



Ministério da Saúde

FIOCRUZ  
Fundação Oswaldo Cruz



# Monitoramento da Mecânica Respiratória à Beira do Leito

Departamento de Pediatria  
Unidade de Pacientes Graves

Luis Fernando Ponce Amendola  
Márcia Corrêa de Castro  
Zina Maria Almeida de Azevedo

**MINISTÉRIO DA SAÚDE**

**FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ**

**Presidente**

Paulo Marchiori Buss

**Vice-Presidente de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico -VPPDT**

José Rocha Carneiro

**Coordenador da Área de Fomento e Infra-Estrutura - VPPDT**

Wim Degraever

**Coordenadora do Programa de Desenvolvimento Tecnológico em Saúde Pública - PDTSP**

Mirna Teixeira

**Instituto Fernandes Figueira**

**Diretor**

José Augusto Alves de Brito

**Vice-diretora de Assistência**

Ritta Rosana Teixeira Bráz

**MONITORAMENTO DA MECÂNICA RESPIRATÓRIA À BEIRA DO LEITO**

**Coordenadora**

Zina Maria Almeida de Azevedo

**Fomento: Programa de Desenvolvimento Tecnológico em Saúde Pública (PDTSP/FIOCRUZ)**

# Sumário

	Pág
• Introdução	3
• Equipamentos Necessários	4
• Análise da Morfologia das Curvas	9
– Curva Volume – Tempo	11
– Curva Pressão – Tempo	16
– Curva Fluxo – Tempo	19
– Curva Fluxo – Volume	24
– Curva Pressão – Volume	31
– Fluxogramas	40
• Resistência do Tubo Orotraqueal	45
• Recomendações	47
• Referências Bibliográficas	48

# Introdução

Quando, em 2002, o monitoramento da mecânica respiratória foi implantado na Unidade de Pacientes Graves (UPG) do Instituto Fernandes Figueira, buscava-se abrir um campo de estudo para que os profissionais da unidade pudessem utilizar tais informações na abordagem ao paciente ventilado. Com o passar dos anos notou-se que, mais do que informações numéricas a respeito da resistência e da complacência, a análise da morfologia das curvas trazia informações úteis a respeito da interação paciente-respirador.

O objetivo deste manual é, de forma simples e rápida, auxiliar na compreensão da mecânica respiratória através da observação do traçado de cada curva.

# Equipamentos Necessários

## Monitor de Perfil Respiratório

O monitor de perfil respiratório recebe informações sobre parâmetros respiratórios de fluxo e pressão através de um pneumotacógrafo. A partir destes sinais pode calcular diversos outros parâmetros como volume inspirado e expirado, resistência expiratória e inspiratória, e complacência dinâmica e estática.

O monitoramento gráfico permite análise das curvas pressão-tempo, fluxo-tempo, volume-tempo, pressão-volume e fluxo-volume, além de gráficos de tendência.

# Tipos de Monitores Perfil Respiratório



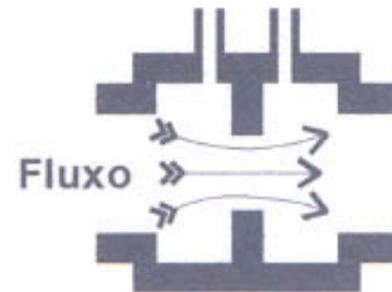
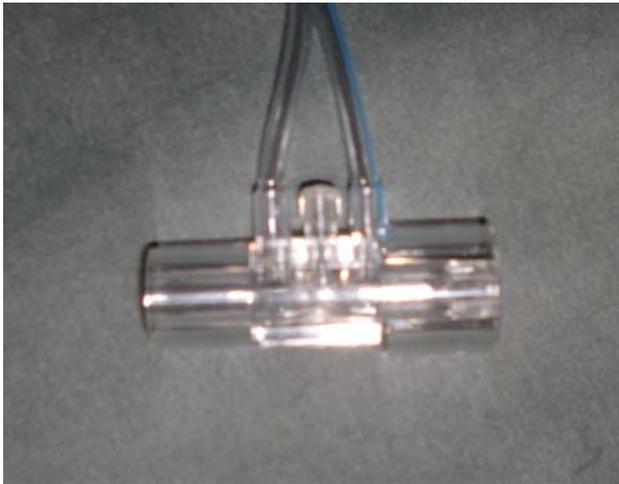
Reprodução autorizada pela Intermed



Reprodução autorizada pela Maquet

# Equipamentos Necessários

## Pneumotacógrafo (Sensor de Fluxo)

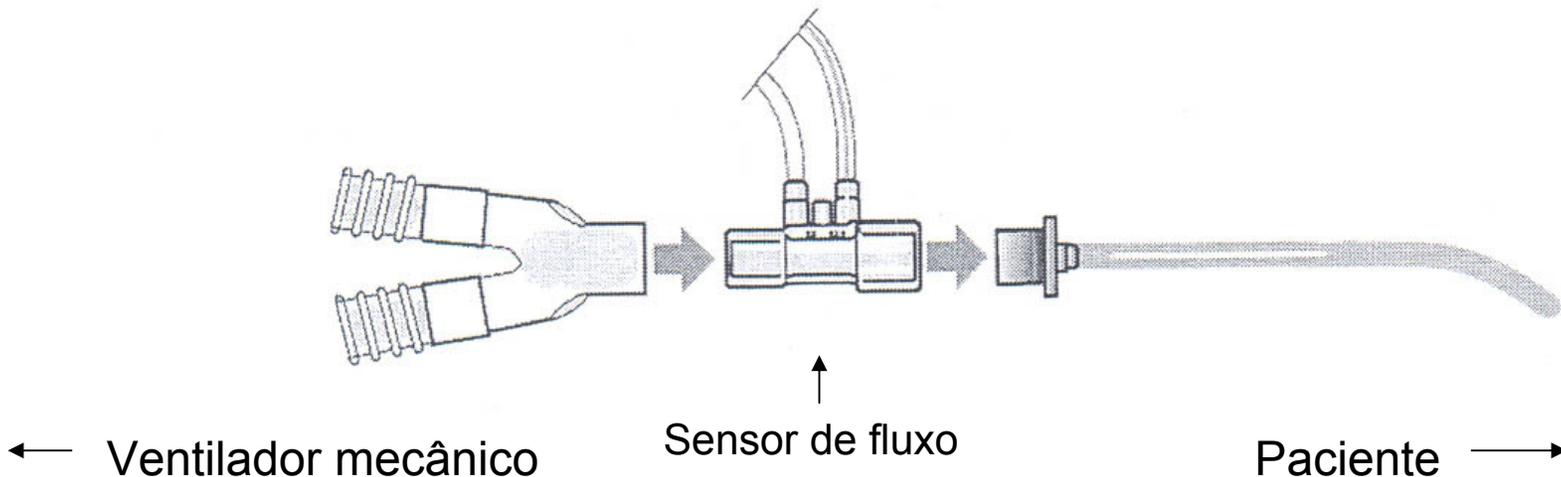


# Escolha e instalação dos pneumotacógrafos

- A instalação é simples e depende, principalmente, da escolha e posterior colocação correta do pneumotacógrafo ou sensor de fluxo.
- Existem 3 tamanhos: neonatal, pediátrico e adulto. O bom funcionamento do sensor depende da escolha correta na qual se deve levar em conta o fluxo utilizado e o volume desejado. Os monitores gráficos indicam em sua tela, através de sinais luminosos intermitentes, quando o fluxo ou o volume não estão adequados para a utilização de determinado sensor.

# Conexões com o pneumotacógrafo

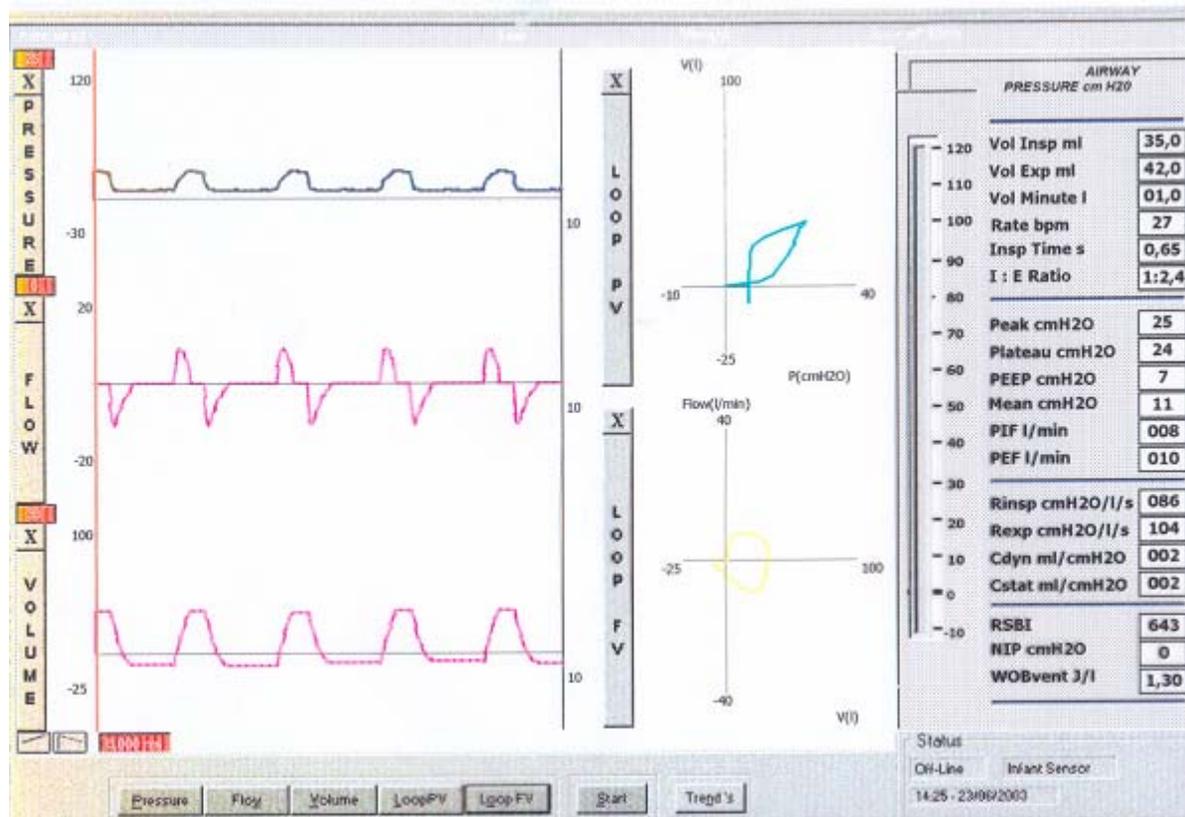
Colocação do Sensor: o pneumotacógrafo é um tubo de acrílico cilíndrico que deve ser conectado entre o tubo endotraqueal e a peça em “Y” localizada na parte distal do circuito proveniente do respirador. Perpendicularmente ao corpo do sensor estão conectadas as linhas de saída de fluxo e pressão. Estas linhas devem estar voltadas para cima, a fim de diminuir a possibilidade de acúmulo de secreções.



# Análise Morfológica da Curva à Beira do Leito

- Visão geral do Monitor de Perfil Respiratório
- Curva fluxo – tempo
- Curva pressão – tempo
- Curva volume – tempo
- Curva fluxo – volume
- Curva pressão – volume

# Visão Geral do Monitor de Perfil Respiratório

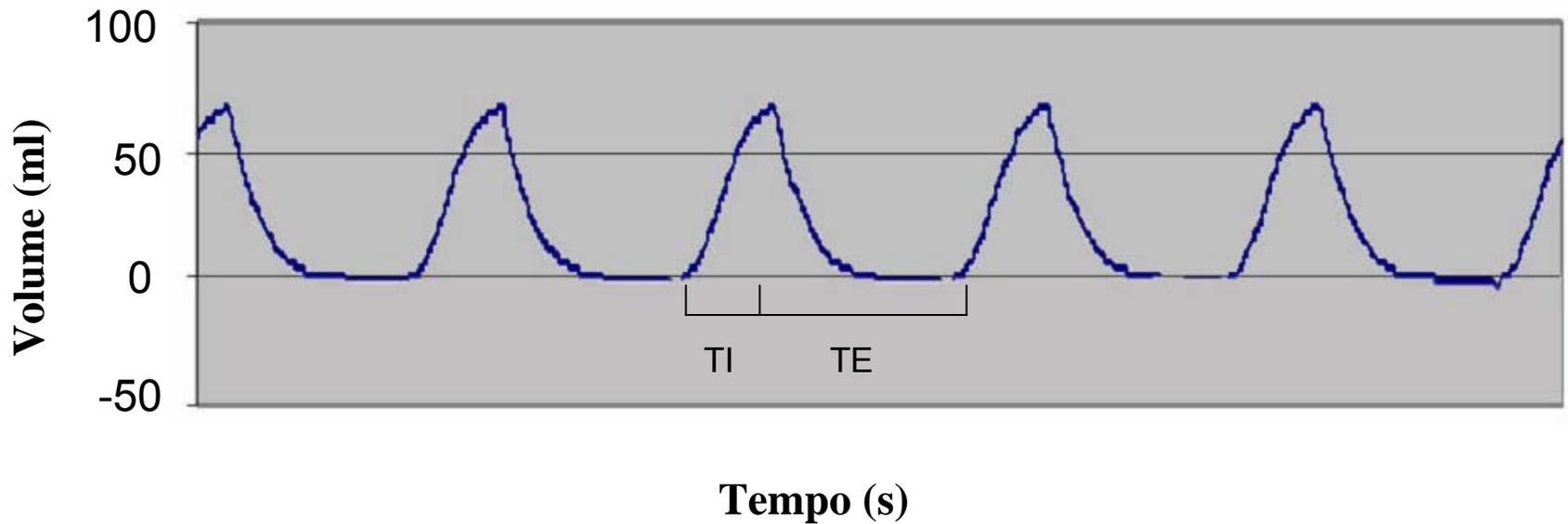


Reprodução autorizada pela Intermed

O monitor de perfil respiratório padrão fornece informações gráficas sobre as curvas de pressão, fluxo e volume relacionadas com o tempo e das alças pressão - volume e fluxo - volume.

