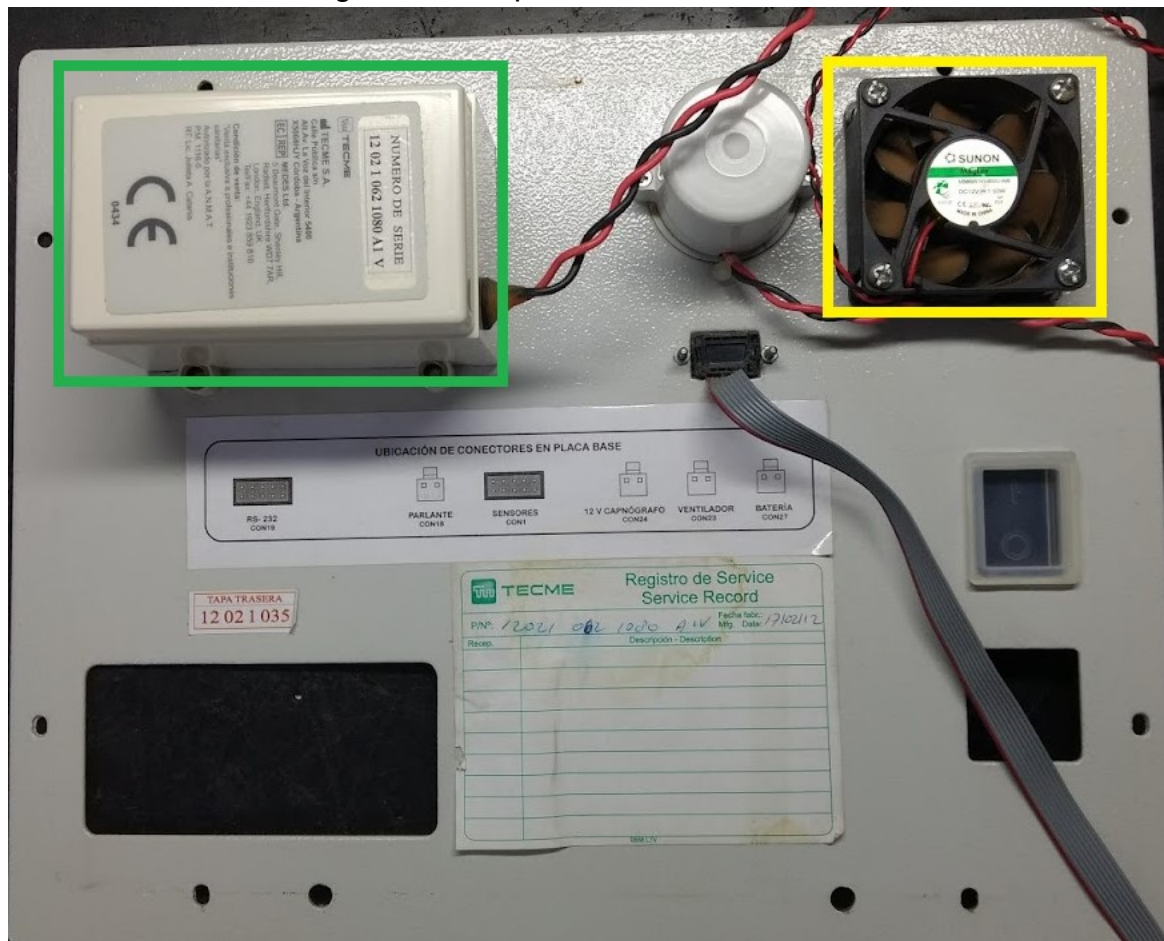
Figura 21: Local de posicionamento da junta de fechamento do Ventilador Pulmonar



Fonte: de própria autoria

Após o fechamento é necessário parafusar os parafusos allen na parte anterior do ventilador como está exemplificado na figura 7, realizar a substituição da bateria em verde e do cooler destacado em amarelo, apresentados na figura 22 onde mostra a tampa traseira.

Figura 22: tampa traseira do ventilador.



Fonte: de própria autoria.

Em seguida fixar a tampa traseira na parte posterior do ventilador respeitando a sequência de conexão dos jack da placa eletrônica, é importante se atentar ao código de cada um destacado em vermelho na figura 23 onde apresenta a sequência correta, o código correspondente estará na placa eletrônica na parte superior.

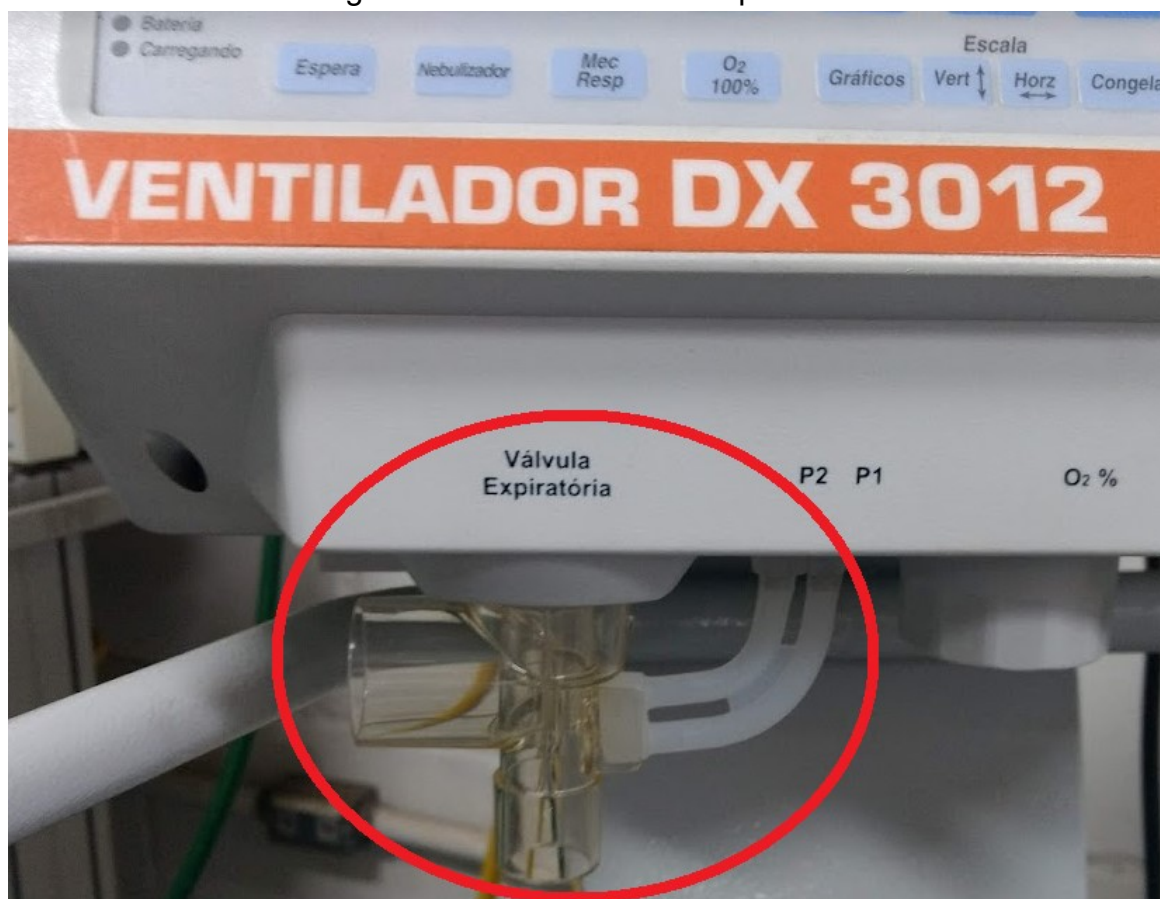
Figura 23: Sequência dos conectores eletrônicos da tampa traseira



