



AIR·TRON

PROTÓTIPO DE VENTILADOR
MECÂNICO DE BAIXO CUSTO

1. Introdução

Os coronavírus são vírus envelopados de DNA fita única pertencem à família *Coronaviridae*, e subfamília *Coronavirinae* e são causadores de doenças em diversas espécies animais e em seres humanos, causando sintomas majoritariamente respiratórios de vias altas ou baixas, mas também podem afetar o sistema nervoso e o trato gastrointestinal, o que faz dele um patógeno bastante complexo (CHAN *et al*, 2020). O novo coronavírus, chamado inicialmente de 2019-nCoV, agora SARS-CoV-2, é mutação de um desses vírus já existente. A doença, iniciada na China, na cidade de Wuhan, alastrou-se de tal modo que o cenário de pandemia mostra-se como realidade e em aproximadamente 4 meses de existência já gerou impacto negativo em inúmeros setores de todos os continentes do mundo: econômicos, políticos, e, principalmente no âmbito social e no setor da saúde, que luta para conter uma das maiores, se não a maior crise vista desde a Segunda Guerra Mundial (PHAN, 2020).

A alta transmissibilidade característica do novo coronavírus torna urgente a adoção de medidas que procurem reduzir a progressão e a gravidade da pandemia, como o isolamento social, a busca de medicamentos eficazes para o tratamento dos pacientes, e o aumento da produção de equipamentos de proteção individual (EPIs). Apesar de a mortalidade ser de aproximadamente 4,5%, menor que outras espécies de vírus que causam doenças respiratórias semelhante, às altas taxas de contágio simultâneo, a grande quantidade de pessoas afetadas no planeta, e a fragilidade dos sistemas de saúde privado e público, geram números de óbitos alarmantes, criando um cenário dramático (OLIVEIRA *et al*, 2020).

Sendo a principal causa de morte a insuficiência respiratória aguda por hipoxemia silenciosa, faz-se necessário o correto manejo respiratório dos afetados, o que, muitas vezes exige o uso de ventilação mecânica também chamados de respiradores, peça fundamental no tratamento de pacientes com COVID-19, com o objetivo de viabilizar assistência ventilatória e suplementação de oxigênio para esses pacientes (DZIECIATKOWSKI, 2020). Logo, há uma realidade de aumento da demanda no uso de ventiladores mecânicos, que no momento são insuficientes para abranger a necessidade atual.

2. Justificativa

O número de pessoas afetadas, que atualmente já atinge a classe dos milhões, associada à fragilidade dos sistemas de saúde em diversas partes do mundo, torna insuficiente a quantidade de equipamentos de suporte, principalmente, os ventiladores mecânicos, já que a complexidade e valores elevados de produção e manutenção dos mesmos, impossibilita a produção em tempo hábil da quantidade necessária para suprir a demanda vigente. Com isso, surgiram muitos protótipos alternativos para construção de respiradores de baixo custo e de forma mais simplificada. Neste contexto, a TRON, uma empresa de tecnologia voltada para robótica educativa com sede em Parnaíba - PI, projetou e desenvolveu o AIR-TRON, respirador alternativo de baixo custo, seguro, resistente e com tecnologia adequada para suprir as demandas do combate da COVID-19. No contexto atual de pandemia pela COVID-19, o aparelho se torna um importante aliado para o tratamento eficaz dos pacientes com quadros mais graves da doença, visto que a recomendação para o manejo clínico de síndrome respiratória pelo novo Coronavírus (2019-nCoV) citado no Protocolo de Tratamento do novo coronavírus (2019-nCoV)² prega a instituição precoce de ventilação mecânica a fim de obter os melhores resultados na terapêutica (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2020).

3. Referencial Teórico

3.1 Ventilação Mecânica

A ventilação mecânica (VM) é um dispositivo de suporte de vida, geralmente utilizado em pacientes em franca insuficiência respiratória, cuja finalidade é permitir suporte ventilatório no intuito de suprir as necessidades metabólicas e hemodinâmicas do organismo, sendo uma modalidade terapêutica de suporte ventilatório que substitui parcialmente ou completamente a ventilação espontânea (CARVALHO *et al*, 2007) através da utilização de aparelhos que, intermitentemente, insuflam as vias respiratórias com volumes de ar. Em ventilação mecânica, o ciclo ventilatório pode ser dividido em 1) Fase inspiratória: Corresponde à fase do ciclo em que o ventilador realiza a insuflação pulmonar por pressão positiva, conforme as propriedades elásticas e resistivas do sistema respiratório, através da abertura da válvula inspiratória; 2) Mudança de fase (ciclagem): Transição entre a fase inspiratória e a fase expiratória; 3) Fase expiratória: Momento seguinte ao fechamento da válvula inspiratória e abertura da válvula expiratória, permitindo que a pressão do sistema respiratório equilibre-se com a pressão expiratória final programada no ventilador; e 4) Mudança da fase expiratória para a fase inspiratória (disparo): Fase em que termina a expiração e ocorre o disparo, ocasionando a abertura da válvula inspiratória do ventilador, iniciando um novo ciclo. (WALTER *et al*, 2018).

3.2 As modalidades e modos de ventilação

A escolha da modalidade e do modo ventilatório deve ser baseada em função da clínica do paciente, propriedades elásticas e resistivas do seu sistema respiratório, bem como a interação e sincronia paciente-ventilador. Nos últimos anos, novos modos ventilatórios surgiram, embora o impacto clínico da utilização destes ainda venha sendo pouco estudado (BRANSON, 2004; CALFEE, 2005).

Os modos ventilatórios, diferem entre si, nas suas variáveis de controle, ciclagem e limite. Existem vários tipos de modalidades ventilatórias: sendo atualmente as mais utilizadas a pressão controlada (PCV), volume controlado (VCV) e a ventilação com suporte pressórico (PSV).

Na modalidade PCV, existem dois modos: controlado e assistido controlado. No modo controlado, o ciclo se deflagra a tempo, através do ajuste de frequência respiratória mandatória; a ciclagem ocorre pelo mesmo mecanismo, ou seja, a tempo, de acordo com

o tempo inspiratório programado, sendo o fluxo uma variável dependente da demanda e da mecânica pulmonar do paciente. O modo assistido controlado, ocorre da mesma maneira, mas o paciente consegue deflagrar o ciclo pelo ajuste de sensibilidade, sendo esta última configurada de duas maneiras: a pressão ou a fluxo. Caso o paciente não realize um esforço inspiratório suficiente para deflagrar um ciclo, de acordo com os ajustes de sensibilidade, o ventilador ofertará um novo ciclo controlado, respeitando a janela de tempo correspondente ao ajuste de frequência respiratória mandatória.

A modalidade VCV também disponibiliza desses dois modos: controlado e assistido controlado. O ciclo se inicia a tempo, a ciclagem primariamente a volume e o fluxo é constante, ofertado nas formas de onda do tipo quadrada ou desacelerada; em relação aos ciclos assistidos, do modo assistido controlado, o mecanismo de disparo é semelhante a modalidade PCV.

Na modalidade PSV é um modo de ventilação espontânea em que o ventilador assiste o ciclo através da manutenção de uma pressão positiva pré-determinada durante a inspiração até que o fluxo inspiratório reduza-se a um nível crítico, normalmente 25% do pico do fluxo inspiratório atingido. Isto permite que o paciente controle a frequência respiratória e o tempo inspiratório e, dessa forma, o volume de ar inspirado. Assim, o volume corrente depende do esforço inspiratório, da pressão de suporte estabelecida e da mecânica do sistema respiratório. Como desvantagem, este modo funciona apenas quando o paciente apresenta drive respiratório (MELO *et al*, 2014).

3.3. Os ventiladores makers alternativos e limitações

Devido a pandemia do novo coronavírus, diversos centros de pesquisas iniciaram a produção de respiradores de baixo custo, como alternativa em relação ao uso dos ventiladores mecânicos tradicionais.

