

### **3**

## **Ventilador Pulmonar**

Neste capítulo são descritos fundamentos teóricos que ajudam a melhor entender o funcionamento dos ventiladores pulmonares (VP), também chamados de ventiladores mecânicos. Discute-se brevemente o que é a respiração, função básica do pulmão, de forma a sedimentar as bases para o melhor entendimento do funcionamento do ventilador pulmonar. Discutem-se também os modos de funcionamento e classificação de ventiladores pulmonares, assim como uma breve descrição das especificações dos ventiladores das marcas I e II, avaliados neste trabalho.

### **3.1.**

#### **Introdução**

A respiração pulmonar é responsável pela troca de gases em todos os tecidos do corpo humano (Figura 1), mantendo e produzindo inúmeras funções metabólicas vitais. Os alvéolos pulmonares são estruturas de pequenas dimensões, localizadas no final dos bronquíolos, onde se realiza a hematose pulmonar (trocas gasosas). Nos estados patológicos ou induzidos nos quais a respiração fisiológica é incompetente ou paralisada, os ventiladores pulmonares suprem essa troca. Por este motivo, é de fundamental importância que o funcionamento destes aparelhos esteja adequado e que os equipamentos sejam utilizados de forma correta, com um bom nível de treinamento para os profissionais de saúde que operam os equipamentos, promovendo, através dessas medidas, o bem estar do paciente [10].

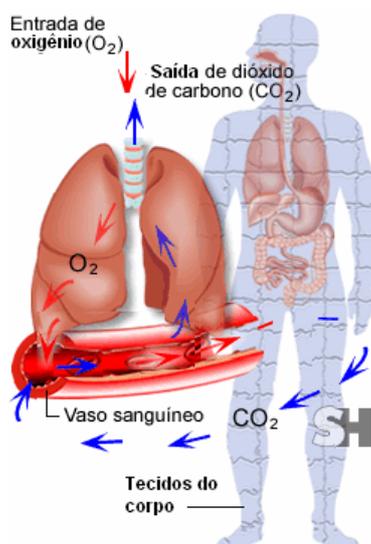


Figura 1 - Troca de gases entre o organismo e o meio ambiente [10].

### 3.2. Evolução do Ventilador Pulmonar

Em fisiologia, o termo ventilação se refere à oferta de oxigênio aos pulmões. A ventilação pulmonar ou ventilação mecânica teve seu início no ano de 1543, mas o próximo registro histórico de ventilação mecânica só ocorre em meados do século XIX. Nesta época, foi inventado um grande tanque que funcionava com pressão, no qual o paciente era colocado dentro de uma cabine, coberto até o pescoço, deixando para fora apenas a cabeça. O tórax era expandido por meio de um sistema de sucção. Desta forma era possível abrir todas as vias respiratórias e facilitar a entrada do ar.

Anos mais tarde, desenvolveram-se modelos um pouco menores, como couraças e jalecos, entre outros, que cobriam apenas o tórax do paciente. Estes modelos efetuavam a mesma função do primeiro, mas de uma forma mais cômoda para o paciente. Mais tarde, foram desenvolvidos sistemas invasivos nos quais um tubo era introduzido pela boca ou nariz até a traquéia, de forma a levar até o pulmão uma mistura de gases ajustada às necessidades do paciente. Os anestesistas foram um dos primeiros médicos que proporcionaram ventilação mecânica aos pacientes. Nas Figuras 2 e 3 podem-se observar os diferentes ventiladores mecânicos desenvolvidos ao longo do tempo [11].

### 3.2.1. O desenvolvimento do assistente (“Assistor”) para ventilação controlada a pressão.

Em ventilação controlada a pressão, o princípio bem sucedido do *Pulmotor* (*instrumento para produzir a respiração artificial bombeando o oxigênio ou o ar ou uma mistura dos dois para dentro e fora dos pulmões*), foi aprimorado nos *Assistors* (*modelo inicial prévio ao atual ventilador pulmonar*). Além do controle de pressão, outra característica comum dos *Assistors* era a possibilidade de provocar uma respiração mecânica com um esforço respiratório espontâneo do paciente. Além disso, todos os *Assistors* permitiam que o volume fosse monitorado e aerossóis fossem nebulizados por meio de uma conexão integrada ao nebulizador.

A unidade básica de *Assistor* 640 permitia a ventilação assistida e a respiração espontânea. No *Assistor* 641 o mecanismo de sincronismo era pneumático, mas o *Assistor* 642 tinha um temporizador elétrico. No *Assistor* 644 a duração do uso foi aumentada por meio de um sistema novo de respiração de ar umidificado, e a escala dos pacientes que poderiam ser tratados foram estendidas para incluir pacientes pediátricos (Figura 2).

O *Assistor* 744 melhorou a qualidade de ventilação, particularmente em pediatria, usando um disparador mais sensível. A aparência externa pouco atrativa dos *Assistors* foi revisada completamente, e um projeto de produto transformou uma característica cada vez mais importante no desenvolvimento do que seria o futuro ventilador pulmonar.

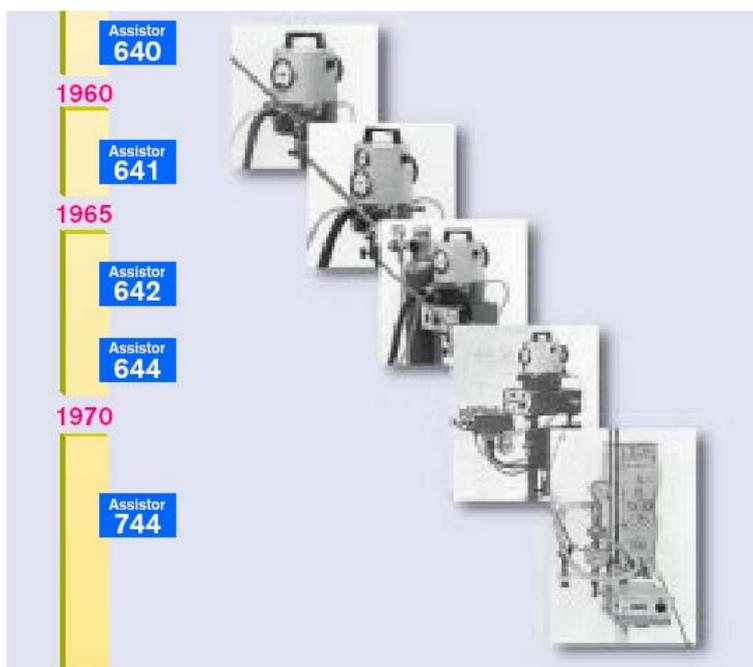


Figura 2 - Desenvolvimento do Assistor para ventilação controlada à pressão [11].

### 3.2.2. Ventilação moderna de cuidado intensivo

Com o desenvolvimento do Assistor, a área de aplicação do ventilador foi estendida ao tratamento simples da poliomielite, além de ventilação pós-operatória e terapia de inalação para pacientes com doenças crônicas do pulmão. A terapia de cuidado intensivo fez com que surgissem novas demandas para os ventiladores, criando uma necessidade, por exemplo, para modalidades variáveis da ventilação pulmonar. Na Figura 3 é apresentada a evolução do desenvolvimento dos ventiladores de cuidado intensivo.

