



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
NÚCLEO DE PESQUISAS EM ONCOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ONCOLOGIA E CIÊNCIAS  
MÉDICAS

JANIZE COSTA NINA

**DISPOSITIVO FISIOTERAPÊUTICO GERADOR DE  
PRESSÃO POSITIVA EXPIRATÓRIA COM PROPRIEDADES  
FLUXO-DEPENDENTES**

BELÉM-PA  
2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
NÚCLEO DE PESQUISAS EM ONCOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ONCOLOGIA E CIÊNCIAS  
MÉDICAS

JANIZE COSTA NINA

**DISPOSITIVO FISIOTERAPÊUTICO GERADOR DE  
PRESSÃO POSITIVA EXPIRATÓRIA COM PROPRIEDADES  
FLUXO-DEPENDENTES**

Projeto de pesquisa apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Oncologia e Ciências Médicas, área de concentração: Medicina I, do Núcleo de Pesquisas em Oncologia, da Universidade Federal do Pará como requisito para obtenção do título de Mestre em Oncologia e Ciências Médicas.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos Santana da Silva

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>.Dr<sup>a</sup>. Valéria Marques Ferreira Normando

BELÉM-PA  
2016

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Biblioteca do Hospital Universitário João de Barros Barreto (HUJBB/UFPa)**

---

Nina, Janize Costa, 1980-

Dispositivo fisioterapêutico gerador de pressão positiva expiratória com propriedades fluxo-dependentes. / Janize Costa Nina; Orientador, Prof. Dr. Luiz Carlos Santana da Silva. — 2016.

53 f. : il. ; color. ; 30 cm.

Inclui bibliografias.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Núcleo de Pesquisas em Oncologia, Programa de Pós-graduação em Oncologia e Ciências Médicas, Belém, 2016.

1. Respiração com pressão positiva. 2. Dispositivo. 3. Fisioterapia. I. Silva, Luiz Carlos Santana da, *orient.* II. Título.

CDD - 23. ed. 615.836

---



JANIZE COSTA NINA

**DISPOSITIVO FISIOTERAPÊUTICO PARA INCREMENTO DA PRESSÃO  
POSITIVA EXPIRATÓRIA EM PACIENTES COM LEUCEMIAS AGUDAS**

Projeto de pesquisa apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Oncologia e Ciências Médicas, área de concentração: Medicina I, do Núcleo de Pesquisas em Oncologia, da Universidade Federal do Pará como requisito para obtenção do título de Mestre em Oncologia e Ciências Médicas.

Aprovado em: 21/12/2016

**Banca Examinadora:**

\_\_\_\_\_ - Orientador

Prof. Dr. Luiz Carlos Santana da Silva  
Universidade Federal do Pará

\_\_\_\_\_ - Coorientadora

Prof. Dra. Valéria Marques Ferreira Normando  
Universidade do Estado do Pará

\_\_\_\_\_

Prof. Dra. Laura Maria Tomazi Neves  
Universidade Federal do Pará  
Titular

\_\_\_\_\_

Prof. Dr. Paulo Pimentel de Assumpção  
Universidade Federal do Pará  
Titular

\_\_\_\_\_

Prof. Dr. Paulo Eduardo Santos Ávila  
Universidade da Amazônia  
Titular

\_\_\_\_\_

Prof. Dra. Patrícia do Socorro Queiroz Feio  
Universidade Federal do Pará  
Suplente

*Ao meu filho Bernardo, minha surpresa e meu presente  
de Deus, minha força e determinação durante a  
realização desta etapa profissional;*

*Aos meus pais pelo amor dedicado, pelo apoio e  
incentivo constante na busca do conhecimento e  
aprimoramento profissional;*

*Ao meu marido, pelo empenho e dedicação concedidos  
para que esse sonho se concretizasse.*

## AGRADECIMENTOS

Ao Núcleo de Pesquisa em Oncologia pela oportunidade de concretizar mais uma etapa tão almejada para a minha realização profissional.

Ao Prof. Dr. Luiz Carlos Santana da Silva por ter aceitado me orientar, valorizando o conhecimento multiprofissional, mesmo quando a incerteza do novo ou desconhecido se sobressaltava.

A Profa. Dra. Valéria Marques Ferreira Normando pelo exemplo de profissionalismo, dedicação e pela grande contribuição desempenhados na co-orientação deste trabalho, fazendo possível a sua concretização.

Ao engenheiro mecânico Jorge Batista pelo conhecimento e mão de obra indispensáveis para a elaboração e produção do dispositivo fisioterapêutico.

Ao engenheiro Jorge Alves da Silveira Júnior pelo compromisso e empenho cordialmente prestados na execução e configuração do dispositivo fisioterapêutico.

A professora Dilma Neves (tia Dilma) pela generosidade em compartilhar seus conhecimentos, pelos abraços de conforto nas horas difíceis, pois sem a sua ajuda não seria possível a conclusão deste trabalho.

Ao prof. Dr. Manoel da Silva Filho, pelo conhecimento enriquecedor possibilitando aprimorar o comportamento mecânico do dispositivo fisioterapêutico.

A Mariseth Carvalho de Andrade, pela competência e habilidade com os dados estatísticos, tornando possível concluir a pesquisa.

As minhas irmãs, Janice e Janile, que de alguma forma contribuíram, seja pelo apoio e incentivo tão importantes para mim, seja pela ajuda de forma concreta para a realização deste projeto.

A Luciene Dias Cavalcante, coordenadora da biblioteca do Hospital Ophir Loyola, sempre gentil e prestativa na busca de artigos científicos e na orientação das normas da ABNT.

Aos funcionários da biblioteca do Hospital Ophir Loyola, sempre solícitos a ajudar no que fosse necessário.

A Maria Aparecida de Oliveira Salame Guimarães, diretora administrativa da empresa Cirubel Cirúrgica Belém Comércio e Representações Ltda, por permitir e disponibilizar o laboratório em eletrônica, possibilitando concretizar os testes laboratoriais no dispositivo fisioterapêutico proposto, de forma consistente.

Ao engenheiro Luís Otávio Borges Leal, por disponibilizar gentilmente o laboratório da BLB Eletrônica Ltda, possibilitando realizar os testes laboratoriais no dispositivo fisioterapêutico.

Ao técnico em eletrônica, Ronald Leão, por realizar os testes no dispositivo proposto, com habilidade e técnica necessárias para o alcance de resultados precisos.

A minha amiga Thaiana Bender (Thatá) pela sua amizade, apoio e incentivo quando ainda era só uma idéia até a realização deste trabalho. Como também, pela ajuda e tempo dedicados nas traduções de trechos de artigos científicos.

Ao chefe da Divisão de Fisioterapia e Terapia Ocupacional do Hospital Ophir Loyola, Thiago Augusto de Nazaré, pela compreensão e liberação da carga horária, quando necessário.

## RESUMO

### DISPOSITIVO FISIOTERAPÊUTICO GERADOR DE PRESSÃO EXPIRATÓRIA POSITIVA COM PROPRIEDADES FLUXO-DEPENDENTES

A terapia com pressão expiratória positiva (PEP) é segura e eficaz para a prevenção, reversão de atelectasias e remoção de secreções pulmonares. O estudo experimental objetivou elaborar um dispositivo fisioterapêutico capaz de gerar pressão expiratória positiva para pacientes em respiração espontânea e avaliar seu desempenho mecânico. A composição do dispositivo fisioterapêutico constituiu de 14 componentes, produzido em alumínio e plástico, permitindo apresentar características de um resistor fluxo-dependente não gravitacional. As pressões, obtidas por meio do fluxômetro de alto fluxo modelo Certifier<sup>®</sup> FA TSI (TSI Corporated, EUA), tiveram influência da resistência de orifício com diâmetros de 1,5; 2,0; 3,0; 4,0 e 5,0mm, dos pesos de cinco pistões (1,5; 1,6; 2,0; 3,2 e 3,8g) e de fluxos constantes de 3, 5, 6, 9, 10 e 12L/min ou fluxo de disparo do pistão. Dentre que os cinco pistões, o pistão 4 (3,2g) apresentou melhor resultado estatisticamente significativo, alcançando uma pressão de 20cmH<sub>2</sub>O com fluxos de 8,16L/min, para o orifício de 1,5mm de diâmetro. O dispositivo de PEP proposto pode gerar pressões terapêuticas entre 10 e 20cmH<sub>2</sub>O, por meio de uma variação de fluxos expiratórios baixos. Apresenta como característica singular a associação do diâmetro do orifício com o peso do pistão para gerar a pressão positiva. Estudos futuros são necessários a fim de promover a validação do dispositivo fisioterapêutico em crianças saudáveis e posterior análise em pacientes com afecções pulmonares, para obter dados científicos que representem a nossa prática clínica.

**Palavras-chave:** Dispositivo. Fisioterapia. Respiração com pressão positiva.

## ABSTRACT

### PHYSIOTHERAPY DEVICE POSITIVE EXPIRATORY PRESSURE GENERATOR WITH FLOW-DEPENDENT PROPERTIES

Positive expiratory pressure therapy is safe and effective for the prevention, reversal of atelectasis and removal of pulmonary secretions. The experimental study aimed to elaborate a physiotherapeutic device capable of generating positive expiratory pressure for patients in spontaneous breathing and evaluating their mechanical performance. The composition of the physiotherapeutic device consisted of 14 components, produced in aluminum and plastic, allowing to present characteristics of a flow-dependent non-gravitational resistor. The pressures obtained through the high flux flowmeter model Certifir® FA TSI (TSI Corporated, USA) had influence of the orifice strength with diameters of 1.5, 2.0, 3.0, 4.0 and 5.0mm, five-piston weights (1.5; 1.6, 2.0, 3.2 and 3.8g) and constant flows of 3, 5, 6, 9, 10 and 12L/min or piston firing flow. Among the five pistons, the piston 4 (3.2g) presented a better statistically significant result, reaching a pressure of 20cmH<sub>2</sub>O with flows of 8.16L/min, for the 1.5mm diameter bore. The proposed PEP device can generate therapeutic pressures between 10 and 20cmH<sub>2</sub>O, through a variation of low expiratory flows. It presents as singular characteristic the association of the diameter of the orifice with the weight of the piston to generate the positive pressure. Future studies are needed in order to promote the validation of the physiotherapeutic device in healthy children and subsequent analysis in patients with pulmonary conditions to obtain scientific data that represent our clinical practice.

**Key words:** Device. Physiotherapy. Positive pressure breathing.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> - Algoritmo para TEP no paciente na unidade de terapia intensiva em ventilação espontânea e em ventilação mecânica.....	17
<b>Figura 2</b> - Tipos de geradores de pressão positiva expiratória nas vias aéreas .....	20
<b>Figura 3</b> - Configuração do experimento.....	33
<b>Figura 3a</b> - Tipo de fluxômetro .....	33
<b>Figura 4</b> - Composição inicial do dispositivo fisioterapêutico.....	35
<b>Figura 5</b> - Composição intermediária do dispositivo fisioterapêutico.....	36

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Resultados da variação pressórica decorrentes da combinação de fluxos fixos com a resistência empregada pelo pistão 1(1,5g) e os diferentes diâmetros de orifício, Belém-Pa, 2016.....	37
<b>Tabela 1a.</b> Regressão linear das variáveis fluxo e pressão associadas a resistência empregada por orifício e peso do pistão 1(1,5g), Belém-Pa, 2016 .....	37
<b>Tabela 2.</b> Resultados da variação pressórica decorrentes da combinação de fluxos fixos com a resistência empregada pelo pistão 2 (1,6g) e os diferentes diâmetros de orifício, Belém-Pa, 2016.....	38
<b>Tabela 2a.</b> Regressão linear das variáveis fluxo e pressão associadas a resistência empregada por orifício e peso do pistão 2 (1,6g), Belém-Pa, 2016 .....	38
<b>Tabela 3.</b> Resultados da variação pressórica decorrentes da combinação de fluxos fixos com a resistência empregada pelo pistão 3 (2,0g) e os diferentes diâmetros de orifício, Belém-Pa, 2016.....	39
<b>Tabela 3a.</b> Regressão linear das variáveis fluxo e pressão associadas a resistência empregada por orifício e peso do pistão 3 (2,0g), Belém-Pa, 2016 .....	39
<b>Tabela 4.</b> Resultados da variação pressórica decorrentes da combinação de fluxos fixos com a resistência empregada pelo pistão 4 (3,2g) e os diferentes diâmetros de orifício, Belém-Pa, 2016.....	40
<b>Tabela 4a.</b> Regressão linear das variáveis fluxo e pressão associadas a resistência empregada por orifício e peso do pistão 4 (3,2g), Belém-Pa, 2016 .....	40
<b>Tabela 5.</b> Resultados da variação pressórica decorrentes da combinação de fluxos fixos com a resistência empregada pelo pistão 5 (3,8g) e os diferentes diâmetros de orifício, Belém-Pa, 2016.....	41
<b>Tabela 5a.</b> Regressão linear das variáveis fluxo e pressão associadas a resistência empregada por orifício e peso do pistão 5 (3,8g), Belém-Pa, 2016 .....	41