No Brasil há projetos que estão desenvolvendo respiradores, alguns já em fase de testagem. O programa de engenharia biomédica da Universidade Federal do Rio de Janeiro desenvolveu o Ventilador Pulmonar de Exceção para o COVID-19. Ele é composto por um pressurizador estático, uma válvula de PEEP, reguladores de pressão e rotâmetros para ajuste de vazão de gás, uma válvula solenóide (“tudo ou nada”) acionada para controlar frequência respiratória e tempo inspiratório/ tempo expiratório, e um filtro HME (COPPE UFRJ, 2020). Na Universidade de São Paulo foi desenvolvido o ventilador mecânico Inspire, composto por Ambu, tubo de traqueia, válvula unidirecional de CPAP com acoplamento para válvula PEEP, e uma válvula PEEP. Mesmo sendo construído a partir de materiais

já utilizados nos respiradores mecânicos, apresenta limitações como a impossibilidade de ajuste fidedigna de FiO_2 e de pressões (POLI USP, 2020). Contudo, mesmo esses ventiladores sendo construídos com equipamentos semelhantes aos dos respiradores tradicionais, eles não abrangem todas as recomendações da AMIB (BARBAS *et al.*, 2013).

É importante destacar que para o funcionamento de um ventilador mecânico uma quantidade de parâmetros devem ser controlados, como por exemplo: pressão, fluxo, volume, tempos de inspiração e expiração, pausas e etc. Estas variáveis podem ser agrupadas em classes independentes e algumas se relacionam, como fluxo e volume, por exemplo, deve ser possível aumentar o volume por minuto sem alterar os tempos de inspiração e expiração, isso é possível pelo fato de os tempos não estarem relacionados com a taxa de fluxo. Quando se automatiza o ambu, cria-se uma dependência de todas as variáveis do sistema pelo vínculo do aparato mecânico (reservatório), neste caso, passa a existir uma correlação entre fluxo, tempo de inspiração, tempo de expiração e delta e isso nos impede de mudar variáveis de forma independente como o exemplo acima. Este tipo de mecanismo limita as possibilidades de configurações em muitos graus, restringindo fortemente o uso de equipamentos como esses nas mais diversas situações clínicas.

4. O Air-TRON

O Air-TRON surge como uma alternativa de ventilador mecânico com tecnologia simples, robusta e capaz de atender a todas as exigências mínimas para entrar em operação emergencial de combate ao COVID-19. Foi desenvolvido com técnicas de robótica e controle assistido controlado, com margem de redundância de três níveis, facilmente fabricado.

Criado pela Startup TRON Robótica, que atua no desenvolvimento de P&D e educação com *know-how* em robótica aplicada, conta com a assessoria de vários pesquisadores, Universidade Federal do Delta do Parnaíba, Universidade Federal do Piauí e CREFITO-14.

Segundo as recomendações mínimas da Associação de Medicina Intensiva Brasileira (AMIB) em conjunto com a Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia (SBPT) nas Diretrizes de Ventilação Mecânica (2013), existem 3 tipos básicos de ventiladores mecânicos. O primeiro tipo corresponde aos ventiladores com recursos básicos, que possuem um ou dois modos básicos sem curvas, com função predominantemente de transporte de pacientes. O segundo grupo corresponde aos ventiladores básicos com curvas, apresentam os modos básicos de ventilação (VCV, PCV, PSV) e gráficos de volume, fluxo e pressão. Já a última classe de ventiladores é representada pelos ventiladores com recursos e curvas avançados, que abrange modos de duplo controle ventilatório, outros modos de ventilação e monitorização de como medida de trabalho e capnometria volumétrica (BARBAS *et al.*, 2013).

Esta mesma Diretriz recomenda que ventiladores utilizados em ambiente hospitalar possuam, pelo menos, controle de volume corrente expirado, monitorização de pressão inspiratória e um misturador de gases (*blender*) acoplado. Além dos componentes supracitados os que serão utilizados em ambiente de Unidade de Terapia Intensiva (UTI) contenham monitorização de curva pressão-tempo e alarmes de pressão de vias aéreas máxima e mínima, a fim de detectar possíveis desconexões ou apneia. (BARBAS *et al.*, 2013; WALTER, CORBRIDGE, SINGER, 2018). Abaixo, segue uma tabela que faz um paralelo entre os critérios sugeridos pela Diretriz e o Air-Tron:

Características mínimas recomendadas pela AMIB	O Air-Tron
Controle de volume corrente expirado	Obtido de forma indireta por meio do cálculo do volume inspirado e taxa de despressurização do pulmão. Possibilidade de instalação de um sensor de fluxo exclusivo para inspiração, caso a acurácia com os procedimentos anteriores não sejam suficientes.
Monitorização básica (no mínimo de pressão inspiratória)	Monitorização de pressão inspiratória e expiratória e válvula de segurança para pressão máxima de trabalho.
Misturador de gases (<i>blender</i>)	Componente externo ao ventilador
Monitorização de curvas (pelo menos pressão-tempo)	Monitorização das curvas de pressão-tempo, volume-tempo, fluxo-tempo, peep-média e pressão de inspiração média
Alarmes (pelo menos de pressão de vias aéreas máxima e mínima, para detecção de apnéia e desconexão)	Monitorização de alarmes para pressão máxima, pressão mínima, apneia, desconexão e uma série de outras possibilidades.

O Air-Tron é um ventilador mecânico alternativo que conta com os modos mínimos de operação para desempenhar as funções de respiração mecânica. O protótipo disponibiliza as modalidades: Pressão Controlada (PCV), Volume Controlado (VCV), divididos em quatro modos: controlado a volume, controlado a pressão, assistido controlado a volume, assistido controlado a pressão e a modalidade por pressão de suporte (PSV). Neste último exige uma autonomia ventilatória, pois a deflagração do ciclo depende necessariamente

do drive respiratório do paciente. Com isso, o Air Tron é pertencente ao grupo de ventiladores que comporta os modos ventilatórios convencionais, variáveis de controle e limites de segurança, gráficos e curvas seguindo as recomendações mínimas da AMIB e SBPT.

Essa versatilidade possibilita que o profissional adeque o modo ventilatório de acordo com o estado clínico e hemodinâmico do paciente, o que possibilita menor ocorrência e a correção efetiva de assincronias, proporcionando o melhor manejo do quadro clínico do paciente, como a evolução de acordo com o prognóstico.

4.1 Siglas

ADU - modo ventilatório adulto

Cdyn - complacência dinâmica

Cst - complacência estática

FA - função ambu (sistema bolsa-
válvula-máscara)

FE - faixas etárias

F - sexo feminino

FIO₂ - Fração inspiratória de oxigênio.

FL - fluxo

FR - frequência respiratória

MA - máximo(a)

MI - mínimo(a)

M - sexo masculino

NEO - modo ventilatório neonatal

PC - pressão controlada

PED - modo ventilatório pediátrico

PEM - pausa expiratória manual

PE - PEEP

PI - pausa inspiratória modo UCU

PIM - pausa inspiratória manual

PPI - pressão de pico

P_{plat} - pressão de platô

Raw - resistência

S - sexo

ST - stand-by

TE - tempo expiratório

TI ou T_{insp} - tempo inspiratório

TS - tempo de subida

VT - volume corrente

VT_c - volume corrente ideal

VT_e - volume corrente expiratório

VT_i - volume corrente inspiratório

VT_r - volume corrente real

4.2 Variáveis de entrada

Variáveis de entrada são os valores que devem ser inicialmente configurados a fim de permitir o funcionamento inicial do ventilador e o cálculo de outras variáveis tais como volume corrente ideal (VTi), o volume corrente real (VTr), a Pressão de Platô (P_{plat}), a Complacência Estática (Cst), a Complacência Dinâmica (Cdyn) e Resistência (Raw).