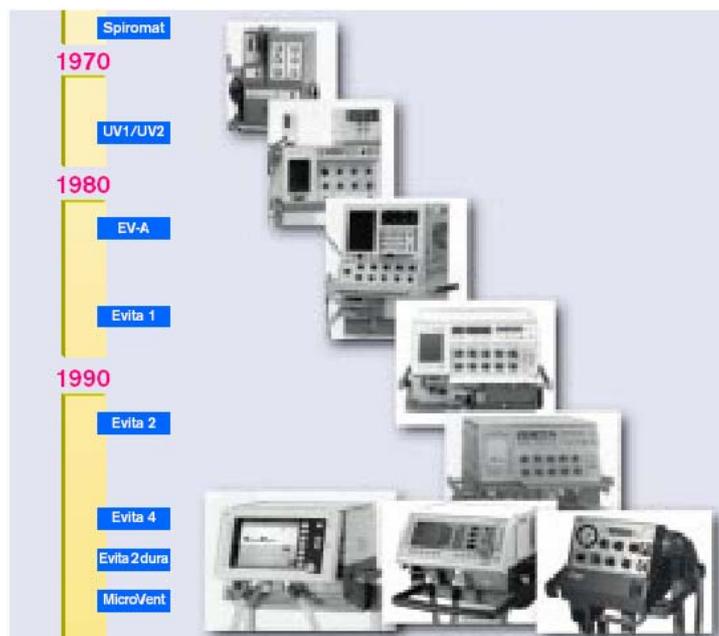


Figura 3 – Ilustração do desenvolvimento dos ventiladores de cuidado intensivo ao longo dos anos [11].

### 3.3. Princípios Básicos do Ventilador Pulmonar

O ventilador pulmonar é um equipamento utilizado para fornecer ventilação pulmonar artificial. O objetivo dos ventiladores pulmonares é prover suporte respiratório, seja temporário, completo ou parcial, a pacientes com insuficiência respiratória devido a fatores como doenças, anestesia, defeitos congênitos etc. O campo de aplicações é bastante amplo, devido às diversas modalidades de ventilação disponíveis e assim, pode ser usado em todos os tipos de pacientes, desde pacientes que nasceram prematuramente até pacientes adultos.

Atualmente, na maioria dos ventiladores pulmonares, uma fonte de pressão positiva insufla os pulmões do paciente por meio de uma máscara, um tubo endotraqueal, ou uma traqueotomia. A pressão nos pulmões aumenta proporcionalmente ao volume do gás administrado. O gás é exalado através de uma via de exalação onde a pressão é renovada (Figura 4).

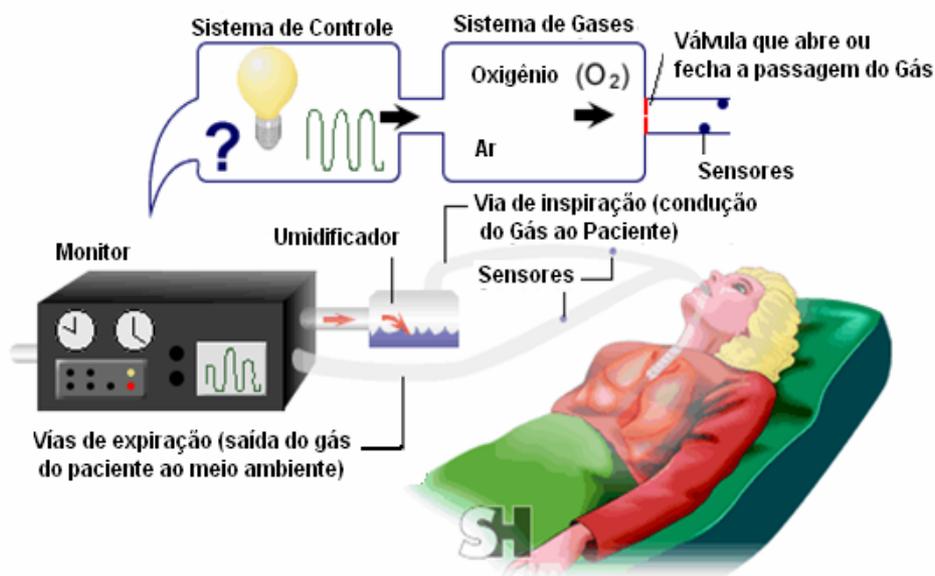


Figura 4 - Os componentes funcionais, e a interação entre o paciente e o ventilador pulmonar [10].

### 3.3.1. Componentes Básicos do Ventilador pulmonar

Os ventiladores pulmonares atuais contêm um sistema de controle, válvulas de gases, alarmes e sensores, além de mangueiras e tubos. O sistema de controle, o cérebro do equipamento, é programado pelo profissional usuário e dirige o funcionamento do ventilador pulmonar. Os sistemas de válvulas de gases, de ar comprimido e de oxigênio regulam, permitem ou restringem a pressão dos gases. Os alarmes e sensores, tanto auditivos como luminosos, permitem visualizar ou encontrar problemas na interação do paciente com o equipamento. Os circuitos de mangueiras e tubos conduzem e monitoram a passagem dos gases até o paciente, garantindo temperatura e umidificação adequada para que a mistura de gases seja o mais próximo possível a de situações normais (Figura 5) [12].

Existem diferentes formas de monitoração da ventilação pulmonar, e a escolha de qual será utilizada depende do tipo de ventilador pulmonar disponível e, principalmente, da enfermidade do paciente. As formas de monitoramento (modalidades de ventilação) serão descritas mais adiante no item 3.7.