# Curva Volume – Tempo

Traçado normal



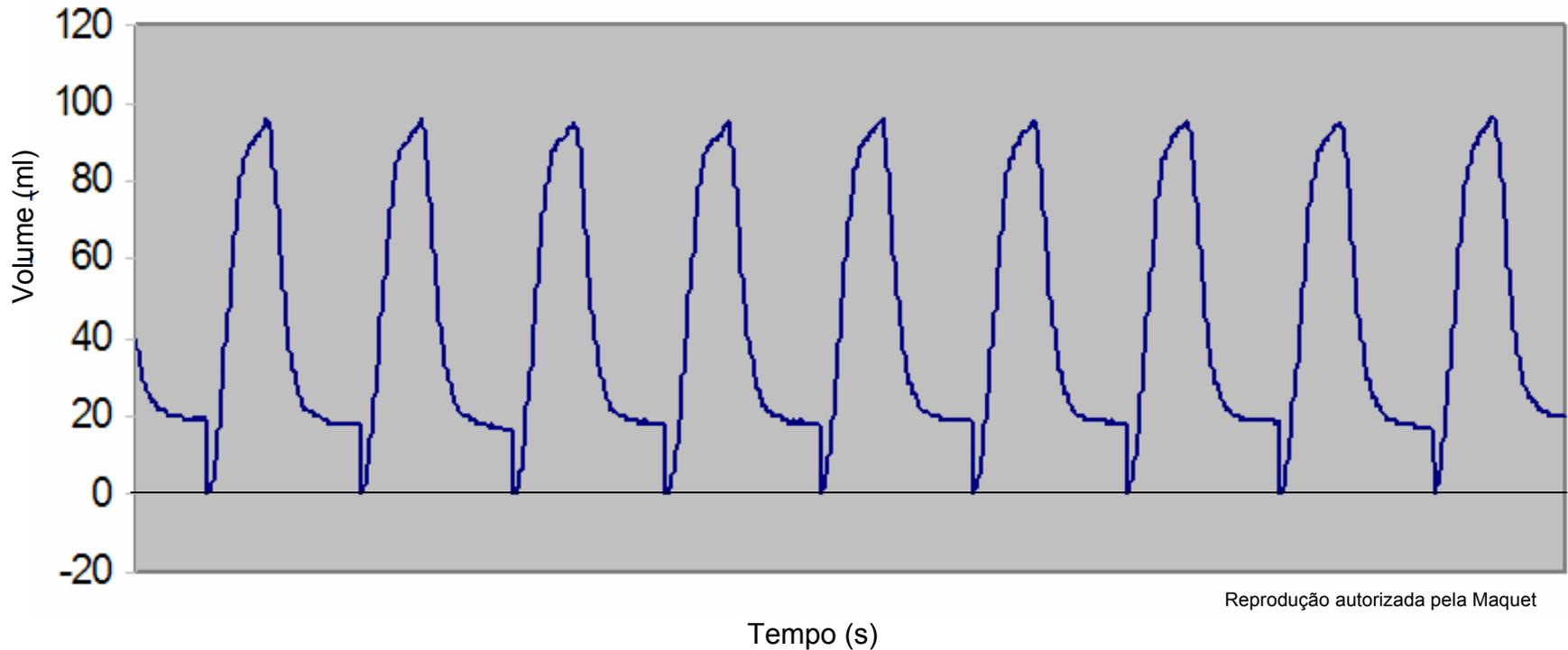
Reprodução autorizada pela Maquet

# Curva Volume – Tempo



Escape aéreo → Volume expiratório < Volume Inspiratório

# Curva Volume – Tempo



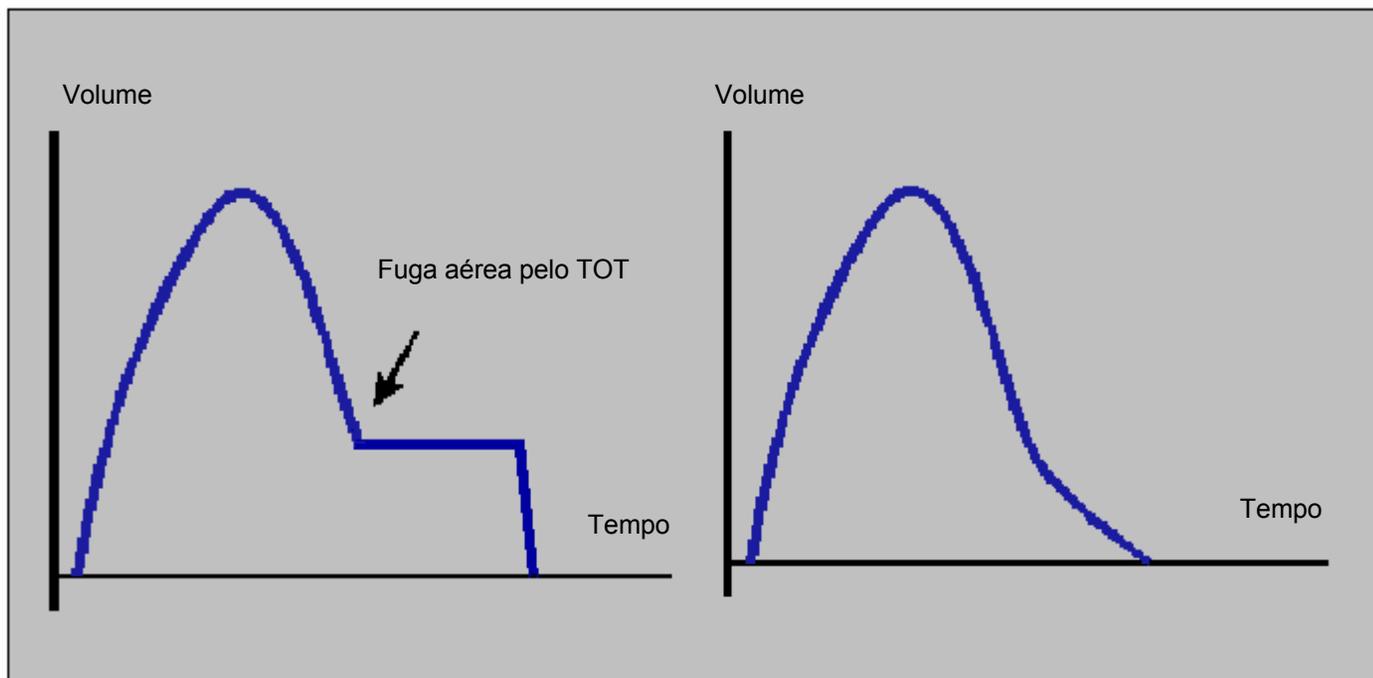
Escape aéreo de aproximadamente 20 ml

# Curva Volume – Tempo

Traçado alterado



Traçado corrigido



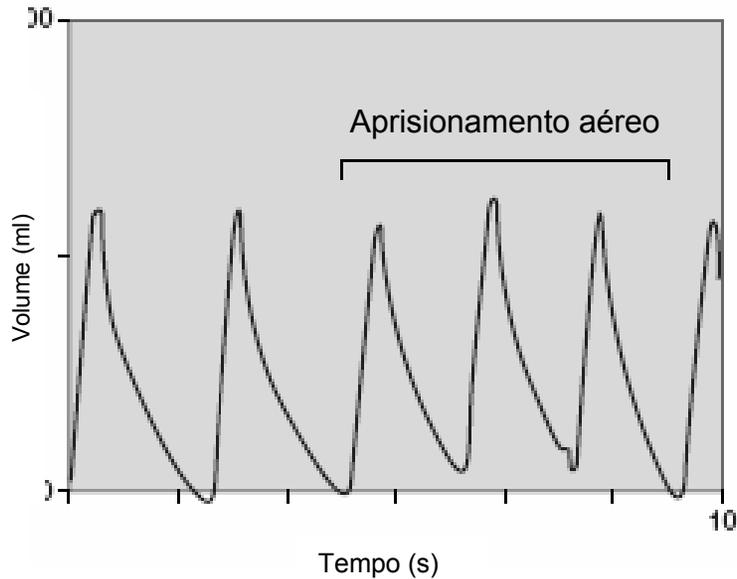
Tubo 2,5 mm

Tubo 3,0 mm

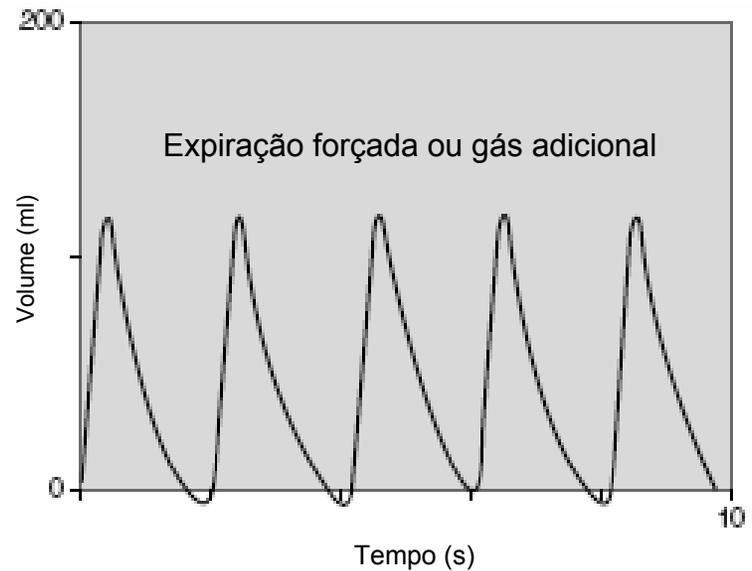
Retirado e adaptado de <http://www.novametrix.com>

# Curva Volume – Tempo

- Traçados Alterados



Aprisionamento aéreo: volume expiratório não alcança a linha de base devido ao início de nova inspiração

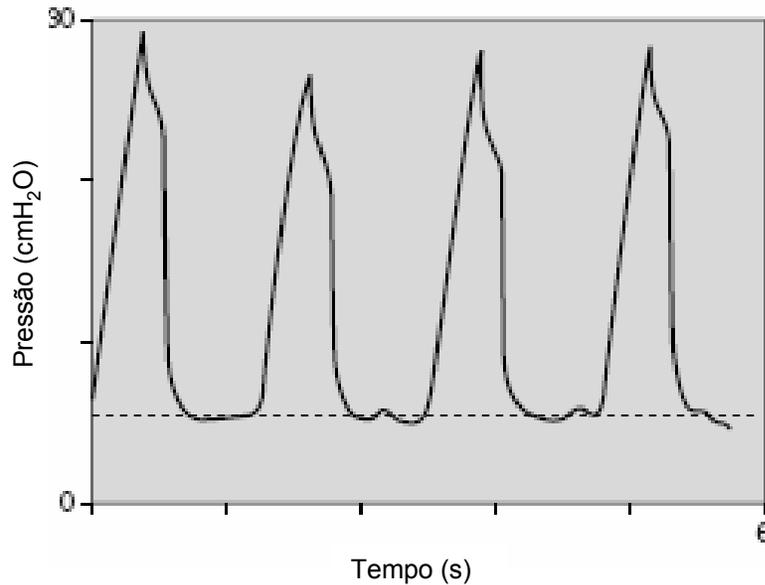


Volume anômalo: volume expiratório ultrapassa a linha de base devido a gás adicional, expiração forçada ou mau funcionamento

# Curva Pressão – Tempo

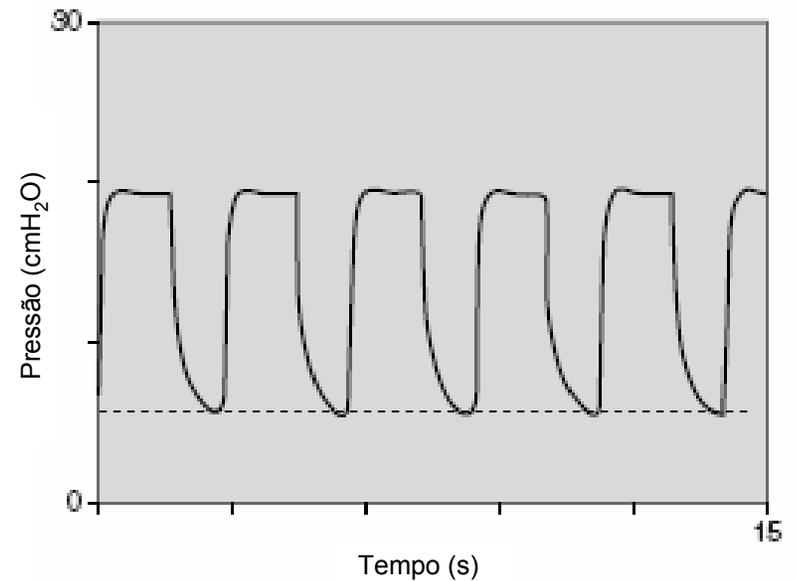
## Traçado Normal

Ventilador a volume



≠

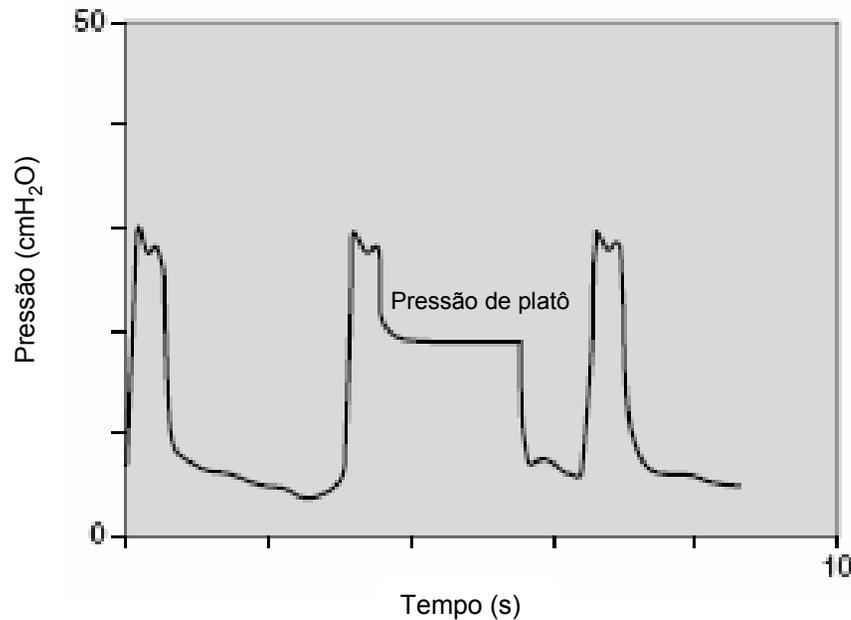
Ventilador a pressão



Linha tracejada correspondendo ao valor da PEEP

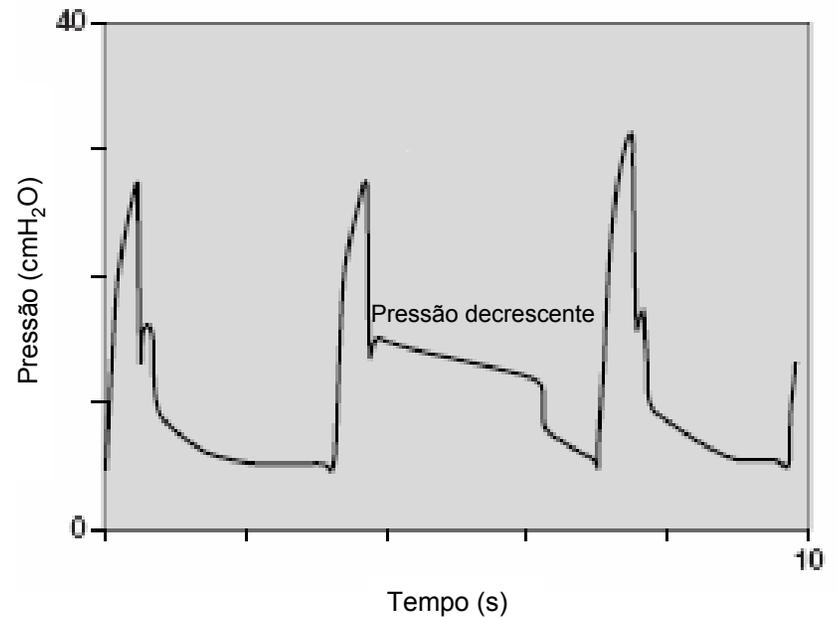
# Curva Pressão – Tempo

## Traçado Normal



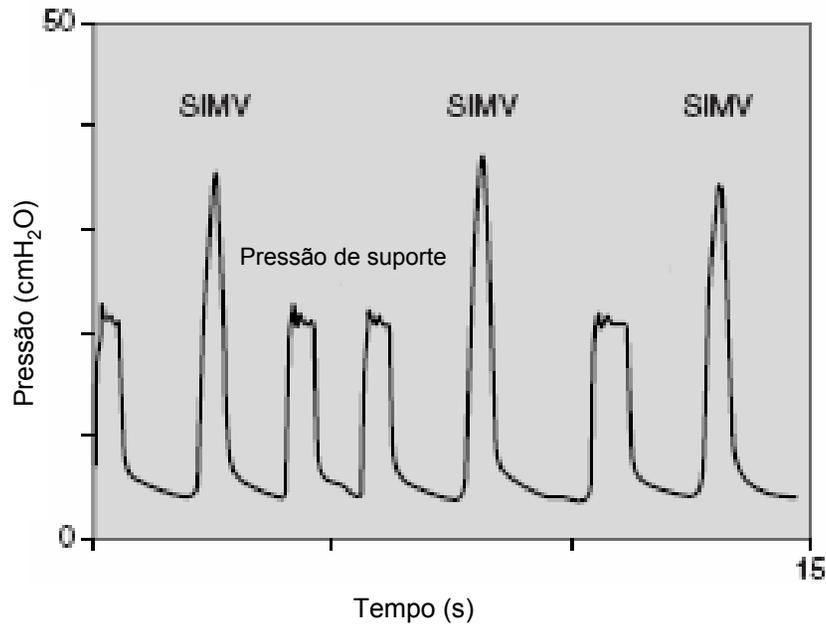
Pressão de Platô obtida ao se provocar uma pausa inspiratória prolongada

## Traçado Alterado

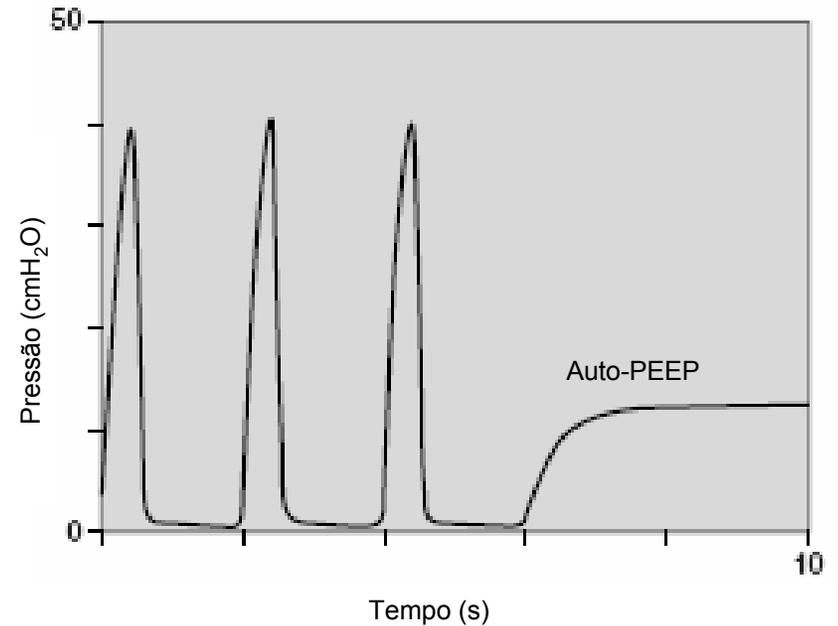


Fuga aérea no circuito

# Curva Pressão – Tempo



Respirações espontâneas



Presença de auto-PEEP ao se provocar uma pausa expiratória.

