




Ventiladores Mecânicos

Andrea Fonseca da Cruz

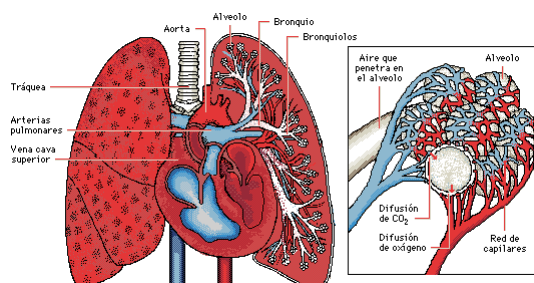



Histórico

- 1997, FATEC em mecânica de precisão
- 2000, especialização em engenharia clínica e iniciei na Takaoka na área de documentação
- 2003, mestrado em engenharia biomédica na UFRJ
 - Ventilador mecânico para pequenos animais
- 2006, Takaoka no desenvolvimento de ventiladores mecânicos
- 2007, Odontobiomed na assistência técnica de equipamentos importados (Avea, Vela, Penlon, SensorMedics, Medix, Nihon Kohden)
- 2009, Takaoka no desenvolvimento de ventiladores mecânicos
- 2010, spin-off da Takaoka (Novitech) no desenvolvimento de ventiladores mecânicos
- 2012, doutorado na FMUSP em parceria com a Poli
 - Técnicas de oscilação forçada na avaliação da mecânica respiratória
- 2015, estágio sanduíche na Universidade de Iowa
 - Técnicas de oscilação forçada e ventilação de alta frequência
- 2016, Biologix start up de monitorização de sono

11/04/2017 2

Sistema Respiratório

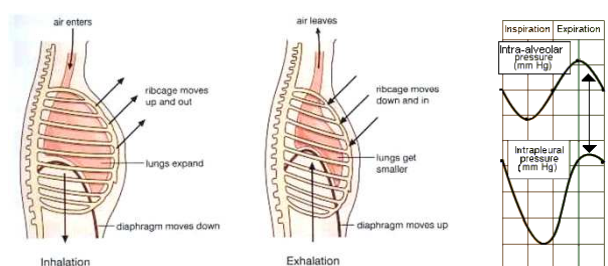


- Pulmões:
 - Possuem uma arquitetura que fornece a distribuição adequada do ar inspirado e fluxo sanguíneo pulmonar permitindo a troca de O₂ e CO₂ entre o sangue e alvéolo (West 1978).

11/04/2017

3

Ciclo ventilatório

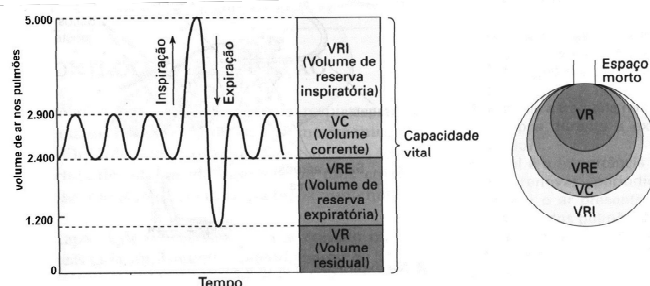


- Inspiração:
 - Diafragma e músculos intercostais se contraem
- Expiração:
 - Diafragma e músculos intercostais se relaxam

11/04/2017

4

Ciclo ventilatório



- Volume corrente (VC): é o volume de ar inspirado e expirado em cada respiração normal

11/04/2017

5

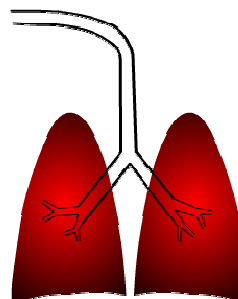
Ciclo ventilatório

- A pressão motriz deve superar as pressões:

– Resistiva: $\Delta P_{RES,SR} = R_{SR} \dot{V}$

– Elástica: $\Delta P_{EL,SR} = \frac{E_{SR}}{\Delta V}$

– Inercial: $\Delta P_{IN,SR} = I_{SR} \ddot{V}$



11/04/2017

6



Ventilação Mecânica

- Predisposição:
 - condição clínica
 - trocas gasosas
 - aumento do esforço
 - comprometimento da musculatura
 - procedimento cirúrgico.
- A função da VM é prover o fornecimento de gás ao paciente mantendo apropriadas as trocas gasosas até que ele esteja capacitado a reassumi-la.



Histórico

- Em 1543 Andreas Vesalius descreveu pela primeira vez a ventilação mecânica (VM)
- Em 1667 Robert Hook ventilou um cachorro com fole e mostrou a importância da VM (?)
- Em 1744 Tossach fez uma reanimação com respiração boca a boca
- Em 1774 o oxigênio é descoberto e se entende a importância da VM

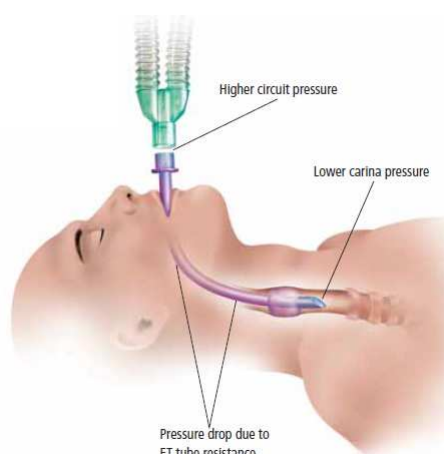
Ventilador mecânico

- O ventilador mecânico é definido como um dispositivo automático conectado às vias aéreas com o objetivo de aumentar ou prover a ventilação do paciente
- Os ventiladores atuais utilizam a técnica da pressão positiva para impor o fluxo de gás ao paciente.