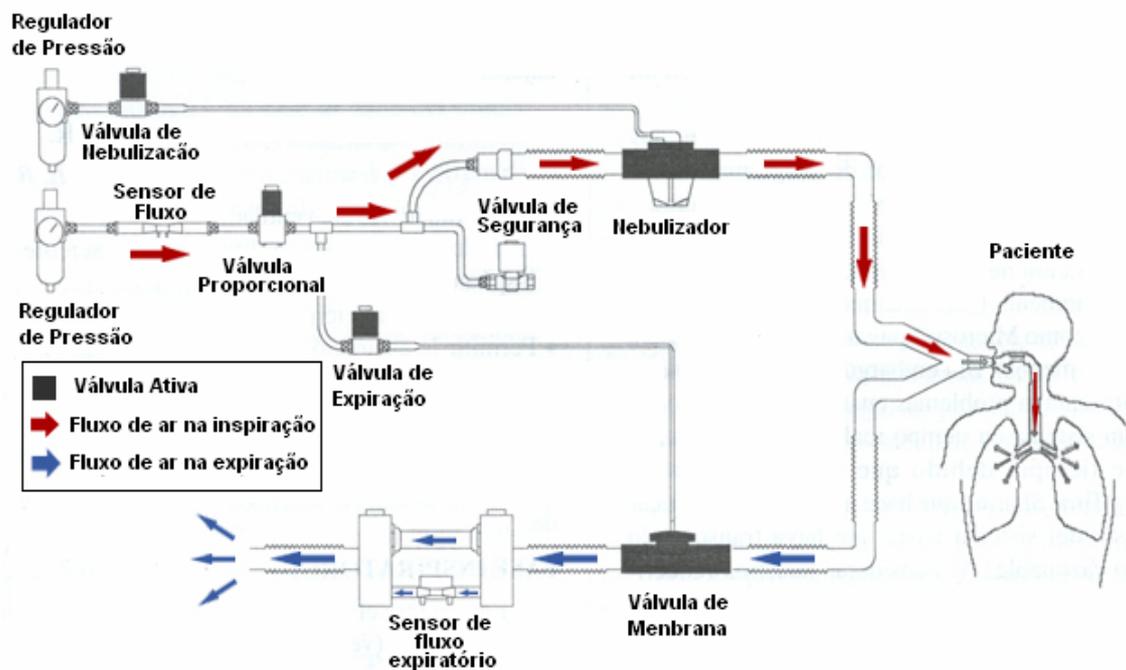


Figura 5 - Diagrama Pneumático do Ventilador Pulmonar - Componentes funcionais detalhados, e a interação entre o paciente e o ventilador pulmonar [13].

### 3.4. Ventilação Pulmonar

A ventilação artificial é definida como a administração de gás respiratório por forças externas quando existe prejuízo na ação dos músculos respiratórios do paciente.

O termo ventilador pulmonar é uma denominação genérica que designa todo e qualquer equipamento que fornece ventilação artificial em seres humanos, suprimindo o trabalho muscular necessário para a respiração. São utilizados principalmente em quatro situações: a) Ressuscitação após apnéia aguda, b) Anestesia com paralisia, c) Cuidado intensivo com falência de uma ou mais funções vitais, e d) Tratamento prolongado da falência ventilatória crônica [12].

Para cada uma das 4 situações descritas acima, existe uma indicação do tipo de ventilação artificial a ser empregada, dos meios para tal e das características necessárias. Assim sendo, é muito importante compreender exatamente as necessidades específicas de cada situação, bem como os meios empregados para suprir as necessidades fisiológicas dos pacientes, além da escolha adequada dos equipamentos a serem utilizados [12].

### 3.4.1. Ciclo Respiratório

Um ciclo respiratório é composto de uma fase inspiratória seguida de uma pausa, e uma fase expiratória, também seguida por uma pausa, conforme pode ser visto na Figura 6 [12].

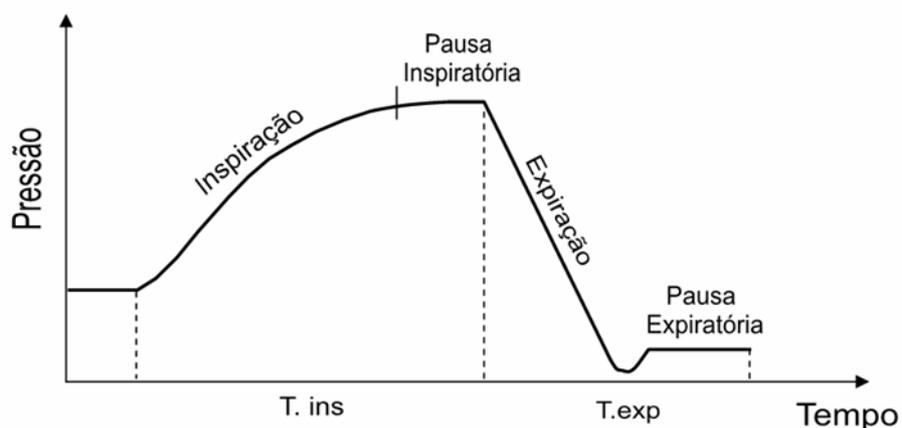


Figura 6 - Ciclo Respiratório [12].

A ventilação pulmonar é usada para prover funções fisiológicas básicas:

- a) Manutenção da ventilação alveolar apropriada para as demandas metabólicas e a condição pré-existente do paciente, mantendo o equilíbrio ácido básico e prevenindo a progressiva insuficiência respiratória devido ao acúmulo de  $\text{CO}_2$  no sangue;
- b) Prevenção da deterioração mecânica dos pulmões através da manutenção de seus volumes e de suas características elásticas;
- c) Fornecimento de gases umidificados, estéreis e não poluídos.

Existem seis grandezas importantes associadas com a ventilação de pulmões [12].

- Volume “minuto” ( $V_m$ ): volume de gás administrado aos pulmões durante um minuto.
- Volume “tidal” ( $V_t$ ) ou Volume Corrente: volume de gás administrado ao pulmão a cada inspiração.
- Frequência respiratória ( $Fr$ ): O número de inspirações por minuto.
- Pressão de expiração ( $P_e$ ): é a pressão que indica o início da expiração.

- Elasticidade (C): descreve a natureza elástica dos pulmões e tórax.
- Resistência ao fluxo de ar (R)

A elasticidade e a resistência no tórax e nos pulmões são determinadas pelas características e a enfermidade que o paciente apresenta. A pressão de expiração e o período de inspiração determinam o volume "tidal".

### **3.4.2. Formas de Ventilação Artificial**

Em fisiologia, o termo ventilação se refere à administração de oxigênio aos pulmões. Em geral, existem três (3) formas de se alcançar este objetivo: a) aplicação intermitente de pressão negativa ao corpo, b) aplicação intermitente de pressão positiva de ar, e c) estímulo elétrico a nervos e músculos que produzem a inspiração. A ventilação artificial administra por vias externas um volume minuto às vias respiratórias do paciente e pode ser alcançada através da ventilação por pressão negativa ou da ventilação por pressão positiva. O método mais usado é o de administração de pressão positiva. Observam-se, na Figura 6, os componentes funcionais detalhados, e a interação entre o paciente e o ventilador pulmonar.

#### **3.4.2.1. Ventilação por Pressão Negativa**

O método de ventilação por pressão negativa data de 1920. Foi desenvolvido por Dinker e Emerson, entre outros, para o tratamento da poliomielite aguda, e tornou-se o método padrão. Neste método, durante a inspiração, uma pressão sub-atmosférica é aplicada na caixa torácica do paciente, provocando sua expansão, que por sua vez provoca o gradiente (negativo) de pressão que moverá o ar para dentro dos alvéolos. De forma contrária, durante a expiração, a pressão em torno do tórax tende à pressão atmosférica, provocando a contração da caixa torácica e, por conseqüência, o movimento do ar dos alvéolos para a atmosfera [12].

Os ventiladores de pressão negativa utilizam bombas que são cicladas à pressão, isto é, o ventilador produzirá a pressão sub-atmosférica até que a pressão pré-estabelecida seja alcançada.

Estes ventiladores são de tipo tanque (cabine), que deve envolver todo o corpo do paciente, exceto sua cabeça, e dentro se cria uma pressão negativa

intermitente. A Figura 7 mostra um exemplo de um ventilador de pressão negativa [11].



Figura 7 - Ventilador por Pressão Negativa [11].