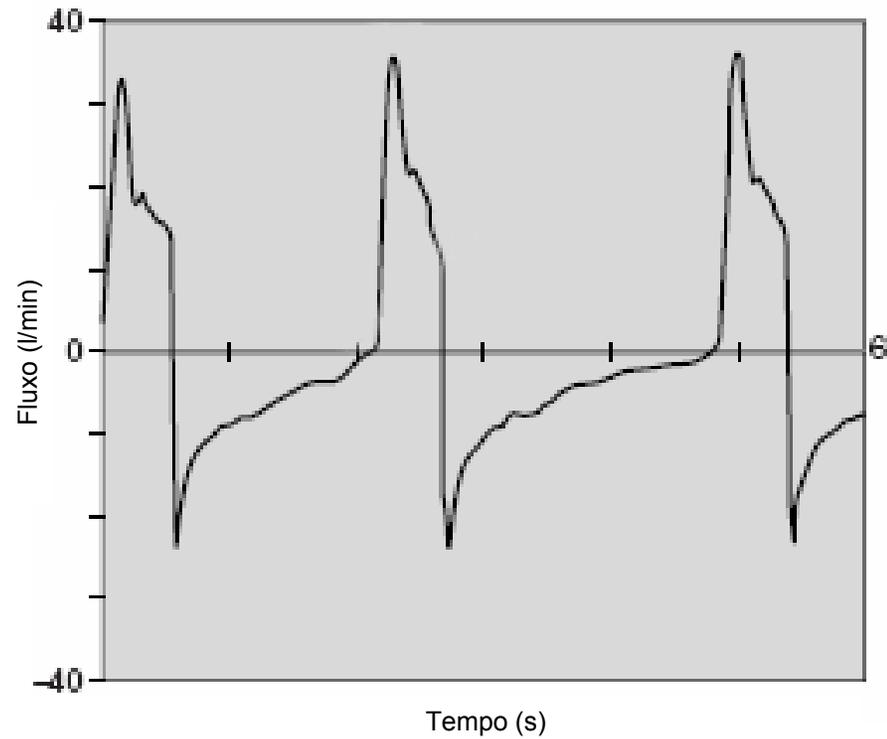
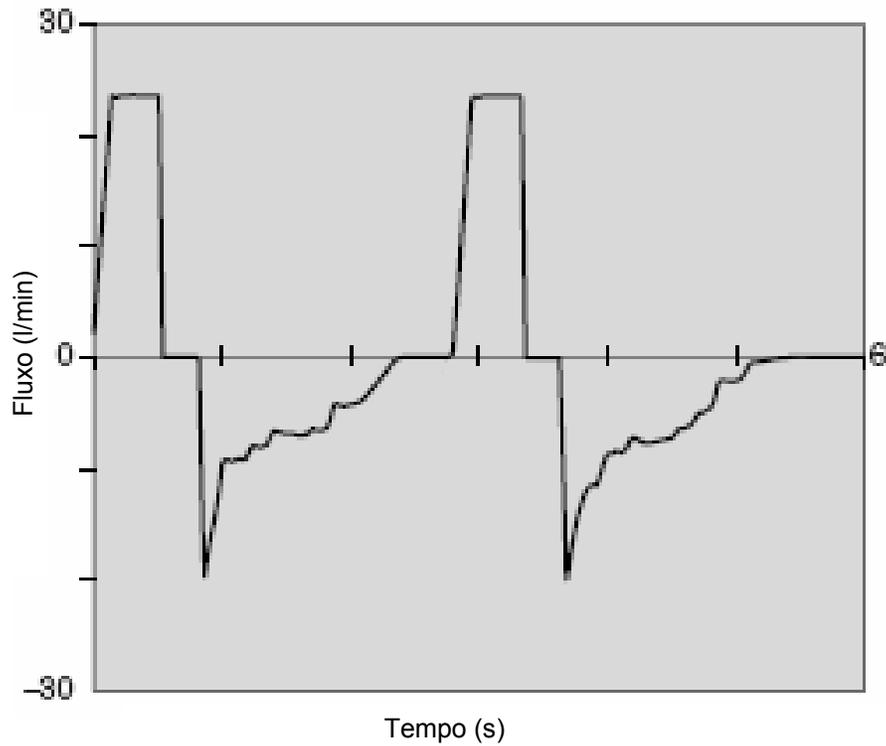
# Curva Fluxo – Tempo

## Traçado Normal

Ventilador a volume

≠

Ventilador a pressão



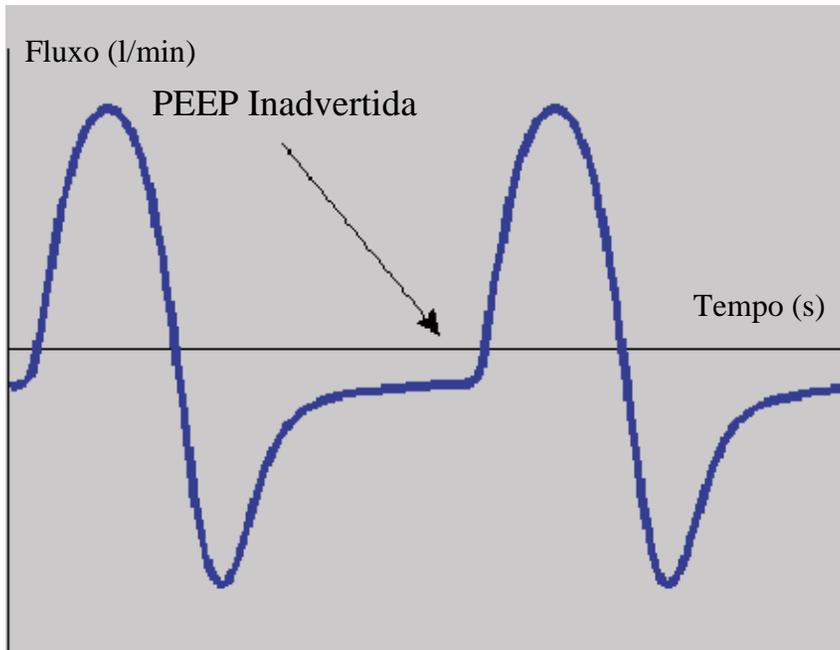
Ramírez, 2003 – reprodução e adaptação permitidas pelo autor