4.2.1 Modo PCU

- Faixa etária
- neonatal (até 28 dias)
- pediátrica (29 dias - 9 anos, 11 meses e 29 dias)
- adulta (acima de 10 anos)
- Sexo (Masculino - M- e Feminino - F);
- Altura (H);
- Pressão Controlada (PC)
- PEEP (PE);
- Tempo de Inspiração (Tinsp);
- Frequência Respiratória (FR);
- Sensibilidade;
- Tempo de Subida - Rise Time (TS);

4.2.2 Modo UCU

- Sexo (Masculino - M- e Feminino - F-);
- Altura (H);
- PEEP (PE);
- Frequência Respiratória (FR);
- Fluxo (FL);
- Volume Corrente (VT);
- Sensibilidade;

4.3 Variáveis ajustáveis

As variáveis ajustáveis são aquelas modificáveis após o funcionamento do ventilador a depender do quadro clínico e da resposta do paciente após a instituição da ventilação mecânica.

4.3.1 Modo PCU

- Tempo de Inspiração (T_{insp});
- Pressão Controlada (PC);
- Frequência Respiratória (FR);
- PEEP (PE);
- Tempo de subida (TS);
- Fração de O_2 inspirada (FIO_2);
- Sensibilidade: a fluxo ou a pressão;

4.3.2 Modo UCU

- Volume Corrente (VT);
- Fluxo (FL);
- Frequência Respiratória (FR);
- PEEP (PE);
- Pausa Inspiratória (PI);
- Fração de O_2 inspirada (FIO_2);
- Sensibilidade: a fluxo ou a pressão;

4.4 Variáveis Calculadas

As variáveis ajustáveis são aquelas modificáveis após o funcionamento do ventilador a depender do quadro clínico e da resposta do paciente após a instituição da ventilação mecânica.

4.4.1 Modo PCU

- $VT_i = 6 \times [(M \text{ ou } F) + 0,91 \times (H - 152,4)]$; em que VT_i é o volume corrente ideal, M (sexo masculino) = 50, F (sexo feminino) = 45,5 e o H é corresponde à altura do paciente em centímetros;
- $TE = 60 - (FR \times T_{insp}) / FR$; em que TE é tempo de expiração, FR é frequência respiratória e T_{insp} é tempo de inspiração;
- Pressão de Platô = Pressão de pausa inspiratória - PEEP;
- Complacência Estática = $VT / \text{Pressão de Platô} - PEEP$;
- Complacência Dinâmica = $VT / \text{Pressão de Platô} - PEEP$;
- Resistência = $(\text{Pressão de Pico} - \text{Pressão de Platô}) / \text{Fluxo}$.

4.4.2 Modo UCV

- $VTi = 6 \times [(M \text{ ou } F) + 0,91 \times (H - 152,4)];$
- $VTr = \text{Volume Inspiratório} + \text{Volume Expiratório}$
- $\text{Pressão de Platô} = \text{Pressão de pausa inspiratória} - \text{PEEP};$
- $\text{Complacência Estática} = VT / \text{Pressão de Platô} - \text{PEEP};$
- $\text{Complacência Dinâmica} = VT / \text{Pressão de Platô} - \text{PEEP};$
- $\text{Resistência} = (\text{Pressão de Pico} - \text{Pressão de Platô}) / \text{Fluxo}.$

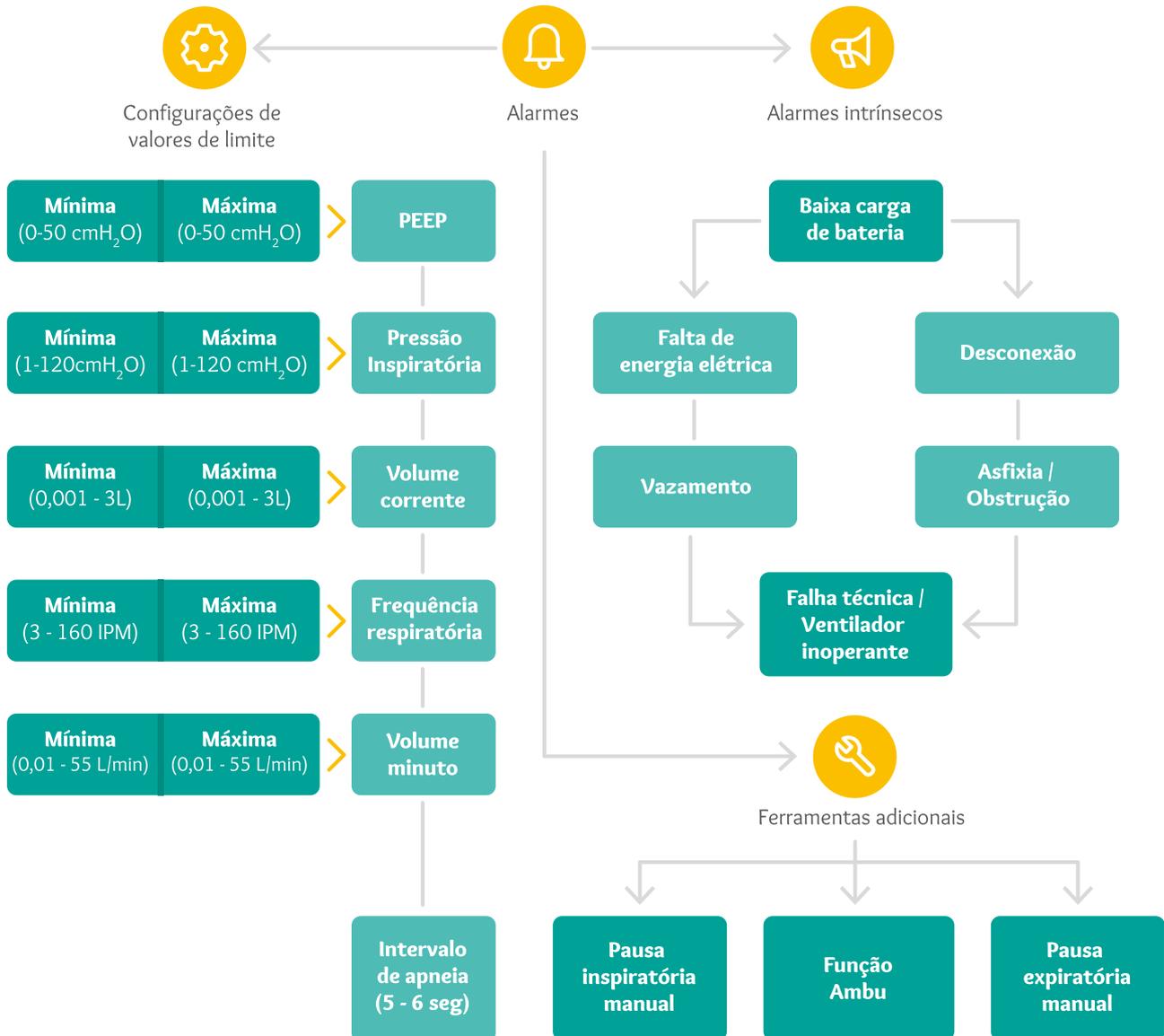
4.5 Alarmes

4.5.1 Alarmes configuráveis

- Silêncio de Alarme/Pausa: 60 a 120 s
- PEEP menor que a estabelecida (0-50 cmH₂O)
- PEEP maior que a estabelecida (0-50 cmH₂O)
- Pressão inspiratória máxima (10 - 120 cmH₂O)
- Pressão inspiratória mínima (1 - 99 cmH₂O)
- Volume corrente máximo (0,001- 3 L)
- Volume corrente mínimo (0,001- 3 L)
- Frequência respiratória alta (3- 160 ipm)
- Frequência respiratória baixa (3- 160 ipm)
- Volume minuto alto (0,01- 55 L/min)
- Volume minuto baixo (0,01- 55 L/min)
- Intervalo de apnéia :5 a 60 s

4.5.2 Alarmes intrínsecos

- Baixa Carga de Bateria
- Falta de energia elétrica
- Desconexão
- Vazamento
- Stand-by
- Alarme de asfixia/ obstrução
- Falha Técnica / Ventilador Inoperante
- Frequência respiratória baixa (3- 160 ipm)
- Volume minuto alto (0,01- 55 L/min)
- Volume minuto baixo (0,01- 55 L/min)
- Intervalo de apnéia :5 a 60 s



4.6 Fração Inspirada de Oxigênio

Aferição da Fração Inspirada de Oxigênio (FiO₂) se dará por meio de sensores que demonstrarão a FiO₂ na mistura de oxigênio e ar comprimido gerada externamente. Podendo ser ajustada pelo ajuste de gases externos.