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AARC – American Association for Respiratory Care
- BIPAP® – BI-Level Positive Airway Pressure
- CEP – Comitê de Ética em Pesquisa
- CPAP – Pressão Positiva Contínua em Vias Aéreas
- CPT – Capacidade Pulmonar Total
- CRF – Capacidade Residual Funcional
- CVF – Capacidade Vital Forçada
- DPOC – Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica
- EPAP – Pressão Positiva Expiratória em Vias Aéreas
- FC – Frequência Cardíaca
- FEF<sub>25%-75%</sub> – Fluxo Expiratório Forçado Médio entre 25% e 75% da CVF
- FR – Frequência Respiratória
- OOAF – Oscilação Oral de Alta Frequência
- O<sub>2</sub> – Oxigênio
- Palv – Pressão Alveolar
- PaO<sub>2</sub> – Pressão Parcial de Oxigênio
- PEP – Pressão Expiratória Positiva
- PEEP – Pressão Positiva Expiratória Final
- PFE – Pico de Fluxo Expiratório
- PIC – Pressão Intracraniana
- Ppl – Pressão Pleural
- Ppt – Pressão Transpulmonar
- PtcCO<sub>2</sub> – Pressão Transcutânea de Gás Carbônico
- PtcO<sub>2</sub> – Pressão Transcutânea de Oxigênio
- RPPI – Respiração com Pressão Positiva Intermitente
- SpO<sub>2</sub> – Saturação Periférica de Oxigênio
- TEP – Terapia de Expansão Pulmonar
- UEPA – Universidade do Estado do Pará
- VEF – Volume Expiratório Forçado
- VEF<sub>1</sub> – Volume Expiratório Forçado no Primeiro Segundo

VM – Ventilação Mecânica

VR – Volume Residual

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	15
1.2	TERAPIA DE EXPANSÃO PULMONAR .....	16
<b>1.2.1</b>	<b>Bases Fisiológicas da Terapia de Expansão Pulmonar .....</b>	<b>16</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Pressão Expiratória Positiva .....</b>	<b>18</b>
1.3	EVIDÊNCIAS CIENTÍFICAS DA TERAPIA COM PRESSÃO POSITIVA NA PRÁTICA CLÍNICA.....	21
<b>2</b>	<b>JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>28</b>
<b>3</b>	<b>APLICABILIDADE .....</b>	<b>29</b>
<b>4</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>30</b>
4.1	OBJETIVO GERAL.....	30
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	30
<b>5</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>31</b>
5.1	ASPECTOS ÉTICOS .....	31
5.2	TIPO DE ESTUDO .....	31
5.3	LOCAL E PERÍODO DO ESTUDO .....	31
5.4	COLETA DE DADOS .....	31
<b>5.4.1</b>	<b>Elaboração e Produção do Dispositivo Fisioterapêutico.....</b>	<b>31</b>
<b>5.4.2</b>	<b>Medição e Definição da Pressão Positiva .....</b>	<b>32</b>
5.5	RISCOS E BENEFÍCIOS .....	33
<b>5.5.1</b>	<b>Riscos .....</b>	<b>33</b>
<b>5.5.2</b>	<b>Benefícios.....</b>	<b>34</b>
5.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	34
<b>6</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>35</b>
<b>7</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>42</b>
<b>8</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>46</b>

**REFERÊNCIAS ..... 47**

**APÊNDICE A - ACEITE DA INSTITUIÇÃO..... 52**

**APÊNDICE B – DISPOSITIVO FISIOTERAPÊUTICO RESPIRATÓRIO ..... 53**

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A fisioterapia respiratória objetiva a recuperação pneumofuncional por meio de recursos e técnicas que visem à função ventilatória, trocas gasosas, transporte e captação de oxigênio (FELTRIM, 2012). A fim de alcançar este objetivo, as condutas fisioterapêuticas podem ser norteadas segundo França et al. (2012), em terapia de expansão pulmonar (TEP) e terapia de higiene brônquica.

Durante décadas, os termos relacionados a fisioterapia respiratória e as manobras para depuração de secreções das vias aéreas foram sinônimos de percussão manual, drenagem postural e vibração (DARBEE et al., 2004; KUYRUKLUYILDIZ et al., 2016). Por meio da pesquisa científica e da identificação da importância vital da mobilização e eliminação das secreções, nos processos de doença com deterioração do mecanismo de desobstrução das vias aéreas e expectoração, fomentou-se um mercado direcionado ao desenvolvimento de dispositivos para auxiliar nesta tarefa, ou ao menos, permitir uma terapêutica eficaz, e acima de tudo autoadministrada (MYERS, 2007).

Nesta linha de análise, cabe ressaltar o surgimento, na década de 70 na Dinamarca, da terapia com pressão expiratória positiva (PEP) em respiração espontânea, com a finalidade de alcançar pressões expiratórias na variação de 5 a 20cmH<sub>2</sub>O (MYERS, 2007). Esta terapêutica com PEP direciona uma resistência durante a expiração, a fim de gerar uma pressão positiva nas vias aéreas (McILWAINE; BUTTON; DWAN, 2015). Alguns dispositivos produzem resistência ao fluxo expiratório por meio de orifícios fixos, sendo denominados de instrumentos alineares, promovendo um aumento de pressão conforme o aumento do fluxo expiratório. Por outro lado, existem dispositivos em que as pressões positivas são mantidas constantes independentemente do fluxo, estes determinados lineares (MESTRINER et al., 2009).

Este tipo de terapia tem sido recomendada e utilizada para pacientes adultos e pediátricos com fibrose cística, doenças respiratórias agudas e crônicas, e no período de pós-operatório (LAGERKVIST et al., 2005; MOULIM et al., 2009; FIORE et al., 2010; CAVALLI; NOHAMA, 2013; SANTOS et al., 2013). Benefícios da PEP são demonstrados na depuração de secreções, na capacidade residual funcional e oxigenação (JOHNSTON; JAMES; MACKNEY, 2013).

A terapia com dispositivos fisioterapêuticos geradores de PEP tem sido desenvolvida com eficácia similar as terapias manuais podendo ser uma alternativa diante de métodos de fisioterapia respiratória convencional, que por ser humano-dependente, a frequência e a duração da técnica variam de acordo com o fisioterapeuta. Deste modo, os métodos convencionais são relatados como laboriosos, desconfortáveis para o paciente e com percentagem relativamente baixa da terapia, contribuindo para um declínio na adesão ao tratamento (REYCHLER et al., 2015; KUYRUKLUYILDIZ et al., 2016).

## 1.2 TERAPIA DE EXPANSÃO PULMONAR

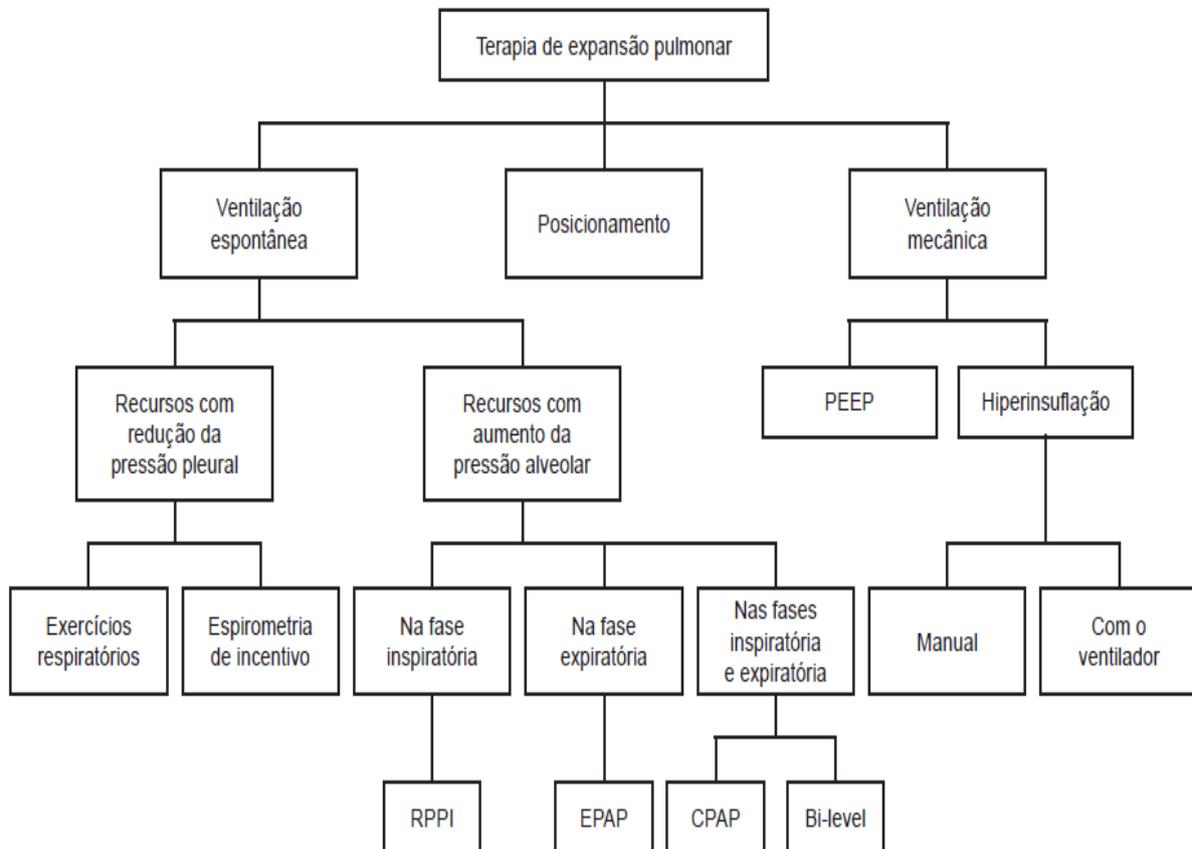
A TEP é utilizada com o intuito de prevenir ou corrigir atelectasias (colapso parcial ou total do pulmão), com conseqüente otimização das trocas gasosas e redução do trabalho respiratório (JOHNSTON et al., 2012). A atelectasia causa perda de volume tendo como conseqüência a redução na capacidade residual funcional (CRF- volume de ar que permanece nos pulmões ao final de uma expiração usual), podendo levar à hipoxemia, redução da complacência pulmonar, aumento da resistência vascular pulmonar, hiperexpansão de unidades alveolares adjacentes, aumento no risco de infecções e lesão pulmonar caso não seja revertido (JOHNSTON; CARVALHO, 2008; CEREDA et al., 2014).

A TEP pode ser efetiva tanto na profilaxia quanto no tratamento do colapso pulmonar, o qual ocorre frequentemente em pacientes com doenças respiratórias e neuromusculares, restritos ao leito por período prolongado, intubados sob ventilação mecânica (VM) e em diversos tipos de pós-operatórios, principalmente de cirurgias torácicas e abdominais (STRICKLAND et al., 2013).

### 1.2.1 Bases Fisiológicas da Terapia de Expansão Pulmonar

Segundo Maux e Paiva (2012), as técnicas de expansão ou reexpansão utilizadas (Figura 1) surgem com o objetivo principal de incremento do volume pulmonar por meio do aumento do gradiente de pressão transpulmonar (Ptp). Essa diferença de pressão pode ser promovida por redução da pressão pleural (Ppl) ou por aumento na pressão intra-alveolar (Palv). O gradiente de pressão transpulmonar representa a pressão que mantém a insuflação pulmonar, sendo expressa pela fórmula:

$$Ptp = Palv - Ppl$$



**Figura 1** – Algoritmo para TEP no paciente na unidade de terapia intensiva em ventilação espontânea e em ventilação mecânica.

**Nota:** *Positive expiratory end pressure* (PEEP); *Respiração por pressão positiva intermitente* (RPPI); *Expiratory positive airway pressure* (EPAP); *Continue positive airway pressure* (CPAP).

**Fonte:** França et al., 2012.

As terapias de expansão pulmonar com pressão positiva, por meio da utilização de dispositivos ou equipamentos, promovem um incremento da pressão no interior dos alvéolos que podem ocorrer na fase inspiratória isoladamente, na fase expiratória e vice-versa, assim como em ambas (FRANÇA et al., 2012). De fato, há atributos de atenção às contraindicações, riscos e complicações desta terapia, as quais estão expostas no Quadro 1, segundo recomendações da *American Association for Respiratory Care* (AARC, 1993).

CONTRAINDICAÇÕES	RISCOS E COMPLICAÇÕES
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pacientes incapazes de tolerar o aumento do trabalho respiratório (asma aguda, DPOC);</li> <li>- Pressão intracraniana (PIC) &gt; 20 mmHg;</li> <li>- Instabilidade hemodinâmica;</li> <li>- Sinusite aguda;</li> <li>- Hemoptise;</li> <li>- Pneumotórax não drenado;</li> <li>- Patologias do ouvido médio;</li> <li>- Cirurgias de esôfago ou trauma de face, oral ou craniano;</li> <li>- Epistaxe;</li> <li>- Náuseas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento do trabalho respiratório que pode levar à hipoventilação e à hipercapnia;</li> <li>- Barotrauma pulmonar;</li> <li>- Aumento da PIC;</li> <li>- Comprometimento cardiovascular (redução do débito cardíaco e retorno venoso);</li> <li>- Ruptura cutânea e desconforto com as máscaras;</li> <li>- Aerofagia, com possibilidade de vômitos e aspirações;</li> <li>- Claustrofobia.</li> </ul>

**Quadro 1** - Contraindicações, riscos e complicações da TEP.

Fonte: AARC, 1993.