Fonte: de própria autoria.

Parafusar os parafusos do tipo allen que estão destacados em roxo na figura 5. Substituir a válvula expiratória na parte inferior mostrada na figura 24 na parte inferior destacado em vermelho.

Figura 24: Vista da válvula expiratória

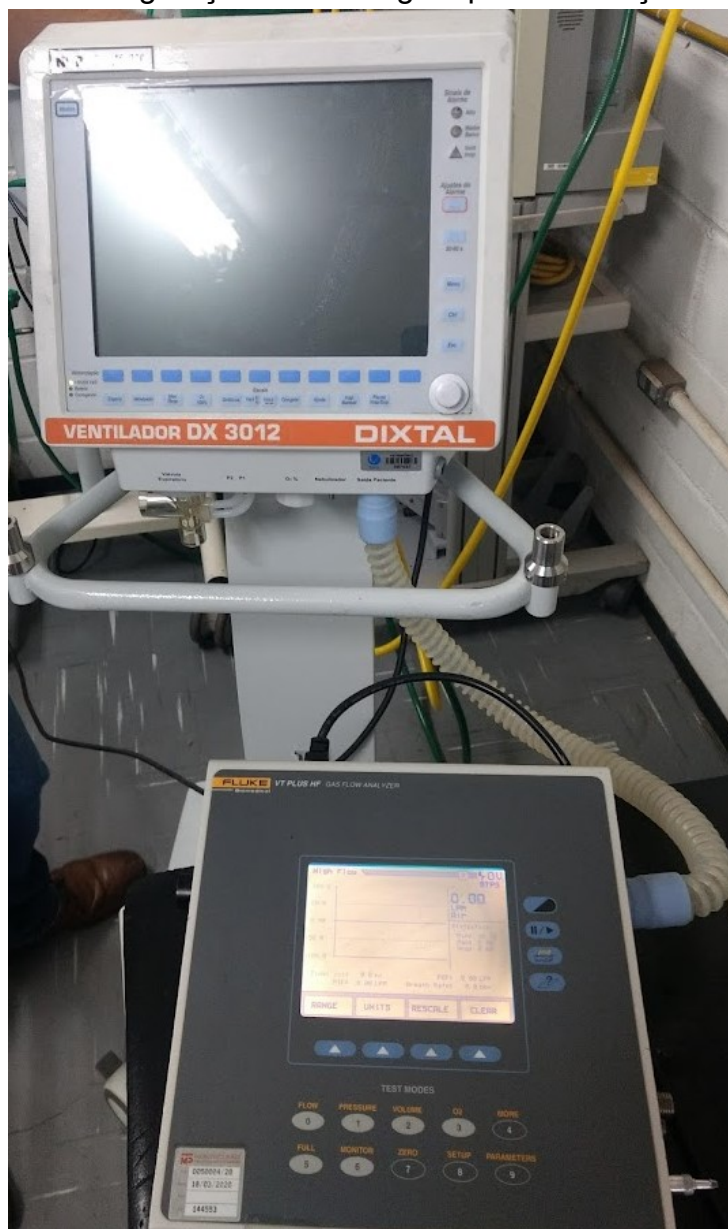


Fonte: de própria autoria

4.4.4. Calibração Eletrônica do Ventilador Pulmonar

Conecte diretamente a mangueira de entrada de ar e de oxigênio na rede de gases assim terá a pressão máxima possível, conecte uma ponta da mangueira corrugada na saída para o paciente e a outra ponta no analisador de gases vide figura 25 onde apresenta o modo de montagem para a calibração eletrônica, ligue o ventilador utilizando a tecla ESC assim terá acesso ao modo serviço técnico.