5. Funcionamento

5.1 Fase de montagem

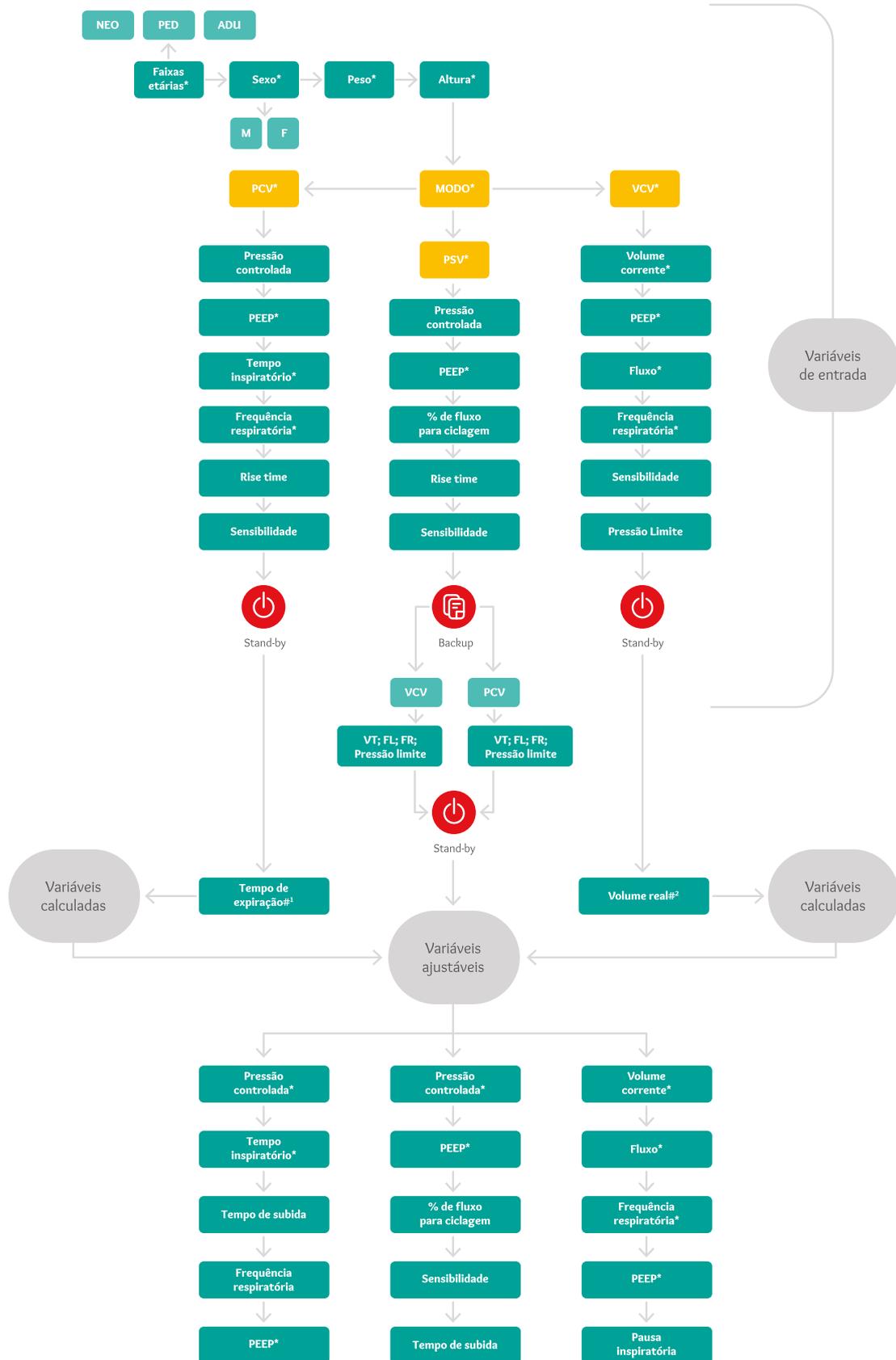
- Instalação da case principal com alimentação de 110/220 volts e encaixe das traqueias;
- Acoplamento do *display* de suporte;
- Acoplamento e acionamento do ar comprimido e oxigênio;

5.2 Fase de calibração

- Iniciar o sistema e acionar a auto calibragem;

5.3 Fase de operacional

- Após ligado, inicialmente deve-se configurar as variáveis de entrada. As três primeiras (faixa etária, sexo, peso e altura) são comuns a ambos os modos ventilatórios. Após configura-se a modalidade ventilatória a ser escolhida, a partir daí, serão caracterizados parâmetros distintos.



6. O display

O Air-TRON conta com dois *displays*: *display* gráfico de LCD e *display* de 4 segmentos. Neste poderá ser visualizado numericamente e modificadas as seguintes variáveis: o Volume Corrente (VT) real, Volume expiratório, Volume Inspiratório, Pressão no Final da Expiração (PEEP), Pressão Inspiratória (P_{insp}), Frequência Respiratória (FR), Tempo Inspiratório (TI) e Relação de tempo Inspiratório/Expiratório (I:E).

Já no *display* gráfico de LCD poderá ser visualizado e modificado todas as variáveis, além de visualização dos gráficos volume x tempo, pressão x tempo e fluxo x tempo.

7. Diferenciais e limitações do air-tron

Como consequência da pandemia, uma série de itens e tecnologias utilizadas nos ventiladores mecânicos se tornaram escassos, dificultando o desenvolvimento de equipamentos alternativos. Dessa forma, faz se necessário a criação de componentes e tecnologias novas, acessíveis e abundante em território nacional o que pode limitar algumas funções nos novos modelos de ventiladores. Por outro lado, são em momentos de crise como este que surgem novas ideias e o resultado pode ser a descoberta de aplicações criativas e técnicas para solucionar problemas. A seguir, algumas características relevantes e também algumas limitações do Air-TRON frente às possibilidades de aquisições tecnológicas.

7.1 - Diferenciais:

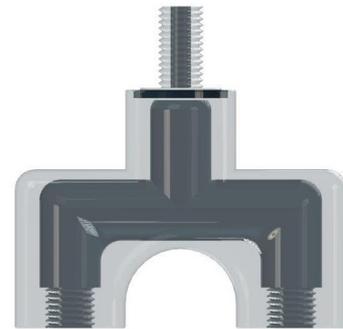
- Produzido com materiais de baixo custo e grande disponibilidade;
- Sensores de fluxo, O₂/CO₂ e pressão duplicados;
- Suporte para monitor ;
- Suporte para telemedicina e monitor *touch screen*;
- Dois *displays*;
- Capnógrafo;

7.2 - Limitações:

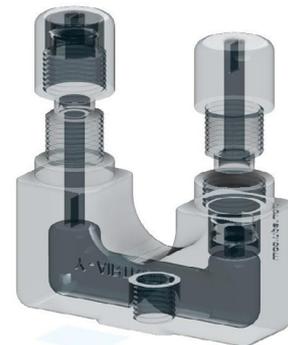
- Indisponibilidade de *Blender* para automação de FiO₂ (protótipo atual);
- Indisponibilidade de monitor com imagens coloridas, *touch screen* embarcado;

8. Componentes - 3D estrutural

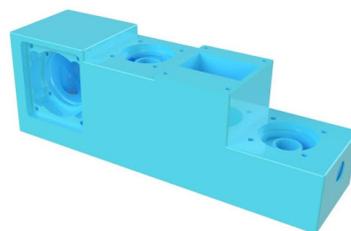
Tubo em Y simples com suporte para conexões do Air-TRON.