# Curva Fluxo – Tempo

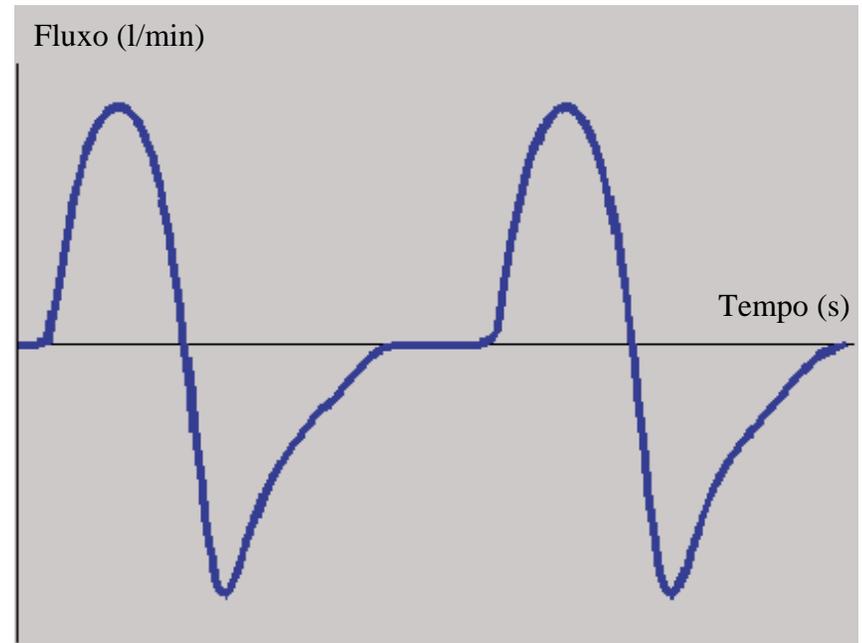
Traçado alterado



Traçado corrigido



SIMV: 16/min

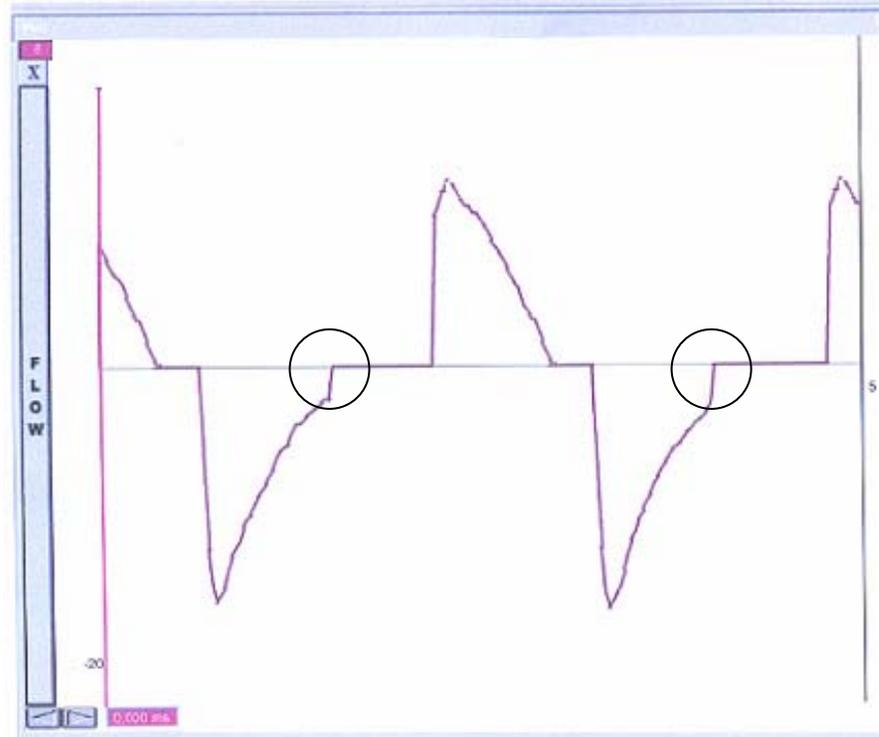


SIMV: 12/min

Retirado e adaptado de <http://www.novamatrix.com>

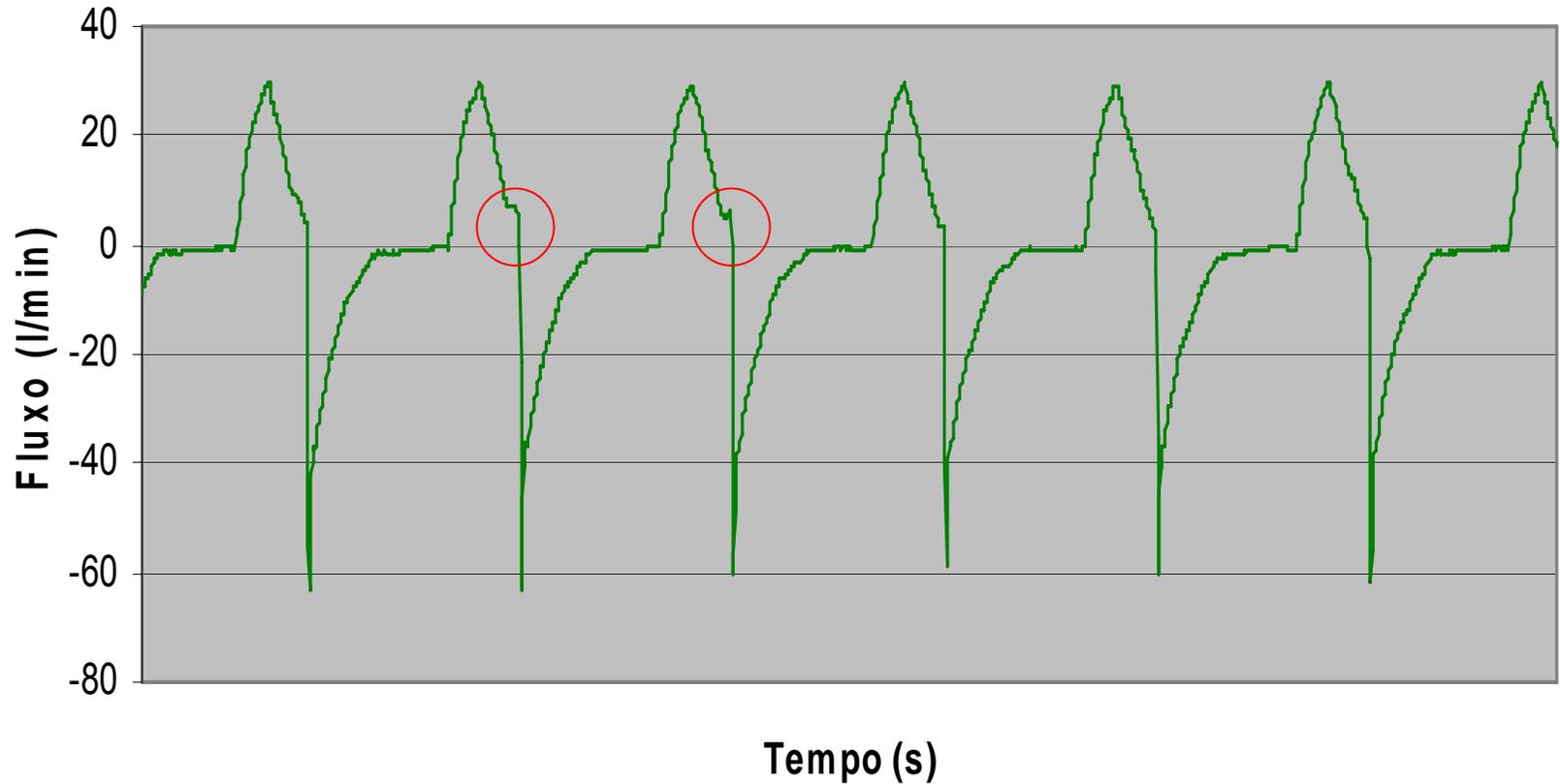
# Curva Fluxo – Tempo

Traçado alterado



Possível auto-PEEP ou mau funcionamento do equipamento

# Curva Fluxo – Tempo



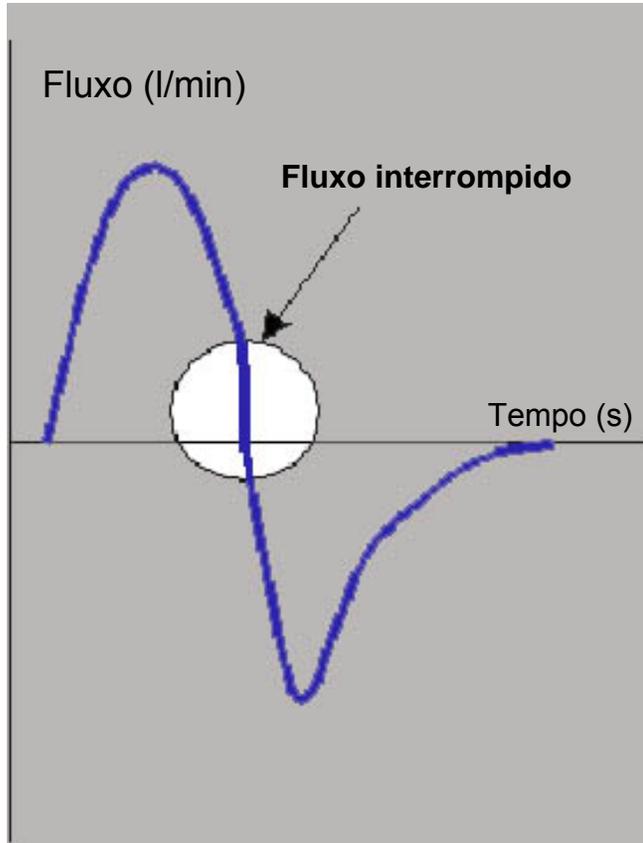
Tempo inspiratório insuficiente

# Curva Fluxo – Tempo

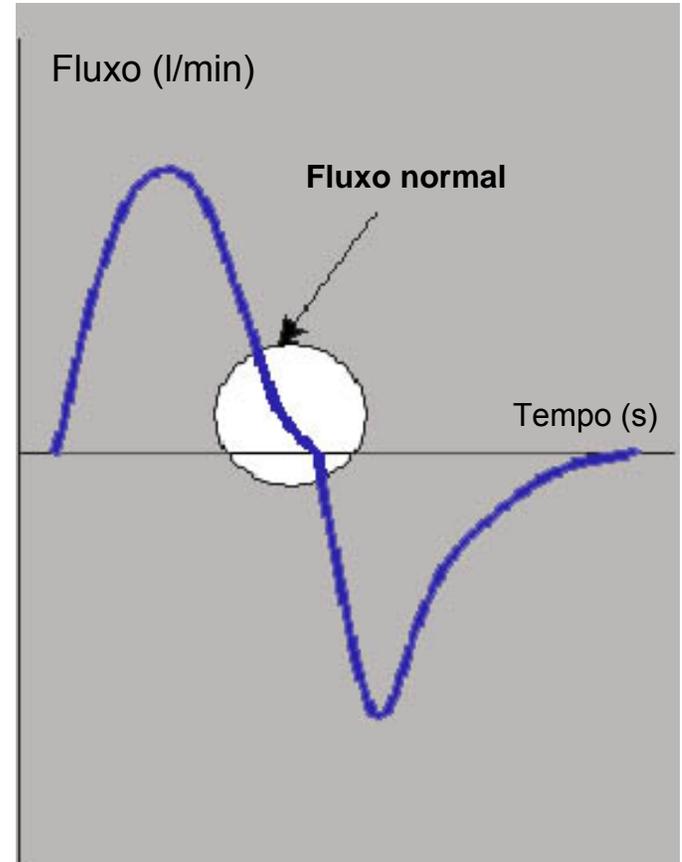
Traçado alterado



Traçado corrigido



T insp: 0,3 seg



T insp: 0,6 seg

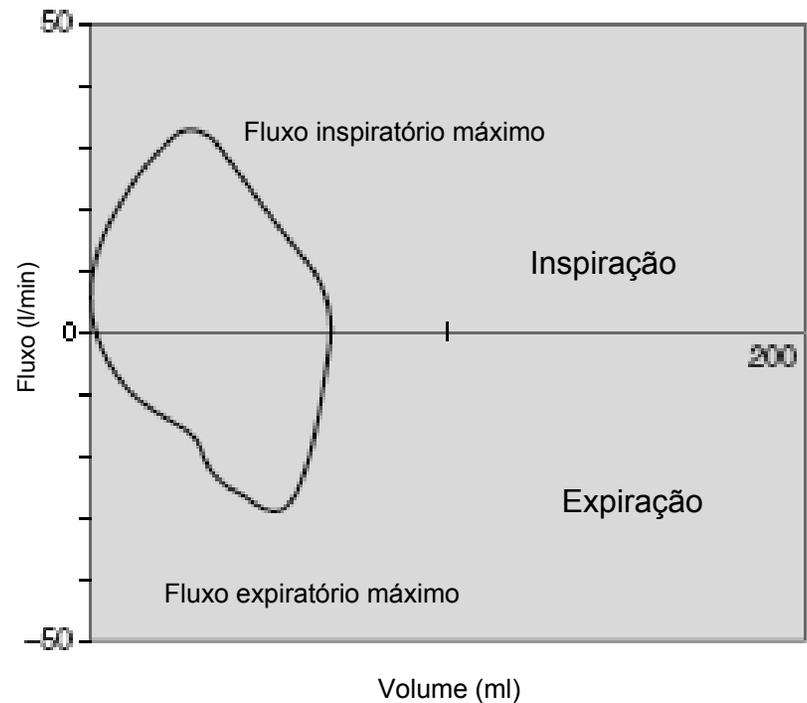
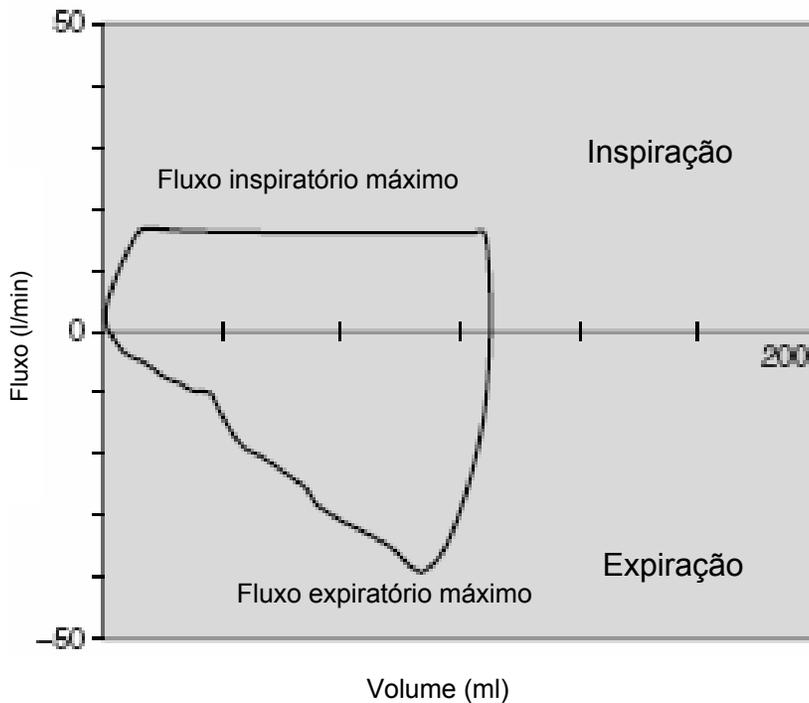
Retirado e adaptado de <http://www.novametrix.com>