Figura 25: Configuração de montagem para calibração eletrônica

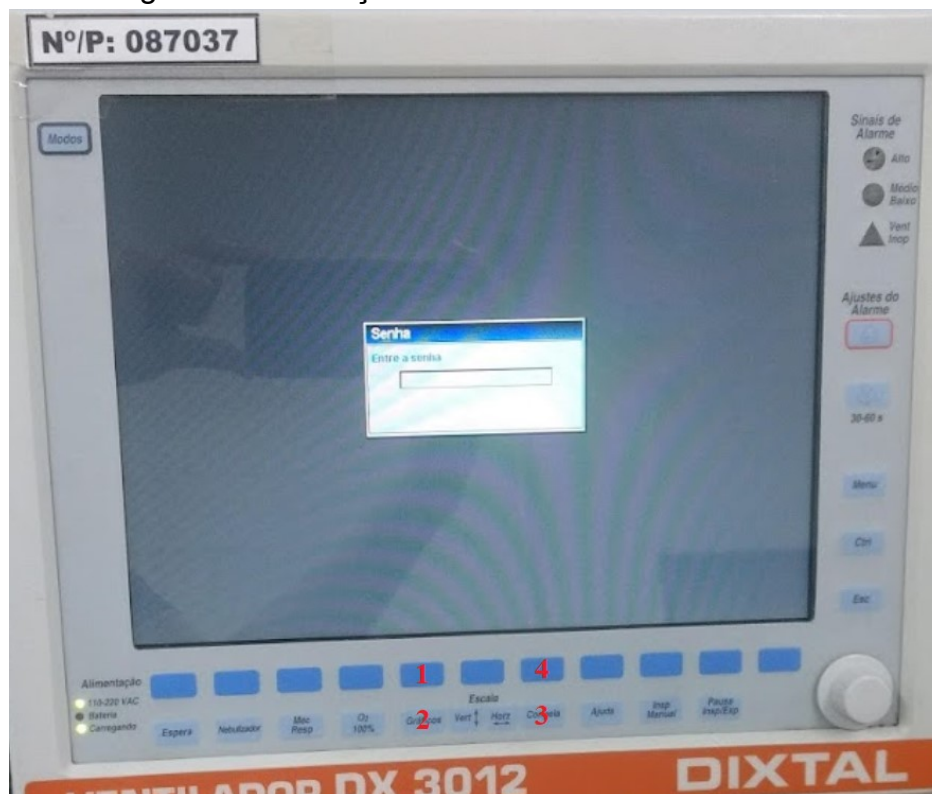


Fonte: de própria autoria

Para acessar o menu de calibração deve digitar a senha de acesso seguindo a sequência numérica apresentada na figura 26 com os números destacados em vermelho, sendo a senha composta pela sequência numérica na ordem crescente e novamente digite a sequência numérica na ordem crescente. Importante salientar que existem três tentativas de senha, se não for digitado corretamente a sequência, depois da terceira tentativa o equipamento desligará.

SENHA: 1234 + 1234

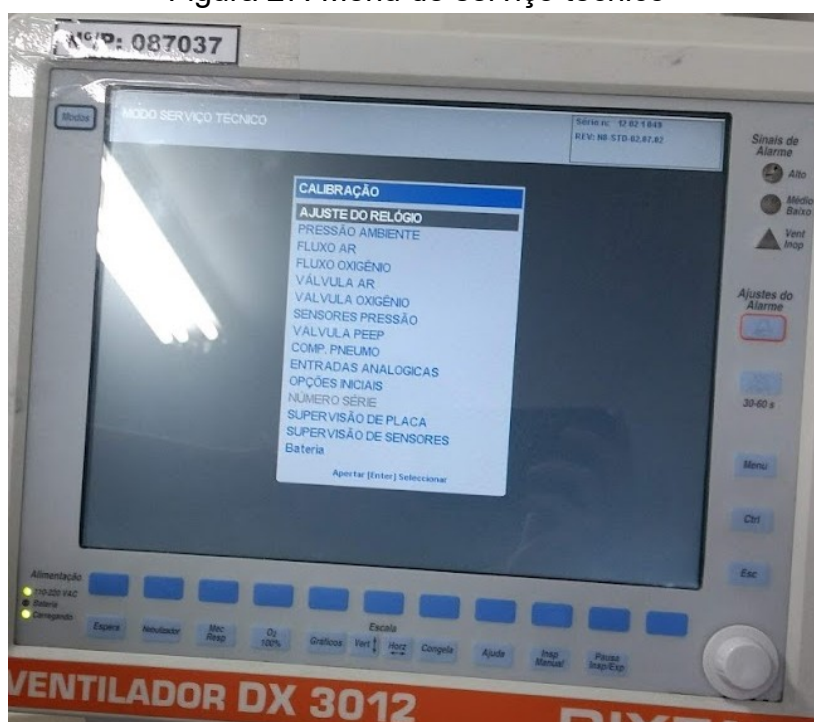
Figura 26: Marcação numérica da senha de acesso



Fonte: de própria autoria

Em seguida liberará o acesso ao modo serviço técnico apresentado figura 27, a navegação pelo menu é feita através do botão giratório ou encoder e pressionando o botão fará a seleção, inicialmente ajuste o relógio.