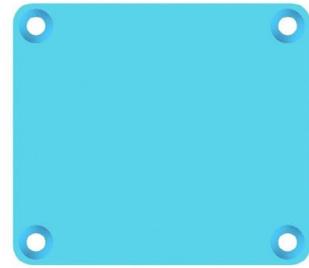
Tubo em Y com sistema de válvula unidireccional de fluxo.



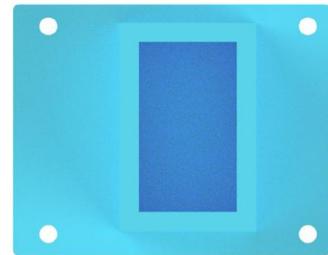
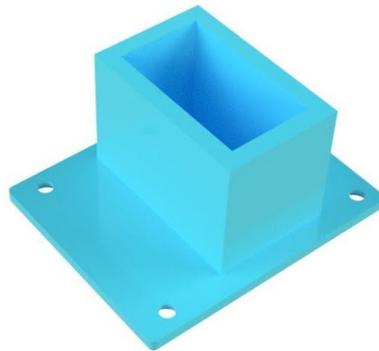
LIS é um composto de conexões que interligam todo o fluxo aerodinâmico, válvulas sensores e passagem de gases.



Tampa sensor de
fluxo da LIS.



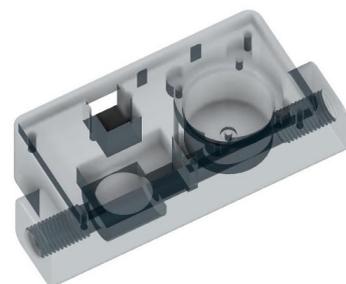
Tampa sensor de
pressão da LIS.



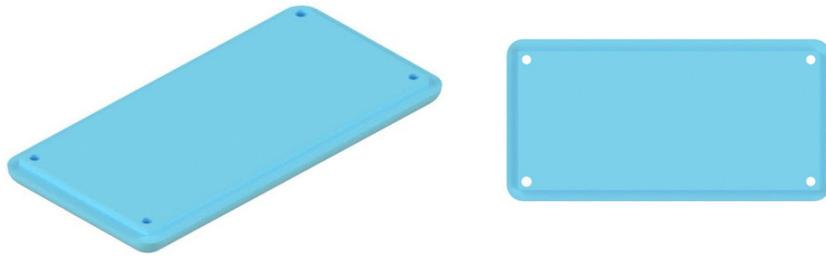
Capa suporte com
refrigeração para o
mecanismo central
do ventilador.



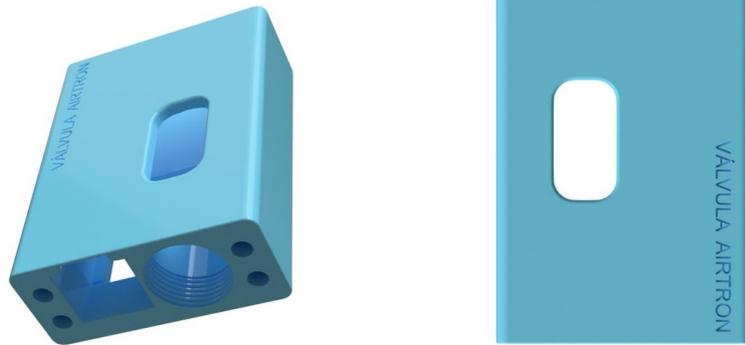
Sistema de leitura
expiratório com
capnógrafo.



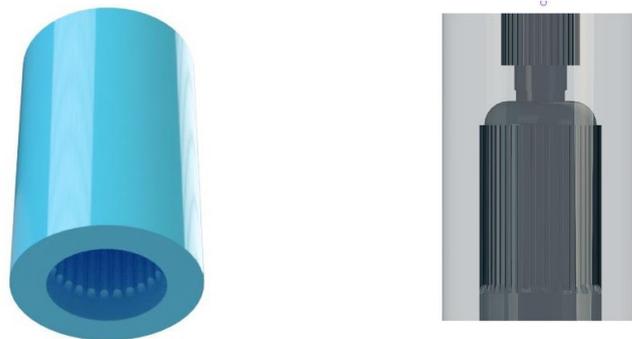
Capa do capnógrafo.



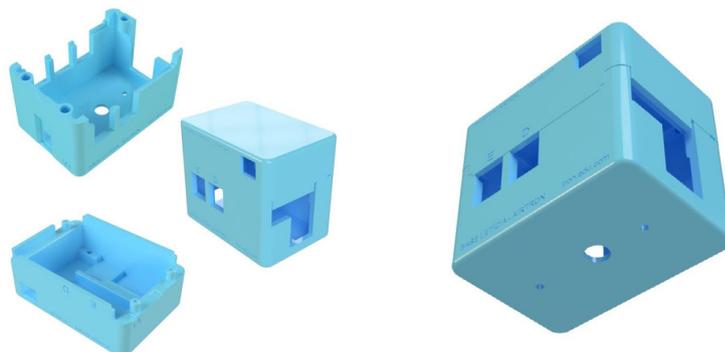
Suporte para servo motor válvula transiente.



Luva para conexão da válvula transiente.



Suporte para placa turboleticia.



Tubos de suporte
e conexão.



Conector para
recepcionar
traqueias de
silicone padrão



Conector para
recepcionar mangueira
padrão de ar comprimido.



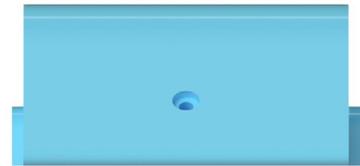
Conector para
recepcionar
mangueira padrão
de oxigênio.



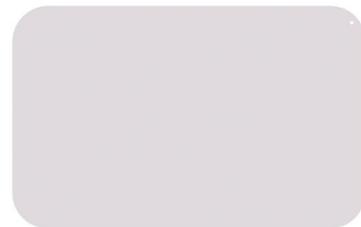
Botão seletor.



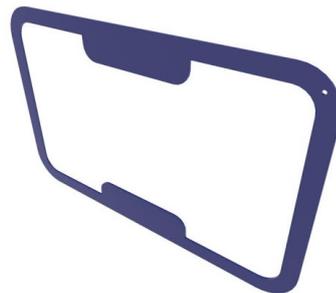
Suporte canto
da case.



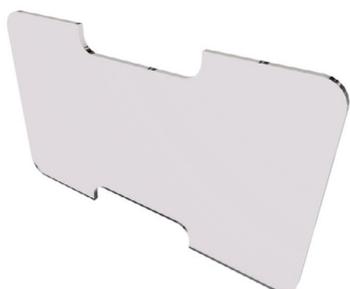
Tampa traseira da
case em acrílico.



Suporte para placa
turboletícia.



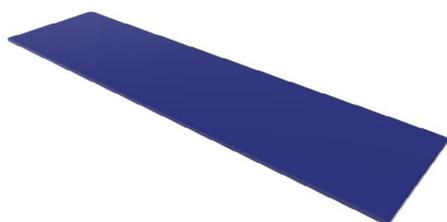
Tampa em acrílico,
parte da frente.



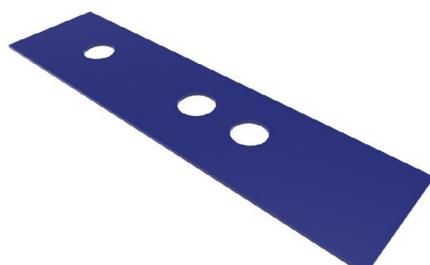
Suporte
da case.



Suporte de
fechamento
superior e inferior
da case.



Suporte de
fechamento
lateral da case



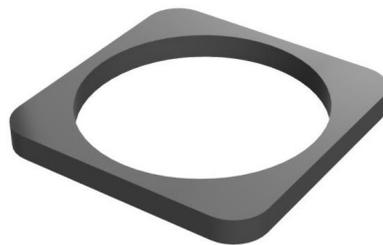
Junta em TPU para
válvula unidireccional
de fluxo.