# Curva Fluxo – Volume

Ventilador a volume

≠

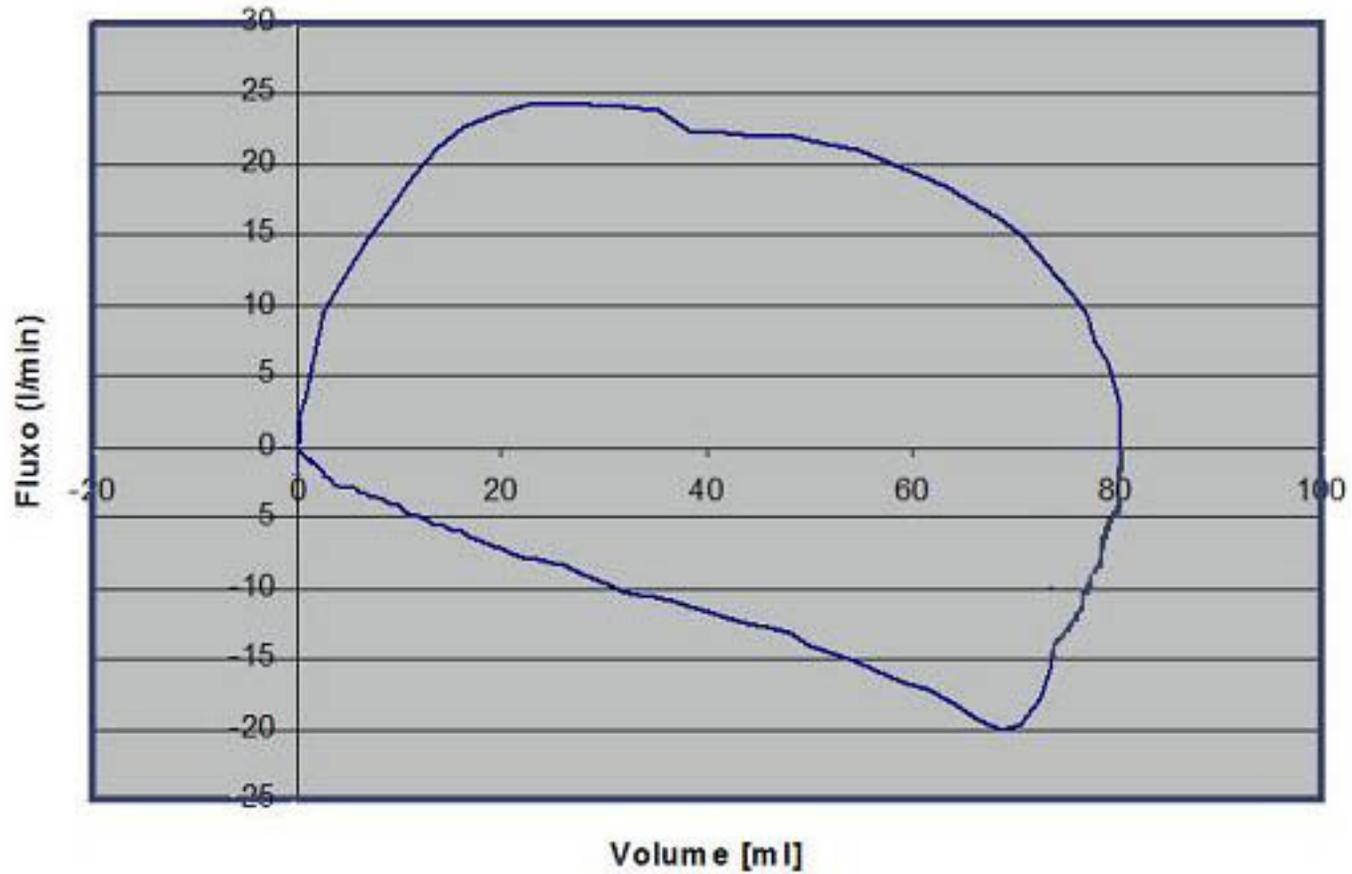
Ventilador a pressão



Ramírez, 2003 – reprodução e adaptação permitidas pelo autor

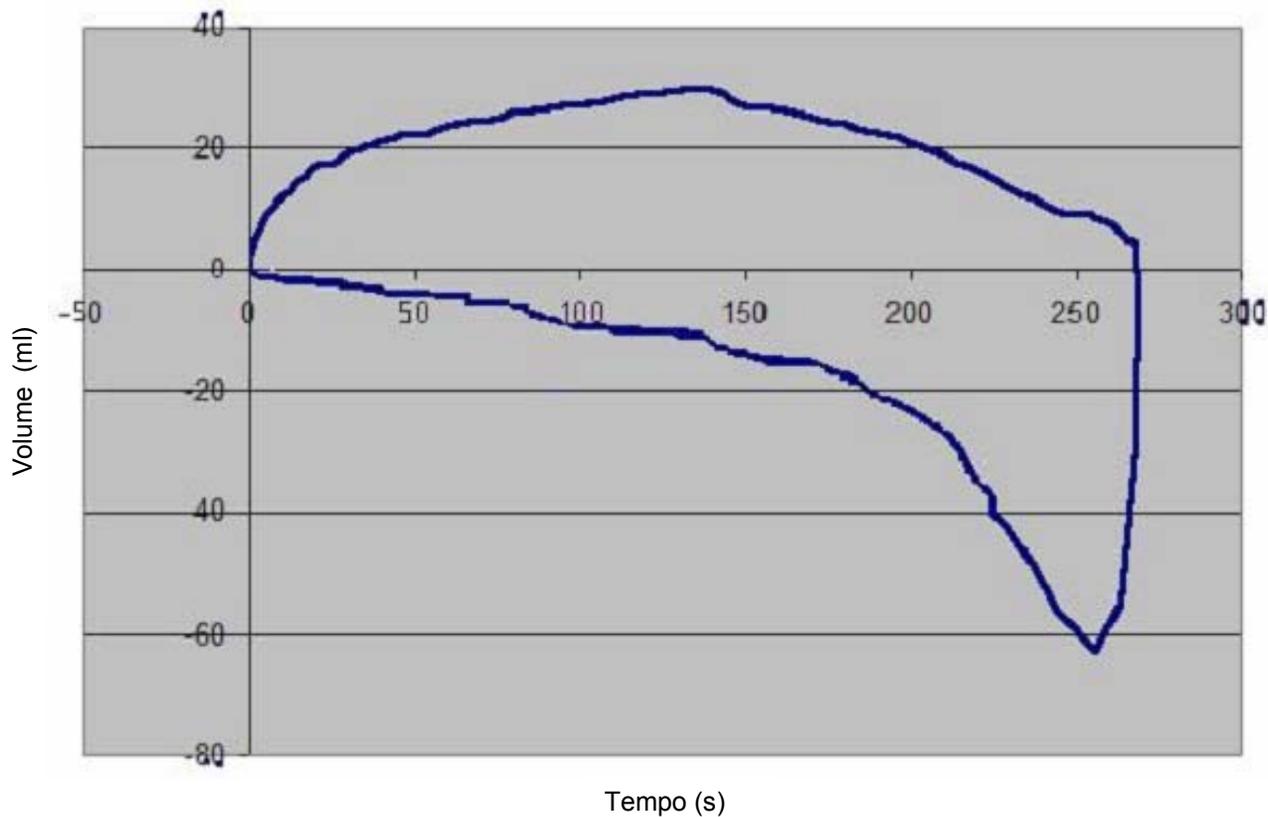
# Curva Fluxo – Volume

Traçado Normal



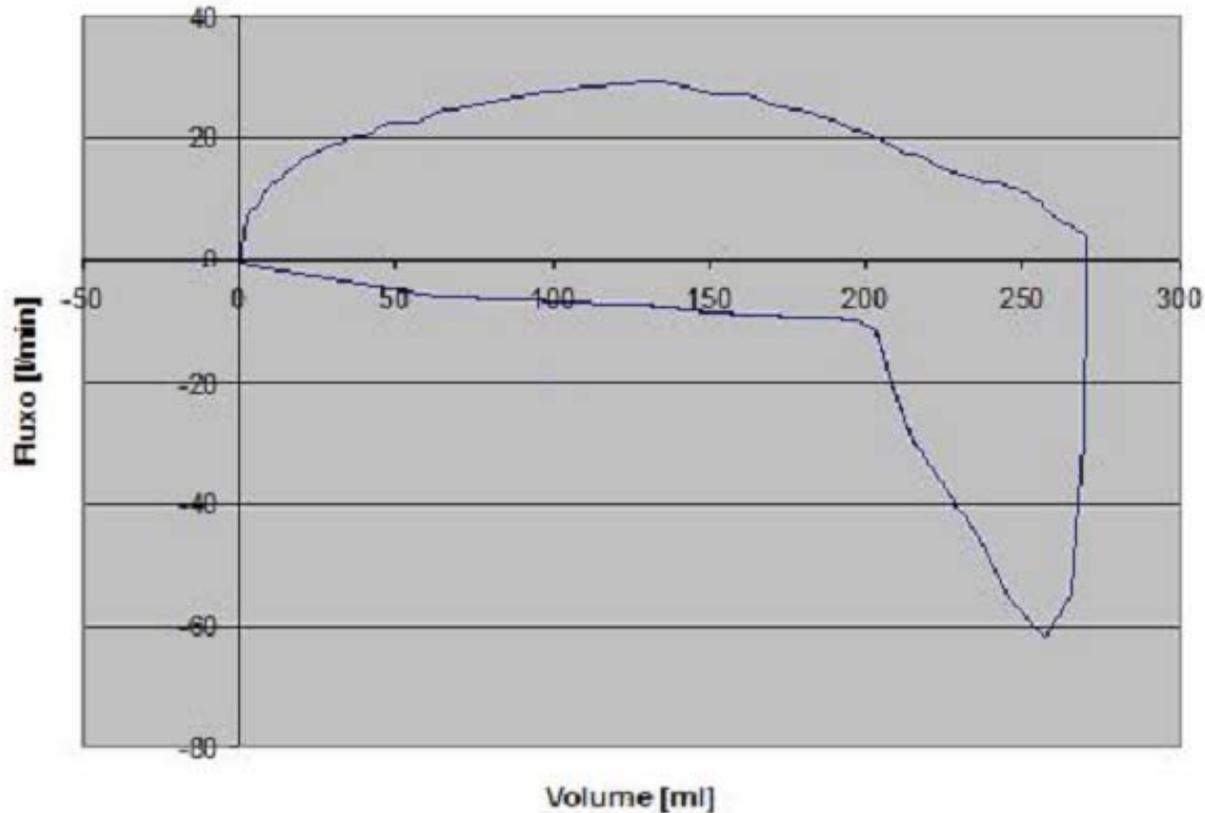
Reprodução autorizada pela Maquet

# Curva Fluxo – Volume



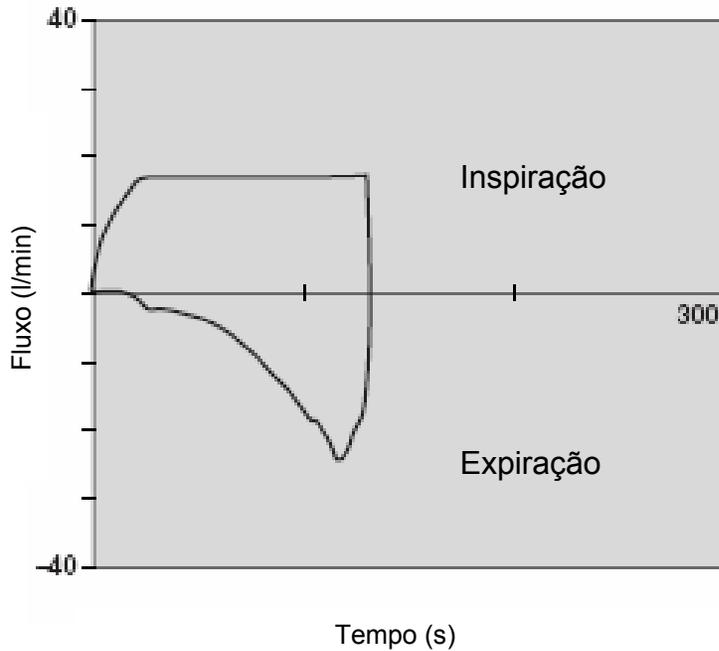
Convexidade para cima na fase expiratória  
indicando restrição leve ao fluxo expiratório.

# Curva Fluxo – Volume

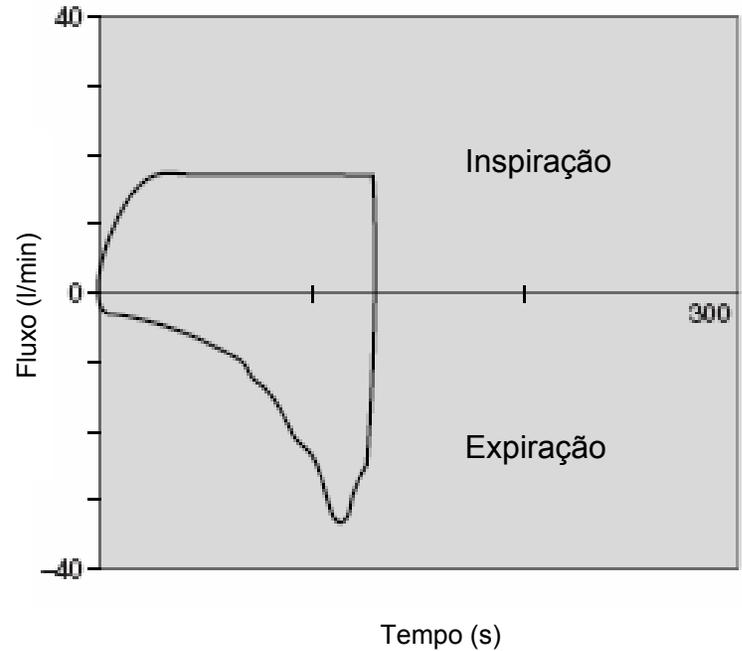


Convexidade para cima na fase expiratória indicando restrição grave ao fluxo expiratório.