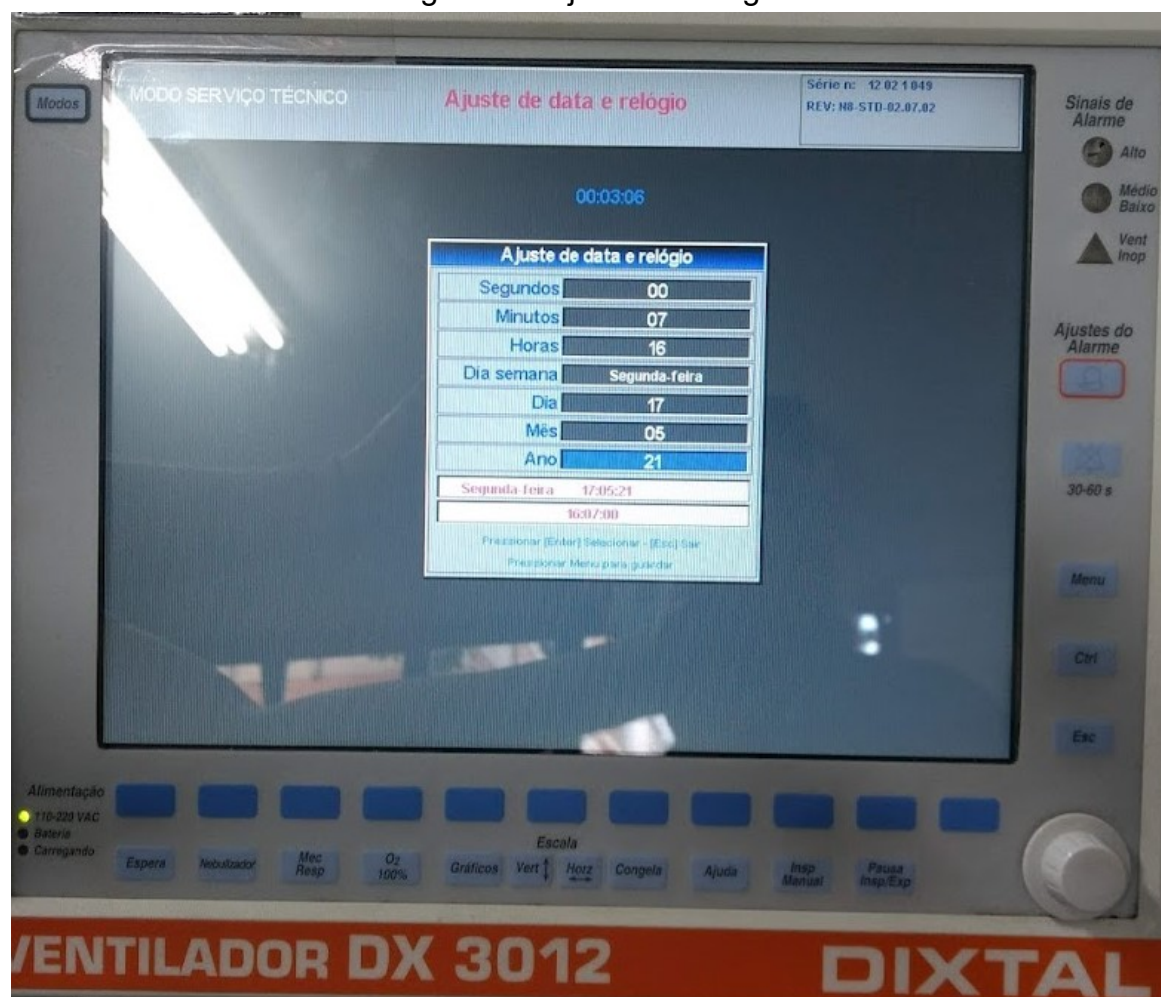
Figura 27: Menu de serviço técnico



Fonte: De própria autoria

Selecionando o ajuste do relógio pressionando o botão giratório abrirá uma tela para alterar os parâmetros de hora, dia da semana, dia, mês e ano como mostra a figura 28.

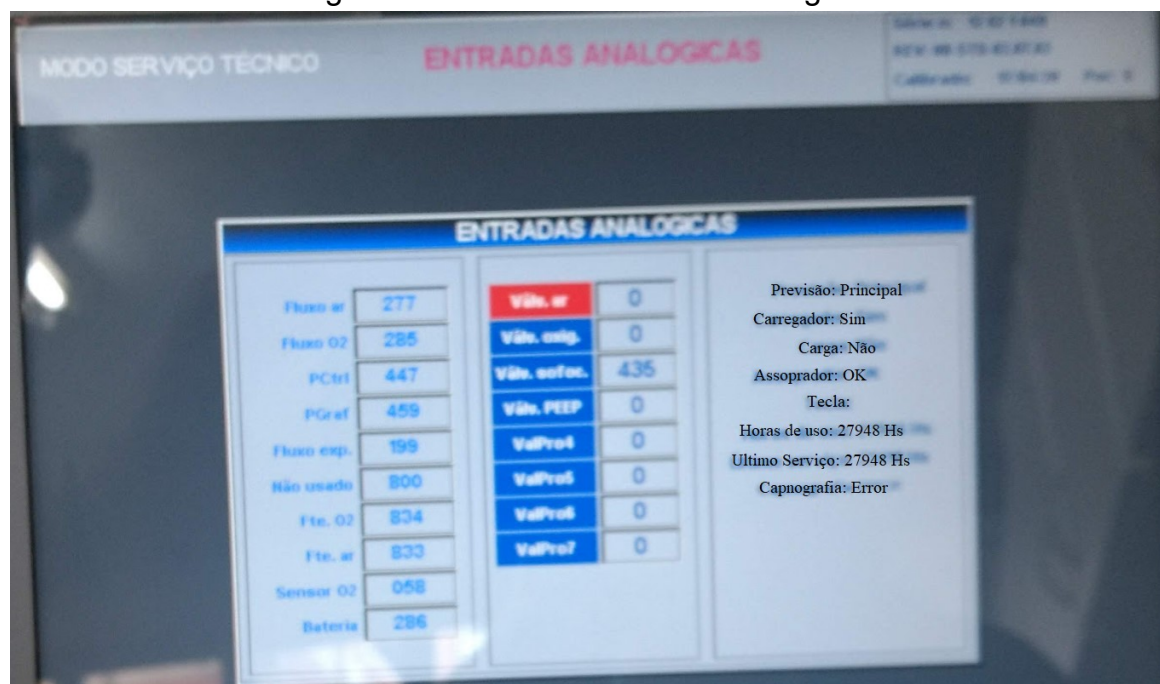
Figura 28: Ajuste do relógio



Fonte: de própria autoria

O passo seguinte é acessar o menu de entradas analógicas apresentado na figura 29, onde mostra o valor analógico convertido em bits para cada parâmetro apresentado, deixe aberto durante um período de dois a cinco minutos para que as leituras se estabilizem. Em seguida acesse no menu a opção de calibração de pressão ambiente, ajuste a pressão conforme apresenta o valor no analisador, o valor pré definido no ventilador será em torno de 965 mBar, ajuste através do encoder e selecione o valor desejado, pressione ESC e volte para o menu inicial.