### 1.2.2. Pressão Expiratória Positiva

A PEP é uma pressão supra-atmosférica que atua sobre as vias aéreas durante a expiração (McILWAINE, BUTTON, DWAN, 2015). Trata-se da aplicação com objetivos terapêuticos de uma resistência em toda a fase expiratória do ciclo respiratório, principalmente ao final desta, a fim de manter uma pressão positiva na via aérea (BARROS et al., 2007). A PEP pode ser administrada em pacientes em respiração espontânea ou em ventilação mecânica (OLIVEIRA et al., 2012).

A pressão positiva aplicada às vias aéreas promove o aumento da pressão transpulmonar por meio do aumento da pressão alveolar, melhorando a expansão dos pulmões através de uma terapêutica simples, de baixo custo, sem requerer necessariamente de um equipamento complexo (PARREIRA et al., 2014).

Segundo o autor supracitado, nos dias de hoje, são utilizadas três formas de terapia com pressão positiva das vias aéreas: PEP, pressão positiva expiratória nas vias aéreas (EPAP) e a pressão positiva contínua nas vias aéreas (CPAP). Essas terapias são usadas com o objetivo primário para facilitar a expansão pulmonar, prevenir e tratar atelectasias, e de forma adjuvante para promover a mobilização de secreções pulmonares (REYCHLER et al., 2014; CHEN et al., 2016).

O benefício como manobra de higiene brônquica para pacientes hipersecretivos está relacionado à presença de ventilação colateral para alvéolos obstruídos, gerando aumento da pressão na região distal à secreção e seu deslocamento para porções proximais da árvore brônquica, como também prevenindo o colapso da via aérea e mantendo-a aberta (McCOOL; ROSEN, 2006; MYERS, 2007; McILWAINE; BUTTON; DWAN, 2015).

Na terapia com PEP, o paciente expira contra um resistor de orifício, sem necessitar de uma fonte de gás externa pressurizada. Durante a EPAP, o paciente inspira sem nenhum fluxo adicional, somente a ventilação realizada pelo paciente e expira contra uma resistência linear, também denominada de resistor de limiar pressórico (AARC, 1993).

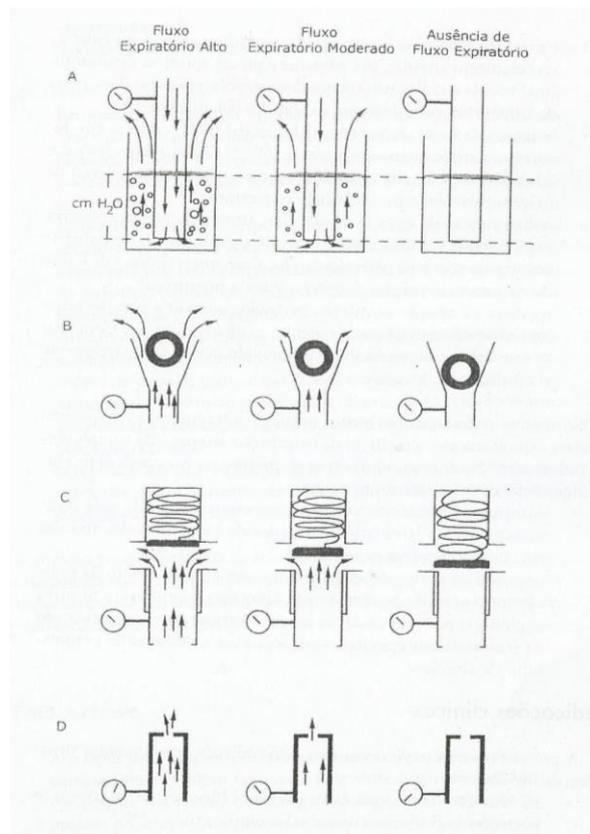
Existem dois tipos básicos de geradores de resistência ao fluxo expiratório denominados de resistor alinear pressórico ou a fluxo e resistor de limiar pressórico (FREITAS et al., 2009). O resistor de fluxo consiste em um sistema de orifícios que estabelecem, por diferentes diâmetros, o nível da resistência expiratória, ou seja, conforme o diâmetro do orifício for diminuindo, a resistência tende a se elevar e conseqüentemente aumentado o nível de PEEP, que dependerá também do fluxo aéreo expiratório do paciente (fluxo-dependente) (LAGERKVIST et al., 2005; MESTRINER et al., 2009).

Nesse sistema, a PEEP não é estável pois depende dos fatores já citados. Assim como, mudanças no padrão respiratório alteram a taxa de fluxo expiratório, interferindo conseqüentemente na resistência expiratória. Em situações que o resistor de fluxo não puder criar uma PEEP, será denominado de retardo expiratório (AZEREDO, 2002). Sua indicação está limitada a pacientes pediátricos ou neonatais que produzem fluxos de baixa velocidade não gerando níveis indesejáveis de PEP, diferentemente da população adulta (PARREIRA et al., 2014).

No resistor de limiar pressórico, a pressão solicitada em cada expiração é independente do fluxo gerado e da resistência, a qual se mantém constante em toda a fase expiratória. Assim, ao final da expiração, o nível da PEEP demarcada no resistor será constante em toda a via aérea, desde a boca até regiões mais distais. Há dois tipos de resistor linear (Figura 2): resistor linear pressórico dependente da gravidade (subaquático ou selo d'água, coluna de água, peso da bola e balança) e resistor linear pressórico não-dependente da gravidade (válvula por mola, válvula magnética e válvula com balão) (OLIVEIRA et al., 2012).

O sistema selo d'água é o principal exemplo de resistor de limiar pressórico dependente da gravidade. Os gases expirados são liberados dentro da água pela submersão da ponta da "traqueia" ou circuito que determina o nível de pressão positiva expiratória. Por exemplo, 10 cm de traqueia dentro da água correspondem a 10 cmH<sub>2</sub>O de pressão positiva. O sistema peso da bola é caracterizado por uma esfera de alta densidade e com peso específico determinando a resistência ao fluxo expiratório e o nível de PEEP. É necessário que o dispositivo esteja na posição vertical para evitar grandes variações de pressão positiva, sendo o recurso mais utilizado o *flutter* (PARREIRA et al., 2012).

No resistor de limiar pressórico não-gravitacional, o mais utilizado é o sistema com mola *Spring Loaded*, em que a resistência é criada pela compressão de um anel metálico contra a saída do fluxo expiratório. A pressão é graduada através de um sistema de molas e o paciente deve gerar a pressão limite pré-determinada na válvula a cada expiração, permitindo o fluxo aéreo expiratório. Quanto maior a tensão na mola, maior será a PEEP gerada em nível do orifício expiratório (AZEREDO, 2002).



**Figura 2** - Tipos de geradores de pressão positiva expiratória nas vias aéreas.

**Nota:** A: Selo d'água; B: Peso da espera; C: Resistência por mola; D: Resistência por orifício.

**Fonte:** Parreira et al., 2014.

A terapia com PEEP surgiu a partir do fenômeno de *shunt* pulmonar, em que áreas não ventiladas por causa do colapso alveolar continuam sendo perfundidas, o que origina uma redução da saturação de O<sub>2</sub> no sangue arterial. Seus efeitos terapêuticos sobre o sistema respiratório são baseados no recrutamento alveolar, no aumento da CRF, melhora da complacência pulmonar, melhora da relação ventilação/perfusão, diminuição do *shunt* intrapulmonar, melhora da PaO<sub>2</sub>, redistribuição do líquido extravascular e remoção de secreções pulmonares (SILVA et al., 2009). Como também, visa mobilizar secreções

pulmonares com o intuito de melhorar a oxigenação arterial, prevenir o colapso alveolar ou reverter atelectasias (CAVALLI; NOHAMA, 2013).

O recrutamento alveolar, caracterizado pela reinsuflação de alvéolos colapsados, ocorre devido a pressão positiva que melhora a ventilação colateral inicialmente dos alvéolos não colapsados e posteriormente, dos alvéolos colapsados através do aumento do volume e da complacência pulmonar. Como também, aumenta a pressão transpulmonar no final da expiração e conseqüentemente aumenta a CRF. O aumento da CRF favorece a hematose evitando mudanças extremas na pressão arterial de oxigênio alveolar entre cada ciclo respiratório (PARREIRA et al., 2012).

A atuação da PEEP também facilita a movimentação dos líquidos do espaço intersticial em direção ao espaço peribrônquico. Assim, diminui o espaço entre o alvéolo e o capilar, melhorando a capacidade de difusão do oxigênio através da membrana alvéolo-capilar. A PEEP ao promover maior abertura alveolar, recrutamento de unidades e redistribuição da água extravascular, permite a redução do *shunt* intrapulmonar otimizando as trocas gasosas e conseqüentemente melhorando a relação ventilação/perfusão (AZEREDO, 2002).

Para a realização da técnica com PEP/EPAP, orienta-se o paciente a relaxar e executar o padrão respiratório diafragmático, inspirando um volume maior que o volume corrente, porém sem atingir à capacidade pulmonar total. A inspiração é ativa, sem ajuda externa ou fluxo adicional. A expiração é realizada contra uma resistência até à CRF, tornando a pressão de via aérea positiva em seu final (VERONEZI; SCORTEGAGNA, 2011).

Ainda não há consenso na literatura quanto ao tempo e frequência de aplicação da técnica, porém autores sugerem repetições em séries com frequência respiratória de 10 a 20 inspirações, não ultrapassando o tempo total de 20 minutos para não levar a fadiga dos músculos respiratórios (intervalos por cerca de 1 a 2 minutos são necessários para o relaxamento e controle da respiração), duas vezes ao dia ou períodos curtos de 5 minutos a cada uma hora (PRESTO; PRESTO, 2005; MYERS, 2007; PAPADOPOULOU et al., 2008).

### 1.3 EVIDÊNCIAS DA TERAPIA COM PRESSÃO POSITIVA NA PRÁTICA CLÍNICA

O uso da pressão expiratória positiva surgiu como um tratamento alternativo diante das técnicas de fisioterapia respiratória convencional, representada pela drenagem postural combinada com percussão e vibração torácica (DARBEE et al., 2004; LAGERKVIST et al.,

2005). A terapia com PEP tem sido recomendada e utilizada como um componente no gerenciamento do tratamento fisioterapêutico respiratório de pacientes adultos e pediátricos, incluindo aqueles com fibrose cística, doenças respiratórias agudas e crônicas, e no período de pós-operatório (JOHNSTON; JAMES; MACKNEY, 2013).

A finalidade terapêutica da PEP está em favorecer a oxigenação, aumentar o volume pulmonar e diminuir o retorno venoso em pacientes com insuficiência cardíaca congestiva, assim como melhorar a ventilação colateral, o depuramento de secreções, a distribuição de aerossol e a CRF (MESTRINER et al., 2009). É de conhecimento que níveis de PEP entre 10 e 20cmH<sub>2</sub>O, permitem o aumento da pressão durante a expiração evitando o fechamento prematuro das vias aéreas e conseqüentemente diminuindo o aprisionamento de ar. Além de mantê-las abertas permitindo o prolongamento do fluxo expiratório, também promove a depuração de secreções para vias respiratórias proximais diminuindo, desta forma, a obstrução e a resistência dessas vias, como também proporciona um aumento dos volumes e fluxos pulmonares (DAGAN et al., 2014).

Plebani et al. (1997) conduziram um estudo para avaliar se a terapia com PEP (máscara de PEP) duas vezes por dia ao longo de um ano, reduzia a taxa de infecção em crianças infectadas pelo Vírus da Imunodeficiência Humana (HIV), as quais apresentavam infecções pulmonares bacterianas recorrentes. Após doze meses de estudo, os investigadores observaram uma diminuição significativa do número médio de infecções e do uso de antibióticos. Concluíram que a terapia com PEP ao remover as secreções infectadas, reduz a necessidade de antibióticos em crianças com HIV.

Winden et al. (1998) compararam o efeito do *flutter* e máscara de PEP (com pressão expiratória de 8 a 12cmH<sub>2</sub>O) sobre os sintomas e a função pulmonar de crianças com fibrose cística. Foi realizado um estudo clínico randomizado *crossover* em que participaram 22 crianças, com idade média de 12 anos, as quais executaram ambos os dispositivos de fisioterapia respiratória duas vezes por dia, durante quinze dias, em dois períodos de tratamento de duas semanas. Esse período foi composto de uma semana de *wash-out* entre as duas condutas fisioterapêuticas.