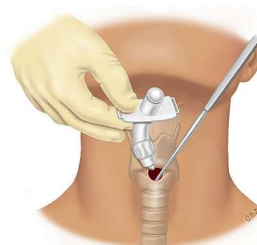
11/04/2017

9

Interfaces invasivas



intubação orotraqueal



traqueostomia

11/04/2017

10

Interfaces não invasivas



máscara
total



máscara
oronasal



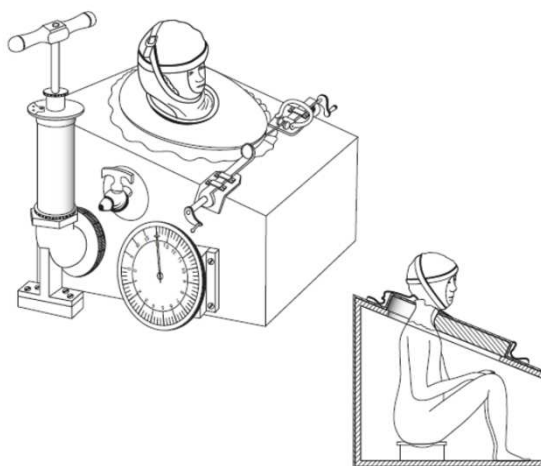
máscara
nasal

11/04/2017

11

Histórico

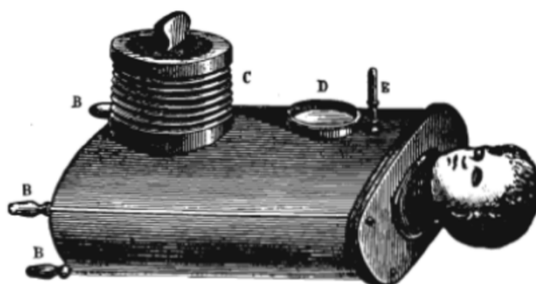
- Em 1864, Alfred Jones



11/04/2017

12

- Em 1876, Alfred Woillez



11/04/2017

13

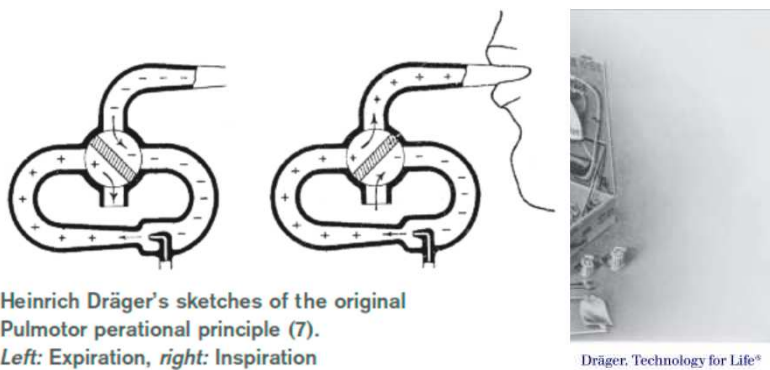
- Em 1893, Fell e O'Dwyer
- Em 1902, Matas



11/04/2017

14

- Em 1907, a empresa Dräger patenteia o Pulmotor



11/04/2017

15

- Em 1929, Drinker e Shaw introduziram o primeiro pulmão de aço a ser utilizado em VM prolongada. As alterações na pressão do reservatório eram geradas por um ventilador rotativo sob impulsão elétrica.



11/04/2017

16

- 1930, Poulton e Barack



11/04/2017

17

- Em 1931, a empresa Emerson construiu um pulmão de aço incorporando novas tecnologias e a custo bem menor. Um fole impulsionado por motor elétrico ou manualmente produzia pressão negativa dentro do tanque.



11/04/2017

18

Acesso ao paciente



11/04/2017

19

Acesso ao paciente

- Em 1936, tipo couraça

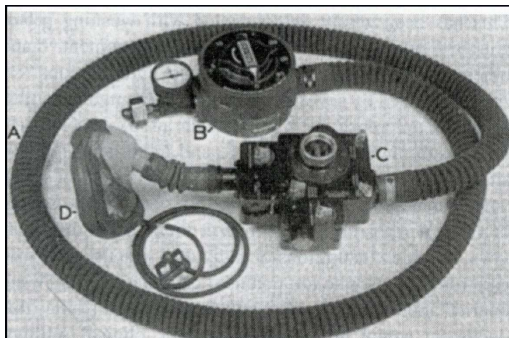


11/04/2017

Property of Museum of History & Industry, Seattle

20

- Em 1940, a empresa Bennett oferece

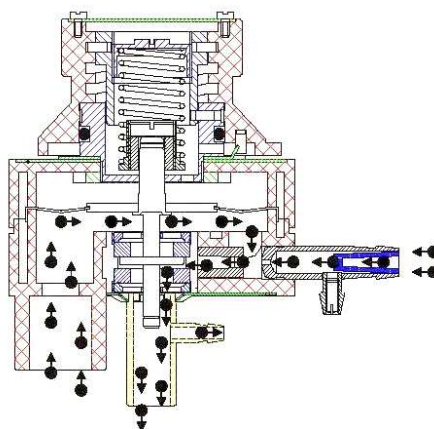


- Em 1950 desenvolve uma válvula de demanda (aviação).

11/04/2017

21

- Em 1955, Kentaro Takaoka - Brasil



11/04/2017

22

INCORHC ZERBINI
CIÊNCIA E HUMANISMO

LEB
EPUSP

- Em 1957, Forrest Bird

11/04/2017

23

INCORHC ZERBINI
CIÊNCIA E HUMANISMO

LEB
EPUSP

E então...

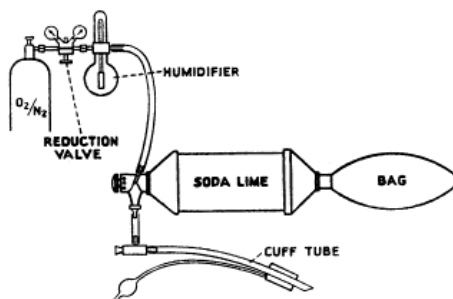
- Em 1952 ocorre uma epidemia de poliomielite na Dinamarca.
- Maior hospital tinha 1 Emerson e 1 de Couraça, 50 pessoas eram admitidas por dia.
- Mortalidade em 87%.
- Anestesista Bjorn Ibsen sugeriu traqueostomia e VM com pressão positiva.
- 1500 estudantes foram recrutados

11/04/2017

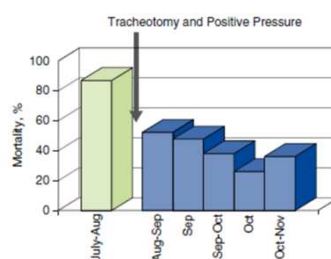
24

Solução

- Utilizaram:



- Mortalidade:



11/04/2017

25

Epidemia de Polio nos EUA

- 1953 no Hospital Ranchos Los Amigos - Califórnia



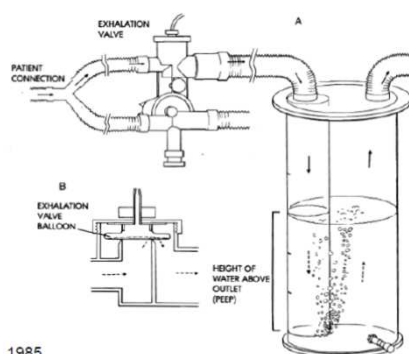
11/04/2017

26

PEEP

- Em 1967, Ashbaugh propôs

Positive End-Expiratory Pressure (PEEP)



Kirby et al., 1985

11/04/2017

27

Evolução

- Pós guerra: avanços na aviação (jatos)
- Conceito de UTI (espaço, peso)
- Recursos escassos nos ventiladores com pressão negativa (vazamento, PEEP, $P_{m\acute{a}x}$, temperatura, acesso, etc...)
- Apareciam os primeiros ventiladores com pressão positiva
- Consolidou a ventilação com pressão positiva
- Originou várias empresas na área

11/04/2017

28

Até década de 70 - Primeira

- Controlado por volume: Morsch, Emerson e Engstrom.
- Relação 1:2, sem sensibilidade, sem monitor, sem alarmes e sem ajustes

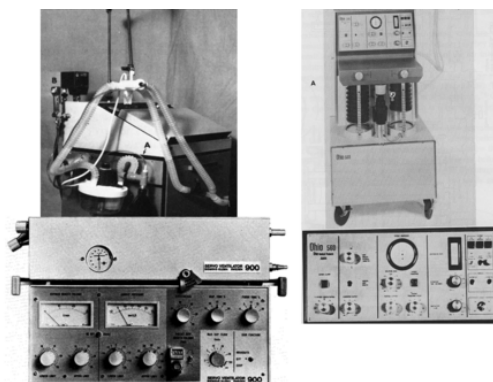


11/04/2017

29

Década de 70 a 80 - Segunda

- Controlado por volume e intermitente: Puritan Bennett MA-1, Ohio 560 e Servo 900.
- Sensibilidade por pressão, monitor de volume, alarmes básicos