Junta em TPU para
tubos quadrados;



Junta em TPU para
conectores;



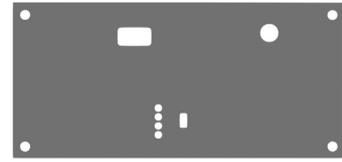
Junta em TPU
para tubos;



Junta em TPU
para válvula.



Junta em TPU para
capnógrafo.



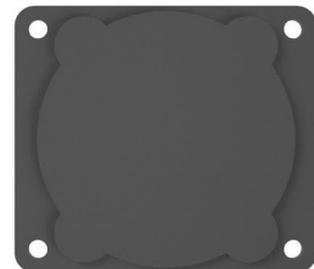
Junta em TPU
para Lis.



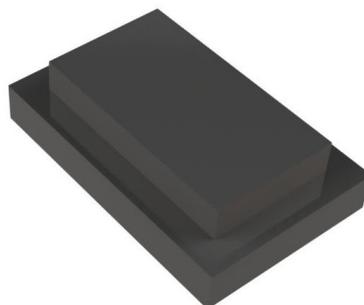
Junta em TPU
para tampa
de sensor de
pressão Lis.



Junta em TPU para
tampa de sensor
de fluxo Lis.



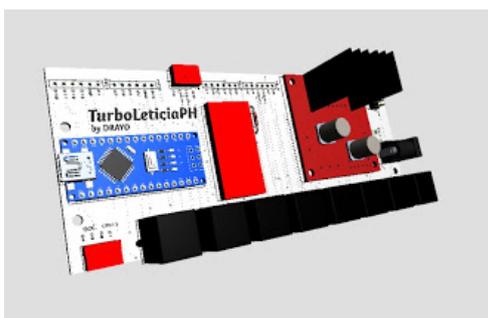
Junta em TPU
para tampa
de sensor de
pressão Lis.



9. Funcionamento elétrico / Geral

O Air-Tron possui 05 (cinco) placas de circuito impresso (PCB), desenvolvidas sob medida para facilitar o processo de montagem e manutenção, além de reduzir o risco de erros eminentes a conexões cabeadas por jumpers, falhas em soldas e problemas semelhantes.

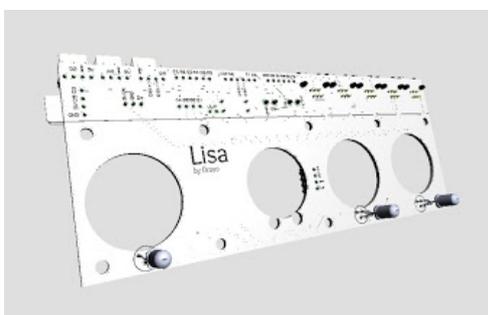
1 - A placa TurboLetícia agrupa os principais componentes elétricos e de controle lógico do Air-Tron. Com um microcontrolador Arduino Nano 3.0, executa todo o processo controle e acionamento do dispositivo e conversa com todos os demais periféricos atrelados ao respirador.



Componentes:

01 Arduino Nano V3.0;
08 conexões RJ11;
01 Ponte H - L298N;
01 Jack P4 (12V);
conexões alternativas para cabo flat / KK

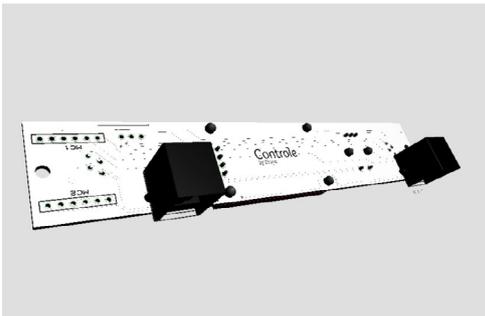
2 - A placa Lisa facilita a montagem do módulo eletromecânico (LIS), favorecendo a rápida conexão dos componentes adjacentes.



Componentes:

03 LED's RGB;
04 Conexões RJ11;
Conexões alternativas para cabo flat / KK

3 - A placa Controle, foi desenvolvida para facilitar a conexão do módulo básico de interatividade de Entrada e Saída (E/S) do Air-Tron.

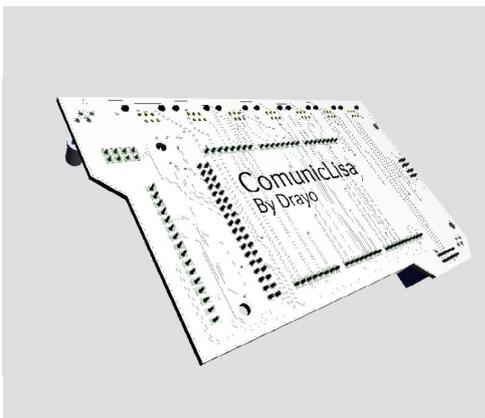


Componentes:

- 01 *Display* 4 segmentos;
- 01 Potenciômetro analógico;
- 02 Conexões RJ-11;
- 01 Push button;
- conexões alternativas para cabos flat / KK

4 - A placa ComunicLisa faz parte do módulo adjacente ao Air-Tron, foi desenvolvida para possibilitar uma melhoria no processo de configuração rápida do respirador, possui uma tela LCD com resolução de 128x64px o que favorece a visualização de dados, gráficos e configuração de funcionamento do dispositivo, além de agregar uma conexão cabeada com os dispositivos de sensoriamento redundantes e armazenamentos de logs de funcionamento e configurações em cartão de memória.

Possui um módulo *Ethernet* que realiza conexão do Air-Tron com a *Internet* (opcional), com isso, serviços de Telemedicina, IoT (Internet das Coisas) e controle por meio de *tablets*, *smartphones* e computadores são incorporados ao Air-Tron (com o devido controle acesso e criptografia dos dados).



Componentes:

- 07 Conexão RJ11;
- 02 LED RGB;
- 01 *Display* LCD 128x64px;
- 01 Botão com encoder rotativo;
- 01 *Buzzer*;
- 01 Botão de emergência;
- 01 Leitor de SD-Card
- Conexões para cabo flat;

10. Componentes e sensores

Sensor de fluxo YF-201b

O sensor de fluxo YF-201b é utilizado normalmente para mensurar o fluxo de determinados líquidos, no Air-Tron com adaptações matemáticas é aplicado para calcular o fluxo de massa de ar no sistema, seu uso foi determinado pela precisão, resistência, abundância no mercado e preço acessível.



DADOS TÉCNICOS	
PARÂMETRO	VALOR
Modelo	YF-201b
Tipo de sensor	Efeito Hall
Tensão de operação	5-24V
Corrente máxima	15mA (5V)
Pulsos por litro	450
Faixa de fluxo:	1-30L/min
Pressão máxima	2,0 MPa
Frequência (Hz)	7,5*Fluxo(L/min)
Temperatura de trabalho	-25 a 80°C
Erro	10%
Comprimento do cabo	15cm
Dimensão conexão	1/2
Dimensão diâmetro interno	0,78
Dimensão externa	2,5 x 1,4 x 1,4

Fonte: <https://www.hobbytronics.co.uk/datasheets/sensors/YF-S201.pdf>

Sensor de oxigênio (sensor de gás MQ - 135)

Sensor de detecção de gás MQ - 135 (digital e analógico), é calibrado no Air-Tron para detecção da saturação de oxigênio no sistema, é um sensor preciso, resistente, de fácil aquisição e preço acessível.



DADOS TÉCNICOS	
PARÂMETRO	VALOR
Módulo sensor de gás	MQ-135
Alimentação:	5VDC
CI	LM393
Saídas	Digital e analógica
Dimensões	40 x 25 x 22mm

Fonte: <https://www.olimex.com/Products/Components/Sensors/Gas/SNS-MQ135/resources/SNS-MQ135.pdf>

Sensor de pressão analógico - BMP180:

O sensor BMP180 é utilizado para medir a pressão interna do sistema, seu tamanho, extrema precisão, compatibilidade e preço, foram fatores relevantes para a escolha.