Os parâmetros da função pulmonar (Capacidade Vital Forçada - CVF, Volume Expiratório Forçado no Primeiro Segundo - VEF<sub>1</sub>, Pico de Fluxo Expiratório - PFE, fluxo expiratório médio máximo, fluxo expiratório máximo a 25% da CVF, o volume de gás torácico, Capacidade Pulmonar Total - CPT, Volume Residual - VR/CPT, resistência das vias respiratórias e condutância específica das vias aéreas) e alterações na saturação transcutânea de oxigênio da hemoglobina foram avaliadas antes e após a primeira sessão supervisionada e

no final de cada tratamento. No decorrer do estudo, o PFE e os sintomas foram verificados diariamente. Durante a semana de *wash-out*, os pacientes mantiveram a medicação usual com nebulização de 10ml de NaCl a 0,9% seguida da técnica de expiração forçada. No final de cada período de tratamento, os pacientes e seus pais preencheram um questionário sobre a aceitabilidade e percepção da eficácia de cada método.

Os autores supracitados concluíram que não houve mudanças significativas na função pulmonar após uma única sessão ou depois de duas semanas de fisioterapia com o *flutter* ou máscara de PEP. Assim como, não houve diferença na aceitação e eficácia subjetiva, sendo ambos os métodos bem aceitos pelas crianças. A oxigenação e os sintomas foram similares durante os dois tratamentos. Também sugeriram que estudos a longo prazo poderiam revelar os efeitos não visíveis após duas semanas do tratamento fisioterapêutico.

McIlwaine et al. (2001) realizaram um estudo clínico randomizado a longo prazo, a fim de comparar os efeitos do dispositivo *flutter* com a pressão expiratória positiva através da máscara de PEP, em pacientes com fibrose cística. Completaram o estudo no período de um ano, trinta e duas crianças, de ambos os sexos, com faixa etária de 7 a 17 anos. Foram excluídos do estudo aqueles que estiveram hospitalizados por um mês devido apresentaram exacerbação pulmonar. Visitas regulares (a cada três meses) no decorrer da pesquisa asseguraram a habilidade na execução da técnica selecionada, a adesão ao tratamento domiciliar e a obtenção do escarro para cultura bacteriológica. Assim como, a mensuração dos parâmetros da função pulmonar (CVF, VEF<sub>1</sub>, FEF<sub>25%-75%</sub>) e o estado clínico do paciente através dos escores de Shwachman e Huang.

Durante o período de aproximadamente um ano, os pacientes mantiveram o registro diário sobre a adesão ao tratamento e completaram um questionário mensal, no qual registraram a atividade física, como o paciente estava se sentindo, tosse e produção de escarro, a impressão do paciente sobre a técnica de fisioterapia, qualquer reação adversa para a técnica e adesão ou razões para não adesão com a fisioterapia.

Os resultados mostraram que os pacientes, os quais utilizaram o *flutter* apresentaram maior deterioração da saúde evidenciada na função pulmonar (declínio da CVF -  $8.62 \pm 15.5$ ,  $p = 0,05$  e VEF<sub>1</sub> -  $10.95 \pm 19.96$ ,  $p = 0,08$ ), no número de hospitalizações (5 admissões no grupo PEP e 18 no grupo *flutter*,  $p = 0,03$ ) e na escore clínica de Huang ( $p = 0,05$ ) quando comparado com os pacientes que usaram a máscara de PEP. O uso da PEP permitiu manter ou melhorar a função pulmonar. Os autores explicaram seus resultados baseados nas teorias fisiológicas relativas à PEP e o *flutter*.

Luisi et al. (2004) realizaram um ensaio clínico randomizado controlado, em que o objetivo principal foi comparar a evolução clínica de crianças internadas com atelectasias pulmonares (idade variando de 2 meses a 5 anos) vistas aos raios-X (RX) de tórax, durante dois diferentes tratamentos fisioterapêuticos. Das 32 crianças, 16 foram submetidas ao tratamento com EPAP (grupo intervenção) através de máscara facial pediátrica, uma válvula unidirecional e válvula *spring-load*, durante 5 minutos com pressão expiratória de 8cmH<sub>2</sub>O, seguida de vibrocompressão e estímulo de tosse ou aspiração nasal quando necessário. O tratamento do grupo controle consistiu da manobra de Farley Campos, vibrocompressão e estímulo de tosse ou aspiração nasal quando necessário. Ambos, foram realizados duas vezes ao dia (manhã e tarde), com duração de 15 minutos. O protocolo foi seguido até a resolução das atelectasias vistas ao RX ou alta hospitalar da criança (média de 3,6 dias para o grupo controle e 3,5 dias para o grupo intervenção).

Os autores concluíram que ambos tratamentos tiveram efeitos semelhantes nas mensurações da ausculta pulmonar, tosse, necessidade de oxigênio e na análise radiológica das atelectasias entre a primeira e a última mensuração, assim como no tempo de tratamento fisioterapêutico entre os grupos. No entanto, foi observado que o grupo tratado com EPAP apresentou melhora significativa em relação ao grupo controle quanto à redução da necessidade de aspiração das vias aéreas superiores. Também não foi observado diferença significativa nas variáveis frequência cardíaca (FC), frequência respiratória (FR), saturação periférica de oxigênio e temperatura corporal.

Hsu et al. (2005), compararam o uso do inspirômetro de incentivo à volume (*Coach 2*, para crianças) e a terapia com PEP (aparelho denominado TheraPEP) com o tempo de hospitalização, a satisfação do paciente ao uso do dispositivo de PEP e a progressão de complicações pulmonares para síndrome torácica aguda em crianças com doença de células falciformes. Sabe-se que o uso do inspirômetro de incentivo pode ser limitado pela dor torácica ou pela dificuldade de coordenar a inspiração em crianças pequenas. Nessa faixa etária, a coordenação expiratória da terapia com PEP parece ser mais fácil e mais confortável do que o inspirômetro.

Foram randomizadas 20 crianças com doenças de células falciformes (11 para o uso de PEP e 9 para o uso do inspirômetro de incentivo) com idade superior a 6 anos, de ambos os sexos, hospitalizadas devido dor torácica causada pela doença. O tratamento fisioterapêutico foi realizado desde a admissão até a alta hospitalar ou progressão da doença para síndrome torácica aguda e constituiu de 10 respirações, a cada uma hora, enquanto o paciente estivesse acordado. Durante a terapia com PEP, foi utilizada uma pressão de 10 a 20cmH<sub>2</sub>O.

Os resultados mostraram não haver diferença entre os dois grupos quanto aos itens avaliados. Em ambos, não houve evolução do quadro para síndrome torácica aguda. Os autores concluíram que a terapia com PEP pode ser uma alternativa para o inspirômetro de incentivo em pacientes com anemia falciforme com alto risco de síndrome torácica aguda, tornando-se uma terapia respiratória preventiva e efetiva. Também relataram que as limitações do estudo estão relacionadas ao pequeno tamanho da amostra, tornando diferenças estatísticas não relevantes clinicamente. Como também, não houve a mensuração da função pulmonar, incluindo os volumes pulmonares. Os autores sugerem mais estudos com um número maior de pacientes.

Lagerkvist et al. (2005) ao investigarem o efeito da PEP sobre a pressão transcutânea dos gases sanguíneos e da FR de crianças com deficiências múltiplas graves (paralisia cerebral grave e retardo mental grave), com acúmulo de secreção nas vias aéreas, observaram que a FR com máscara de PEP (programa de três séries de exercícios respiratórios de dois minutos cada e intervalo de cinco minutos entre elas, com PEP variando de 10 a 15cmH<sub>2</sub>O), promoveu um aumento significativo da pressão transcutânea de oxigênio (PtcPO<sub>2</sub>) imediatamente após a desobstrução das vias aéreas. Porém, diferenças significativas não foram observadas na pressão transcutânea de gás carbônico (PtcCO<sub>2</sub>) e na FR. Segundo os autores, a reprodutibilidade do tratamento com PEP foi boa e as crianças tiveram um bom aceite à terapia. No entanto, o efeito a longo prazo ainda precisa ser comprovado.

McIlwaine, Button e Dwan (2015) realizaram um estudo de metanálise para determinar a eficácia e a aceitabilidade dos dispositivos de PEP em comparação com outras formas de fisioterapia, como um meio de melhorar a depuração do muco e outros resultados em pessoas com fibrose cística. Foram utilizados como critério de seleção, estudos randomizados controlados, nos quais a PEP foi comparada com a drenagem postural e percussão, ciclo ativo de técnicas de respiração (compreendendo controle respiratório ou relaxamento, técnicas de expiração forçada, exercícios de expansão torácica podendo incluir drenagem postural e percussão), dispositivos de PEP oscilantes, dispositivos oscilantes torácicos, dois níveis de pressão positiva nas vias aéreas (BIPAP) e exercício. Também incluíram estudos com um ou mais dos seguintes resultados: alteração no VEF1, número de exacerbações dos sintomas respiratórios, uma medida direta da limpeza mucociliar, peso expectorado das secreções, outros parâmetros de função pulmonar, uma medida de tolerância ao exercício, exames de imagem, custo da intervenção e adesão ao tratamento.

Um total de 26 estudos foram incluídos (18 apresentando características *crossover*) com 733 pessoas diagnosticadas com fibrose cística, idade entre 6 e 47 anos, e doença

pulmonar classificada de leve a grave. O atendimento fisioterapêutico variou de uma única sessão até dois anos de tratamento. Os principais resultados encontrados, em geral, mostraram que a eficácia da PEP é semelhante a outros métodos de fisioterapia respiratória citados anteriormente. Também não encontraram diferenças na função pulmonar, na quantidade de secreção removida das vias aéreas ou suas respectivas repercussões na saúde das pessoas com fibrose cística entre PEP e outras formas de fisioterapia respiratória. No entanto, houve uma diminuição na taxa de exacerbações dos sintomas respiratórios em pessoas usando PEP em comparação com outras formas de fisioterapia, tais como um dispositivo de vibração PEP ou colete de vibração.

Houve alguma evidência de que pessoas com fibrose cística poderiam preferir o uso da PEP a outros métodos de fisioterapia respiratória. Não houve evidência da PEP causar danos, exceto em um estudo com crianças, onde estas ao serem submetidas a PEP ou a percussão em várias posições usando a gravidade para ajudar na mobilização das secreções, apresentaram refluxo gastroesofágico. Este foi mais grave no grupo que utilizou drenagem postural com percussão.

Dos 26 estudos, 10 avaliaram o efeito da PEP somente durante um único tratamento. Os resultados destes estudos foram muito limitados, pois não podiam informar sobre o número de infecções respiratórias e a função pulmonar não apresentou alteração com apenas um tratamento. Dois estudos, cada um com duração de um ano, comparou a PEP com a drenagem postural e percussão. No estudo com crianças, a PEP melhorou a função pulmonar, enquanto no estudo de adultos, a função pulmonar diminuiu ligeiramente tanto para a PEP quanto para drenagem postural e percussão. Além disso, o método de realização da PEP foi diferente nos dois grupos etários.

Os autores concluíram que apesar da PEP parecer ter uma vantagem na redução das exacerbações dos sintomas respiratórios (com base nos resultados combinados dos estudos iniciais), diferentes técnicas e dispositivos de fisioterapia podem ser mais ou menos eficazes em momentos diferentes e em diferentes indivíduos durante a função normal e as exacerbações pulmonares. É importante escolher o método de desobstrução das vias aéreas que se adeque melhor ao paciente permitindo sua aderência ao tratamento, de modo a proporcionar uma melhor qualidade de vida e resultados a longo prazo.

Ainda, considerando esta metanálise a evidência para alguns estudos era de baixa qualidade. Estes estudos destacaram a dificuldade em comparar o uso da PEP com outras formas de fisioterapia respiratória. Fatores como a idade e gravidade da doença pulmonar nos

participantes poderiam afetar os resultados, bem como o método de realização de cada tratamento.

## 2 JUSTIFICATIVA

A terapia com pressão expiratória positiva vem sendo cada vez mais utilizada na prática clínica, por meio de dispositivos produzidos comercialmente ou de forma improvisada, como uma alternativa diante das manobras convencionais e recursos manuais aplicados durante a fisioterapia respiratória. Seus efeitos terapêuticos como manobras de expansão pulmonar e higiene brônquica são observados na melhora da oxigenação arterial, auxílio na remoção de secreções pulmonares, aumento do volume pulmonar e da CRF.

Apesar dos benefícios dessa terapia, é importante ressaltar o difícil acesso desses recursos geradores de pressão positiva, no serviço público de saúde no Brasil, não somente pelo ônus exigido, mas também pela peculiaridade no atendimento de determinados clientes, como a população pediátrica, em que a limitação terapêutica também está relacionada a evolução fisiopatológica de algumas enfermidades, como a leucemia, a qual se vincula a plaquetopenia e muito limita a mobilização e manipulação propriamente dita.

Também tem sido observado na prática clínica, que alguns dispositivos fisioterapêuticos presentes no mercado não facilitam o atendimento de crianças de faixa etária menor e com doenças que levam a astenia (como por exemplo, o câncer), sendo estas incapazes de exercer esforços respiratórios suficientes a fim de alcançar e sustentar volumes e fluxos respiratórios necessários para promover a expansão pulmonar e/ou a mobilização de secreções pulmonares.

Neste contexto, surgiu a necessidade de buscar solução, visando a criação de novos dispositivos de baixo custo que possam promover os efeitos terapêuticos da própria manipulação, tão amplamente utilizada na pediatria.