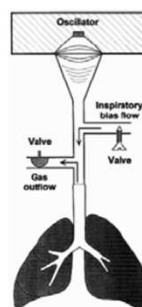


11/04/2017

30

Década de 80 – Ventiladores de alta frequência

- Ventilation with tidal volume approaching or smaller than the anatomic dead space ($V_t \leq V_d$)
- Rates $\gg$ normal (1-20 Hz)
- Multiple modes
 - HFJV, HFPPV- passive expiration
 - HFOV- active inspiration and expiration



11/04/2017

31

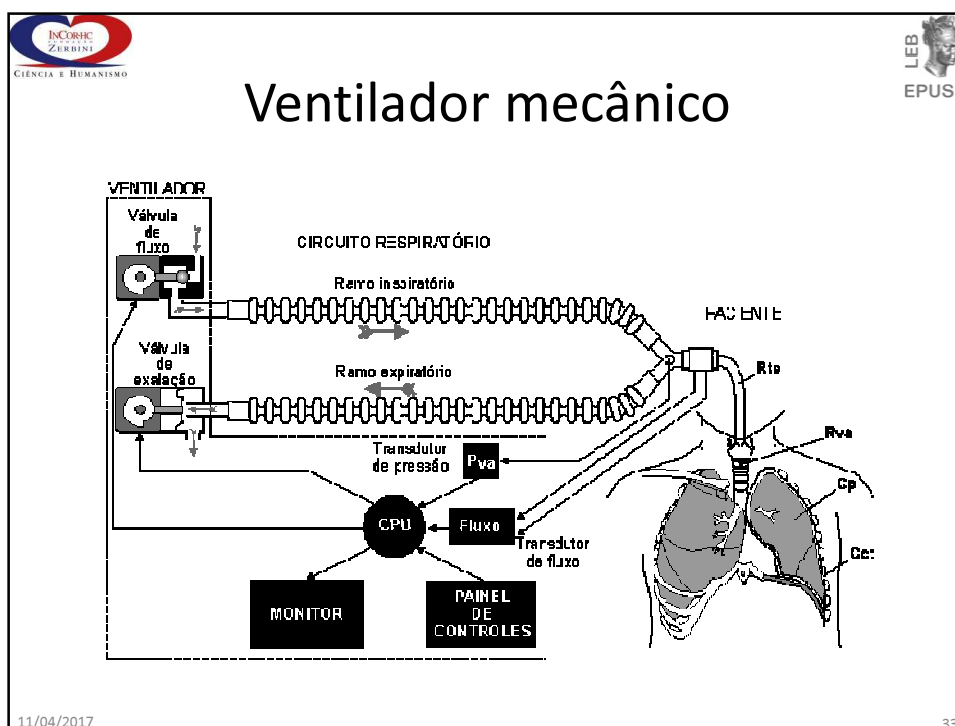
Década de 80 a 90 - Terceira

- Controlado por pressão, microprocessados: Puritan Bennett 7200, the Bear 1000, the Servo 300, and the Hamilton Veolar
- Sensibilidade por fluxo, modalidades, monitor e alarmes



11/04/2017

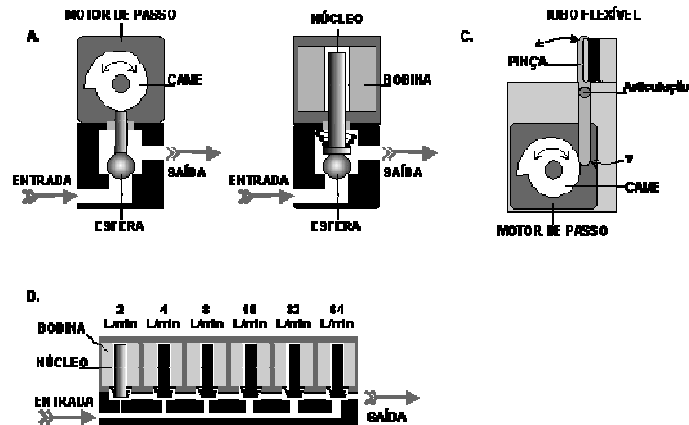
32



Atuadores

- São responsáveis pela variação de parâmetros do processo a ser controlado.
 - fluxo
 - pressão
- Recebem um sinal proveniente do controlador e agem sobre o sistema controlado.

Atuadores

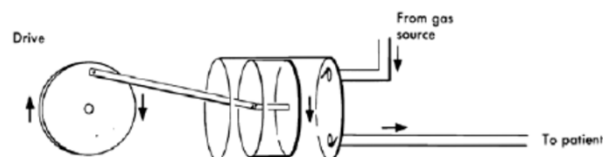


AMARAL *et al.*, 1997

11/04/2017

35

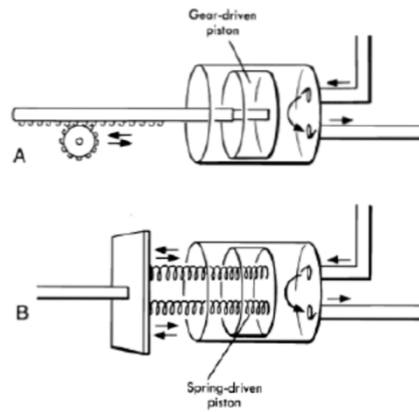
Atuadores



11/04/2017

36

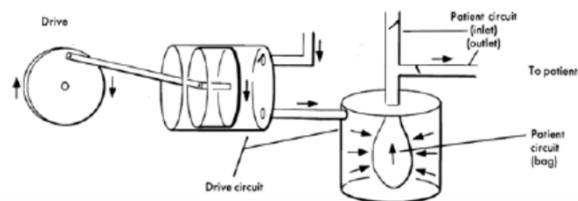
Atuadores



11/04/2017

37

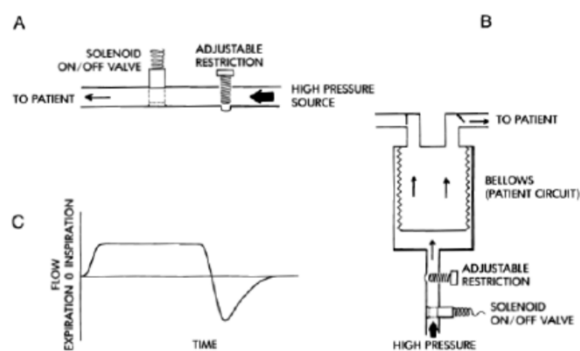
Atuadores



11/04/2017

38

Atuadores

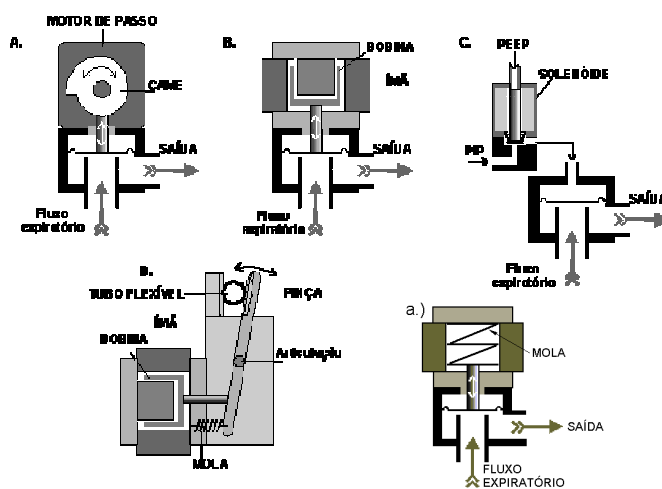


11/04/2017

39

Atuadores - PEEP

- parâmetros do processo a ser controlado (pressão).