D A D O S T É C N I C O S					
PARÂMETRO	CONDIÇÃO	MIN	TÍPICO	MÁX	UND
Range de operação - Pressão	Alta precisão	300	---	1100	hPa
Tensão de alimentação do sensor	Ondulação máx. 50mVpp	1.71	1.8	3.6	V
Corrente de alimentação	Modo forçado de 1 Hz, pressão e temperatura, menor alimentação	---	2.8	4.2	µA
Corrente de pico	Durante medição de pressão	---	720	1120	µA
Precisão relativa - Pressão	700 ... 900hPa (VDD = 3.3V)	---	±0.12	---	hPa
Precisão absoluta - Pressão	300 ... 1100 hPa 0 ... 65°C	---	±1.0	---	hPa
Tempo de medição	Alimentação baixa		5.5		ms
Interface de conexão		I ² C, SPI			
Dimensões		3.6 × 3.8 × 0.95 mm ³			

fonte: <https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bmp280-ds001.pdf> (datasheet)

Válvula solenóide 12v NF

A Válvula solenóide 12V é um dispositivo atuador, ao receber um pulso de trabalho (digital), seu circuito é acionado e pode liberar/bloquear o fluxo de ar / líquidos, um dos fatores primordiais para o seu uso no Air-Tron foi a sua resistência em testes de alta ciclagem, além de sua característica unidirecional, que é aproveitada como parte do sistema de segurança do dispositivo.



DADOS TÉCNICOS	
REFERÊNCIA	DESCRIÇÃO
Materiais	Partes metálicas: aço zincado; Membrana: borracha (padrão); Terminais: latão;
Pressão de operação	De 0.2 à 8 kgf/cm ² A 0.2 kgf/cm ² , vazão mínima = 7 l/min; À 8 kgf/cm ² , vazão máxima = 40 l/min;
Rigidez Dielétrica	1.500Vca – 1 min
Tipo de Terminal (alimentação)	Faston 6,3mm x 0,8mm
Tensão bobina	12V

Fonte: <https://multilogica-shop.com/v%C3%A1lvula-solen%C3%B3ide-12v-34>

Servo motor digital 20 kg/cm (metal) - DS3218

Utilizado para o acionamento da válvula transiente de fluxo de ar do Air-Tron, o Servo motor digital - DS3218, apresentou um excelente resultado em sua aplicação pelo torque, velocidade, precisão e resistência.

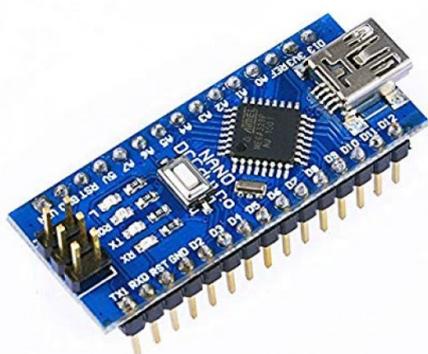


DADOS TÉCNICOS					
PARÂMETRO	CONDIÇÃO	MIN	TÍPICO	MÁX	UNID
Torque:	VCC (5v)	---	---	20	kg/cm
ngulo de operação:	normal	0	---	360	deg
Peso:	normal	0	60	---	g
Velocidade:	VCC (5v)	---	0.16	---	sec/60°
Tensão:	operacional	4.8	5.0	6.8	V
Corrente:	operacional	80	---	100	mA
Corrente :	carregado (6.8v)	---	1.8	---	A
Corrente:	ociosa	---	4	---	4mA
Faixa de largura de pulso:	normal	500	---	2500	µseg
Dimensões:	---	---	40x20x40.5	---	mm

Fonte: <http://digipark.org/product/ds3218-20-kg-cm-large-torque-digital-servo>

Arduino Nano V3.0

O Air-Tron utiliza um microcontrolador open source Arduino Nano, conectado a uma Shield TurboLetícia. O Arduino é uma placa controladora bastante prática e robusta para o tipo de aplicação do Air-Tron.



DADOS TÉCNICOS	
REFERÊNCIA	DESCRIÇÃO
Microcontrolador:	ATmega328
Tensão de Operação:	5V
Tensão de Entrada:	7 - 12v
Portas Digitais:	14 (6 PWM)
Portas Analógicas:	8
Corrente nos pinos I/O:	40mA
Memória Flash:	32KB (2K bootloader)
SRAM:	2K
EEPROM	1KB
Velocidade Clock	16MHz
Conectores	05

Fonte: <https://www.microchip.com/>

Ethernet Shield W5500

O módulo Ethernet W5500 é conectado a um Arduino Mega auxiliar utilizado para realizar a conexão com servidor local/remoto via protocolo IoT (MQTT/AMQP) para realizar o envio/recepção dos dados do Air-Tron.



DADOS TÉCNICOS	
REFERÊNCIA	DESCRIÇÃO
Controlador:	W5500
Versão:	1.0
Tensão:	3.3V-5V
Conector tipo:	Jumper
Conexão:	RJ45
Protocolos	TCP/IP, UDP, ICMP, IPv4, ARP, IGMP e PPoE
Dimensões:	71 x 53 x 14mm

Fonte: <https://www.arduinoocia.com.br/data-logger-ethernet-shield-w5500/>

Fonte 12V - 3A (bivolt)

Fonte 12V - 3A (bivolt) é utilizada para alimentação de todo o sistema, resistente, bivolt e de fácil acesso no mercado.

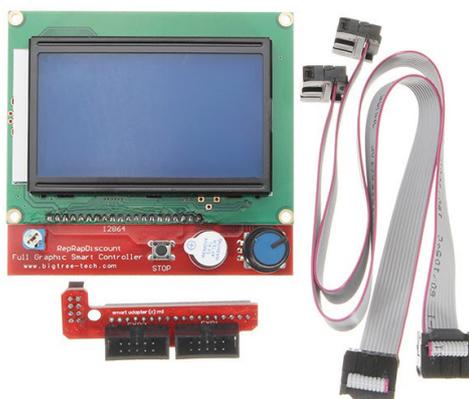


D A D O S T É C N I C O S

REFERÊNCIA	DESCRIÇÃO
Tensão de Entrada:	110 - 220v
Tensão de Saída:	12v
Corrente de Saída:	3A

Display Gráfico LCD - 128x64

O *display* gráfico LCD faz parte do conjunto do módulo transmissor/receptor de dados IoT, utilizado para realizar controle de configuração e visualização dos dados do AirTron, possui um LCD digital com resolução de 128x64px, botão com encoder rotativo para facilitar o controle do dispositivo, além de *buzzer* para emissão de alarmes e possibilita o uso de SD-Cards para o armazenamento dos dados em tempo real.

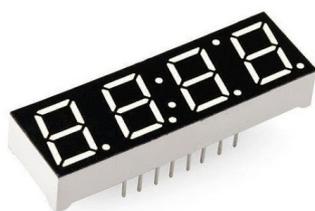


Dispositivos auxiliares

Dispositivos auxiliares para interação com usuário e *neurofeedback*: *display* de 4 segmentos, *pushbutton* e potenciômetro.