### **3 APLICABILIDADE**

O dispositivo fisioterapêutico gerador de pressão expiratória positiva em respiração espontânea estará indicado a crianças com afecções respiratórias visando melhora da oxigenação e da complacência pulmonar, através da reexpansão pulmonar que otimiza a ventilação colateral e também proporciona aumento do fluxo aéreo em alvéolos obstruídos por secreção facilitando a remoção das mesmas. É um recurso de fácil manuseio e após treinamento pode ser utilizado com certo grau de independência. Não requer uma fonte de gás pressurizado para seu funcionamento e concilia baixo custo e efetividade.

A utilização deste recurso poderá ser enfatizada no atendimento de crianças oncológicas que além das complicações respiratórias, também cursam com plaquetopenia, principalmente com valores de plaquetas entre  $20.000/\text{mm}^3$  e  $50.000/\text{mm}^3$ , pois a maioria dos recursos e condutas são contraindicados pelo risco de sangramento, permitindo um atendimento com segurança e ampliando a possibilidade de recurso no manejo dessas crianças.

## **4 OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVO GERAL**

- Elaborar um dispositivo fisioterapêutico capaz de gerar pressão expiratória positiva em respiração espontânea.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar o desempenho mecânico do dispositivo fisioterapêutico em laboratório;
- Pleitear a patente do dispositivo fisioterapêutico proposto após registro e validação das variações pressóricas.

## **5 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **5.1 TIPO DE ESTUDO**

O estudo desenvolvido apresentou delineamento experimental e quantitativo, em que foi produzido um dispositivo fisioterapêutico por pressão expiratória positiva com proposta de análise da sua aplicabilidade sobre o sistema respiratório.

### **5.2 LOCAL E PERÍODO DO ESTUDO**

A confecção do dispositivo fisioterapêutico respiratório foi realizada na Oficina Batista, localizada na Rua Jarbas Passarinho, 650, Atalaia, Ananindeua – PA, sob responsabilidade do engenheiro Jorge Batista, no período de outubro de 2015 a setembro de 2016. A medição e definição da variação pressórica foi de responsabilidade da empresa Cirubel Cirúrgica Belém Comércio e Representações Ltda, localizada na Travessa Nove de Janeiro, 1295, Cremação, Belém-PA (Apêndice A).

### **5.3 COLETA DE DADOS**

A pesquisa foi desenvolvida em duas etapas. A primeira consistiu na elaboração e produção do dispositivo fisioterapêutico. A segunda etapa consistiu da mensuração e definição da variação da pressão positiva.

#### **5.3.1 Elaboração e Produção do Dispositivo Fisioterapêutico**

O dispositivo é definido como um gerador de pressão expiratória positiva com características de um resistor de fluxo alinear (Apêndice B), em que o paciente expira espontaneamente contra um resistor de orifício, associado ao peso de um pistão. A resistência ao fluxo aéreo foi efetuada pelos menores orifícios dos cinco cones, com diâmetros de 1,5; 2,0; 3,0; 4,0 e 5,0mm, vinculados ao peso de cinco pistões denominados: pistão 1 (1,5g), pistão 2 (1,6g), pistão 3 (2,0g), pistão 4 (3,2g) e pistão 5 (3,8g). Para aferição do peso, foi utilizada uma balança de precisão modelo BS3000A (Bioprecisa, Shenzhen, China). As definições dos diâmetros dos orifícios foram baseadas em dispositivos de PEP disponíveis no mercado que apresentam variação de 1,5 a 5,0mm; com progressão a cada 0,5mm. Os pesos

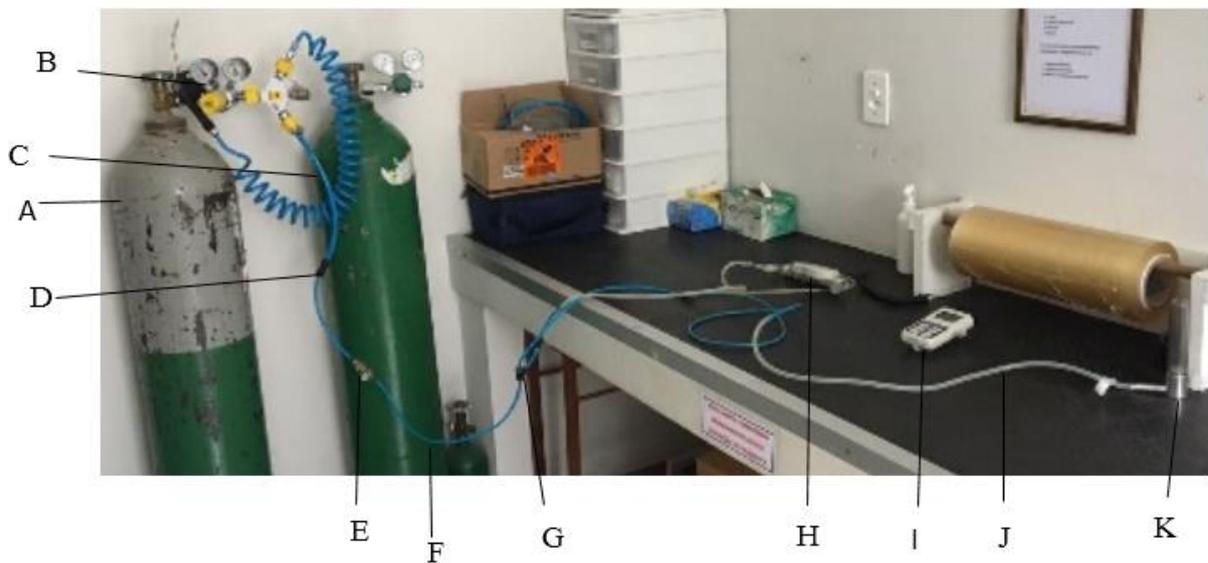
foram selecionados baseados em cálculos específicos relacionados com as dimensões do dispositivo respiratório.

O recurso fisioterapêutico foi constituído, inicialmente, por 14 componentes: corpo, tubo transparente de polietileno pré-fabricado com orifício de saída de 4mm, cinco válvulas de resistência por orifício e cinco pistões (para *feedback* visual), um bocal e um oringue (evitar o escape aéreo entre as válvulas e o tubo transparente). A escolha do diâmetro na superior do tubo transparente foi baseada em projeções progressivas a partir de 1,8mm até atingir 4,0mm, permitindo baixo fluxo e baixas pressões. As partes correspondentes ao corpo e válvulas (cones), foram confeccionados em material de alumínio a fim de criar o molde para a confecção em material plástico (polipropileno), o qual permite baixo custo, fácil moldagem, alta resistência à fratura por flexão ou fadiga, elevada resistência química e a solventes, atóxico, baixo peso específico (leveza), soldável e moldável permitindo a fabricação de conexões, boa resistência ao impacto e à absorção de umidade. Como também, permite a fabricação de material hospitalar esterilizável.

### **5.3.2 Medição e Definição da Pressão Positiva**

As variações da pressão positiva expiratória geradas pelo recurso terapêutico, foram determinadas por meio de fluxos fixos de 3, 5, 6, 9, 10 e 12L/min ou até atingir o fluxo de disparo do pistão, delimitados pelo fluxômetro de alto fluxo modelo Certifir® FA TSI (TSI Corporated, EUA), o qual permite registrar altas pressões variando de 0 a 150cmH<sub>2</sub>O. Todos os medidores foram calibrados cuidadosamente antes do experimento e a aferição da PEP foi gravada durante, pelo menos, três segundos a fim de obter um valor estável. Todos os cinco pistões foram testados para cada resistor de orifício e registrada a pressão correspondente. Os dados obtidos foram armazenados e as tabelas construídas no programa Microsoft Excel 2013.

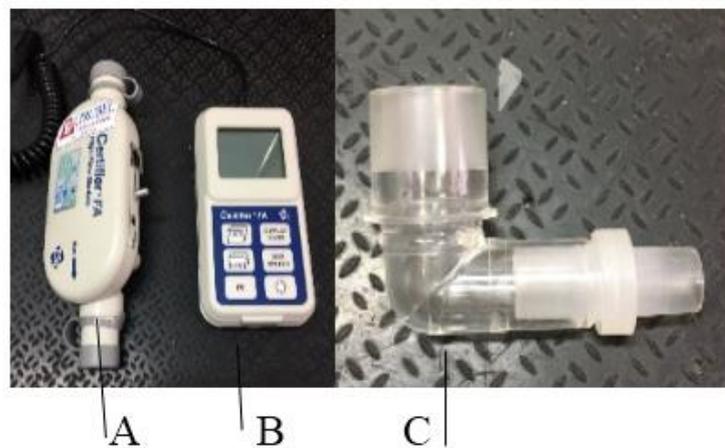
A configuração do experimento (Figura 3) foi composta de um cilindro de ar comprimido com regulador de pressão; uma válvula Agulha para controle do fluxo; um tubo PU 10 × 1,5mm e um tubo PU 6 × 1mm, ambos para permitir a passagem do fluxo; um conector de encaixe rápido 10 × 1,5mm por 6 × 1mm; duas conexões T de engate rápido 6 × 1mm, uma conexão de engate rápido 6 × 1mm e um cotovelo 90° de polipropileno transparente.



**Figura 3** – Configuração do experimento.

**Nota:** A = cilindro de ar comprimido; B = válvula reguladora de pressão; C e F = tubo PU 10 × 1,5mm; D = conector de encaixe rápido; E e G = conexão T de engate rápido; F = válvula agulha; H e I = fluxômetro; J = mangueira de silicone; K = dispositivo fisioterapêutico.

**Fonte:** Autor da pesquisa.



**Figura 3a** – Tipo de fluxômetro.

**Nota:** A e B = oringue; C = cotovelo 90°

**Fonte:** Autor da pesquisa.

## 5.4 RISCOS E BENEFÍCIOS

### 5.4.1 Riscos

O risco referente ao pesquisador e a pesquisa consistiu em não obter os resultados esperados a fim de atingir os objetivos propostos. Para que isso não ocorresse, o pesquisador

foi criterioso na seleção do material e das dimensões propostas na metodologia da pesquisa para a produção do dispositivo fisioterapêutico.

Os riscos referentes a comunidade científica estavam relacionados ao desrespeito do cumprimento das normas de Pesquisa Envolvendo Seres Humanos (Res. 466/12) do Conselho Nacional de Saúde. Portanto, o protocolo da pesquisa foi realizado conforme as normas da resolução citada e após a aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade do Estado do Pará.

#### **5.4.2 Benefícios**

Os resultados desta pesquisa possibilitaram benefícios técnicos para os pesquisadores deste estudo, pois permitiram ampliar o conhecimento sobre os recursos fisioterapêuticos que utilizam os dispositivos respiratórios para reabilitação pulmonar através da pressão expiratória positiva, gerando novas possibilidades de tratamento.

Os benefícios para a comunidade científica estão relacionados ao estímulo de futuros estudos e novas publicações que envolvam a aplicabilidade clínica deste recurso, conduzindo a aplicação e enriquecimento sobre o assunto.

#### **5.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA**

Para avaliar o desempenho mecânico do dispositivo fisioterapêutico referente as variáveis pressão, fluxo, diâmetro do orifício de resistência e peso do pistão, foi realizado o Ajustamento de Curvas, por meio da Regressão Linear. Para cada pistão e respectivos diâmetro dos orifícios, foi aplicado a Regressão Linear que permitiu encontrar a função matemática e o teste para verificação da significância ( $p = 0.05$ ). Após encontrar a função de correlação, esta foi aplicada nos extremos do intervalo considerado terapêutico, entre 10 e 20cmH<sub>2</sub>O, a fim de encontrar qual o fluxo adequado (menor fluxo) a cada orifício para alcançar estes parâmetros. O processamento estatístico foi realizado no software BioEstat 5.0.

## 6 RESULTADOS

Para melhor entendimento dos resultados, inicialmente, a composição do dispositivo fisioterapêutico (Figura 4) constituiu de 14 componentes: corpo; bocal; cinco válvulas de resistência por orifício com diâmetros variando de 1,5; 2; 3; 4 e 5mm; um tubo em polietileno transparente com orifício para saída de ar de 4.0mm; cinco pistões com pesos diferenciados (1,5; 1,6; 2,0; 3,2 e 3,8g) e um oringue a fim de permitir melhor vedação (evitando o escape aéreo entre os cones e o tubo) e funcionamento adequado do dispositivo respiratório.



**Figura 4** – Composição inicial do dispositivo fisioterapêutico.

**Nota:** A = bocal; B = oringue; C = válvulas de resistência por orifício;

D = pistões; E = corpo; F = tubo transparente.

**Fonte:** Autor da pesquisa.

Durante os primeiros testes em laboratório, observou-se a necessidade de criar uma peça adicional que permitisse uma variação de pressão mais branda, proporcionando maior flutuação do pistão no interior do tubo transparente. Diante disso, foi criada uma válvula em nylon para controle do fluxo aéreo, sendo alterada a estrutura inicial do dispositivo, como mostra a Figura 5.



**Figura 5** – Composição intermediária do dispositivo fisioterapêutico.

**Nota:** A = bocal; B = oringue; C = válvulas de resistência por orifício; D = pistões; E = corpo; F = tubo transparente; G = válvula para controle do fluxo; H, I e J = mangueiras; K = peça T.