# Curva Fluxo – Volume

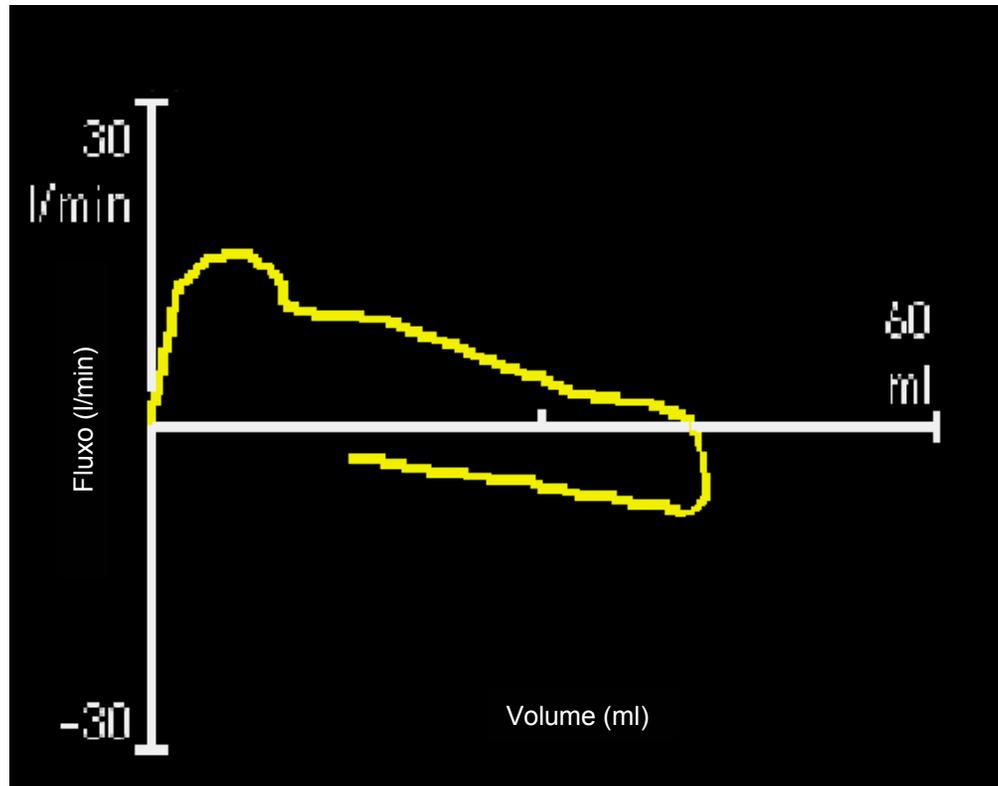


Fuga aérea



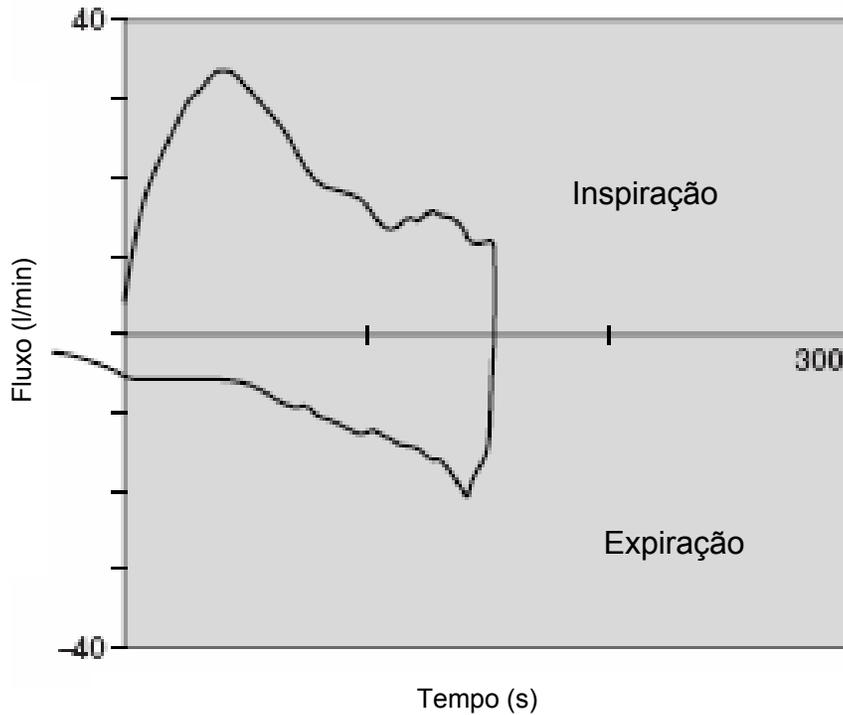
Presença de Auto-PEEP

# Curva Fluxo – Volume

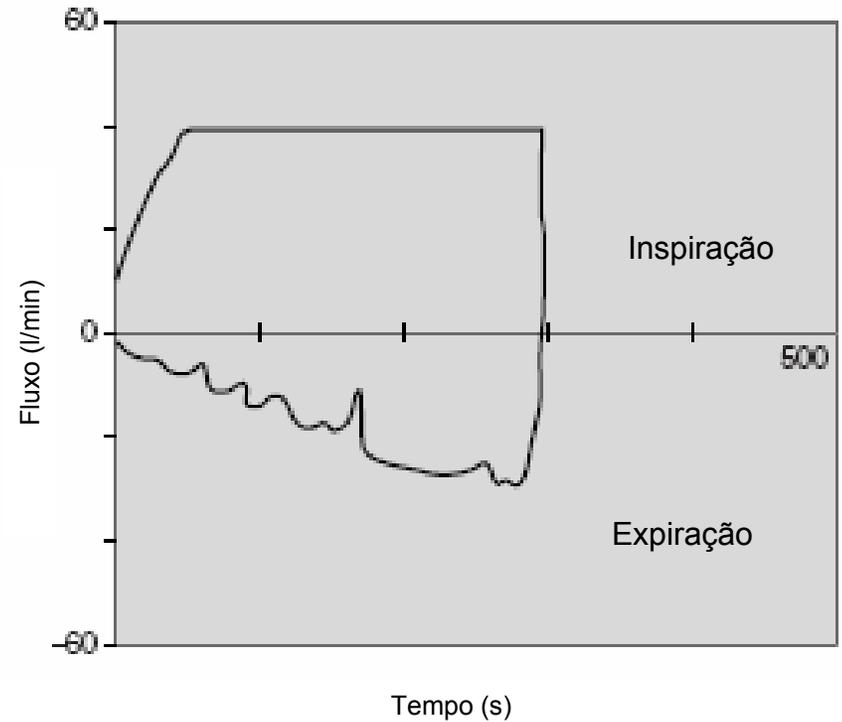


Fuga aérea – fase expiratório não alcança o eixo das abscissas

# Curva Fluxo – Volume



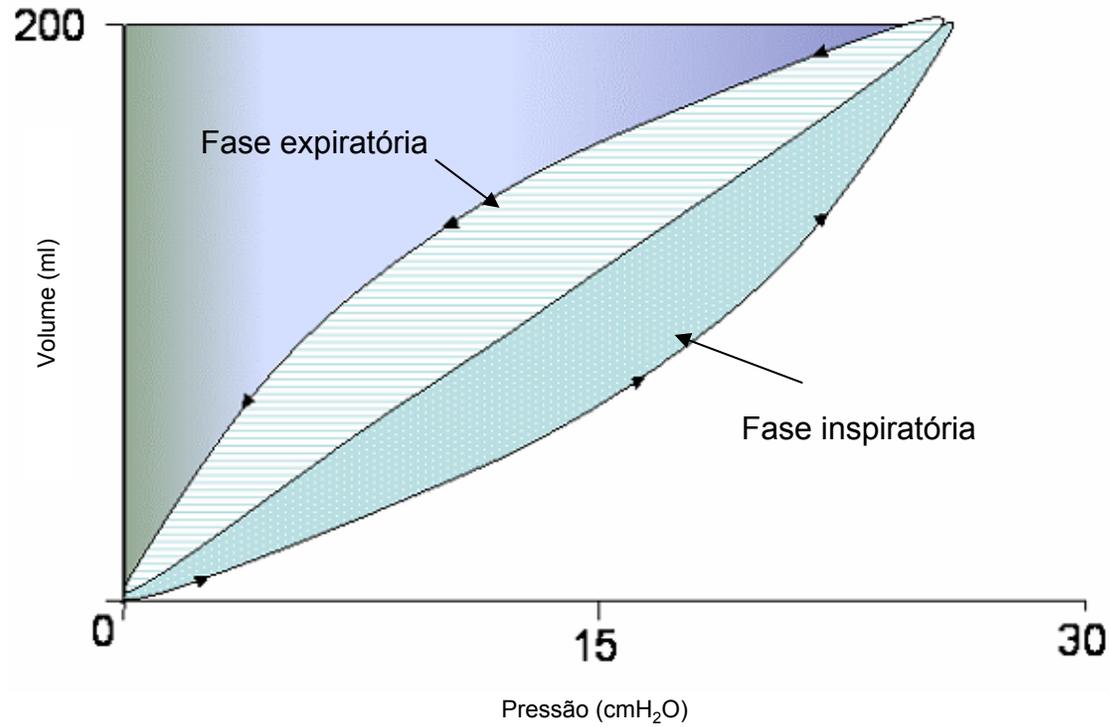
Volume anômalo



Secreções no circuito

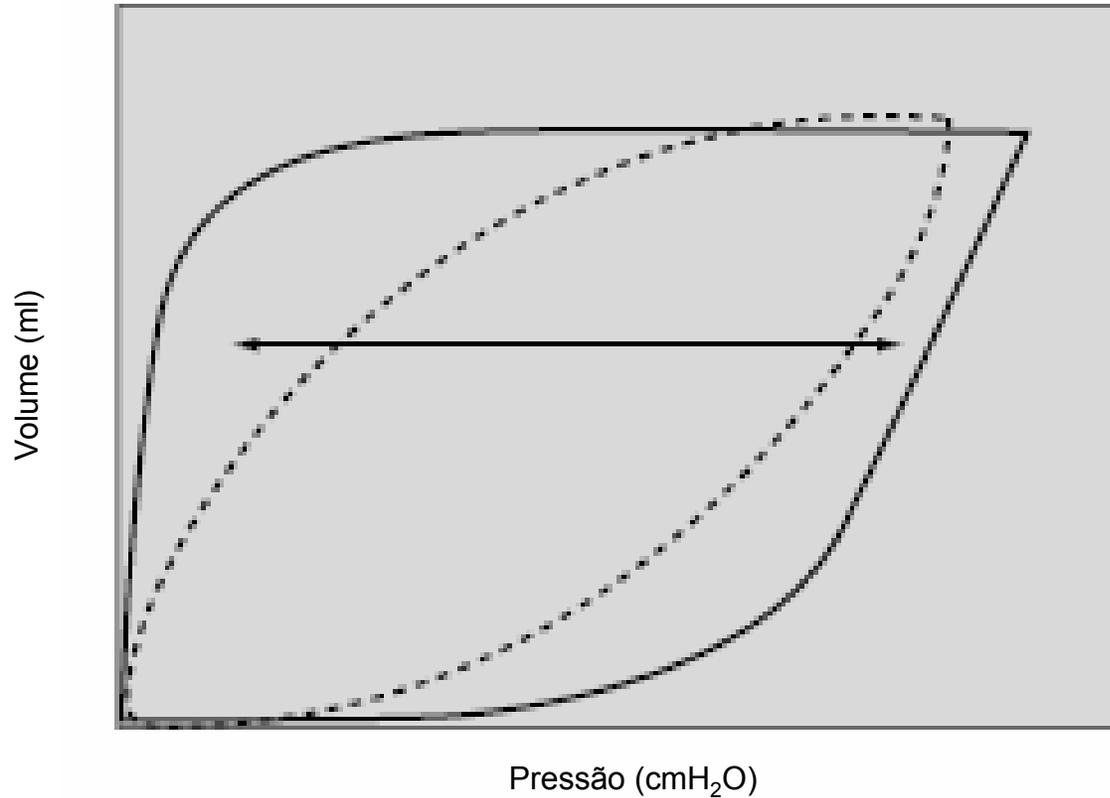
# Curva Pressão – Volume

Traçado normal



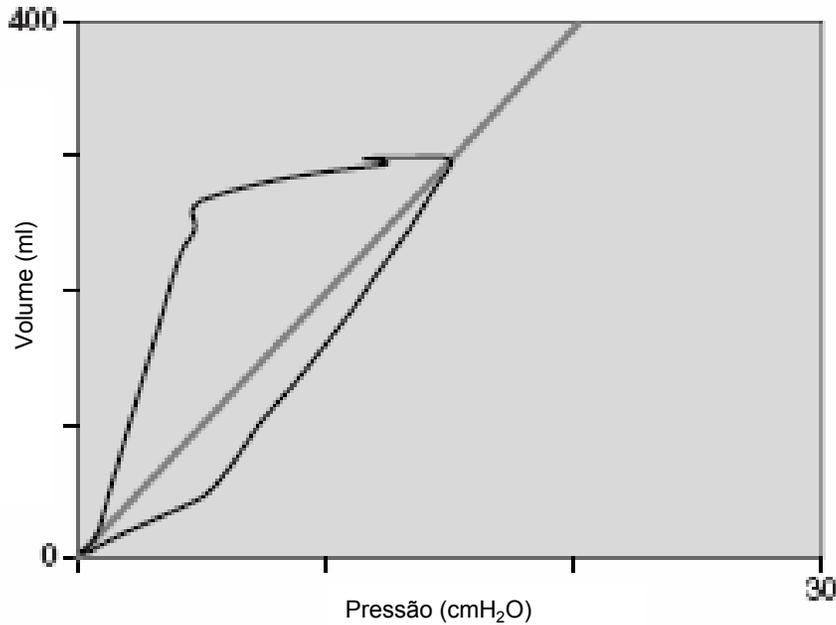
Adaptado de Joyner, 2004

# Curva Pressão – Volume

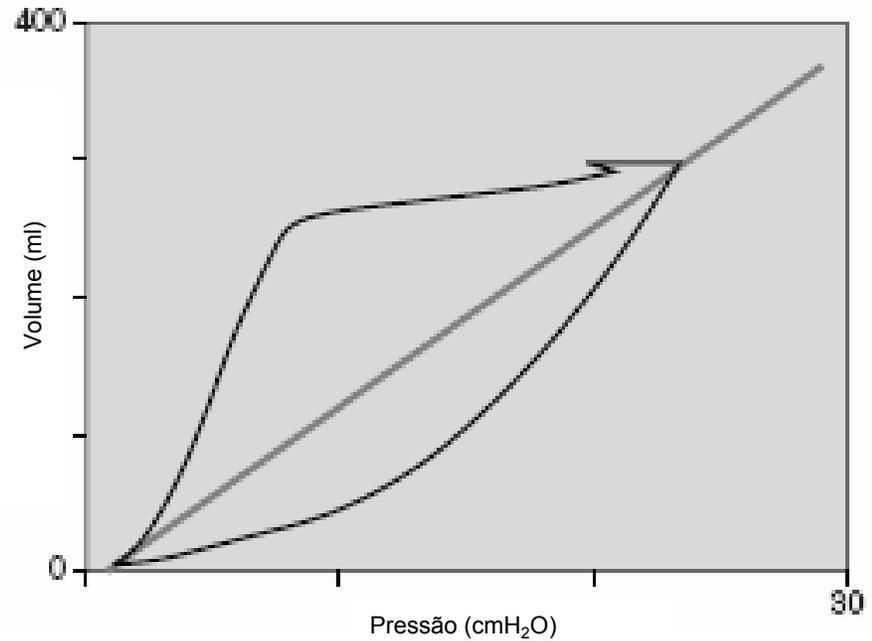


Aumento da Resistência

# Curva Pressão – Volume

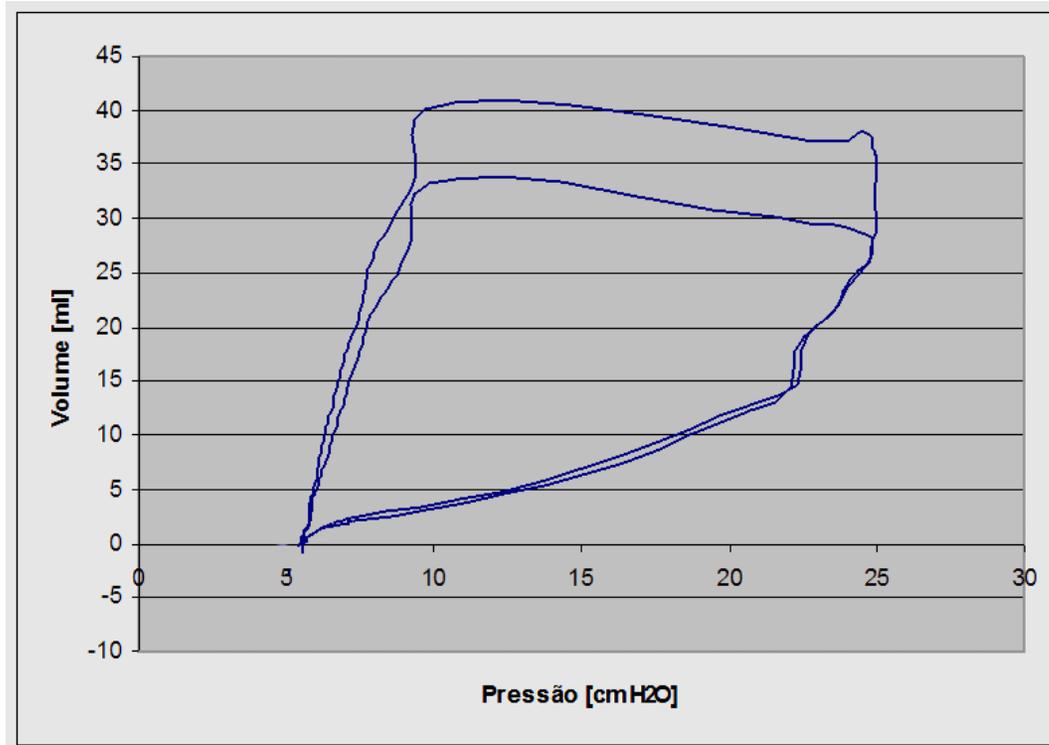


Distensibilidade maior:  
Menor pressão para o mesmo volume.



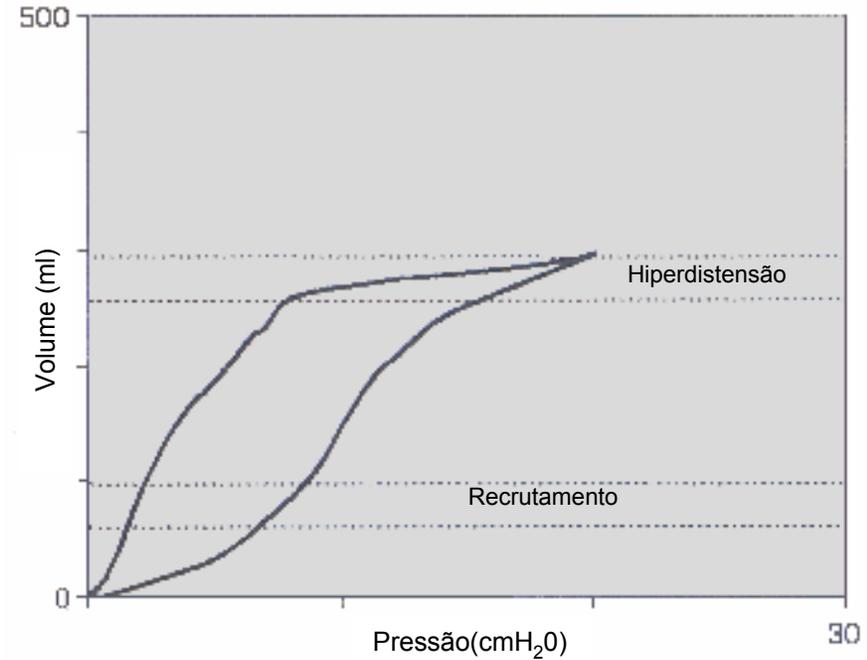
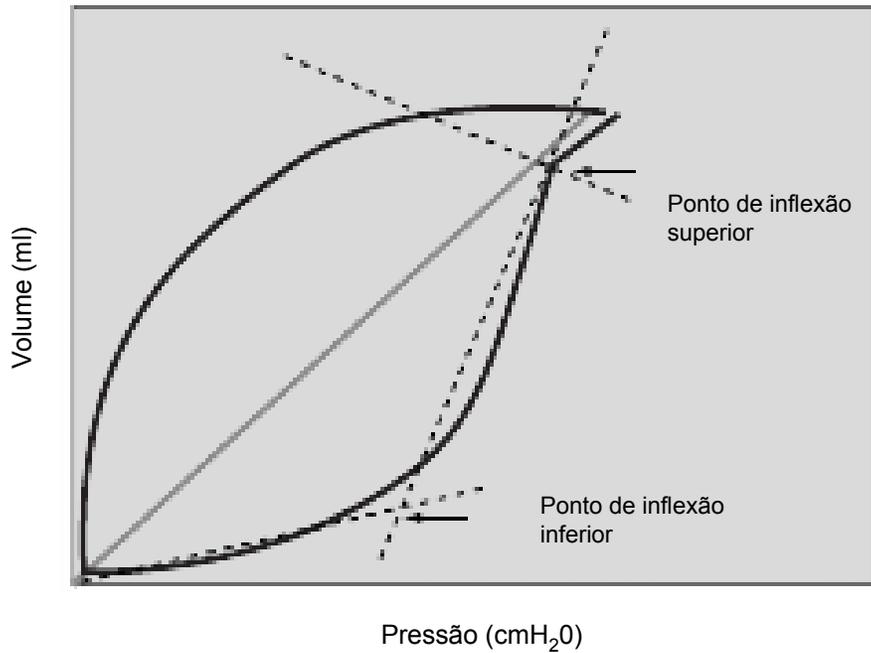
Distensibilidade menor.  
Maior pressão para o mesmo volume.