#### **3.4.2.2. Ventilação por Pressão Positiva**

Desde 1950, a ventilação por pressão positiva começou a ser bastante utilizada como método terapêutico para vários tipos de disfunções pulmonares. Nesta época, surgiram os ventiladores ciclados por pressão fabricados pela empresa Bird e outras empresas. No início da década de 70, foram lançados no mercado os primeiros ventiladores a volume como, por exemplo, o MA-1. E a última geração, introduzida no início da década de 80, são os ventiladores controlados por microprocessadores como, por exemplo, o modelo Monterrey da Takaoka, os modelos 6400 e 8400 da Bird, o modelo 7200 da Puritan Bennet, o modelo Inter 3 e 5 da Intermedic, entre outros [12].

No método de ventilação por pressão positiva, uma pressão positiva acima da pressão atmosférica é aplicada, através de um tubo endotraqueal, às vias aéreas superiores do paciente durante a expiração. Desta forma, é estabelecido o gradiente de pressão necessário para que o ar se mova para os pulmões do paciente.

### 3.4.3. Forma de Onda da Respiração

A forma de onda da respiração de pressão positiva é ilustrada na Figura 8. A forma de onda simples reflete ambas, pressão e volume, as quais estão relatados pela deformação que caracteriza os pulmões. Uma deformação no sentido de 1ml é requerida para dar aumento de pressão de 98 Pa (1 cmH<sub>2</sub>O).

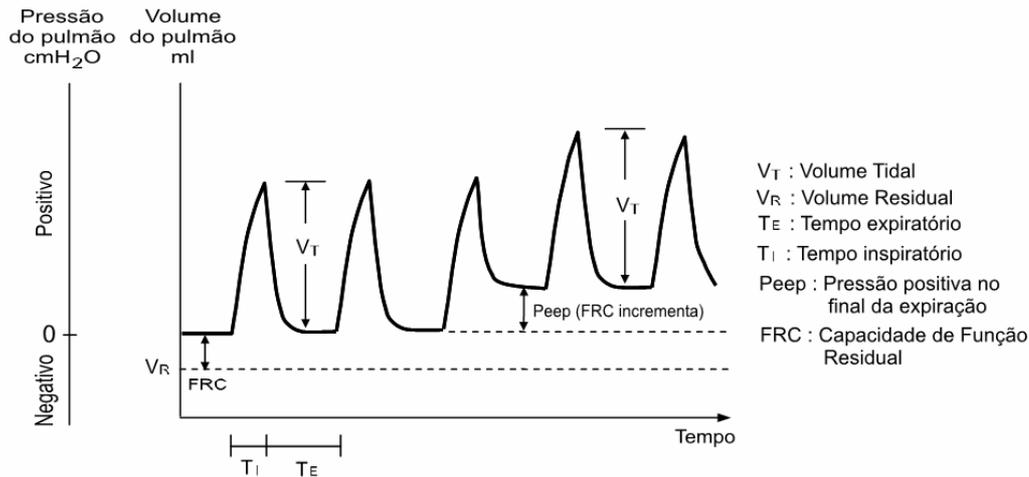


Figura 8 - Forma de onda da respiração na ventilação por pressão positiva [12].

## 3.5. Classificação dos Ventiladores Pulmonares

Os ventiladores pulmonares podem ser classificados por diferentes critérios, por exemplo, com relação à aplicação, com relação ao tipo de paciente, e com relação ao modo de controle. A seguir descrevem-se algumas destas categorias de classificação [12].

### 3.5.1. Classificação segundo a aplicação

A classificação descrita a seguir é dada pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM) que possui uma norma específica para cada tipo de aplicação [23].

1. Ventiladores para cuidado intensivo: usados no ambiente hospitalar, exceto os ventiladores para anestesia e os ventiladores para transporte.
2. Ventiladores para uso doméstico: utilizados em pacientes que necessitam de suporte respiratório por um período prolongado e que

apresentam um quadro clínico estável que não exige cuidados intensivos.

3. Ventiladores para anestesia: utilizados em procedimentos cirúrgicos nos quais o paciente necessita ser anestesiado. Fornece a mistura de gases anestésicos aos pulmões do paciente e recebe o ar exalado pelo paciente. Operam em circuito fechado, ou seja, não há contato entre o ar externo e o ar respirado pelo paciente. Um dispositivo contendo “cal sodada” converte o CO<sub>2</sub> exalado pelo paciente em O<sub>2</sub>.
4. Ventiladores para transporte: utilizados para o transporte de pacientes que necessitem de ventilação pulmonar.

### **3.5.2. Classificação segundo o tipo de Paciente**

A classificação dos ventiladores também de acordo com o tipo de paciente é apresentada abaixo:

1. Ventiladores neonatais: a serem utilizados com pacientes de 0 a 2 anos de idade.
2. Ventiladores pediátricos: a serem utilizados com pacientes de 2 a 12 anos de idade.
3. Ventiladores adultos: a serem utilizados com pacientes maiores de 12 anos de idade.

### **3.5.3. Classificação segundo o modo de controle**

A classificação de acordo com o modo de controle é baseada numa principal variável controlada pelo ventilador: o modo de controle. Isso não significa, no entanto, que esta variável seja única, porque existem outras como, por exemplo, o volume [12].

1. Controlador de pressão: controla a pressão das vias aéreas ou pressão endotraqueal.
2. Controlador de volume: controla e mede efetivamente o volume que fornece.
3. Controlador de fluxo: mede o fluxo que fornece. Neste caso, o volume é calculado a partir do fluxo.
4. Controlador por tempo: é um tipo de ventilador onde são controlados os tempos inspiratórios e expiratórios.

### 3.6. Funcionamento dos Ventiladores Pulmonares

Os ventiladores pulmonares por pressão positiva são basicamente constituídos pelos seguintes blocos [12].

- Circuitos reguladores de pressão.
- Circuito Misturador.
- Circuito Inspiratório.
- Circuito Expiratório.
- Circuito de Controle.
- Sistema de Alarmes.

Na figura 9 pode-se observar o diagrama de blocos de um ventilador pulmonar.

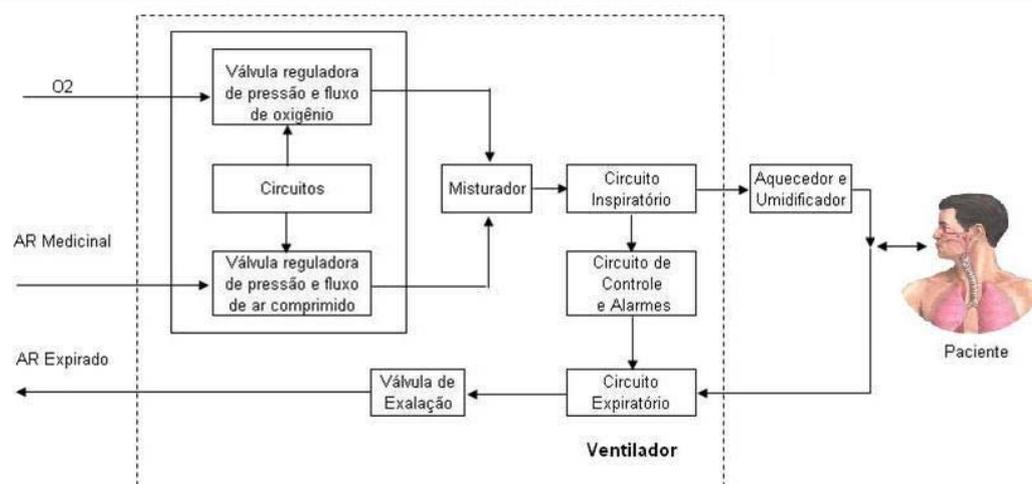


Figura 9 - Diagrama em blocos de um ventilador.