AMARAL et al., 1997

11/04/2017

40

Sinais

- Controle do atuador depende dos sinais:

- pressão

- strain gage
- estados sólidos

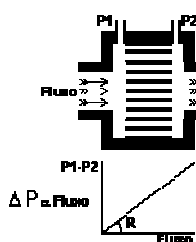
} OK

- fluxo

- resistência pneumática (pneumotacógrafo)
- área fixa
- área variável
- turbina
- resfriamento de filamento
- ultrassônico

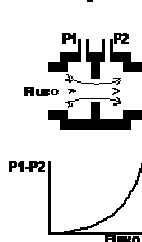
Medidores de fluxo

A. Pneumotacógrafo tipo Fleisch



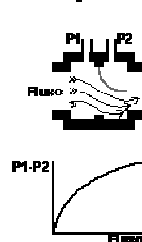
linear

B. Pneumotacógrafo de Área Fixa



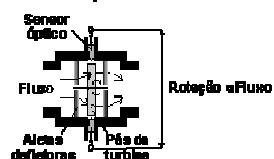
não linear

C. Pneumotacógrafo de Área Variável

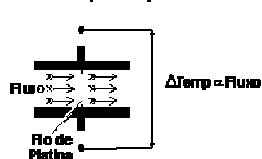


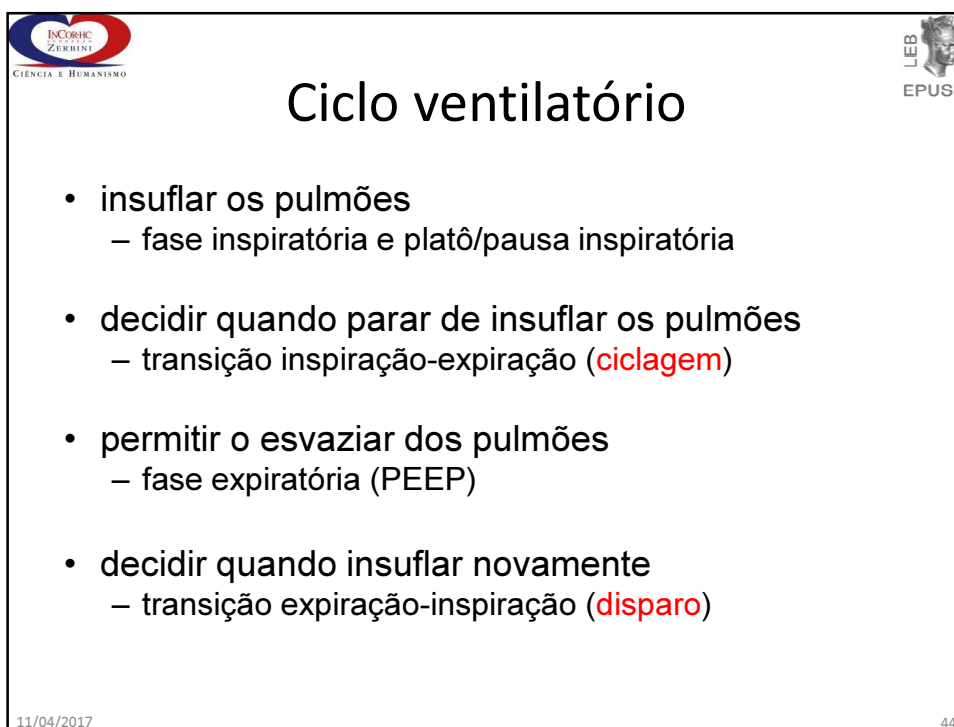
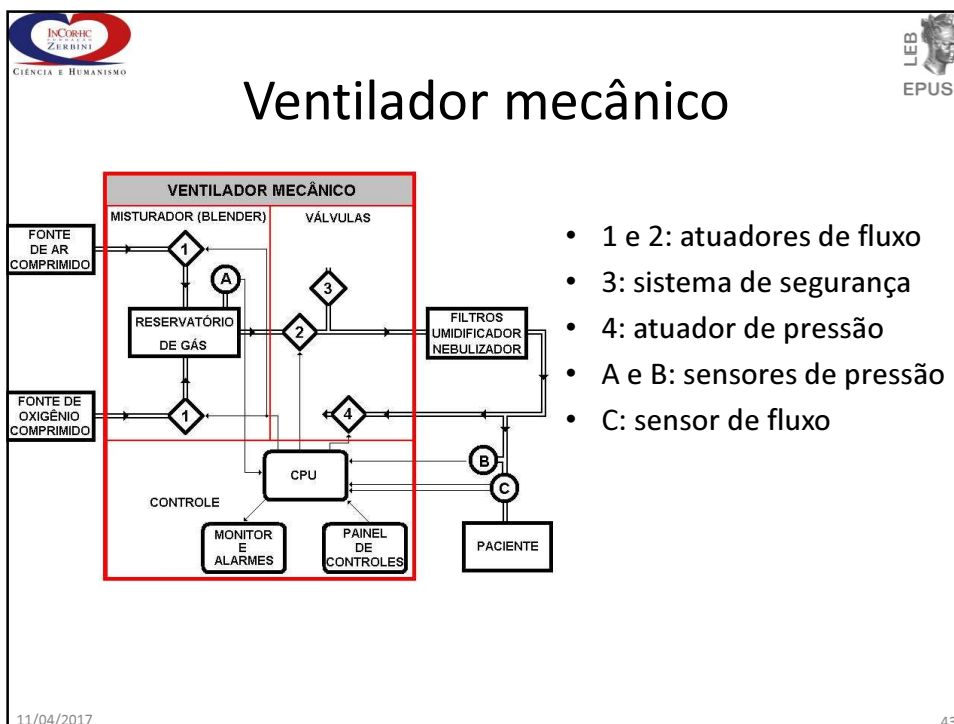
não linear

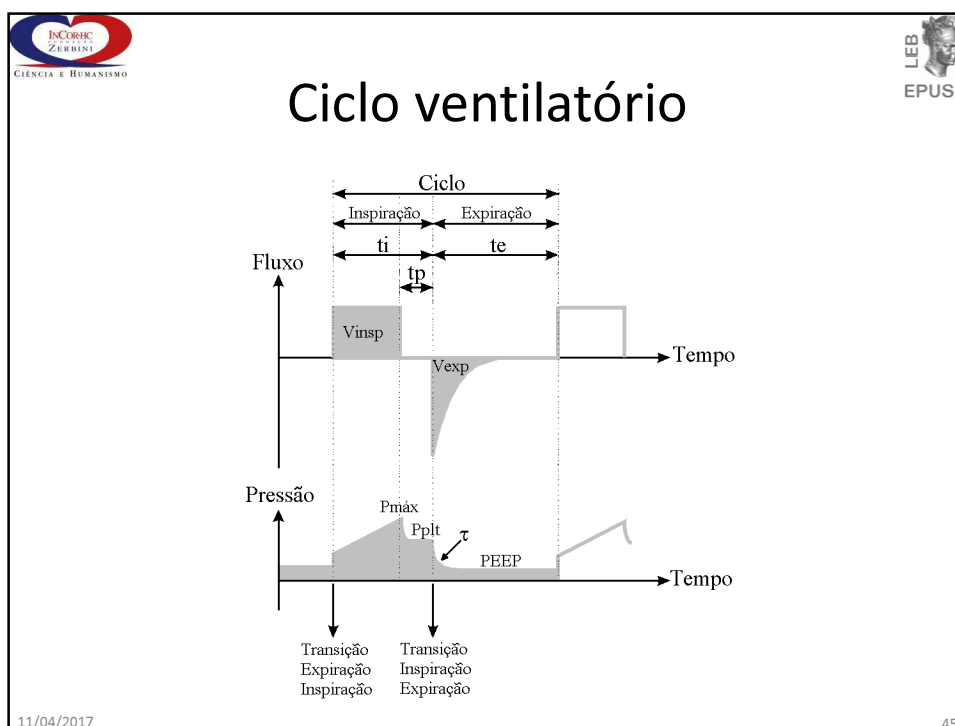
D. Sensor Tipo Turbina



E. Sensor Tipo Fio Aquecido







Modos de ventilação mecânica

- A maneira como a fase inspiratória tem início é determinada pelo modo de ventilação escolhido. Existem 4 modos básicos de ventilação:

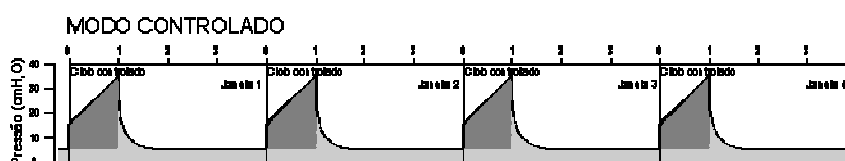
1. Controlado
2. Assistido
3. Assistido-controlado
4. Mandatório intermitente

Logos: INCORHC ZERBINI, CIÊNCIA E HUMANISMO, LEB, EPUSP.

11/04/2017 46

Transição expiração-inspiração

- **Modo controlado:** O ventilador inicia o ciclo numa determinada frequência respiratória selecionada, ou seja, disparo por tempo, sem que o paciente possa interagir com o ventilador.



11/04/2017

47

Transição expiração-inspiração

- **Modo assistido:** Nesse caso, o ventilador monitora a tentativa de respiração do paciente. Quando o paciente produzir um esforço igual ou maior a sensibilidade no ventilador ajustada (disparo por fluxo ou pressão) ele inicia o ciclo.

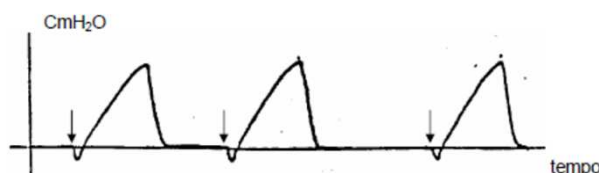


Figura 9. O início da inspiração espontânea é indicado pela queda de pressão.

11/04/2017

48

Transição expiração-inspiração

- **Modo assistido-controlado:** Quando o ciclo assistido não ocorre (disparo por fluxo ou pressão), o disparo por tempo é deflagrado, garantindo uma respiração mínima.

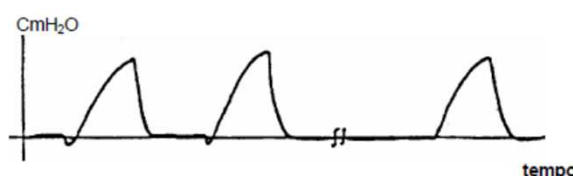


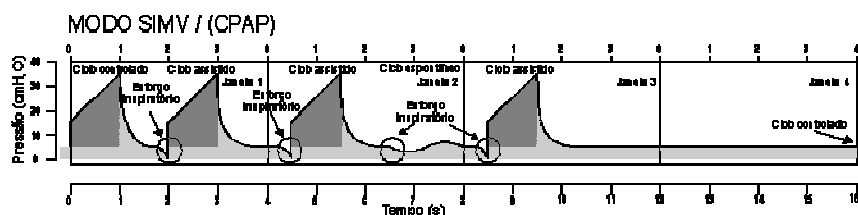
Figura 11. O ciclo ventilação de ventilação controlado ocorre quando nenhuma tentativa de respiração espontânea acontece dentro de um dado intervalo de tempo.

11/04/2017

49

Transição expiração-inspiração

- **Modo mandatório intermitente:** Nas janelas os ciclos assistidos ocorrerem (disparo por fluxo ou pressão), fora das janelas ocorrem os ciclos espontâneos e se nenhum deles ocorrer, o disparo por tempo é deflagrado, garantindo uma respiração mínima.



11/04/2017

50

Transição inspiração-expiração

- **Ciclagem por tempo:** encerram a fase inspiratória após um dado intervalo de tempo.
- **Ciclagem por pressão:** encerram a fase inspiratória quando uma pressão pré-determinada é alcançada.
- **Ciclagem por volume:** encerram a fase inspiratória após fornecer um volume pré-determinado de gás ao circuito de ventilação.
- **Ciclagem por fluxo:** encerram a fase inspiratória quando o fluxo inspiratório cai abaixo de um valor pré-ajustado como foi descrito na ventilação com pressão de suporte. Neste tipo de ciclagem, o paciente exerce total controle sobre o tempo e fluxo inspiratórios e sobre o volume corrente.

11/04/2017

51

Fase expiratória

- De forma passiva, o ventilador permite o esvaziamento dos pulmões. O ventilador pode permitir apenas o esvaziamento parcial dos pulmões mantendo uma pressão positiva residual no final da fase expiratória e aumentando a capacidade residual funcional (CRF) do paciente, este recurso é denominado PEEP (*positive end-expiratory pressure*).
- O PEEP é utilizado a fim de se manter os alvéolos abertos mesmo durante a expiração e com isso, aumentar a PaO_2 e diminuir a concentração de oxigênio fornecida ao paciente.

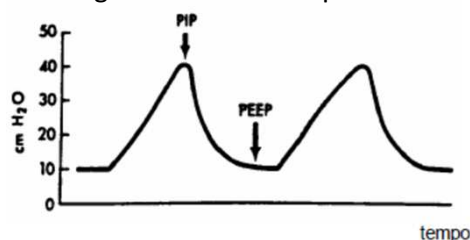


Figura 8. Curva de pressão x tempo com uso de PEEP.

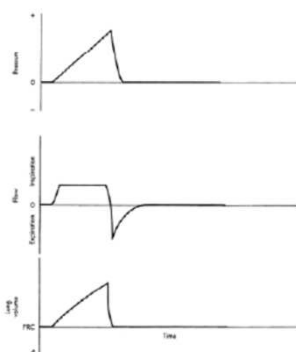
11/04/2017

52

Controlada por volume

- Primeiros ventiladores

Constant-Flow Ventilation



Kirby et al., 1985

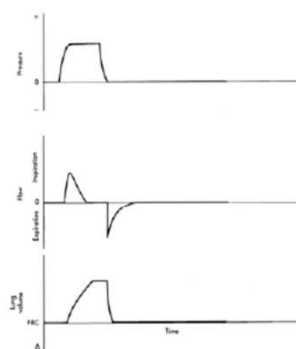
11/04/2017

53

Controlada por pressão

- Terceira geração

Constant-Pressure Ventilation



Kirby et al., 1985

11/04/2017

54



CIÊNCIA E HUMANISMO

Ajustes básicos num ventilador mecânico

- fluxo e/ou pressão e/ou volume
- frequência respiratória
- tempo inspiratório (I)
- tempo expiratório (E)
- relação I:E
- pausa inspiratória
- sensibilidade: esforço do paciente pra deflagrar um novo ciclo, por pressão ou por fluxo
- PEEP
- modalidade ventilatória