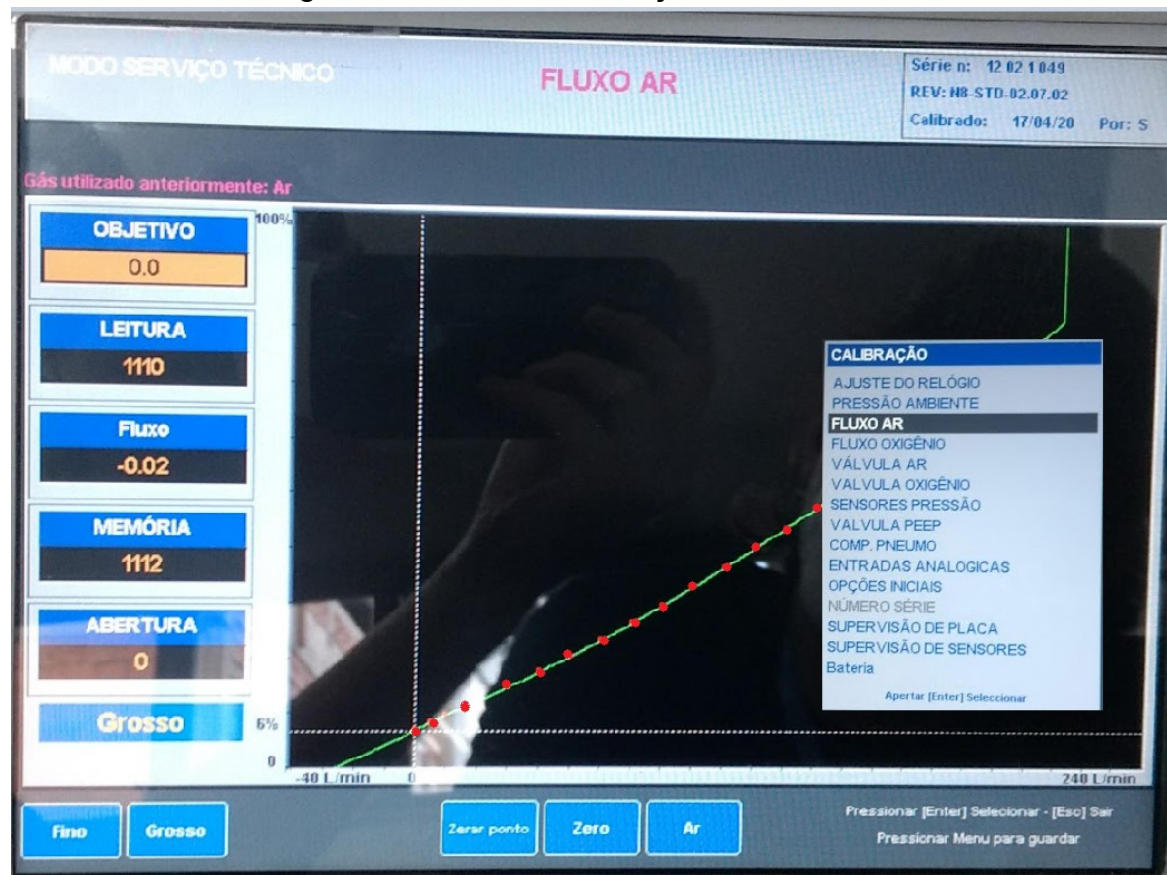
Figura 29: Menu de Entradas Analógicas



Fonte: de própria autoria

Após estabilizar os valores selecione a opção de fluxo ar abrirá uma tela igual na figura 30, no menu lateral esquerdo possui os campos objetivo, leitura, fluxo, memória, abertura e o modo de ajuste grosso ou fino. Deve ajustar o valor de abertura para que fique com o número próximo ao objetivo, o ajuste é através do botão giratório e selecione o valor apertando no centro do botão. O campo memória representa o valor antigo em bits do objetivo e o campo leitura é o valor novo em bits do objetivo. Confira o valor do objetivo mais o fluxo com os valores apresentados no analisador de gases e selecione o valor mais próximo, cada vez que seleciona um valor surge um novo e assim sucessivamente de maneira crescente, os valores de objetivo são 0, 5, 10, 20, 30 ..., 150 e 160, desta forma vai formar um gráfico sobreposto ao gráfico apresentado na tela (figura 30), pressione a tecla menu e selecione a opção guardar assim gravará os dados, ao final do processo o fluxo de ar estará ajustado para cada medida de abertura da válvula de ar.

Figura 30: Menu de calibração do fluxo de ar



Fonte: de própria autoria.

Existem dois modos de ajuste: o grosso que deve ser utilizado quando os valores estão distantes do desejado e o fino que deve ser utilizado quando os valores estão próximos ao desejado. Após a calibração do fluxo de ar, selecione a opção fluxo oxigênio e repita do mesmo modo todo o processo para calibrar o valor do fluxo desejado para cada medida de abertura da válvula de oxigênio.

Em seguida selecione a opção válvula de oxigênio será apresentada uma tela igual a figura 31, onde apresenta um gráfico de calibração no centro e no menu lateral esquerdo apresenta os campos objetivo, fluxo, abertura e memória. Nesta tela aparecerá as seguintes opções: se não houver calibração predefinida aparecerá as opções: Sair, Guardar e Calibrar, se contém uma calibração prévia clicando na tecla Menu selecione com o botão encoder calibrar, desta forma iniciará a auto calibração.

Figura 31: Tela de auto calibração da válvula de oxigênio.