PushButton



Display de 4 segmentos



Potenciometro 100k



LED RGB

11. Especificações técnicas e ambientais

11.1 - Case Principal

- ALIMENTAÇÃO: 12 Volts CC
- TEMPERATURA OPERACIONAL: 70 graus
- TEMPERATURA DE ARMAZENAMENTO: 60 graus
- FORNECIMENTO DE ENTRADA DE OXIGÊNIO: Canalização
- FORNECIMENTO DE ENTRADA DE AR COMPRIMIDO: Canalização

- CATEGORIA DE PACIENTES:
 1. Neonatal;
 2. Pediátrico;
 3. Adulto;

- MODALIDADE VENTILATÓRIAS
 1. PCV CONTROLADO E ASSISTIDO CONTROLADO;
 2. VCV CONTROLADO E ASSISTIDO CONTROLADO;
 3. PSV;

- VARIAÇÃO DE PARÂMETROS AJUSTÁVEIS
 1. VT: 5 a 2500 ml
 2. Pausa inspiratória: 0 - 2 segundos
 3. Onda de fluxo: rampas constantes (quadrada), desacelerada em 50% e desacelerada em 100%;
 4. Pressão Controlada: 2 a 100 cmH₂O
 5. Volume Minuto: 1 a 50 L/min
 6. Frequência Respiratória: 1 a 150 ipm
 7. PEEP: 0 a 50 cmH₂O
 8. Fluxo Inspiratório: 0,5 a 180 L/min
 9. Tempo Inspiratório: 0,1 a 30 segundos
 10. Relação I:E: 5:1 a 1:499
 11. Fluxo Contínuo: 2 a 10 L/min
 12. Pausa Inspiratória Manual: 7 segundos
 13. Pausa Expiratória Manual: 20 segundos

14. Tempo de Subida (Rise Time): rampa
15. SENSIBILIDADE
16. Pressão: - 20 a - 0,5 cmH₂O
17. Fluxo: 0,2 a 15 L/min

12. Conclusão

Mesmo com as dificuldades de acesso a matérias primas para o desenvolvimento de respiradores mecânicos, durante a pandemia, o Air-TRON é um ventilador mecânico maker eletricamente estável, que disponibiliza das modalidades ventilatórias convencionais, sendo apto a viabilizar uma ventilação mecânica segura, auxiliando na terapêutica de pacientes graves com COVID-19. Contudo, o protótipo segue em aprimoramento, buscando reduzir as limitações e inserir modalidades ventilatórias avançadas.

13. Equipe

13.1. Coordenação

Proponente/Coordenador Geral: Gildário Dias Lima

Titulação: Doutor | Instituição: UFDPAr | Vinculação: Curso de Matemática

13.2. Equipe técnica

Nome: Maria das Graças Freire de Medeiros

Titulação: Doutora em Farmácia | Instituição: UFPI

Vinculação: Curso de Farmácia

Nome: Anna Caroline Brandão da Costa

Titulação: Médica Clínica Geral | Instituição: Tron

Nome: Laisa Aguiar Paiva

Titulação: Médica Clínica Geral | Instituição: Tron

Nome: Marcelo Mesquita

Titulação: Doutorando | Instituição: Renorbio

Nome: Aline Rodrigues de Araújo

Titulação: Doutor em Biotecnologia | Instituição: UFDFPar

Nome: Illana Jéssica Mauriz Pereira Sá

Titulação: Fisioterapeuta/ Mestre em Biotecnologia | Instituição: UFDFPar

Nome: Andrea Oliveira da Silva

Titulação: Fisioterapeuta Pós-graduada em Terapia Intensiva | Instituição: Tron

Nome: Alyne Rodrigues de Araujo – Biotec/UFDFPar;

Titulação: Doutora em Biotecnologia | Instituição: UFDFPar;

Nome: Lucas do Nascimento Fontenele

Titulação: Graduando em Ciências da Computação | Instituição: Tron

Nome: Gregório Magno Marinho Pereira Neto

Titulação: Graduando em Ciências da Computação | Instituição: Tron

Nome : Augusto Trajano

Titulação: Designer de Produto | Instituição: Tron

Nome : João Henrique Silva Santos

Titulação: Analista de Sistemas | Instituição: Tron

Nome: Edisaac Souza Saraiva

Titulação: Graduando em Administração | Instituição: Tron

Nome: Duana de Souza Cunha

Titulação: Administradora | Instituição: Tron

Nome: Eliaquim Lima Alves

Titulação: Designer | Instituição: Tron

Nome: Sterphany Farache de Paiva

Titulação: Designer | Instituição: Tron

Nome: Gerson Victor Vieira Fontenele da Silva

Titulação: Graduando em Ciências da Computação | Instituição: Tron

13.3 Colaboradores

Nome: Lina Clara Gayoso e Almendra Ibiapina Moreno

Titulação: Doutora | Instituição: UFPI

Nome: Ramondnil de Moura Santos

Titulação: Médico Gastroenterologista

Nome: Patrícia Severino

Titulação: Doutora em Engenharia Química

Instituição: UNIT/ Instituto de Tecnologia e Pesquisa

Nome: Juliana Cordeiro Cardoso

Titulação: Farmacêutica | Instituição: UNIT/ Instituto de Tecnologia e Pesquisa

Nome: Fábio Rocha Barbosa

Titulação: Doutor | Instituição: UFPI - Universidade Federal do Piauí

Nome: Alan Jorge Brandão

Titulação: Técnico em Eletrônica

Instituição: UFPI - Universidade Federal do Piauí

Nome: Valdeir Silva Serejo

Titulação: Graduação Engenharia Elétrica | Instituição: UniNassau

Nome: Maurício Cezar Araujo Fortes

Titulação: Engenheiro Eletricista | Instituição: ST Energia

Nome: Francisco Ozimar Lira Filho

Titulação: Engenheiro Eletricista | Instituição: ST Energia

14. Referências

BRANSON R. **Understanding and implementing advances in ventilator capabilities.** Curr Opin Crit Care. 2004 Feb; 10(1):23-32.

CALFEE C.S., MATT M.A. **Recent advances in mechanical ventilation.** Am J Med. 2005 Jun; 118(6):584-91.

BARBAS, C. V. *et al.* **Diretrizes brasileiras de ventilação mecânica.** 2013. Associação de Medicina Intensiva Brasileira e Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia, p. 1-140, 2013. Disponível em <<https://interfisio.com.br/imagens/artigos/2013/Diretrizes-AVM-A-MIB-SBPT-2013.pdf>>. Acesso em 22/04/2020.

BORNACHI, A.F. **Dissertação de mestrado: Proposta de uma nova arquitetura de ventilador pulmonar mecânico.** Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2016.

CHAN, Jasper Fuk-Woo *et al.* **Genomic characterization of the 2019 novel human-pathogenic coronavirus isolated from a patient with atypical pneumonia after visiting Wuhan.** *Emerging microbes & infections*, v. 9, n. 1, p. 221-236, 2020. Disponível em <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7067204/>>. Acesso em 22/04/2020.

COPPE UFRJ. **Ventilador Pulmonar de Exceção para COVID-19**, 2020. Página Inicial. Disponível em <<https://sites.google.com/peb.ufrj.br/ventiladorcoppe/in%C3%ADcio?authuser=0>>. Acesso em 22/04/2020.

CRUZ, A.F. **Dissertação de mestrado: Projeto e Caracterização de Ventilador Pulmonar Mecânico.** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

DZIECIATKOWSKI, Tomasz *et al.* **COVID-19 challenge for modern medicine.** *Cardiology Journal*, v. 27, n. 2, 2020. Disponível em <https://www.researchgate.net/profile/Lukasz_Szarpak/publication/340630274_COVID-19_challenge_for_modern_medicine/links/5e995aa9299bf13079a1fb1a/COVID-19-challenge-for-modern-medicine>. Acesso em 22/04/2020

MORATO, J.B.; SANDRI, P.; GUIMARAES, H.P. **ABC da Ventilação Mecânica.** Volume 2. São Paulo: Editora Atheneu, 2015.

PHAN, Tung. **Novel coronavirus: From discovery to clinical diagnostics.** *Infection, Genetics and Evolution*, v. 79, p. 104211, 2020. Disponível em <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7129799/>>. Acesso em 22/04/2020.

POLI USP. INSPIRE: **Ventilador Pulmonar Aberto de Baixo Custo**, 2020. Página Inicial. Disponível em <<https://www.poli.usp.br/inspire>>. Acesso em: 22/04/2020.

WALTER, James M.; CORBRIDGE, Thomas C.; SINGER, Benjamin D. ***Invasive mechanical ventilation***. Southern medical journal, v. 111, n. 12, p. 746, 2018. Disponível em <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6284234/>>. Acesso em 22/04/2020.