11/04/2017

55



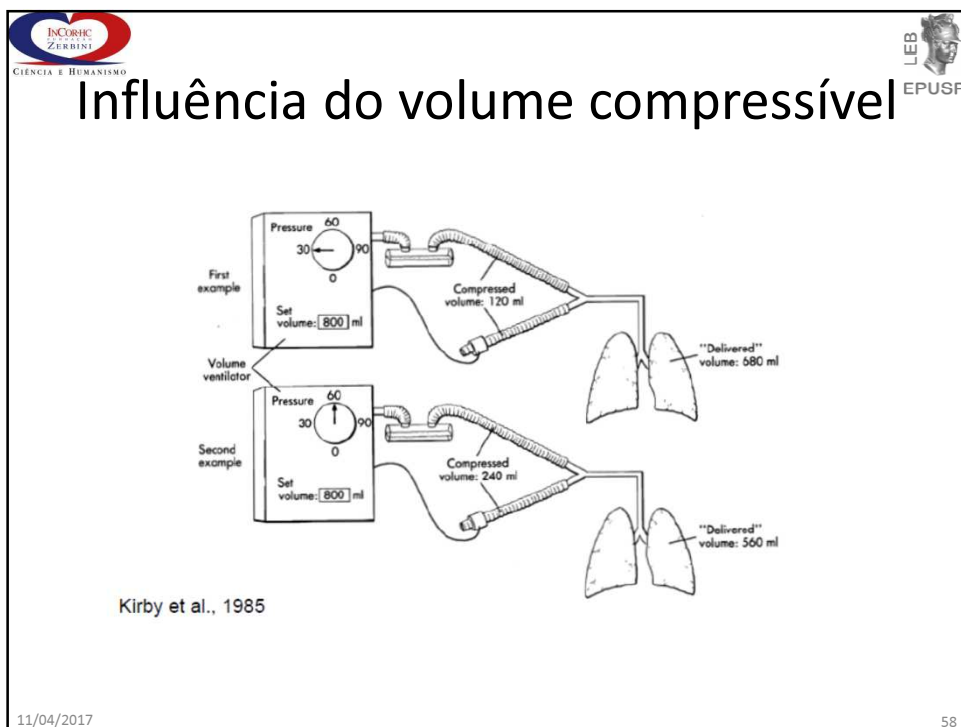
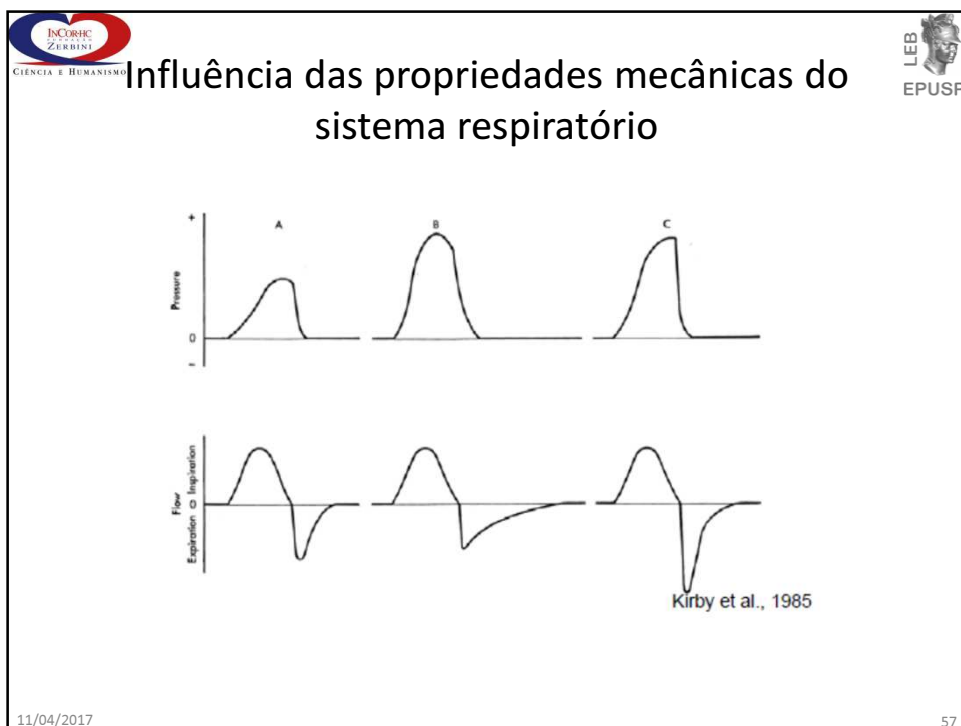
CIÊNCIA E HUMANISMO