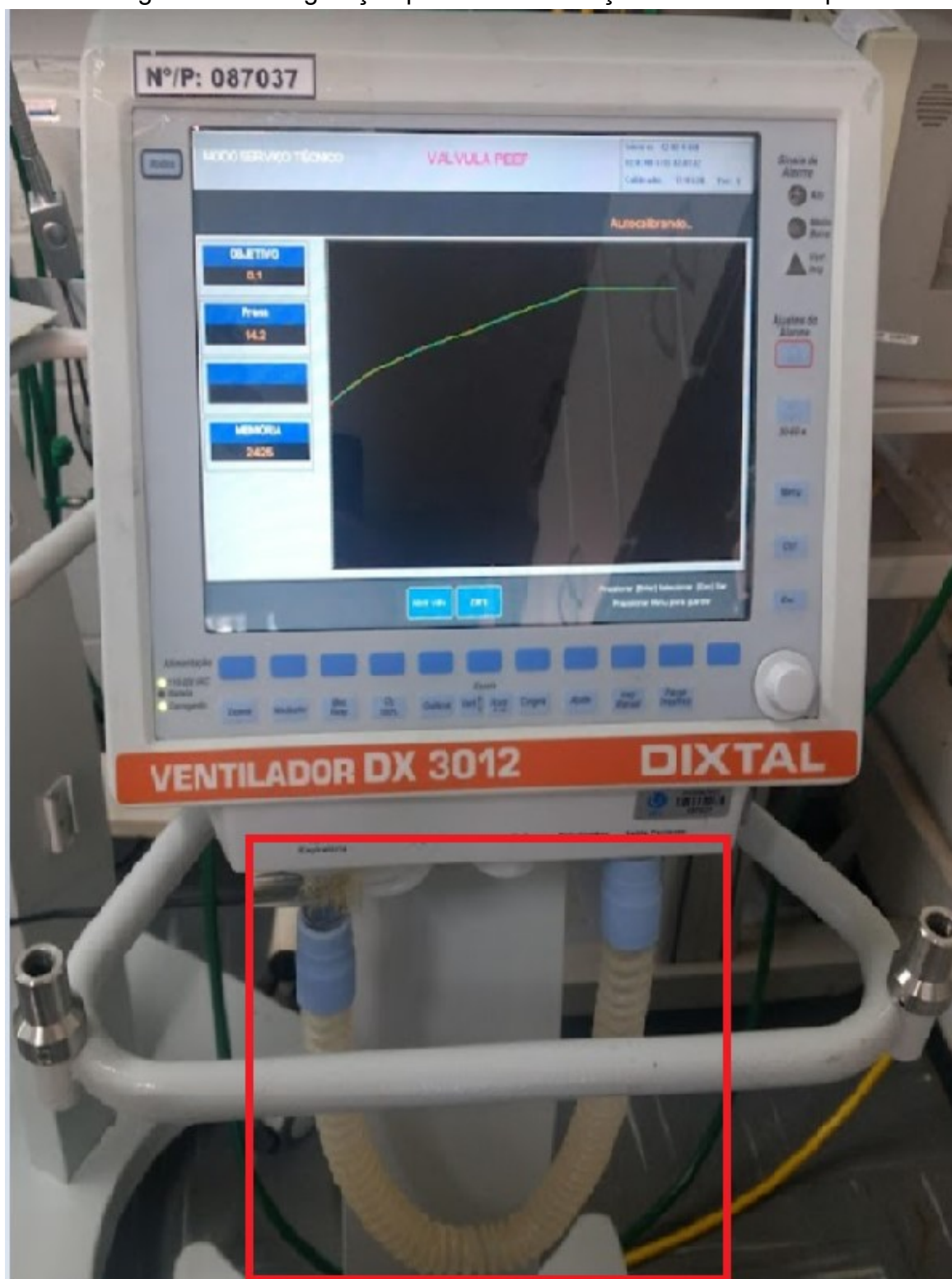


Fonte: de própria autoria.

A auto calibração inicia do zero, 5, 15, 20, 30 até o 160 criando um gráfico sobreposto com valores contínuos. Após o tempo necessário para finalizar o processo o ventilador estará eletronicamente calibrado para a abertura da válvula de oxigênio desejada. Em seguida repita o mesmo processo de calibração para a válvula de ar e assim irá calibrar eletronicamente a abertura da válvula de ar.

Logo após interligue a saída do paciente com a válvula expiratória do mesmo modo que apresenta a figura 32 destacado em vermelho, selecione com o encoder a opção de válvula Peep, pressione calibrar e assim iniciará o processo de auto calibração, após término selecione a opção gravar.

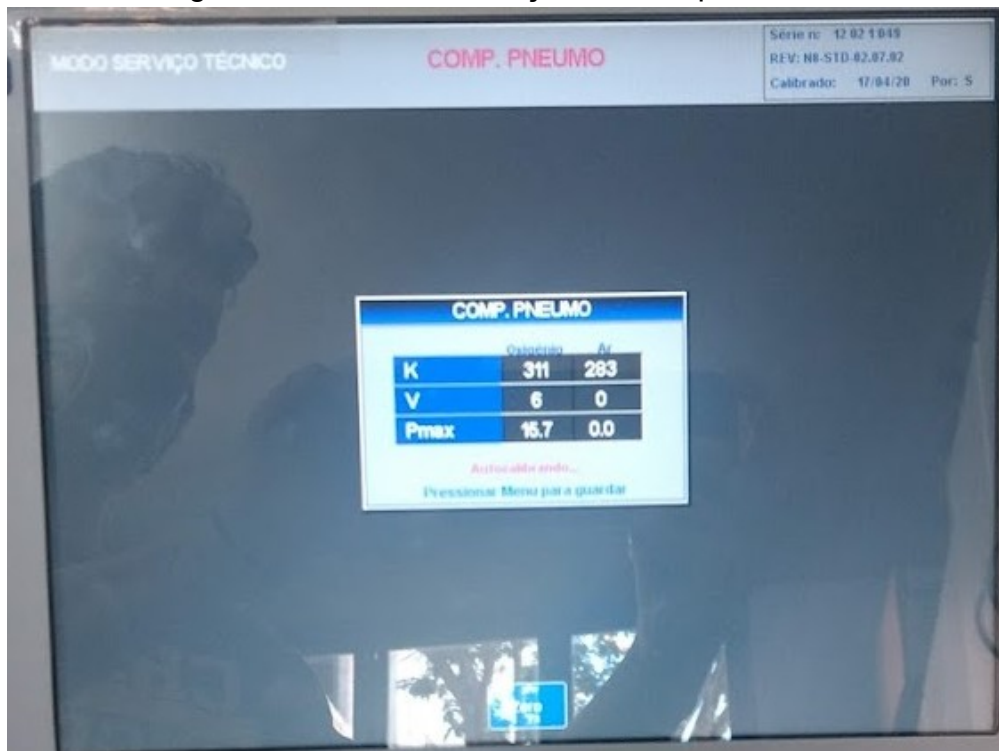
Figura 32: Configuração para auto calibração da válvula Peep.



Fonte: de própria autoria.

Mantendo a mesma interligação apresentada na figura 32 selecionar a função de Comp. Pneumo e abrirá a tela mostrada na figura 33, escolha a opção de calibrar e assim iniciará a auto calibração. Após finalizado o período selecionar a função guardar através do encoder e ESC para voltar o menu de serviço.

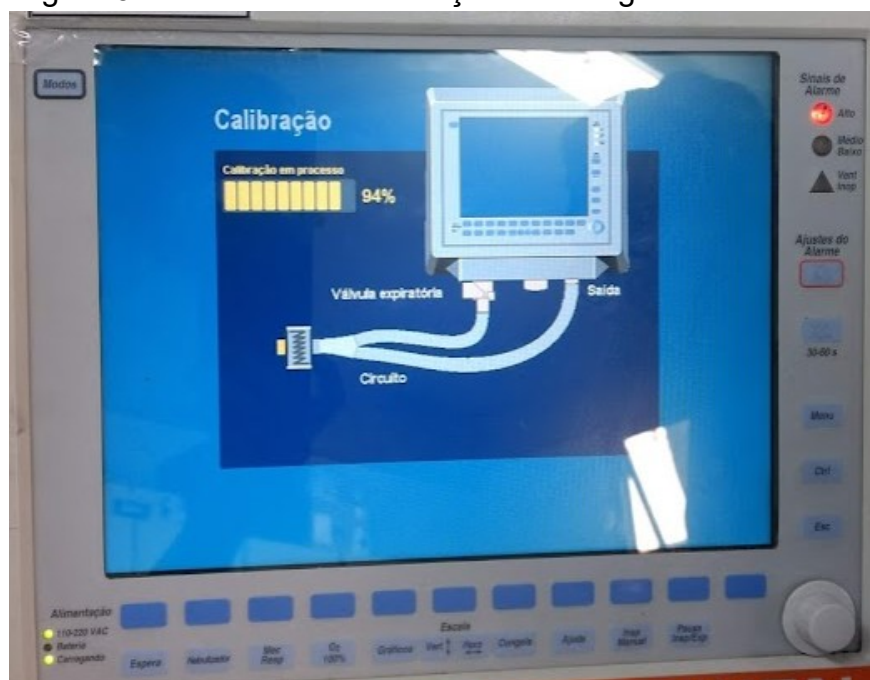
Figura 33: Tela de calibração do Comp. Pneumo



Fonte: de própria autoria.