#### 3.6.1. Circuitos Reguladores de Pressão

Os circuitos reguladores de pressão são válvulas reguladoras que limitam a pressão de entrada dos gases a serem fornecidos ao ventilador, para seu funcionamento adequado. A maioria dos aparelhos possui duas válvulas reguladoras, uma para entrada de oxigênio e outra para entrada de ar comprimido. Alguns aparelhos possuem um compressor de ar próprio [12].

### **3.6.2. Circuito Misturador**

O circuito Misturador, também conhecido como *Blender*, tem a função de fornecer a mistura de ar e O<sub>2</sub> desejada ao circuito inspiratório. O misturador controla a concentração de oxigênio da mistura de ar e O<sub>2</sub>. Pode-se variar a concentração de oxigênio desde 21% até 100%.

### **3.6.3. Circuito Inspiratório**

O circuito inspiratório tem a função de controlar o fornecimento ao paciente de um determinado volume de ar e uma determinada concentração de oxigênio, dependendo dos parâmetros selecionados nos controles dos equipamentos (circuitos de controle).

### **3.6.4. Circuito Expiratório**

O circuito expiratório tem a função de controlar a saída do ar expirado pelo paciente.

### **3.6.5. Circuitos de Controle (controles e parâmetros do ventilador pulmonar)**

Os circuitos de controle são responsáveis pelos modos nos quais será ventilado o paciente. Os ventiladores possuem os seguintes controles:

1. Pressão e/ou Volume e/ou Fluxo,
2. Frequência Respiratória,
3. Relação I:E (relação entre tempo inspiratório e tempo expiratório),
4. Tempo Inspiratório,
5. Tempo Expiratório,
6. Sensibilidade,
7. PEEP/Cpap (Pressão Positiva no Final da Expiração/ Pressão Positiva Contínua nas Vias Aéreas),
8. Pausa Inspiratória,
9. Modalidade de Ventilação,

Podem-se aplicar diferentes combinações de controles para obter-se um mesmo resultado. Por este motivo, não se pode dizer que há uma lista fixa de controles para um determinado ventilador. Dependendo do equipamento, haverá um ou mais controles, por exemplo, no ventilador da Marca I há somente o controle de pressão. Alguns ventiladores pulmonares possuem controles de pressão e fluxo. Já os ventiladores da Marca II possuem controles de pressão, volume, fluxo, e tempo inspiratório. Assim, os ventiladores podem apenas controlar um só parâmetro de cada vez. Alguns equipamentos podem controlar mais de uma variável em tempos diferentes.

#### **3.6.5.1. Pressão**

O controle de pressão determina a ciclagem da pressão inspiratória, onde o operador determinará a quantidade de ar que será fornecido, mas não do volume corrente. Pode ser de dois tipos de ciclos, ciclo controlado ou ciclo assistido.

#### **3.6.5.2. Volume**

O controle de volume procura entregar ao paciente um valor predeterminado de volume corrente, podendo ser de dois tipos de ciclos, ciclo controlado ou ciclo assistido

#### **3.6.5.3. Fluxo**

O controle de fluxo determina a pressão diferencial fornecida ao paciente. O valor do fluxo inspirado ou expirado é medido em cada instante, em função da diferença de pressão, através de um sensor.

#### **3.6.5.4. Frequência Respiratória**

O controle da frequência respiratória determina a repetitividade do ciclo respiratório. Este controle pode variar de 1 RPM a 120 RPM (Respiração por Minuto), dependendo do tipo de paciente ligado ao equipamento.

### **3.6.5.5. Relação I:E**

A relação I:E determina a relação entre tempo inspiratório e tempo expiratório. A grande maioria dos aparelhos da atualidade não possui um controle específico de relação I:E, contudo, o controle deste parâmetro se obtém de forma indireta.

Ventiladores da marca Il possuem este controle, no entanto, para alguns modelos o controle da relação I:E é obtido através dos controles da frequência respiratória e tempo inspiratório.

### **3.6.5.6. Tempo Inspiratório**

Este controle determina o tempo de inspiração da frequência respiratória desejada.

### **3.6.5.7. Tempo Expiratório**

O controle que define o tempo de expiração é utilizado em aparelhos onde a frequência respiratória é determinada através dos controles de tempo inspiratório e expiratório.

### **3.6.5.8. Sensibilidade**

Este controle é utilizado para determinar o nível de esforço que o paciente deve fazer para acionar uma ventilação obrigatória.

### **3.6.5.9. PEEP/CPAP**

Este controle varia o nível mínimo de pressão a ser fornecido ao paciente. Este parâmetro pode ser combinado com várias modalidades de ventilação.

O termo PEEP vem da expressão em inglês *Positive End Expiratory Pressure* (Pressão Positiva no Final da Expiração) e é a pressão positiva entre o final da expiração e o começo de inspiração seguinte (veja-se também no item 3.7.8). O termo CPAP vem da expressão em inglês *Continuous Positive Airway Pressure* (Pressão Positiva Contínua nas Vias Aéreas) e consiste na

manutenção positiva (acima da pressão atmosférica) nas vias aéreas durante todo o ciclo respiratório em pacientes com ventilação espontânea.

### 3.6.5.10. Pausa Inspiratória

A pausa inspiratória geralmente é dada em porcentagem do ciclo respiratório, e é o tempo em que o ventilador deixa de fornecer gás ao paciente até o início da expiração, como mostra a curva na Figura 10.

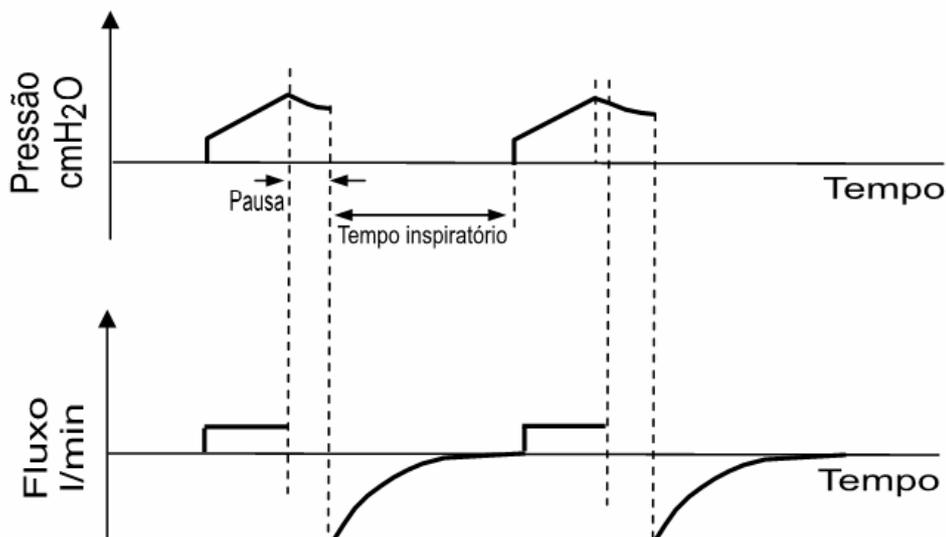


Figura 10 - Pausa Inspiratória, e curvas ilustrando o funcionamento da pausa inspiratória [12].