DESAFIOS NA VENTILAÇÃO MECÂNICA

11/04/2017

56





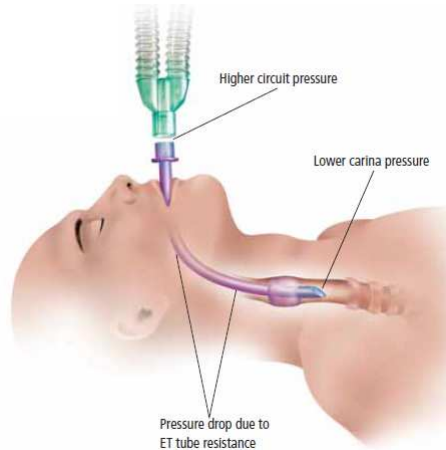


CIENCIA E HUMANISMO



LEB
EPUSP

Influência do tubo orotraqueal



11/04/2017
59



CIENCIA E HUMANISMO

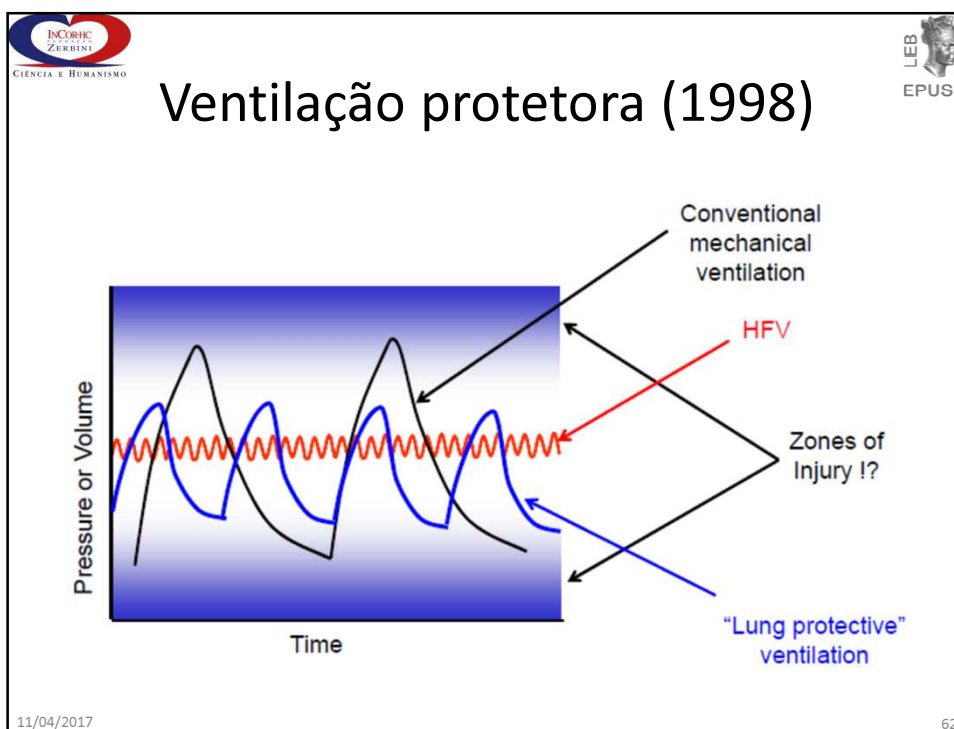
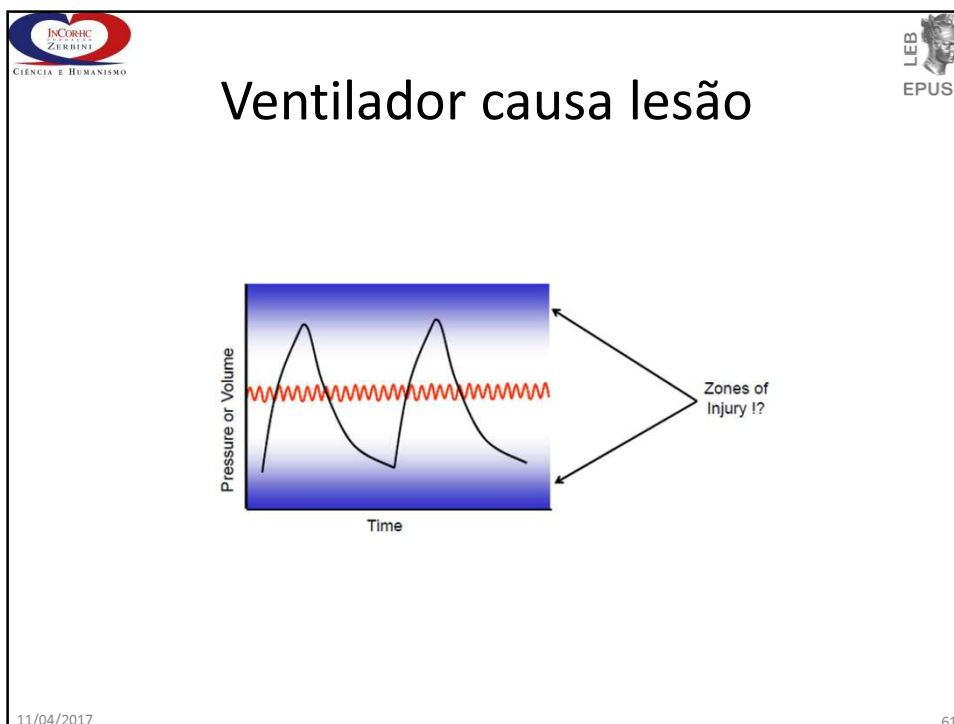


LEB
EPUSP

Desafio: assincronia

- Assincronia paciente-ventilador é a falha na coordenação entre os esforços e as necessidades ventilatórias do paciente em relação ao que é ofertado pelo ventilador. São eventos frequentes, presentes em 10 a 80% de todos os ciclos e que se associam a prolongamento da VM e da internação na UTI.

11/04/2017
60



DESTAQUES NA VENTILAÇÃO MECÂNICA

11/04/2017

63

Pressure suport ventilation (PSV), 1985

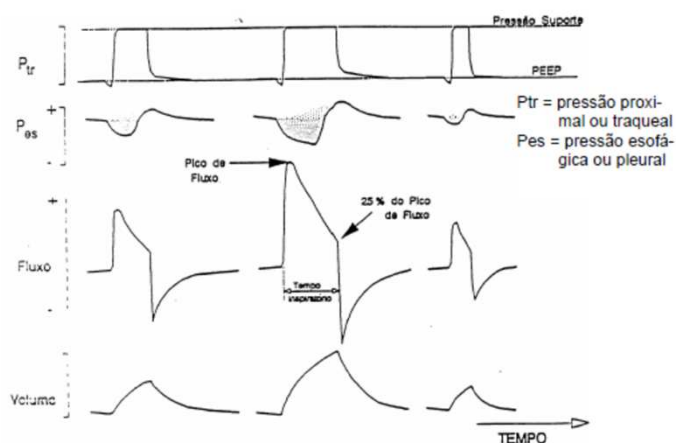


Figura 13. Controle por fluxo da pressão de suporte. A fase inspiratória termina quando o fluxo atinge 25% do pico máximo.

11/04/2017

64

INCORHC
ZERRINI
CIÊNCIA E HUMANISMO

LEB
EPUSP

Proportional assist ventilation (PAV), 1992

$$P_{\text{total}} = \text{flow} \times \text{resistance} + \text{volume} \times \text{elastance}$$

$$P_{\text{total}} = P_{\text{mus}} + P_{\text{vent}}$$

$$P_{\text{vent}} = (\% \text{Flow assistance}) \times \text{Resistance} + (\% \text{Volume assistance}) \times \text{Elastance}$$

11/04/2017

65

INCORHC
ZERRINI
CIÊNCIA E HUMANISMO

LEB
EPUSP

PAV

- melhora sincronia
- adapta a mecânica
- ↓ trabalho (PxV)
- ↓ sedação

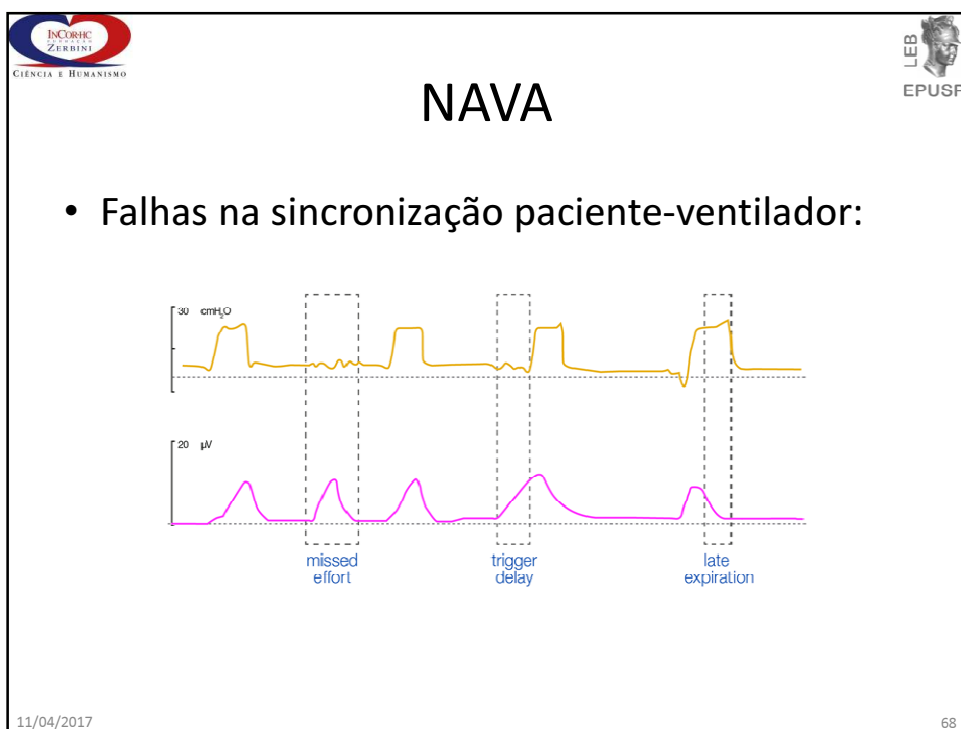
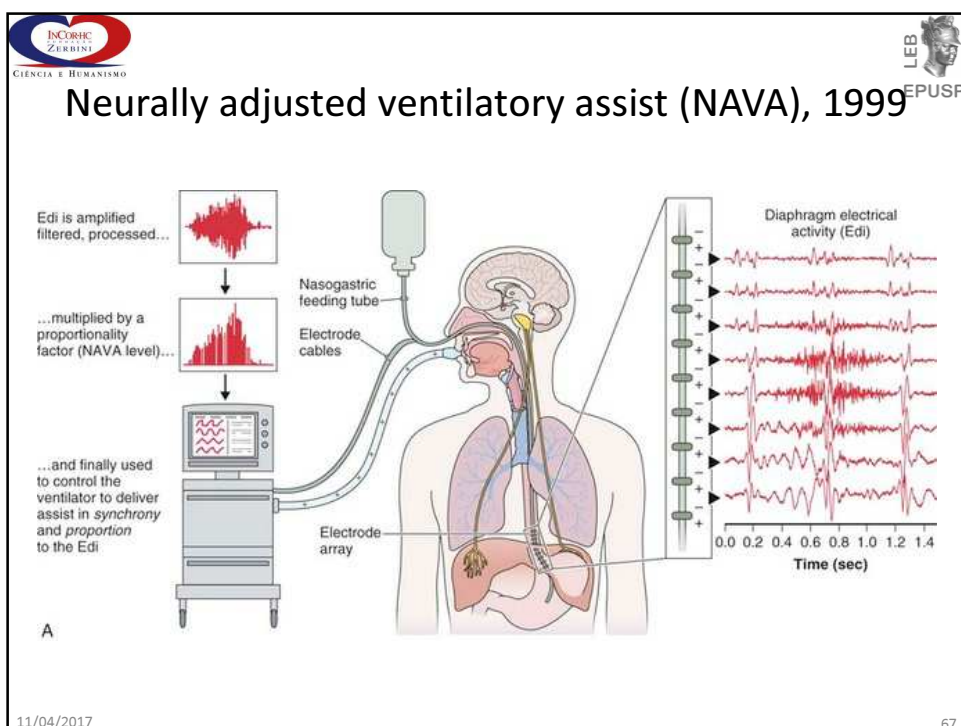
PROPORTIONAL ASSIST VENTILATION (PAV)