Em seguida, desligue o ventilador e ligue normalmente, selecione a opção de ciclagem adulto (ADL), depois opte pela categoria de umidificação passiva e assim inicia o processo de calibração de ciclagem do ventilador como mostra na figura 34. Para realizar a calibração é imprescindível obstruir a ponta da mangueira corrugada durante todo o processo.

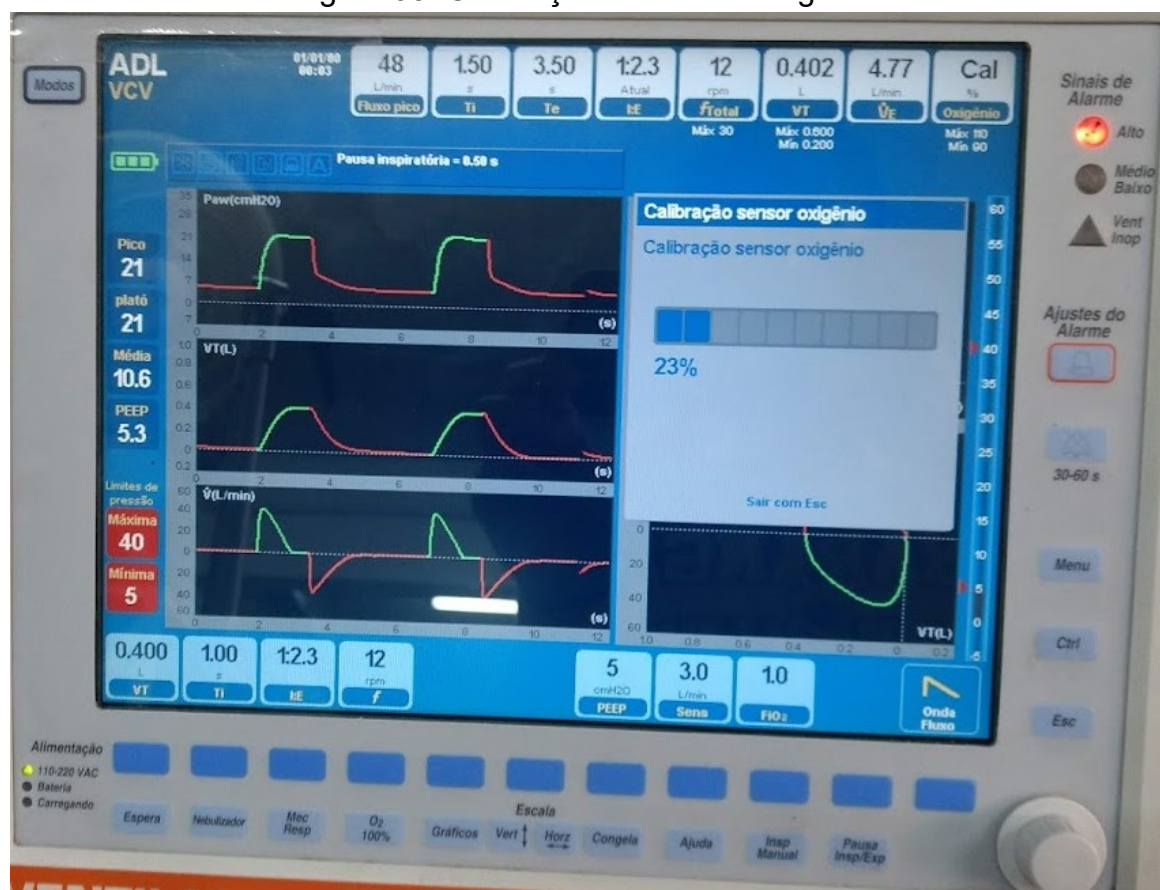
Figura 34: Processo de calibração de ciclagem do ventilador



Fonte: de própria autoria.

Após o término deste processo aperte a tecla menu e selecione a opção de ferramentas, abrirá um menu e selecione a opção de calibração sensor oxigênio, selecione a função de calibrar/habilitar e iniciará a calibração do sensor de oxigênio apresentado na figura 35.

Figura 35: Calibração sensor de oxigênio.



Fonte: de própria autoria.

Em seguida, selecione a função VCV de ventilação, conecte um simulador de pulmão ao analisador de gases e estabeleça a comunicação com o ventilador e verifique se os parâmetros medidos pelo ventilador confere com os valores dos parâmetros correspondentes no analisador de gases.

Figura 36: Conexão com o simulador de pulmão.



Fonte: de própria autoria.

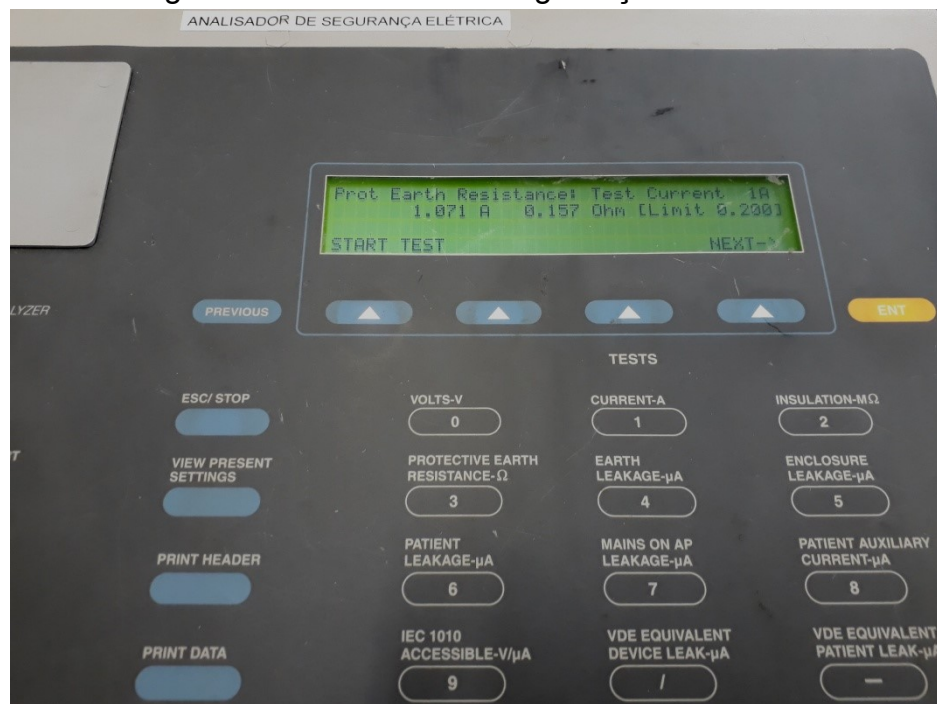
4.4.5. Teste de Segurança Elétrica

A fim de garantir a segurança do operador e do paciente durante o uso do equipamento é indispensável realizar o teste de segurança elétrica onde é possível identificar a resistência do aterramento e correntes de fuga. Para isso é necessário utilizar o analisador de segurança elétrica que é apresentado na figura 37.