## 3.7. Modalidades de Ventilação

A seguir, apresenta-se o Quadro 1, que descreve as modalidades de ventilação disponíveis no Ventilador marca II modelo 1. As modalidades que requerem um esforço inspiratório do paciente para o disparo das respirações contam com um sistema de proteção contra apnéia, com mudança automática para uma modalidade de reserva (*backup*) sendo este recurso uma segurança maior para o paciente.

Quadro 1 – Modalidades de Ventilação – Ventilador marca II, modelo 1 [14].

<b>Modos</b>	<b>Modalidade Ajustada</b>		<b>Descrição</b>	<b>Ventilação em Apnéia (Backup)</b>
<b>C O N T R O L A D O</b>	1.	<b>CMV</b>	Ventilação Controlada a Volume	-
	2.	<b>PCV</b>	Ventilação Controlada a pressão	-
	3.	<b>PCV/AV</b>	Ventilação de volume assegurado por controle de pressão	-
<b>A S S I S T I D O</b>	4.	<b>SIMV/V</b>	Ventilação mandatória intermitente sincronizada com controle de volume	IMV (Não Sincronizada)
	5.	<b>SIMV/P</b>	Ventilação mandatória intermitente sincronizada com controle de pressão	IMV (Não sincronizada)
<b>E S P O N T A N E O</b>	6.	<b>MMV</b>	Ventilação com volume minuto mínimo	CMV
	7.	<b>BIPV</b>	Ventilação espontânea com dois níveis de pressão	-
	8.	<b>CPAP</b>	Ventilação com pressão positiva contínua das vias aéreas	PCV
	9.	<b>PSV/AV</b>	Ventilação de volume assegurado por suporte de pressão	CMV
	10.	<b>VSV</b>	Servo ventilação volumétrica com suporte de pressão	PCV/AV

Os ventiladores possuem alguns modos de funcionamento que se acomodam às necessidades do paciente. As modalidades consistem em padrões de ventilação caracterizados por diferentes níveis de interação entre o paciente e o ventilador.

Existem diferentes modalidades que produzem o mesmo resultado de maneira diversa. A seguir, apresentam-se as modalidades mais comuns e utilizadas [12].

### 3.7.1. Ventilação Controlada

A ventilação controlada é o modo no qual o ventilador fornece volume ou pressão de gás necessário numa determinada frequência respiratória selecionada no ventilador sem que o paciente possa interagir com o ventilador. Esta modalidade é utilizada quando o paciente não tem condições de respirar espontaneamente, então o ventilador pulmonar toma completo controle da ventilação ao paciente. Programam-se os disparos e os ciclos de ar que serão fornecidos ao paciente (Figura 11).

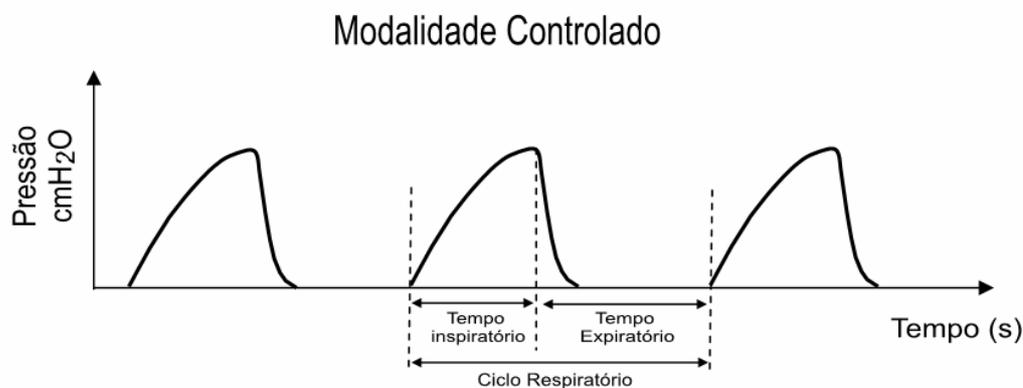


Figura 11 - Modalidade de Ventilação Controlada [12].

#### 3.7.1.1. Ventilação Controlada a Volume (VCV)

Na Ventilação Controlada a Volume (CMV – *Controlled Mechanical Ventilation*, ou em português VCV), o ventilador procura entregar ao paciente um valor pré-determinado de volume corrente. Os ciclos podem ser de dois tipos:

1. **Ciclo controlado:** quando o paciente está passivo e o aparelho comanda totalmente a ventilação.
2. **Ciclos assistidos:** quando ao início de cada ciclo a frequência respiratória é determinada pelo esforço inspiratório do paciente, que dispara as respirações.

Na modalidade CMV, os seguintes parâmetros devem ser ajustados.

- Volume corrente
- Frequência respiratória
- Fluxo inspiratório máximo

- Pressão inspiratória limite
- PEEP
- Sensibilidade assistida (pressão)
- Concentração de oxigênio
- Pausa inspiratória

A Figura 12 apresenta curvas de pressão e de fluxo em função do tempo durante a modalidade de ventilação controlada a volume. O início de cada respiração pode ser comandado pelo ventilador ou pelo paciente, sendo que neste último caso o disparo pode ser por pressão ou por fluxo. Durante a inspiração o fluxo, assume a forma de onda definida pelo operador, e a pressão cresce até que seja entregue o volume corrente ajustado (ou até que seja atingida a pressão limite), podendo ser utilizada uma pausa inspiratória [14].

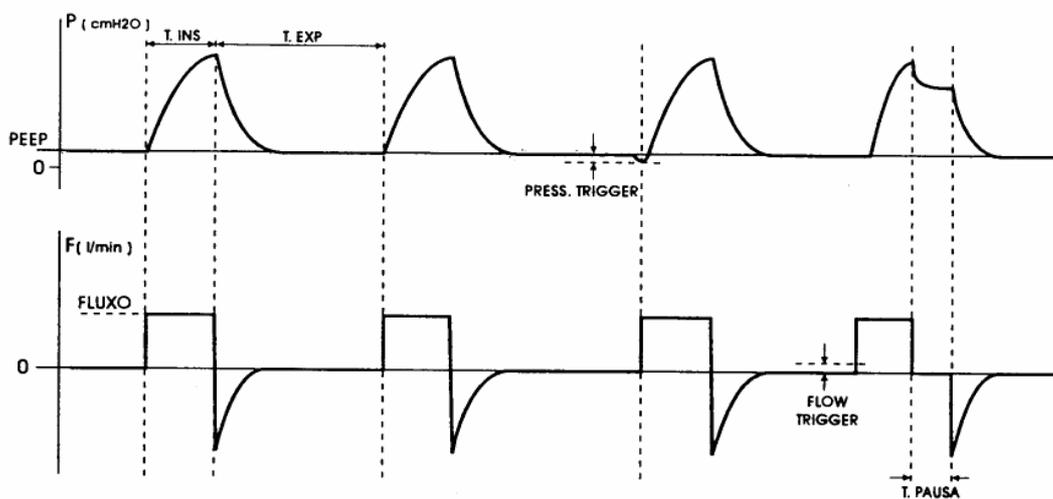


Figura 12 - Modalidade de Ventilação Controlada a Volume (CMV): exemplos de curvas: pressão x tempo e fluxo x tempo [14].