# Curva Pressão – Volume



Complacências diferentes: Volume maior para a mesma pressão

# Curva Pressão – Volume



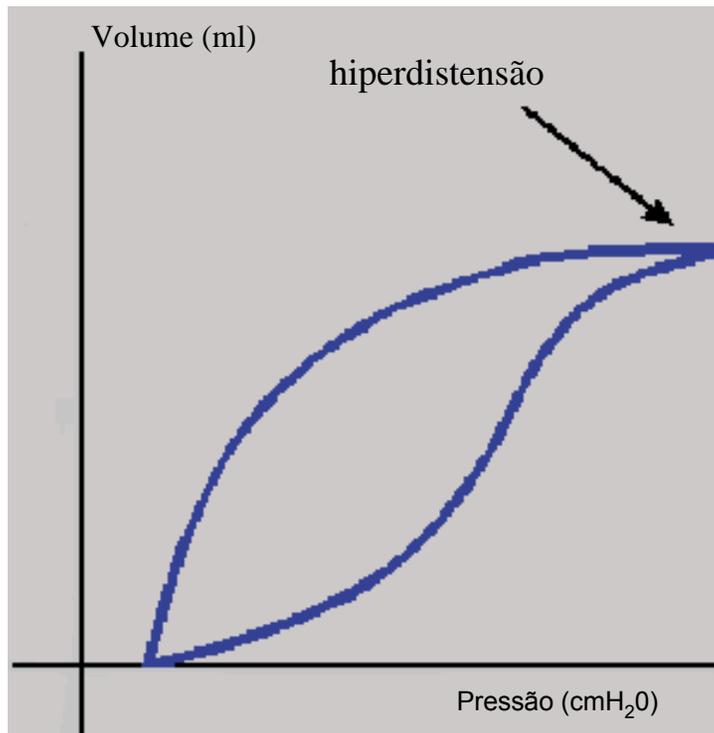
Áreas de recrutamento e hiperdistensão

# Curva Pressão – Volume

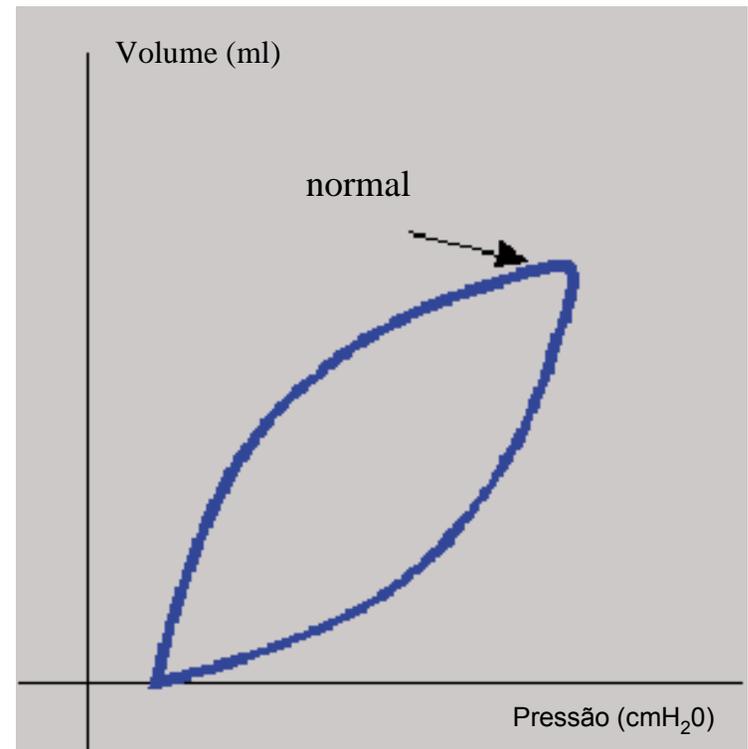
Traçado alterado



Traçado corrigido



PIP: 26 cmH<sub>2</sub>O

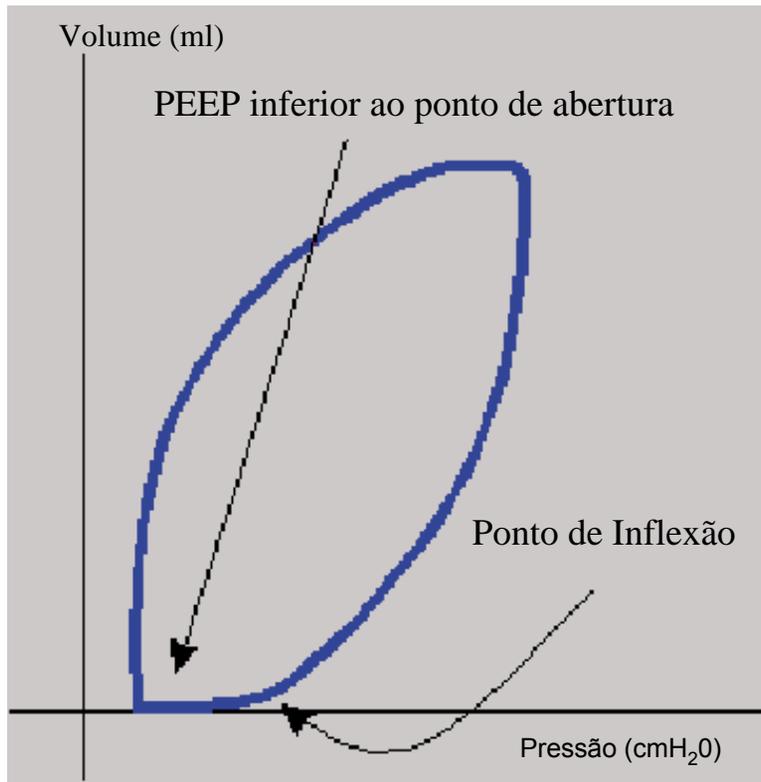


PIP: 22 cmH<sub>2</sub>O

Retirado e adaptado de <http://www.novamatrix.com>

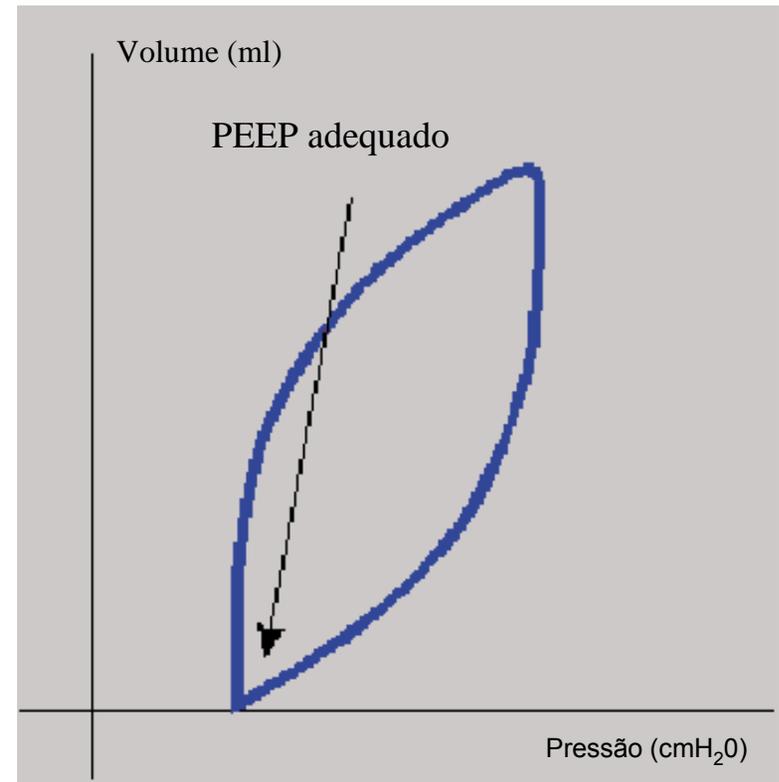
# Curva Pressão – Volume

Traçado alterado



PEEP: 5 cmH<sub>2</sub>O

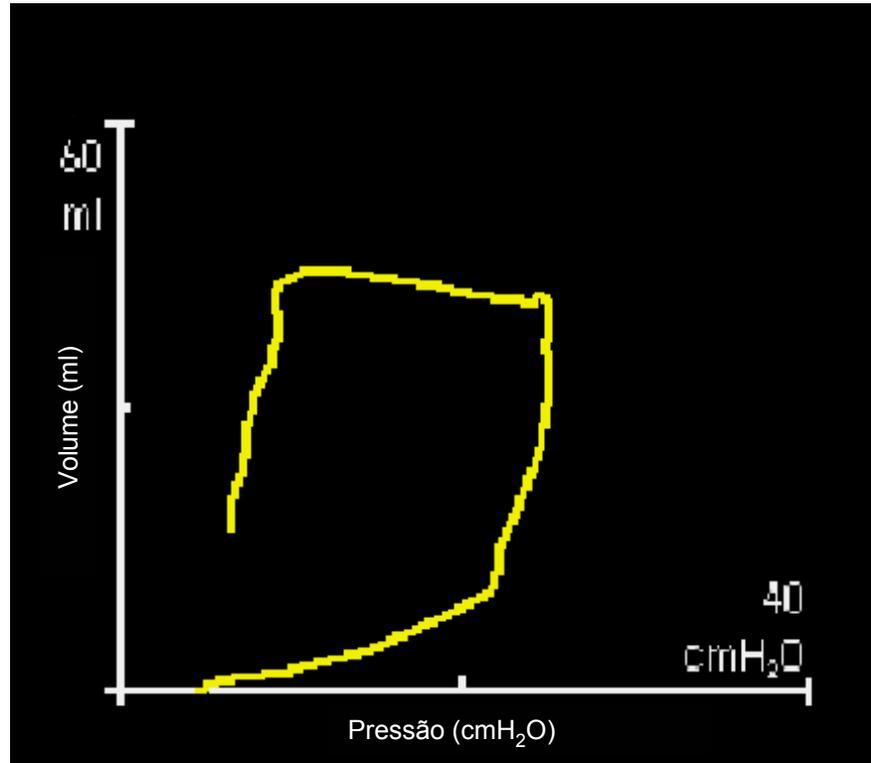
Traçado após correção



PEEP: 12 cmH<sub>2</sub>O

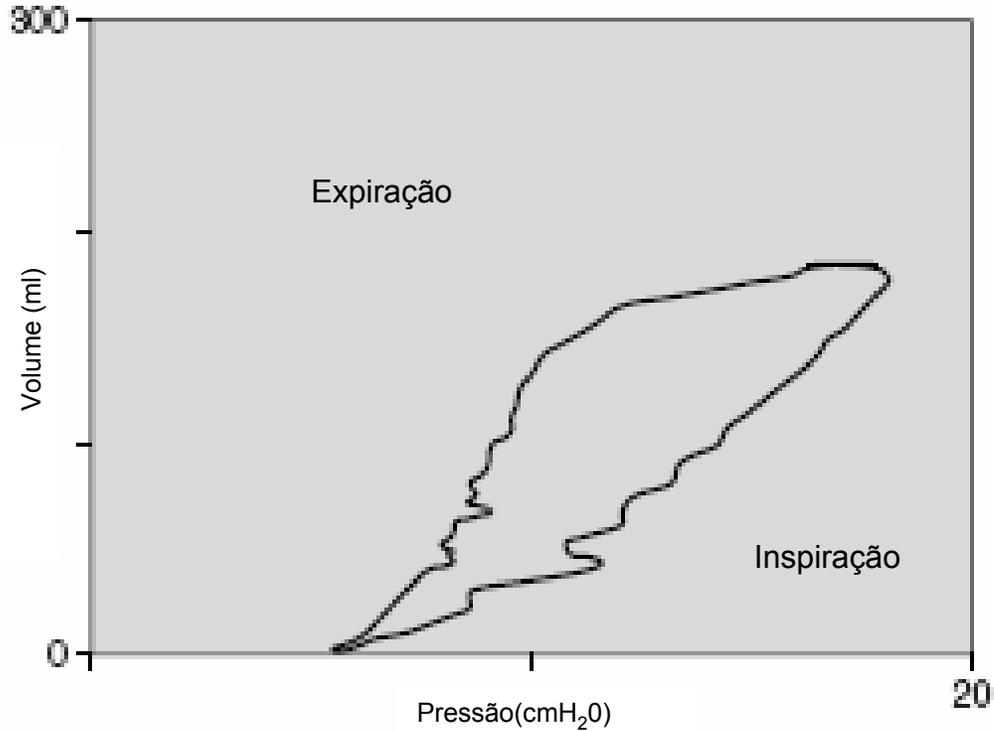
Retirado e adaptado de <http://www.novamatrix.com>

# Curva Pressão – Volume



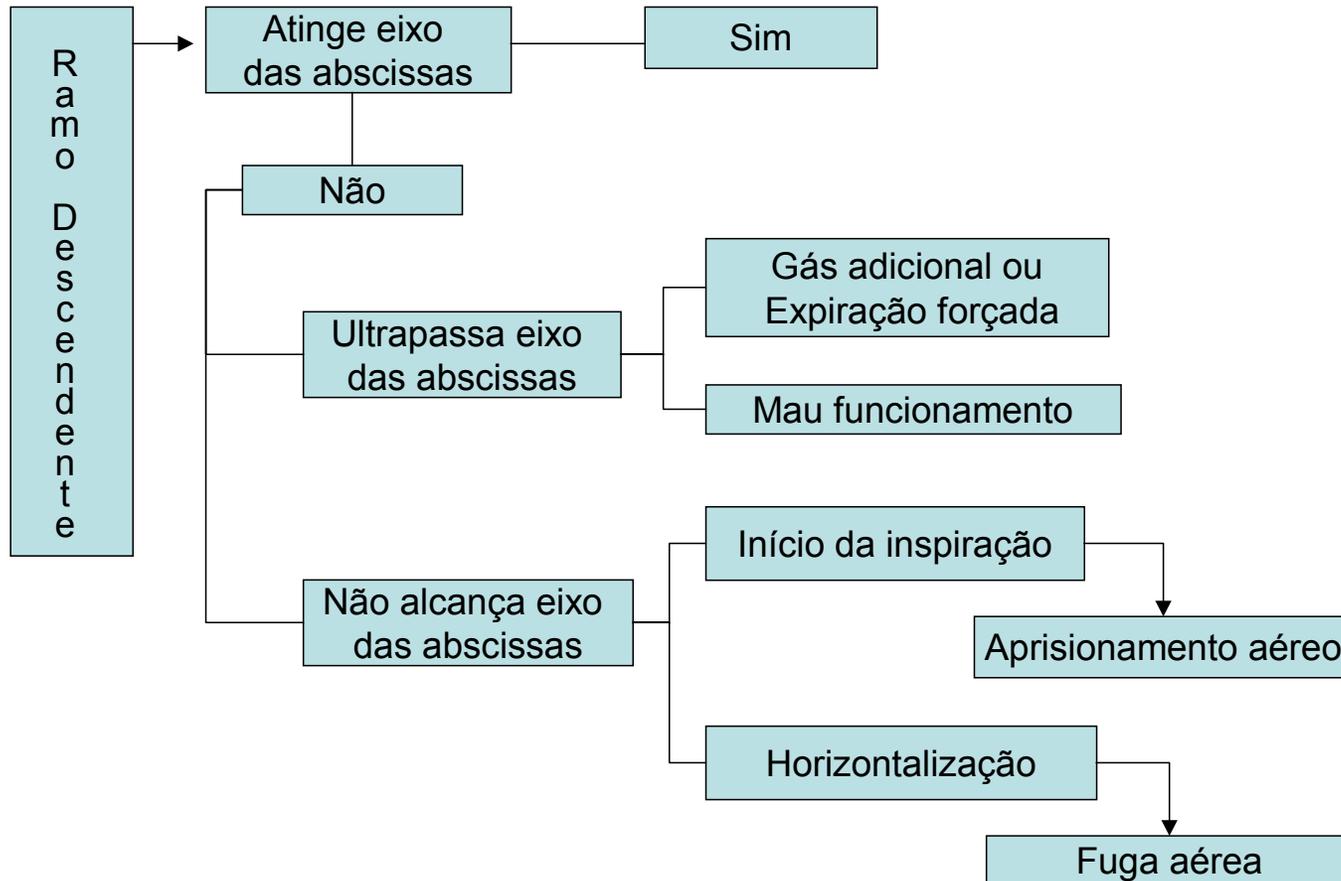
Fuga aérea – fase expiratório não alcança o eixo das abscissas