**Fonte:** Autor da pesquisa.

O comportamento mecânico do dispositivo fisioterapêutico está descrito tabelas de 1, 2, 3, 4 e 5, de acordo com as pressões geradas por cada um dos cinco orifícios, fluxo fixo ou de disparo e peso de cada um dos cinco pistões.

Quando utilizado o pistão 2 (1,6g) e pistão 1 (1,5g), observou-se que o orifício de 1,5 mm foi o único a apresentar disparo adequado pois para os demais orifícios, os disparos ocorreram antes de alcançar a pressão de 10cmH<sub>2</sub>O. Comportamento semelhante ocorreu após a aplicação do teste de Regressão linear, em que se atingiu a pressão de 20cmH<sub>2</sub>O com fluxos de 8,51L/min (pistão 2) e 9,30L/min (pistão 1) para o mesmo diâmetro de orifício. Para esses pistões foram observadas diferenças estatísticas significantes a favor do orifício de 1,5mm, respectivamente de p-valor=0,0234 e p-valor=0,0063.

Não foi aplicado o teste estatístico no orifício de 5 mm para o pistão 2 (1,6g) e para o pistão 1 (1,5g) nos orifícios de 2mm e 5mm, uma vez que os dados registrados dizem respeito apenas a duas observações devido disparo precoce dos pistões, sendo necessária o mínimo de 3 observações para cada variável orifício ser submetida a análise estatística.

**Tabela 1** - Resultados da variação pressórica decorrentes da combinação de fluxos fixos com a resistência empregada pelo pistão 1 (1,5g) e os diferentes diâmetros de orifício, Belém-PA, 2016

PISTÃO 1: 1,5g									
Orifício 1,5mm		Orifício 2,0mm		Orifício 3,0mm		Orifício 4,0mm		Orifício 5,0mm	
L/min	cmH <sub>2</sub> O								
3,00	4,30	3,00	4,0	3,00	3,7	3,00	3,7	3,00	3,8
5,00	8,80	5,03	8,2	5,00	7,6	5,00	7,7	4,76	4,98
6,00	11,60	----	----	5,52	8,0	5,63	9,8	----	----
6,83	14,00	----	----	----	----	----	----	----	----
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Fonte: Dados da pesquisa.

**Tabela 1a** - Regressão linear das variáveis fluxo e pressão associadas a resistência empregada por orifício e peso do pistão 1 (1,5g), Belém-PA, 2016

REGRESSÃO LINEAR - PISTÃO 1 – 1,5g				
Orifício 1,5mm	Orifício 2,0mm	Orifício 3,0mm	Orifício 4,0mm	Orifício 5,0mm
Y = -3.44 + 2.52X	NÃO SE APLICA	Y = -1.56 + 1.77X	Y = -3.12 + 2.24X	NÃO SE APLICA
p = 0.0063*		p = 0.0715	p = 0.0727	
Y = cmH <sub>2</sub> O    X = L/min				
10            5,33				
20            9,30				

Nota: Variável Dependente (Y): Pressão cmH<sub>2</sub>O;

Variável Independente (X): Fluxo L/min;

\* p-valor com diferença estatística significativa.

Fonte: Dados da pesquisa.

**Tabela 2** - Resultados da variação pressórica decorrentes da combinação de fluxos fixos com a resistência empregada pelo pistão 2 (1,6g) e os diferentes diâmetros de orifício, Belém-PA, 2016

PISTÃO 2: 1,6g									
Orifício 1,5mm		Orifício 2,0mm		Orifício 3,0mm		Orifício 4,0mm		Orifício 5,0mm	
L/min	cmH <sub>2</sub> O								
3,00	4,20	3,00	4,0	3,00	3,8	3,00	3,7	3,00	3,7
5,00	8,80	5,00	8,2	5,00	7,6	5,00	7,5	4,95	6,5
6,00	11,60	5,58	9,6	5,37	8,8	5,48	8,4	----	----
6,40	12,60	----	----	----	----	----	----	----	----
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Fonte: Dados da pesquisa.

**Tabela 2a** - Regressão linear das variáveis fluxo e pressão associadas a resistência empregada por orifício e peso do pistão 2 (1,6g), Belém-PA, 2016

REGRESSÃO LINEAR - PISTÃO 2 – 1,6g				
Orifício 1,5mm	Orifício 2,0mm	Orifício 3,0mm	Orifício 4,0mm	Orifício 5,0mm
Y = -3.32 + 2.47X	Y = -2.48 + 2.15X	Y = -2.36 + 2.04X	Y = -1.99 + 1.90X	NÃO SE APLICA
p = 0.0234*	p = 0.0848	p = 0.0650	p = 0.8695	
Y = cmH <sub>2</sub> O      X = L/min				
10                      4,86				
<b>20</b> <b>8,51</b>				

Nota: Variável Dependente (Y): Pressão cmH<sub>2</sub>O;

Variável Independente (X): Fluxo L/min;

\* p-valor com diferença estatística significativa.

Fonte: Dados da pesquisa.

Ao ser utilizado o pistão 3 (2,0g), observou-se que os melhores disparos ocorreram com os orifícios de diâmetros 2,0; 3,0; 4,0 e 5,0mm. No entanto, após o teste estatístico utilizando-se a regressão linear, o orifício de 1,5mm apresentou melhor disparo ao alcançar pressão de 20cmH<sub>2</sub>O, com fluxo de 8,68L/min, ambos identificados com sombreamento na cor cinza. A diferença estatística encontrada após o teste de regressão linear foi um p-valor de 0,0054. Os dados referentes ao orifício de 3mm não foram submetidos à análise de regressão linear visto que os dados registrados são discordantes do comportamento esperado na curva de ajuste dos dados.

**Tabela 3** - Resultados da variação pressórica decorrentes da combinação de fluxos fixos com a resistência empregada pelo pistão 3(2,0g) e os diferentes diâmetros de orifício, Belém-PA, 2016

PISTÃO 3: 2,0g									
Orifício 1,5mm		Orifício 2,0mm		Orifício 3,0mm		Orifício 4,0mm		Orifício 5,0mm	
L/min	cmH <sub>2</sub> O								
3,00	4,4	3,00	3,5	3,00	3,4	3,00	3,3	3,00	3,8
5,00	9,0	5,00	7,8	5,00	7,1	5,00	7,0	5,00	7,4
6,00	11,8	6,00	10,2	6,00	9,4	6,00	9,2	6,00	9,5
8,08	18,8	7,08	12,6	9,00	17,30	7,16	11,9	7,01	11,8
----	----	----	----	10,00	20,50	----	----	----	----
----	----	----	----	12,00	27,50	----	----	----	----
----	----	----	----	14,8	55,0	----	----	----	----

Fonte: Dados da pesquisa.

**Tabela 3a** - Regressão linear das variáveis fluxo e pressão associadas a resistência empregada por orifício e peso do pistão 3 (2,0g), Belém-PA, 2016

REGRESSÃO LINEAR - PISTÃO 3 – 2,0g									
Orifício 1,5mm		Orifício 2,0mm		Orifício 3,0mm		Orifício 4,0mm		Orifício 5,0mm	
Y = -4.66 + 2.84X		Y = -3.26 + 2.24X		NÃO SE APLICA		Y = -3.04 + 2.06X		Y = -2.29 + 1.98X	
p = 0.0054*		p = 0.3003				p = 0.0055*		p = 0.0063*	
Y = cmH <sub>2</sub> O	X = L/min					Y = cmH <sub>2</sub> O	X = L/min	Y = cmH <sub>2</sub> O	X = L/min
10	5,16					10	6,33	10	6,21
<b>20</b>	<b>8,68</b>					20	11,18	20	11,26

Nota: Variável Dependente (Y): Pressão cmH<sub>2</sub>O;

Variável Independente (X): Fluxo L/min;

\* p-valor com diferença estatística significativa.

Fonte: Dados da pesquisa.

Quando utilizado o pistão 4 (3,2g) observou-se que os melhores disparos ocorreram com os orifícios de diâmetros 2,0; 3,0 e 4,0mm. No entanto, após o teste estatístico utilizando-se a regressão linear o orifício que ofereceu melhor disparo foi de 1,5mm, pois alcançou uma pressão de 20cmH<sub>2</sub>O, com fluxo de 8,16L/min. Este resultado foi o que apresentou maior significância estatística (p=0,0005).

**Tabela 4** - Resultados da variação pressórica decorrentes da combinação de fluxos fixos com a resistência empregada pelo pistão 4 (3,2g) e os diferentes diâmetros de orifício, Belém-PA, 2016

PISTÃO 4: 3,2g									
Orifício 1,5mm		Orifício 2,0mm		Orifício 3,0mm		Orifício 4,0mm		Orifício 5,0mm	
L/min	cmH <sub>2</sub> O								
3,00	3,80	3,00	3,2	3,00	2,9	3,00	2,6	3,00	2,6
5,00	8,20	5,00	6,6	5,00	5,4	5,00	5,2	5,00	5,1
6,00	10,70	6,00	8,7	6,00	6,8	6,00	6,5	6,00	6,4
9,00	20,00	9,00	16,0	8,22	10,7	7,97	9,70	7,91	9,40
10,00	23,80	9,32	16,8	----	----	----	----	----	----
12,00	32,20	----	----	----	----	----	----	----	----
12,17	41,60	----	----	----	----	----	----	----	----

Fonte: Dados da pesquisa.

**Tabela 4a** - Regressão linear das variáveis fluxo e pressão associadas a resistência empregada por orifício e peso do pistão 4 (3,2g), Belém-PA, 2016

REGRESSÃO LINEAR - PISTÃO 4 – 3,2g									
Orifício 1,5mm		Orifício 2,0mm		Orifício 3,0mm		Orifício 4,0mm		Orifício 5,0mm	
Y = -10.12 + 3.69X		Y = -3.98 + 2.20X		Y = -1.86 + 1.50X		Y = -1.82 + 1.42X		Y = -1.69 + 1.38X	
p = 0.0005*		p = 0.0012*		p = 0.0046*		p = 0.0042*		p = 0.0042*	
Y =	X =	Y =	X =	Y =	X =	Y =	X =	Y =	X =
cmH <sub>2</sub> O	L/min	cmH <sub>2</sub> O	L/min	cmH <sub>2</sub> O	L/min	cmH <sub>2</sub> O	L/min	cmH <sub>2</sub> O	L/min
10	5,45	10	6,35	10	7,91	10	8,32	10	8,47
<b>20</b>	<b>8,16</b>	20	10,90	20	14,57	20	15,37	20	15,72

Nota: Variável Dependente (Y): Pressão cmH<sub>2</sub>O;

Variável Independente (X): Fluxo L/min;

\* p-valor com diferença estatística significativa.

Fonte: Dados da pesquisa.

Ao utilizar o pistão 5 (3,8g), observou-se que os melhores disparos ocorreram com orifícios de 2,0; 3,0 e 4,0mm. No entanto, após o teste de Regressão linear, observou-se que o diâmetro de 1,5mm apresentou melhor disparo, pois alcança uma pressão de 20cmH<sub>2</sub>O, com fluxo de 8,42L/min (p<0,0001).

**Tabela 5** - Resultados da variação pressórica decorrentes da combinação de fluxos fixos com a resistência empregada pelo pistão 5 (3,8g) e os diferentes diâmetros de orifício, Belém-PA, 2016

PISTÃO 5: 3,8g									
Orifício 1,5mm		Orifício 2,0mm		Orifício 3,0mm		Orifício 4,0mm		Orifício 5,0mm	
L/min	cmH <sub>2</sub> O								
3,00	3,80	3,00	3,2	3,00	2,7	3,00	2,6	3,00	2,8
5,00	8,10	5,00	6,7	5,00	5,5	5,00	5,0	5,00	5,2
6,00	10,80	6,00	8,7	6,00	7,0	6,00	6,4	6,00	6,5
9,00	20,10	9,00	16,1	8,98	12,5	8,86	11,30	8,91	11,70
10,00	23,60	10,00	18,9	----	----	----	----	----	----
12,00	32,60	10,23	19,60	----	----	----	----	----	----
13,07	37,50	----	----	----	----	----	----	----	----

Fonte: Dados da pesquisa.

**Tabela 5a** - Regressão linear das variáveis fluxo e pressão associadas a resistência empregada por orifício e peso do pistão 5 (3,8g), Belém-PA, 2016

REGRESSÃO LINEAR - PISTÃO 5 – 3,8g									
Orifício 1,5mm		Orifício 2,0mm		Orifício 3,0mm		Orifício 4,0mm		Orifício 5,0mm	
Y = -8.37 + 3.36X		Y = -4.48 + 2.32X		Y = -2.55 + 1.65X		Y = -2.23 + 1.50X		Y = -2.15 + 1.52X	
p < 0.0001*		p = 0.0023*		p = 0.0035*		p = 0.0047*		p = 0.0063*	
Y = cmH <sub>2</sub> O	X = L/min	Y = cmH <sub>2</sub> O	X = L/min	Y = cmH <sub>2</sub> O	X = L/min	Y = cmH <sub>2</sub> O	X = L/min	Y = cmH <sub>2</sub> O	X = L/min
10	5,45	10	6,24	10	7,61	10	8,15	10	7,99
<b>20</b>	<b>8,42</b>	20	10,55	20	13,67	20	14,82	20	14,57

Nota: Variável Dependente (Y): Pressão cmH<sub>2</sub>O;

Variável Independente (X): Fluxo L/min;

\* p-valor com diferença estatística significativa.