### 3.7.1.2. Ventilação Controlada a Pressão (VCP)

A Ventilação Controlada a Pressão (PCV - *Pressure controlled ventilation*, ou VCP em português) é uma variação da ventilação CMV, sendo que as diferenças básicas entre ambas encontram-se na forma de controle da ciclagem e da pressão inspiratória. Na modalidade PCV, o operador determina o valor da pressão inspiratória, e não o volume corrente. O ventilador fornece a cada

instante a quantidade de gás requerido pelo paciente para manter a pressão inspiratória constante, conforme o valor ajustado no controle de pressão inspiratória limite. Esta modalidade é indicada em casos de vazamento no tubo endotraqueal, e em pacientes com heterogeneidades de resistência e complacência pulmonar [14].

Esta modalidade pode funcionar de duas formas diferentes, no que se refere ao início das inspirações:

1. Em condições normais de PCV, o início de cada ciclo e a frequência respiratória são determinados pelo esforço inspiratório do paciente, que resulta em uma ventilação assistida.
2. Caso o paciente entre em apnéia, ou não consiga disparar o aparelho devido a uma regulação muito “pesada” da sensibilidade, o ventilador passará a fornecer ciclos mandatórios com o valor ajustado no controle de frequência. Havendo um novo estímulo do paciente, a ventilação voltará automaticamente para a condição normal de disparo pelo paciente.

Nesta modalidade PCV, os seguintes parâmetros deverão ser ajustados:

- Pressão inspiratória limite
- Tempo inspiratório
- Frequência inspiratória
- Fluxo inspiratório máximo
- PEEP
- Sensibilidade da assistida (pressão)
- Concentração de oxigênio

O início de cada respiração pode ser comandado pelo ventilador ou pelo paciente, sendo que neste último caso o disparo pode ser por fluxo ou pressão. No início da inspiração, o fluxo atinge o seu valor máximo, decaindo então até o final do tempo inspiratório. A Figura 13 apresenta curvas de pressão e de fluxo em função do tempo durante a modalidade de ventilação controlada a pressão [14].

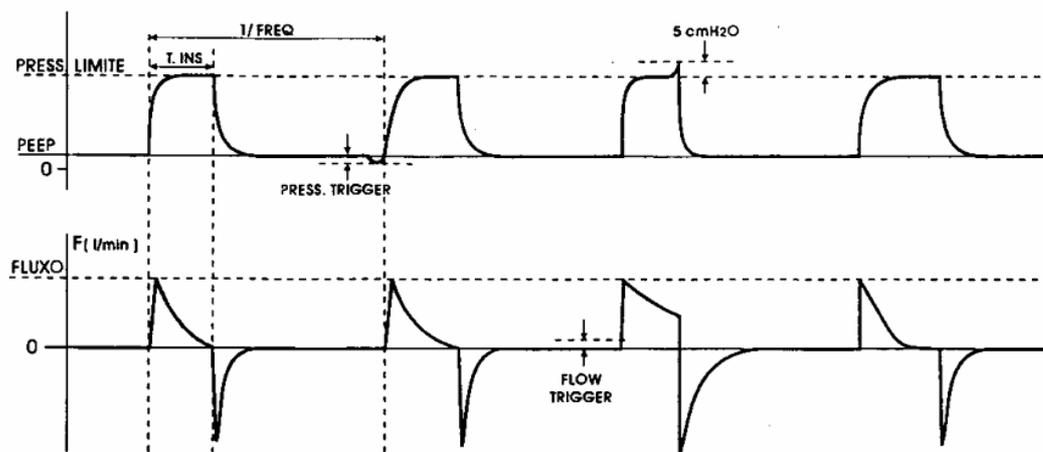


Figura 13 - Modalidade PCV: exemplos de curvas pressão x tempo e de fluxo x tempo [12].

### 3.8. Características Técnicas dos Ventiladores utilizados na dissertação

A seguir estão descritas algumas características das duas marcas, aqui denominados de marca I e marca II, utilizados na parte experimental desta dissertação.

#### 3.8.1. Modelo 1 da Marca I

Os ventiladores da marca I são respiradores acionados pneumaticamente, ciclados a pressão e com fluxo ajustável, projetados tanto para aplicação pediátrica, quanto para adultos. Este ventilador é indicado para ventilação assistida/controlada e fisioterapia respiratória (CPAP/RPPi). Possui um Sistema Automático de nebulização durante a fase inspiratória, independente do fluxo inspiratório ajustado, tendo como resultado uma nebulização eficiente mesmo com a utilização de baixo fluxo. Pode ser operado por fonte de gases comprimidos (ar ou oxigênio) ligados a uma válvula redutora, capaz de regular a pressão de saída para 50 psi (344,7 kPa) [12].

##### 3.8.1.1. Características

As principais características do modelo 1 da marca I são:

1. Acionamento totalmente pneumático, dispensando energia elétrica;
2. Sistema automático de nebulização durante a fase inspiratória;
3. Válvula de segurança para prevenção de barotraumas;
4. Filtro para admissão de ar ambiente;
5. Compatível com dois (2) modelos de circuito paciente (definido no item 4.3.4);
6. Portátil e de fácil manuseio;
7. Manutenção simples e econômica.

### **3.8.1.2.**

#### **Características Técnicas**

As especificações técnicas do ventilador pulmonar modelo 1 da marca I, são as seguintes:

1. Frequência respiratória: 10min -20min
2. Volume corrente: 6 ml/kg/peso - 10 ml/kg/peso (respirômetro)
3. Concentração de O<sub>2</sub> inspirado (FI<sub>O<sub>2</sub></sub>): 21% (em ar comprimido),
4. Pressão Inspiratória: 5 cmH<sub>2</sub>O a 60 cmH<sub>2</sub>O
5. Pequenos valores para pressão expiratória positiva no fim da expiração (PEEP); deve ser de 1,5 x o volume corrente a uma frequência de 6/hora -8/hora
6. Fluxo Inspiratório: 10 L/min a 70 L/min.
7. Tempo expiratório: 0,5 segundo a 3 segundos.
8. Esforço assistido: - 0,5 cmH<sub>2</sub>O a 5,0 cmH<sub>2</sub>O
9. Ciclo manual
10. Manômetro: -10 cmH<sub>2</sub>O a 80 cmH<sub>2</sub>O
11. Dimensões: 22 cm x 27 cm x 16 cm
12. Peso: 2,6 kg

Na Tabela 2 podem-se observar os intervalos de funcionamento do ventilador Marca I, modelo I.1.