Primeiramente neste teste é analisada a resistência do aterramento, então deve

ser conectado o analisador ao ventilador pulmonar por meio do cabo de alimentação na entrada de alimentação AC e cabo de aterramento no pino terra de proteção. Para iniciar o teste no analisador selecione a CLASSE II e TIPO CF pressione NEXT, desta forma iniciará o teste de resistência do aterramento da incubadora. São permitidos valores até 0,200 Ohms, valores superiores são reprovados.

Figura 37: Analisador de Segurança Elétrica



Fonte: de própria autoria

O segundo teste é o de teste de correntes de fuga, para prosseguir no teste basta pressionar a tecla NEXT e o analisador iniciará, após este período o analisador mostrará o resultado se o equipamento foi aprovado ou não, como mostra a figura 38 onde o equipamento teve o resultado aprovado apresentando a mensagem de UNIT PASSED.

Figura 38: Resultado do teste do analisador



Fonte: de própria autoria

Se o equipamento for aprovado, ele estará apto para uso, como forma de identificar que o equipamento realizou a manutenção preventiva e o teste de segurança elétrica é fixado na carcaça duas etiquetas de garantia apresentadas na figura 39.

Figura 39: Etiquetas de manutenção preventiva e teste de segurança elétrica.

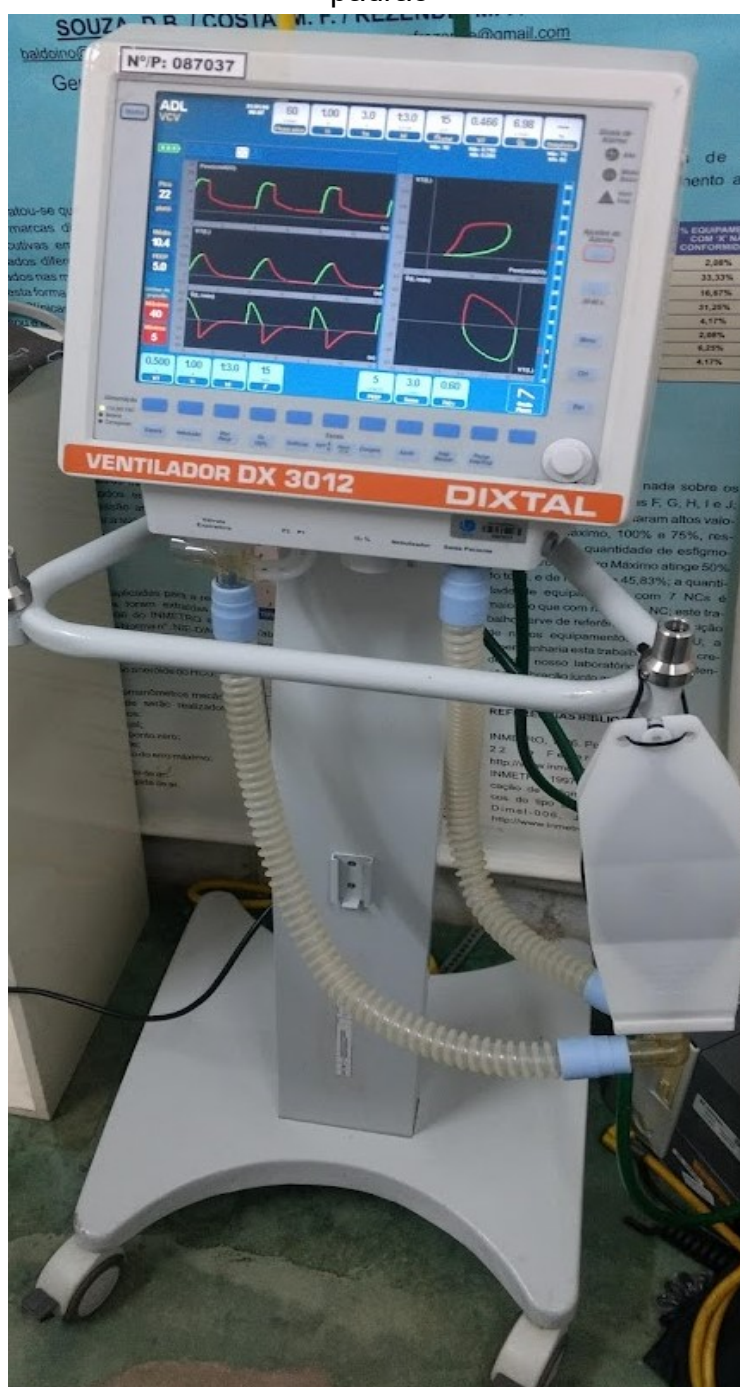
Hospital de Clínicas - UFU Bioengenharia Eletrônica	Universidade Federal de Uberlândia Hospital de Clínicas de Uberlândia Bioengenharia - Eletrônica
MANUTENÇÃO PREVENTIVA	SEGURANÇA ELÉTRICA
Patrimônio: _____	Nº de Laudo: _____
Código: _____	Patrimônio: _____
Data de Manutenção: ____/____/____	Código Bioengenharia: _____
Próxima Manutenção: ____/____/____	Data do Teste: ____/____/____
Técnico: _____	Técnico: _____

Fonte: de própria autoria

4.4.6. Simulação de Uso

Por se tratar de um equipamento médico de suporte à vida após todo o procedimento operacional padrão e o teste de segurança elétrica é indispensável submeter o equipamento a uma ciclagem simulada por um período de 48 horas. Conecte o equipamento a um simulador de pulmão em seguida ligue e selecione o modo adulto e a função VCV de ventilação assim como apresentado na figura 40.

Figura 40: Montagem para ciclagem de teste após o procedimento operacional padrão



Fonte: de própria autoria

Após este período, caso o ventilador não apresente nenhum tipo de anormalidade em seu funcionamento, então este se encontra apto para uso.