Fonte: Dados da pesquisa.

## 7 DISCUSSÃO

Exercícios respiratórios com pressão expiratória positiva são recomendados e eficazes na conduta de pacientes adultos e pediátricos com patologia respiratória, visando melhorar a oxigenação, reverter ou prevenir atelectasias e promover a remoção de secreções pulmonares. A terapia com PEP é uma alternativa simples e de baixo custo no manejo de pacientes, especialmente aqueles com patologias que diante de condições específicas como plaquetopenia, limitam a atuação do fisioterapeuta por meio de técnicas manuais e convencionais visando a higiene brônquica e reexpansão pulmonar.

Neste estudo, o dispositivo fisioterapêutico proposto apresentou variação da PEP entre 10cmH<sub>2</sub>O e 20cmH<sub>2</sub>O de acordo com os fluxos pré-determinados no fluxômetro, caracterizando-o tipicamente como um resistor de fluxo. Também se delimitou a PEP de 10cmH<sub>2</sub>O, considerada como valor mínimo para alcançar os benefícios terapêuticos, segundo recomendações da *The American Association for Respiratory Care* (10 a 20cmH<sub>2</sub>O). O valor máximo da PEP gerada pelo fluxo de 8,16L/min foi de 20cmH<sub>2</sub>O, garantindo a segurança da terapia com baixa pressão. Dispositivos de fluxo de baixa PEP geram pressões entre 5 a 20cmH<sub>2</sub>O, durante o fluxo expiratório médio, permitindo uma pressão expiratória efetiva e segura (MYERS, 2007; JOHNSTON et al., 2013).

Para o estudo, o critério escolhido do fluxo (3, 5, 6, 9, 10 e 12L/min), foi baseado na variação dos fluxos expiratórios médios (8,76 a 24,12L/min) de três crianças saudáveis, com faixa etária entre quatro e dez anos. Essa escolha está relacionada a técnica empregada para esse tipo de recurso fisioterapêutico, em que o paciente é orientado a realizar uma inspiração acima do volume corrente, porém sem atingir a capacidade pulmonar total e expirar de forma suave (não forçada) sem ultrapassar a capacidade residual funcional, ou seja, sem alcançar fluxos expiratórios altos.

Valores semelhantes de fluxos foram usados em vários estudos a fim de comparar experimentalmente o comportamento mecânico de dispositivos osciladores orais de alta frequência (VOLSKO et al., 2003; SANTOS et al., 2013) e selo d'água (MESTRINER et al., 2009). De acordo com Volsko et al. (2003), a seleção (5, 10, 15, 20, 25 e 30L/min) foi baseada em três crianças com fibrose cística de leve a grave, tratadas com PEP oscilante, que durante a manobra apresentaram fluxo expiratório médio de 13 a 24L/min. Em adultos saudáveis, foi observado fluxo expiratório médio de 18 a 37L/min para a mesma manobra. Mestriner et al. (2009) justificou a escolha (1, 5, 10, 15, 20 e 25L/min) no fato do fluxo médio em indivíduos saudáveis ser aproximadamente de 18 a 19L/min. Para Santos et al. (2013), os

valores dos fluxos selecionados (5, 10, 15, 20, 26 e 32L/min) foram compatíveis com a prática clínica.

Outros autores determinaram fluxos máximos mais altos, pela justificativa de conhecerem com mais detalhes a mecânica desses dispositivos, sejam eles improvisados ou comercialmente empregados na prática clínica (CHRISTENSEN et al., 1995; DAGAN et al., 2014).

O tempo de sustentação do fluxo, no estudo, foi de três segundos, a fim de registrar um valor estável da pressão. Valor igual também foi determinado por Santos et al. (2013), ao compararem o comportamento mecânico de três dispositivos de oscilação oral de alta frequência. Valor diferente (trinta segundos) foi usado por Mestriner et al. (2009), ao analisar o comportamento de resistor linear pressórico de dispositivos em selo d'água.

Para o estudo, também foram utilizadas resistências em que o diâmetro dos orifícios variou de 1,5; 2,0; 3,0; 4,0 e 5,0mm, iguais aos dispositivos de PEP utilizados comercialmente na prática clínica, a fim de atingir baixas pressões expiratórias, como recomendadas na literatura. A pressão de 10cmH<sub>2</sub>O foi alcançada com fluxo de 5,45L/min e a pressão máxima de 20cmH<sub>2</sub>O quando o fluxo era de 8,16L/min, ambas para diâmetro de resistência de 1,5mm.

Diâmetros semelhantes (1,5 a 5,0mm, distribuídos a cada 0,5 mm) foram usados por Christensen et al. (1995), para avaliar o comportamento fluxo-dependente de três diferentes dispositivos de PEP (máscara de PEP, Pari-PEP System e System 22-PEP) disponíveis comercialmente e com características de resistor de fluxo. Sehlin et al. (2007), também utilizou diâmetros semelhantes (2,0 a 4,5 mm) para determinar uma pressão de aproximadamente 10cmH<sub>2</sub>O, em indivíduos saudáveis ao usarem a máscara de PEP como recurso terapêutico, comparando as características do fluxo e da pressão expiratórios com o dispositivo de PEP em selo d'água.

A importância deste estudo está em utilizar parâmetros compatíveis com a prática clínica, podendo sugerir que o dispositivo fisioterapêutico elaborado, tenha características que permitam uma atuação fisioterapêutica segura e eficaz, visando a mobilização de secreções pulmonares, prevenção e/ou reversão de atelectasias. A simplicidade no uso do recurso fisioterapêutico também pode contribuir para uma fácil compreensão da técnica e adesão do paciente, favorecendo alcançar resultados satisfatórios com o tratamento fisioterapêutico. Além disso, permite a autoadministração pelo paciente, após uma instrução apropriada, tornando possível o uso do dispositivo em domicílio, como demonstrado no estudo de Reyhler et al. (2015), ao submeter indivíduos saudáveis ao uso correto de um dispositivo de PEP (PariPEP- System) após capacitação orientada por um fisioterapeuta, confirmaram que o

sucesso da técnica depende de um bom treinamento inicial e de um acompanhamento regular para alcançar uma pressão expiratória ótima (10 a 20cmH<sub>2</sub>O).

Uma outra vantagem está relacionada a preferência dos dispositivos de PEP quando comparado a outros recursos da fisioterapia respiratória. Flores et al. (2013), ao avaliarem a adesão a um programa de tratamento fisioterapêutico em adultos portadores de fibrose cística, constituídos de diferentes terapias de higiene brônquica (percussão e drenagem postural, ciclo ativo da respiração, drenagem autógena, dispositivo de PEP e flutter), constataram alto nível de adesão quando os pacientes utilizavam os dispositivos respiratórios, principalmente o de pressão expiratória positiva.

Alguns autores, atribuem a não concordância para o uso de terapias de higiene brônquica manuais, ao tempo requerido para a aplicação das técnicas, ao desconforto que pode ser gerado e a necessidade de assistência diária em relação a um fisioterapeuta treinado (PAPADOPOULOU et al., 2008, REYCHLER et al., 2015). Além disso, repercussões clínicas de hipoxemia e aspiração do conteúdo gastroesofágico durante as manobras, conforme citado pelos autores, de cabeça para baixo (drenagem postural), fazem com que técnicas alternativas sejam introduzidas, como os dispositivos de OOAF e PEP (CHRISTENSEN et al., 1995, McILWAINE et al., 2001).

McIlwaine et al. (2001), observaram que o dispositivo de PEP (máscara de PEP) foi mais eficaz na manutenção da função pulmonar de crianças e adolescentes com fibrose cística, ao comparar a fisioterapia com flutter, por um período de um ano. Estes autores acreditam que o dispositivo de PEP promova uma distribuição mais uniforme da ventilação intrapulmonar por abertura de alvéolos (ventilação colateral), os quais são de alguma maneira fechados durante a respiração no volume corrente. Supõem também, que a diminuição do aprisionamento de ar tenha promovido o aumento do volume expiratório forçado e da CRF durante a respiração no VC. O dispositivo flutter ao funcionar através de uma oscilação da pressão endobrônquica com aceleração intermitente do fluxo aéreo expiratório (efeito vibração), não mantém uma pressão expiratória final e, portanto, as vias aéreas não permanecem abertas durante a fase final da expiração, continuando no volume de reserva expiratória do paciente. Então, durante a respiração em baixos volumes pulmonares, pode ocorrer o fechamento de algumas vias aéreas resultando no aumento da retenção de ar e uma diminuição na CVF.

Efeitos a curto prazo da pressão expiratória positiva por meio da máscara de PEP, CPAP e BIPAP sobre a função pulmonar e a quantidade de secreções removidas dos pulmões de pacientes portadores de fibrose cística com obstrução grave de vias aéreas, foram

comparadas por Placidi et al. (2006). Não foram encontradas diferenças na administração dos três recursos quando combinados com a tosse dirigida. Porém, ao analisarem aspectos subjetivos da eficácia e tolerância ao tipo de tratamento, observaram que os pacientes se sentiam mais cansados após a terapia com a máscara de PEP. O autor sugeriu que tanto o CPAP quanto o BIPAP ao diminuírem o trabalho muscular inspiratório poderiam diminuir a sensação de cansaço após o uso dessas técnicas.

Os dispositivos de PEP tem se mostrado seguros e eficazes em pacientes com doenças pulmonares crônicas, como a fibrose cística. Além disso, tem sido um recurso de maior preferência quando comparado com dispositivos osciladores de alta frequência e recursos manuais convencionais.

Este estudo tem como principal limitação a realização em um modelo experimental, com fluxos constantes e precisos, o que não necessariamente representa a variabilidade respiratória reproduzida em humanos, os quais apresentam uma ampla gama de fluxos expiratórios. Estudos futuros serão necessários para validação do dispositivo fisioterapêutico em participantes saudáveis, e posterior análise em pacientes com afecções respiratórias que necessitem de intervenção fisioterapêutica. Perspectivas futuras também incluem o processo de patente do dispositivo que será iniciada após aplicabilidade em participantes saudáveis, a fim de garantir a segurança na prática clínica.

## 8 CONCLUSÃO

O dispositivo de PEP proposto pode gerar pressões terapêuticas entre 10 e 20cmH<sub>2</sub>O, por meio de fluxos expiratórios baixos, como recomendada para aparelhos de baixa pressão expiratória com resistência por orifício, visando promover a abertura de alvéolos colapsados, prevenir o colapso prematuro das vias aéreas, ajudar na mobilização de secreções pulmonares e conseqüentemente melhorar a oxigenação. O dispositivo proposto apresenta como característica singular, o uso não somente da resistência por orifício, mas também do peso do pistão para produzir uma pressão terapêutica satisfatória.

Para a composição final do dispositivo fisioterapêutico, optou-se por selecionar somente a válvula com diâmetro do orifício de 1,5mm e o pistão 4, pois apresentou o melhor resultado significativamente, facilitando no futuro o manuseio do dispositivo durante a aplicabilidade clínica. Diante do exposto, a composição final do dispositivo respiratório constituiu de um bocal (formado de teflon e alumínio), três mangueiras de silicone interligadas por uma peça T em material plástico (polipropileno), uma válvula reguladora de fluxo, corpo (em alumínio), um resistor de orifício, um oringue, um pistão e um tubo com orifício de saída de 4mm.

Estudos futuros são necessários a fim de promover a validação do dispositivo fisioterapêutico em crianças saudáveis e posterior análise em pacientes com afecções pulmonares, para obter dados científicos que representem a nossa prática clínica.