# Curva Pressão – Volume

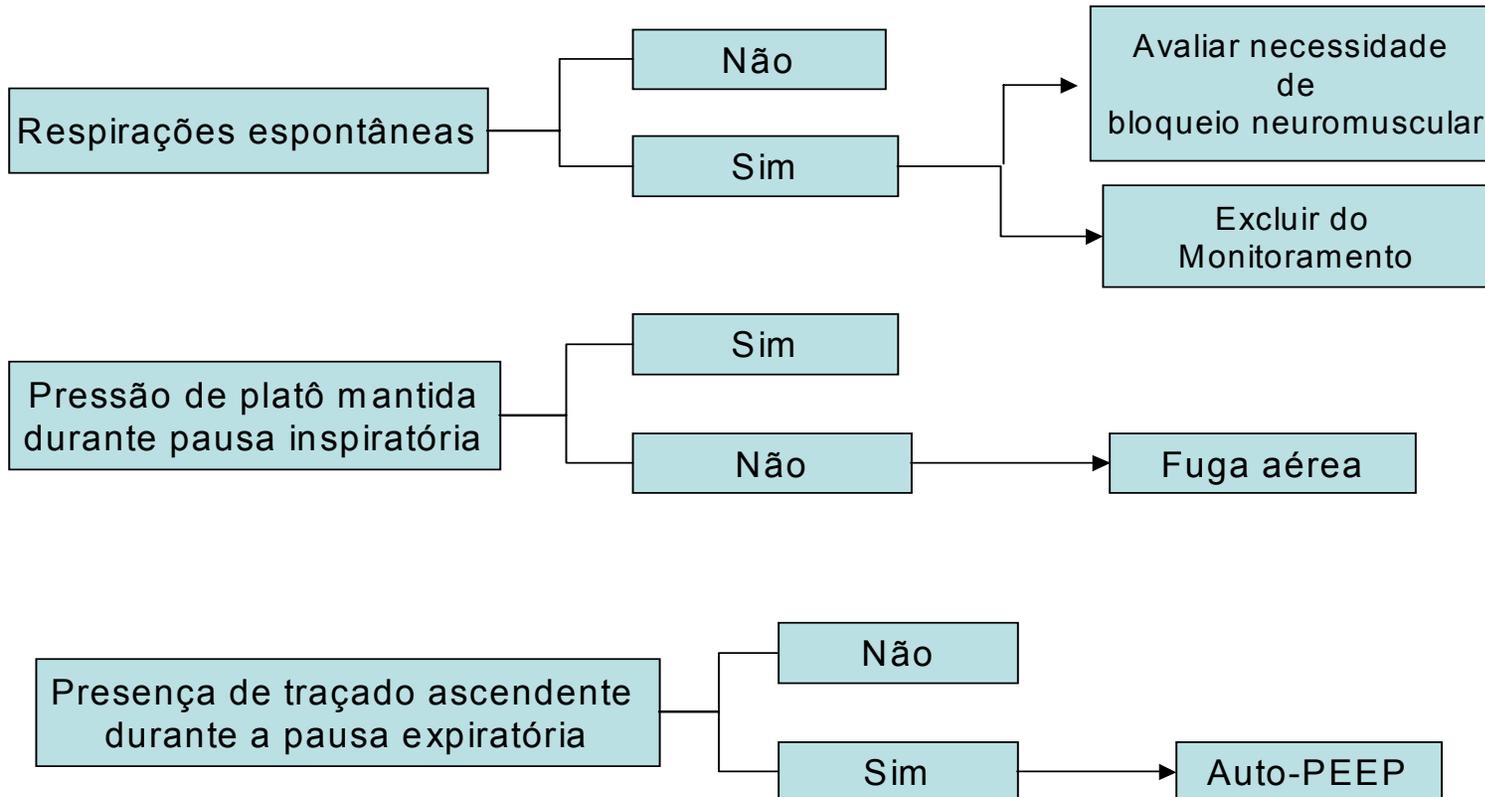


Secreções ou água no circuito

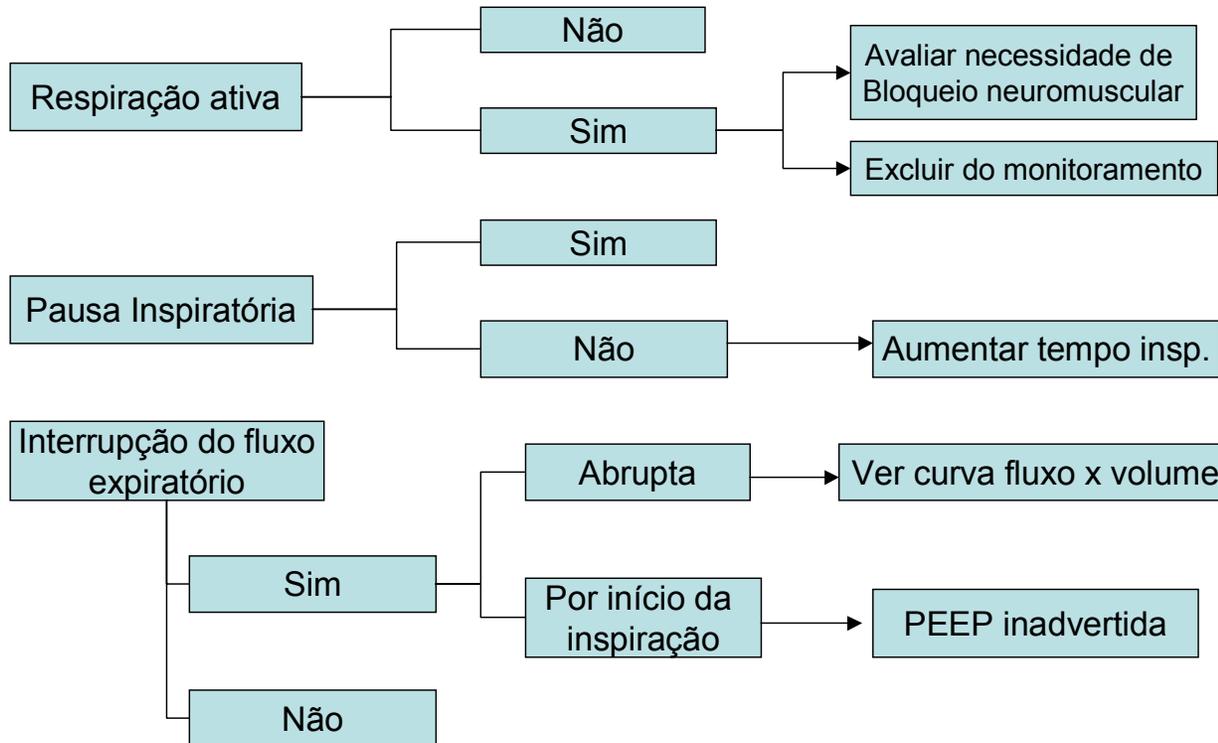
# Fluxograma Volume – Tempo



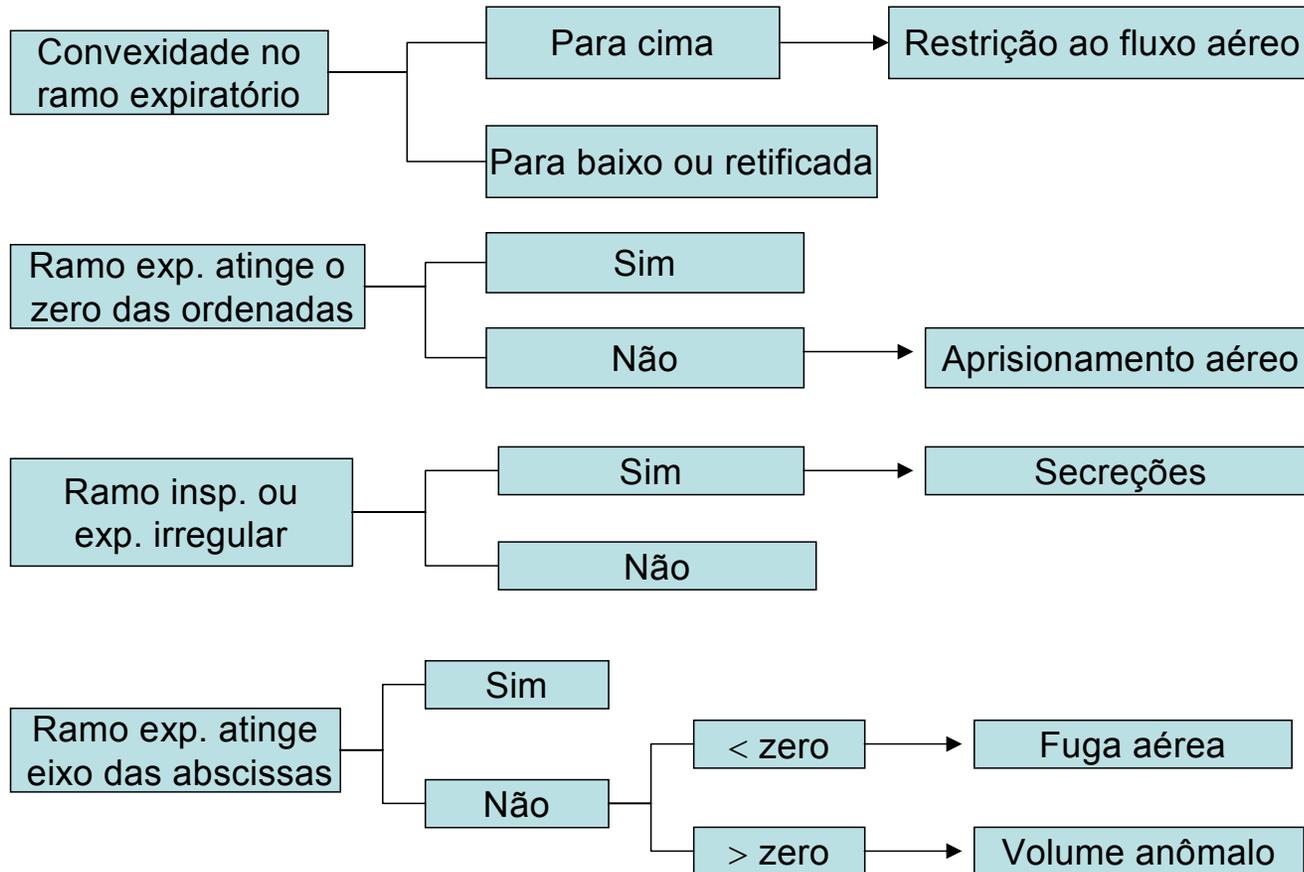
# Fluxograma Pressão – Tempo



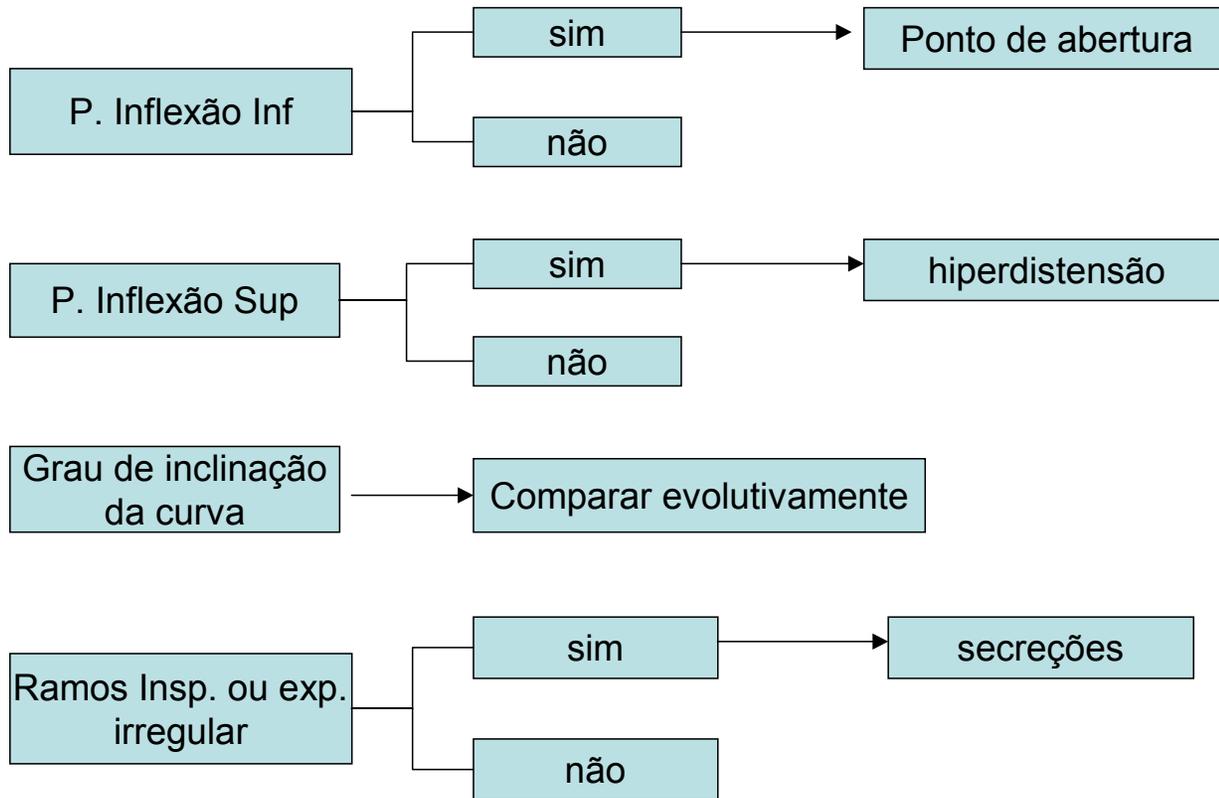
# Fluxograma Fluxo – Tempo



# Fluxograma Fluxo – Volume



# Fluxograma Pressão – Volume



# Resistência do TOT

A resistência ao fluxo aéreo imposta pelo tubo orotraqueal (TOT) deve ser subtraída da resistência fornecida pelo monitor gráfico quando o objetivo do monitoramento for saber, isoladamente, o comportamento do sistema respiratório. Para isso, utiliza-se a técnica descrita por Amato e colaboradores (1992), na qual deve-se conectar o TOT ao circuito do ventilador mecânico no modo CPAP com o valor de PEEP máximo, visando obter o fechamento das válvulas de exalação. Utilizando-se um manômetro, pode-se medir o valor da pressão necessário para que o fluxo oferecido atravesse o tubo orotraqueal. O valor de pressão obtido deverá ser dividido pelo fluxo utilizado, obtendo-se então, o valor da resistência oferecida pelo tubo. Os valores de fluxo, geralmente apresentados em l/min, devem ser convertidos em l/s.

A seguir serão mostradas alguns valores de resistências obtidos através destes cálculos e que podem servir de referência à beira do leito.

# Resistência do TOT

---

Tubo (mm)	Fluxo (l/min)					
	7,5	10	12,5	15	17,5	20
3	46,15	58,82	57,14	68,00	65,52	63,64
3,5	30,77	35,29	38,10	44,00	48,28	51,52
4,0	23,08	23,53	28,57	28,00	31,03	33,33
4,5	23,08	23,53	22,62	24,00	20,69	27,27
5,0	15,38	17,65	14,29	16,00	17,24	18,18
5,5	15,38	11,76	14,29	12,00	13,79	15,15

---

# Recomendações

O pneumotacógrafo é um objeto frágil, estando sujeito a rupturas, principalmente devido a esterilizações sucessivas. Ao sinal de mau funcionamento, o sensor deve ser substituído.

A escolha do tamanho do pneumotacógrafo a ser utilizado deve ser feita cuidadosamente, seguindo a orientação do fabricante.

Secreções do tubo endotraqueal aumentam sobremaneira os valores de resistência e alteram a morfologia das curvas.

Informações mais acuradas podem ser obtidas transferindo os resultados fornecidos pelo monitor gráfico para planilhas de Excel. Este procedimento, porém, dificilmente poderá ser realizado à beira do leito, uma vez que demanda um tempo maior.

# Referências Bibliográficas

- Amato MBP, Barbas CSV, Bonassa J, Saldiva PHN, Zin WA, Carvalho CRR. Volume-Assured Pressure Support Ventilation (VAPSV). A New Approach for Reducing Muscle Workload during Acute Respiratory Failure. *Chest* 1992; 102 (4):1225-34.
- Amato MBP, Barbas CSV, Medeiros DM, Magaldi RB, Schettino GPP, Lorenzi-Filho G et al. Effect of protective-ventilation strategy on mortality in the ARDS. *N Engl J Med* 1998; 338(6):347-54.
- Amendola, LFP. Estudo da mecânica respiratória em pacientes submetidos à ventilação mecânica na Unidade de Pacientes Graves do Instituto Fernandes Figueira.[Dissertação de Mestrado] – Pós-Graduação em Saúde Materno Infantil. Instituto Fernandes Figueira, Fundação Oswaldo Cruz; 2006
- American Thoracic Society / European Respiratory Society. Respiratory Mechanics in Infants: Physiologic Evaluation in Health and Disease. *Am Rev Respir Dis* 1993;147:474-96.
- Bigatello LM, Davignin KR, Stelfox HT. Respiratory mechanics and ventilator waveforms in the patient with acute lung injury. *Respir Care* 2005; 50(2):235-45.
- Blanch L, Bernabé F, Lucangelo U. Measurement of air trapping, intrinsic positive end-expiratory pressure, and dynamic hyperinflation in mechanically ventilated patients. *Respir Care* 2005; 50(1):110-23.
- Bhutani VK, Sivieri EM, Abasi S. Evaluation of Pulmonary function in the neonate. In: Fetal and neonatal physiology. Polin RA, Fox WW. Editors. 1998. pp.1143 – 64, Philadelphia: Saunders Company.
- Bhutani VK, Sivieri EM. Physiologic for bedside assessment of pulmonary graphics. In: Pulmonary Graphics: Basis of Clinical Application. In: Neonatal and Pediatric Pulmonary Graphics: Principles and Clinical Applications. Armonk: Futura; 1998. p. 57-79s

# Referências Bibliográficas

- Donn SM, Hagus CK. Pulmonary Graphics: Basis of Clinical application. In: Neonatal and Pediatric Pulmonary Graphics: Principles and Clinical Applications. Armonk: Futura; 1998. p. 81-127.
- Gattinoni L, Pesenti A, Avalli L, Rossi F, Bombino M. Pressure-volume curve of total respiratory system in acute respiratory failure. Computed tomographic scan study Am Rev Respir Dis. 1987 Sep;136(3):730-6.
- Joyner Jr, RL. Basics of Ventilator Graphics.2004. <http://www.salisbury.edu/healthsci/RESP/Classes/RLJoyner/Springer/RESP321/BVG.htm>
- Iotti GA, Braschi A. Monitorização da mecânica respiratória. São Paulo:Atheneu; 2004.
- Lucangelo U, Bernabé F, Blanch L. Respiratory mechanics derived from signals in the ventilator circuit. Respir Care 2005; 50(1):55-65.
- Marini JJ, What derived variables should be monitored during mechanical ventilation? Respir Care 1992 Sep; 37(9):1097-107.
- Novamatrix Products. <http://www.novamatrix.com> (acessado em 03/2005).
- Ramírez JB. Respiratory function monitoring: curves of pressure, volume and flow. An Pediatr (Barc). 2003; 59(3)264-77.
- Rocco PRM, Zin WA. Aspectos Fisiológicos da Aerodinâmica dos tubos Endotraqueais. In: Tavares P, editor. Atualizações em Fisiologia – Respiração. Rio de Janeiro: Cultura Médica; 1991.
- Terragni PP, Rosboch GL, Lisi A, Viale AG, Ranieri VM. How respiratory system mechanics may help in minimising ventilator-induced lung injury in ARDS patients. Eur Respir J Suppl. 2003 Aug;42: 15s-21s. Review.