Tabela 2 – Intervalo de funcionamento dos parâmetros

Fluxo	10 L/min a 70 L/min
Pressão Inspiratória	5 cmH <sub>2</sub> O a 60 cmH <sub>2</sub> O
Tempo Expiratório	0,5 s a 3,0 s
Esforço Assistido	-0,5 cmH <sub>2</sub> O a 5 cmH <sub>2</sub> O
Válvula de Segurança	Ajustável
Ciclo Manual	-
Manômetro	-10 cmH <sub>2</sub> O a 80 cmH <sub>2</sub> O
Modo	Controlado, Assistido/Controlado

#### **Entrada Pneumática**

Oxigênio (ar)	30 psi a 70 psi (2,1 kg/cm <sup>2</sup> a 4,9 kg/cm <sup>2</sup> )
---------------	--

### **3.8.2. Modelo 1 da Marca II**

O ventilador modelo 1 da marca II é um respirador eletrônico projetado para aplicações de insuficiência respiratória em UTI. O seu campo de aplicações é bastante amplo devido às diversas modalidades de ventilação disponíveis. Este ventilador aplica-se a todos os tipos de pacientes, desde prematuros até adultos.

#### **3.8.2.1. Especificações técnicas**

A classificação é para insuficiência respiratória em terapia intensiva. Atende desde pacientes prematuros até pacientes adultos [14].

#### **3.8.2.2. Parâmetros Ventilatórios**

Os parâmetros ventilatórios ajustáveis no ventilador pulmonar modelo 1, marca II estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros ventilatórios ajustáveis no ventilador pulmonar modelo 1, marca II

1. Volume corrente	200 a 2000 ml (Paciente adulto) 20 a 300ml (Paciente Neonatal/Pediátrico)
2. Freqüência inspiratória	5 a 100 respiração/min
3. Tempo inspiratório	0,1 a 5,5 s (Só para PCV e BIPV)
4. Pausa inspiratória	0,1 a 5,5 s
5. Pressão inspiratória limite	0 a 80 cmH <sub>2</sub> O
6. Pressão de suporte pressórico (PSV)	0 a 50 cmH <sub>2</sub> O
7. PEEP/CPAP	0 a 30 cmH <sub>2</sub> O
8. Sensibilidade da assistida (Pressão)	-1 a 30 l/min (OFF)
9. Sensibilidade da assistida (Fluxo)	2 a 30 l/min
10. Fluxo inspiratório máximo	4 a 120 l/min
11. Fluxo de base	0 a 20 l/min
12. Volume minuto (MMV)	1 a 30 l/min
13. Concentração de Oxigênio	1 a 100% de O <sub>2</sub>

### 3.8.2.3.

#### Nebulizador

O sistema de nebulização possui uma capacidade de 7ml para medicamento e oferece um fluxo de nebulização de aproximadamente 5 l/min durante a inspiração.

1. Capacidade para medicamento: 7 ml
2. Fluxo de nebulização: aprox. 5 l/min durante a inspiração

### 3.8.2.4.

#### Características Especiais

A seguir se descreve algumas características especiais do ventilador marca II:

- Modalidade de reserva (*backup*), para o caso da apnéia,
- Sistema completo de alarmes,
- Tipos de curva de fluxo inspiratório: quadrado, desacelerado, acelerado e senoidal,
- Sensor de Fluxo: Pressão Diferencial,

- Manômetro de pressão inspiratória: Eletrônico com gráfico de barras com escala de -10 cmH<sub>2</sub>O a 90 cmH<sub>2</sub>O,
- Compensação automática da complacência do circuito respiratório,
- Tecla liga/desliga eletrônica,
- Inspiração manual eletrônica,
- Válvulas reguladoras de pressão,
- Válvulas de segurança anti-asfixia e de alta pressão.

### **3.8.2.5. Alimentação de Gases**

A seguir se descreve as características de alimentação dos gases e seus valores:

- Gases: oxigênio e ar comprimido,
- Pressão de alimentação: 45 psi a 100 psi (310 kPa a 690 kPa),
- Pressão regulada pelo aparelho: 35 psi (241 kPa),
- Conexão rosqueada: conforme a norma NB-254/1987.

### **3.8.2.6. Características elétricas**

A seguir se descreve as características elétricas do ventilador marca I:

- Alimentação: 100 Vca a 240 Vca com chaveamento automático, 50 HZ 60 Hz, rede elétrica conforme norma NBR13534, ou bateria externa de 12 V,
- Conector para rede: 3 pinos, tipo Nema 5-15P, onde o pino central redondo é o terra,
- Potência consumida pelo ventilador: 30 W (máximo),
- Potência consumida pelo umidificador: 60 W,
- Bateria interna: selada, de chumbo/ácido,
- Autonomia da bateria interna: aproximadamente 30 minutos, para uma condição média de ventilação em CMV, volume corrente de 750 ml e frequência de 12 rpm,
- Tempo para recarga completa da bateria: aproximadamente 10 horas, com o ventilador desligado,

- *Displays* gráficos: cristal líquido dotado de alto contraste, com lâmpada de catodo frio.

A instalação elétrica do hospital deverá atender à norma ABNT NBR 13534 “instalações elétricas em estabelecimentos assistenciais de saúde - Requisitos de segurança”. O não cumprimento desta recomendação poderá resultar em danos ao paciente, operador ou equipamento, além de invalidar a garantia do ventilador manual da marca II.

### **3.9. Sistema de Alarmes**

Os sistemas de alarmes têm a função de alertar o médico ou enfermeira de possíveis alterações em pacientes, ou problemas de mau funcionamento do equipamento. A ventilador da marca II conta com um completo sistema de alarmes audiovisuais. Os mais comumente encontrados são:

#### **3.9.1. Alarme de Pressão Mínima**

O alarme de pressão mínima é o alarme que faz um sinal auditivo intermitente, quando são violados os limites da pressão mínima programada no ventilador, ficando em risco o paciente.

#### **3.9.2. Alarme de Pressão Máxima**

O ventilador tem um alarme de pressão máxima com um sinal auditivo intermitente, quando se ultrapassa os limites da pressão máxima programada no ventilador, e fica em risco o paciente.

#### **3.9.3. Alarme de Volume Minuto alto/baixo**

O ventilador conta com um alarme de volume minuto alto/baixo com um sinal auditivo intermitente, quando se ultrapassa os limites do volume minuto alto ou baixo programado no ventilador, e fica em risco o paciente.

#### **3.9.4. Alarme de Falta de Energia Elétrica**

O ventilador tem um alarme com sinal auditivo intermitente, quando falta energia elétrica ou quando o ventilador fica sem corrente elétrica. Para estes casos, o ventilador possui uma bateria interna sempre carregada, para que o ventilador continue a operar mesmo em uma eventual falha elétrica.

#### **3.9.5. Alarme de Falta de Gases**

Se houver uma falta de gases, o alarme faz um sinal auditivo intermitente, quando o sensor detecta alguma falha ou alteração no fornecimento dos gases (ar comprimido e/ou oxigênio).

#### **3.9.6. Desconexão de Circuito de Pacientes**

Quando houver uma desconexão do circuito do pacientes tem um alarme que faz um sinal auditivo intermitente, quando o circuito do paciente não está montado firme e corretamente, mediante um sensor eletrônico de temperatura em sua respectiva conexão no intermediário em “Y” do circuito respiratório.