## REFERÊNCIAS

- AMERICAN ASSOCIATION FOR RESPIRATORY CARE - AARC. **Clinical Practice Guideline**: Use of positive airway pressure adjuncts to bronchial hygiene. 1993. Disponível em: <<https://www.aarc.org/resources/clinical-practice-guidelines/>>. Acesso em: 14 abr. 2014.
- AZEREDO, C. A. C. Pressão positiva expiratória nas vias aéreas. In: AZEREDO, C. A. C. **Fisioterapia respiratória moderna**. 4. ed. Barueri: Manole, 2002. p. 127-52.
- BARROS, A. F.; BARROS, SANGEAN, L. C.; M. C.; VEJA, J. M. Análise das alterações ventilatórias e hemodinâmicas com utilização de ventilação mecânica não-invasiva com binível pressórico em pacientes com insuficiência cardíaca congestiva. **Arq Bras Cardiol**, v. 88, n.1, p. 96-103, 2007.
- CAVALLI, F.; NOHMA, P. Novo dispositivo EPAP subaquático no pós-operatório de cirurgia de revascularização do miocárdio. **Fisioter Mov**, v. 26, n. 1, p. 37-45, jan./mar. 2013.
- CEREDA, M; XIN, Y;KADLECEK, S; HAMEDANI, H; RAJAEI, J; CLAPP, J; RIZI, R. R. Hyperpolarized gas diffusion MRI for the study of atelectasis and acute respiratory distress syndrome. **NMR Biomed**, v. 27, n. 12, p. 1468-1478, 2014.
- CHEN, Y. H.; YEH, M. C.; HU, H. C.; LEE, C. S.; LI, F. S.; CHEN, N. H.; HUANG, C. C.; KAO, K. C. Effects of lung expansion therapy on lung function in patients with prolonged mechanical ventilation. **Canadian Respiratory Journal**, 29 Mar. 2016.
- CHRISTENSEN, E. F.; JENSEN, R. H.; SCHONEMANN, N. K.; PETERSEN, K. D. Flow-dependent properties of positive expiratory pressure devices. **Monald Arch Chest**, v. 50, n. 2, p. 150-153, 1995.
- CHRISTENSEN, E. F.; NEDERGAARD, T.; DAHL, R. Long-term treatment of chronic bronchitis with positive expiratory pressure mask and chest physiotherapy. **Chest**, v. 97, n. 3, 1990.
- DAGAN, Y.; WISER, I.; WEISSMAN, O.; FARBER, N.; HUNDESHAGEN, G.; WINKLER, E.; KAZULA-HALABI.; HAIK, J. An improvised “Blow Glove” device produces similar PEP values to a comercial PEP device: an experimental study. **Physiotherapy Canada**, v. 66, n. 3, p. 308-312, 2014.
- DARBEE, J. C.; OHTAKE, P. J.; GRANT, B. J. B.; CERNY, F. J. Physiologic evidence for the efficacy of positive expiratory pressure as an airway clearance technique in patients with cystic fibrosis. **Phys Ther.**, v. 84, n. 6, p. 524-37, jun. 2004.
- FELTRIM, M. I. Z. Cinesioterapia respiratória. In: VEGA, J. M et al. **Tratado de fisioterapia hospitalar**: assistência integral ao paciente. São Paulo: Atheneu, 2012.
- FIGLIORE, J. F.; CHIAVEGATO, L. D.; PAISANI, D. M.; COLUCCI, D. B. B. Utilization of positive-pressure devices for breathing exercises in the hospital setting: A regional survey in São Paulo, Brazil. **Respiratory Care**, v. 55, n. 6, Jun. 2010.

FLORES, J. S.; TEIXEIRA, F.A.; ROVEDDER, P. M. E.; ZIEGLER, B.; DALCIN, P.T. R. Adherence to airway clearance therapies by adult cystic fibrosis patients. **Respiratory Care**, v. 58, n. 2, p. 279-285, 2013.

FRANÇA, E. É. T.; FERRARI, F.; FERNANDES, P.; CAVALCANTI, R. et al. Fisioterapia em pacientes críticos adultos: recomendações do departamento de fisioterapia da Associação de Medicina Intensiva Brasileira. **Rev Bras Ter Intensiva**, v. 24, n. 1, p. 6-22, 2012.

FREITAS, F. S.; SILVA, L. C. R.; TAVARES, L. D.; BARROSO, E. F.; SILVA, M. C.; GODÓI, R. L. Aplicação da pressão positiva expiratória nas vias aéreas (epap): existe um consenso?. **Fisioter Mov**, v. 22, n. 2, p. 281-292, abr/jun. 2009.

HSU, L. L.; BATTS, B. K.; RAU, J. L. Positive expiratory pressure device acceptance by hospitalized children with sickle cell disease is comparable to incentive spirometry. **Respiratory Care**, v. 50, n. 5, p. 624-627, 2005.

JOHNSTON, C. L.; JAMES, R.; MACKNEY, J.H. The current use of positive expiratory pressure (PEP) therapy by public hospital physiotherapists in New South Wales. **New Zealand Journal Of Physiotherapy**, v. 41, n. 3, p. 88-93, 2013.

JOHNSTON, C.; CARVALHO, W. B. Atelectasias em pediatria: mecanismos, diagnóstico e tratamento. **Rev Assoc Med Bras**, v. 54, n. 5, p. 455-60, 2008.

JOHNSTON, C.; ZANETTI, N. M.; COMARU, T.; RIBEIRO, S. N. S.; ANDRADE, L. B.; SANTOS, S. L. L. I Recomendação brasileira de fisioterapia respiratória em unidade de terapia intensiva pediátrica e neonatal. **Rev Bras Ter Intensiva**, v. 24, n. 2, p. 119-129, 2012.

KUYRUKLUYILDIZ, U.; BINICI, O; B.; KUPELI, I.; ERTUK, N.; GULHAN, B.; AKYOL, F.; OZCICEK, A.; ONK, D.; KARABAKAN, G. What is the best pulmonary physiotherapy method in ICU?. **Can Respir J.**, v. 2016, 24 Apr. 2016.

LAGERKVIST, A. B.; STEN, G. M.; REDFORS, S. B.; LINDBLAD, A. G.; HJALMARSON, O. Immediate changes in blood-gas densities During chest physiotherapy with positive expiratory pressure and oscillating positive expiratory pressure in patients with cystic fibrosis. **Respiratory Care**, v. 51, n. 10, p. 1154-116, 2006.

LAGERKVIST, A. L.; STEN, G.; WESTERBERG, B.; ERICSSON-SAGSJO, A.; BJURE, J. Positive expiratory pressure (PEP) treatment in children with multiple severe disabilities. **Acta Padiatrica**, v. 94, n. 5, p. 538-42, 2005.

LUISI, F.; PARAREDA, C. Z.; JOHNSTON, C. Os efeitos da pressão positiva expiratória nas vias aéreas (EPAP) sobre as atelectasias pulmonares na infância. **Sci med**, v. 14, n. 4, p. 311-316, 2004.

MAUX, D. A.; PAIVA, G. S. Recursos para terapia de expansão pulmonar em neonatologia e pediatria. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FISIOTERAPIA CARDIORRESPIRATÓRIA E FISIOTERAPIA EM TERAPIA INTENSIVA. **PROFISIO Programa de Atualização em Fisioterapia pediátrica e neonatal: cardiorrespiratória e terapia intensiva**, Ciclo 1. Volume 3. Porto Alegre: Artmed/Panamericana, 2012.

McCOOL, F. D.; ROSEN, M. J. Nonpharmacologic airway clearance therapies: ACCP evidence-based clinical practice guidelines. **Chest**, v. 129, n. 1, p. 250-259, 2006.

McILWAINE, M.; BUTTON, B; DWAN, K. Positive expiratory pressure physiotherapy for airway clearance in people with cystic fibrosis. **Cochrane Database Syst Rev.**, v. 2, Apr. 2006.

McILWAINE, P. M.; WONG, L. T.; PEACOCK, D.; DAVIDSON, A. G. F. Long-term comparative trial of positive expiratory pressure versus oscillating positive expiratory pressure (flutter) physiotherapy in the treatment of cystic fibrosis. **J Pediatr.**, v. 138, n. 6, p. 845-50, Jun. 2001.

MESTRINER, R. G.; FERNANDES, R. O.; STEFFEN, L. C.; DONADIO, M. V. F. Optimum design parameters for a therapist-constructed positive-expiratory-pressure therapy bottle device. **Respir Care.**, v. 54, n. 4, p. 504-8, Apr. 2009.

MOULIM, M. C. B.; MIGUEL, G. P. S.; FORTI, E. M. P.; COSTA, D. Comparação entre inspirometria de incentivo e pressão positiva expiratória na função pulmonar após cirurgia bariátrica. **Fisioter Pesq**, v. 16, n. 2, p. 166-72, 2009.

MYERS, T. R. Positive expiratory pressure and oscillatory positive expiratory pressure therapies. **Respiratory Care**, v. 52, n. 10, p. 1308-27, Oct. 2007.

OLIVEIRA, I. M.; CASAES, V. P. E.; AQUINO, E. S.; TAVARES, L. A. F.; MACHADO, M. G. R. PEEP como recurso fisioterapêutico. In: MACHADO, M. G. R. **Bases da fisioterapia respiratória terapia intensiva e reabilitação**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012. p. 78-95.

PAPADOPOULOU, A.; TSANAKAS, J.; DIOMOU, G.; PAPADOPOULOU, O. Current devices of respiratory physiotherapy. **Hippokratia**, v. 12, n. 4, p. 211-220, 2008.

PARREIRA, V. F; MENDES, L. P. S; PIRES, S. R; BRANT, T. C. S. Pressão positiva expiratória nas vias aéreas. In: BRITTO, R. R; BRANT, T. C. S; PARREIRA, V. F. **Recursos manuais e instrumentais em fisioterapia respiratória**. 2. ed. Barueri: Manole, 2014.

PARREIRA, V. F; PIRES, S. R; BRANT, T. C. S. Pressão positiva expiratória nas vias aéreas. In: BRITTO, R. R; BRANT, T. C. S; PARREIRA, V. F. **Recursos manuais e instrumentais em fisioterapia respiratória**. 1. ed. Barueri: Manole, 2012.

PLACIDI, G.; CORNACCHIA, M.; POLESE, G.; ZANOLLA, L.; ASSAEL, B. M.; BRAGGION, C. Chest physiotherapy with positive airway pressure: a pilot study of short-term effects on sputum clearance in patients with cystic fibrosis and severe airway obstruction. **Respiratory Care**, v. 51, n. 10, 2006.

PLEBANI, A.; PINZANI, R.; STARTARI, R.; BRUSA, D.; PADOAN, R. Usefulness of chest physiotherapy with positive expiratory pressure (PEP)-mask in HIV-infected children with recurrent pulmonary infections. **Acta Paediatr**, v.86, n. 11, p. 1195-97, Nov. 1997.

PRESTO, B.; PRESTO, L. D. Manobras de expansão pulmonar. In: \_\_\_\_\_ . **Fisioterapia respiratória: uma nova visão**. 2. ed. Rio de Janeiro: BP, 2005. p. 184-86.

REYCHLER, G.; JACQUEMART, M.; PONCIN, W.; AUBRIOT A. S.; LIISTRO, G. Benefit of educational feedback for the use of positive expiratory pressure device. **Braz J Phys Ther**, 2015.

SANTOS, A. P.; GUIMARÃES, R. C.; CARVALHO, E. M.; GASTALDI, A. C. Mechanical behaviors of flutter VPR1, skaker and capella devices. **Respiratory Care**, v. 58, n. 2, p. 298-304, 2013.

SEHLIN, M.; ÖHBERG, F.; JOHANSSON, G.; WINSO, O. Physiological responses to positive expiratory pressure breathing: A Comparison of the PEP Bottle and the PEP Mask. **Respiratory Care**, v. 52, n. 8, august. 2007.

SILVA, F. M. F.; BAGNALL, M. E. S.; ZARDO, T. S.; BOVI, A.; CARVALHO, E. M.; LOPES, C. R. Repercussões hemodinâmicas e ventilatórias em indivíduos sadios com diferentes níveis de EPAP. **Fisioter Mov**, v. 22, n. 3, p. 419-426, jul./set. 2009.

STRICKLAND, S. L.; RUBIIN, B. K.; DRESCHER, G. S.; HAAS, C. F.; O'MALLEY, C. A.; VOLSKO, T. A.; BRANSON, R. D.; HESS, D. R. AARC Clinical practice guideline: effectiveness of nonpharmacologic airway clearance therapies in hospitalized patients. **Respiratory Care**, v. 58, n. 12, 2013.

VERONEZI, J.; SCORTEGAGNA, D. Fisioterapia respiratória na fibrose cística. **Rev HCPA**, v. 31, n. 2, p. 192-196, 2011.

VOLSKO, T. A.; DIFIORE, J. M.; CHATBURN, R. L. Performance comparasion of two oscillating positive expiratory pressure devices: acapella versus flutter. **Respiratory Care**, v. 48, n. 2, p. 124-130, 2003.

WINDEN, C. M. Q.; VISSER, A.; HOP, W.; STERK, P. J.; BECKERS, S.; JONGSTE, J. C. Effects of flutter and PEP mask physiotherapy on symptoms and lung function in children with cystic fibrosis. **European Respiratory Journal**, v. 12, n. 1, p. 143-147, Jul. 1998.

## APÊNDICES

## APÊNDICE A - ACEITE DA INSTITUIÇÃO

### AUTORIZAÇÃO DA CIRUBEL CIRÚRGICA

Eu, Maria Aparecida de Oliveira Salame Guimarães, diretora administrativa da empresa Cirubel Cirúrgica Belém Comércio e Representações Ltda, autorizo a utilização do espaço para a realização da pesquisa intitulada **“DISPOSITIVO FISIOTERAPÊUTICO GERADOR DE PRESSÃO EXPIRATÓRIA POSITIVA COM PROPRIEDADES FLUXO-DEPENDENTES”** de JANIZE COSTA NINA, sob orientação do PROF. DR. LUIZ CARLOS SANTANA DA SILVA (orientador) e PROFA. DRA. VALÉRIA MARQUES FERREIRA NORMANDO (Co-orientadora), sob parecer técnico em eletrônica, do profissional Ronald Leão.

Belém, 07 de dezembro de 2016



**Dra. Maria Aparecida de Oliveira Salame Guimarães**  
**Diretora Administrativa da Cirubel Cirúrgica**

**APÊNDICE B – DISPOSITIVO FISIOTERAPÊUTICO RESPIRATÓRIO**