Changing pressure support based on patient's efforts

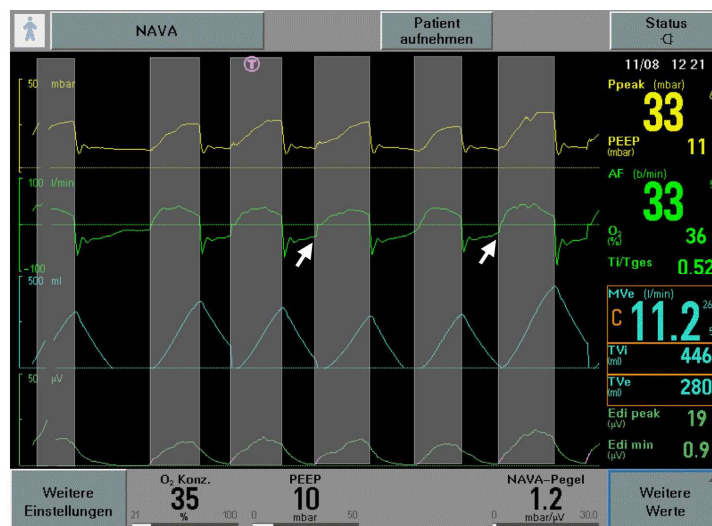
Regulates the pressure output of the ventilator moment by moment in accord with the patient's demands for flow and volume. Thus, when the patient wants more, (s)he gets more help; when less, (s)he gets less. The timing and power synchrony are therefore nearly optimal—at least in concept.

11/04/2017

66



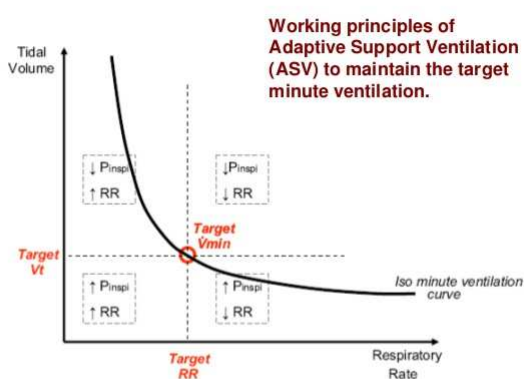
NAVA – tela do ventilador



11/04/2017

69

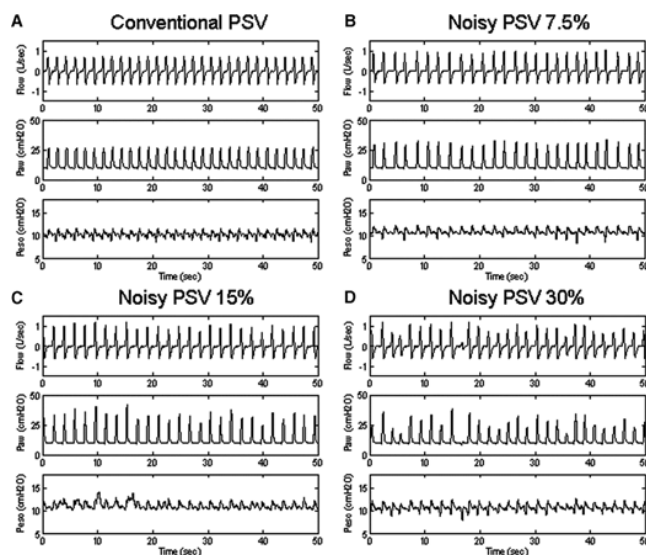
Adaptive support ventilation (ASV), 2003



11/04/2017

70

Variable pressure support ventilation (noisy ventilation), 1996



11/04/2017

71

Última geração



Maquet
Servo-i

Puritan
Bennett
840

Carefusion
AVEA

Dräger
Evita

Hamilton
G5

11/04/2017

72



Nacionais





Intermed
Inter 7



Magnamed
Fleximag



Takaoka
Carmel



Novitech
Vento Neo

11/04/2017
73



O ventilador mecânico deve:



- capacidade de gerar pressão ou fluxo rapidamente (tempo de resposta < 100 ms);
- fluxo máximo disponível para a respiração assistida e/ou espontânea ($\cong 200$ L/min);
- bons níveis de sensibilidade e rapidez de disparo;
- baixo nível de resistência interna a ser vencida pelo paciente durante a inspiração nos modos espontâneo e assistido, principalmente em níveis baixos de suporte ventilatório;
- disponibilidade de diferentes modalidades;
- sistema de segurança para as modalidades assistida caso o paciente entre em apneia;
- sistemas de alarme e monitorização disponíveis;

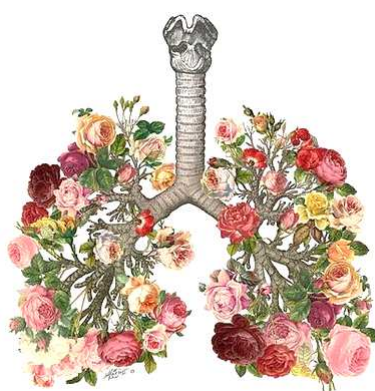
11/04/2017
74

Futuro

- Integração com outros equipamentos
- Modalidades com controle em malha (ASV)
- Monitorização: variáveis inter-relacionadas
- Sistema inteligente de alarmes
- **Fornecer suporte à decisão**
 - causas e soluções
- Melhora na sincronia paciente-ventilador
- E quanto aos usuários ???
- Kacmarek (2014) acha que o termo mais descritivo que será utilizado que será usado para definir a futura geração de ventiladores mecânicos será “inteligente” (*smart*).

11/04/2017

75



Muito obrigada!!!

11/04/2017

76