

Fundamentos da Fisioterapia Neonatal e Pediátrica: Avaliação do Paciente Grave

Fisiologia Respiratória 1

Índice

Abertura Fundamentos da Fisioterapia Neonatal e Pediátrica.....	3
Abertura Fisiologia Respiratória 1.....	6
Caso Clínico.....	8
Fisiologia Respiratória 1.....	10
Curva de Dissociação do O ₂ e do CO ₂ e Seus Desvios.....	22
Equilíbrio Ácido-base.....	31
Volumes e Capacidades Pulmonares, Espaço Morto e Shunt.....	46
Conectando os Pontos.....	59
Materiais Complementares.....	61
Glossário.....	62
Referências.....	65

Abertura Fundamentos da Fisioterapia Neonatal e Pediátrica



Seja bem-vindo(a) ao conteúdo **Fundamentos da Fisioterapia Neonatal e Pediátrica.**

Abordaremos aqui os principais aspectos da fisiologia e fisiopatologia cardiorrespiratória.

Veja o vídeo que a **Marcela Batan**, Especialista em Fisioterapia Respiratória (Mestre e Doutora em Ciências pela UNIFESP), preparou para você sobre os assuntos apresentados no decorrer do curso.

ABERTURA FUNDAMENTOS DA FISIOTERAPIA NEONATAL E PEDIÁTRICA



Fundamentos da Fisioterapia Neonatal e Pediátrica
https://player.vimeo.com/video/721509928?app_id=122963

Ao final deste conteúdo, você estará apto a:

- 1 Reconhecer o conceito das principais **funções do sistema respiratório.**
- 2 Identificar os aspectos fundamentais do **sistema de controle corporal** bem como de sua gestão homeostase corporal.
- 3 Entender os conceitos iniciais da **gasometria arterial**.
- 4 Perceber o conceito de **doenças no período neonatal e pediátrico**.
- 5 Aplicar o raciocínio **fisiológico** na compreensão da **fisiopatologia**.

6

Avaliar **casos clínicos** específicos e utilizar conhecimentos para determinação de **diagnósticos** mais prováveis.

Bons estudos!

Abertura Fisiologia Respiratória 1



Seja bem-vindo(a) à **Unidade - Fisiologia Respiratória 1**.

Veja o vídeo que a **Marcela Batan**, Especialista em Fisioterapia Respiratória (Mestre e Doutora em Ciências pela UNIFESP), preparou para você a respeito dos assuntos desta unidade.

ABERTURA FISIOLOGIA RESPIRATÓRIA 1



Abertura da Unidade
https://player.vimeo.com/video/721510881?app_id=122963

Ao final desta unidade, você estará apto(a) a:

- 1 Identificar os processos referentes à Fisiologia respiratória.
- 2 Interpretar a Curva de dissociação do O₂.
- 3 Reconhecer conceitos iniciais do Equilíbrio ácido-base.
- 4 Conhecer sobre Volumes e capacidades pulmonares, espaço morto e shunt.

Bons estudos!

Caso Clínico

CURVA DE DISSOCIAÇÃO



Curva de Dissociação
https://player.vimeo.com/video/721517585?app_id=122963

Veja abaixo a descrição do caso apresentado.

CASO CLÍNICO

Lactente MCB, sexo masculino, 6 meses de vida, acompanhada por sua mãe, chegou ao Pronto-Socorro com quadro de hipoatividade, tosse produtiva, obstrução nasal e desconforto respiratório.

Na avaliação inicial detectou-se: tiragem subdiafragmática, tiragem intercostal, SpO₂ 82%, temperatura axilar 38,6°C, AP: MV+ diminuído em ápice direito com estertores crepitantes em base direita. Após solicitar Raio X de tórax e alguns exames laboratoriais, a médica deu o diagnóstico de Pneumonia e Atelectasia em ápice direito e solicitou vaga na Enfermaria Pediátrica.

Gasometria arterial após avaliação médica ainda no Pronto-Socorro (pH 7,32, PaCO₂ 48, PaO₂ 56, HCO₃⁻ 26, SatO₂ 85%).

Com base nestas informações:

1

Você foi chamada para avaliar a paciente ainda no Pronto-Socorro.
Qual sua conduta inicial?

2

Com base na Fisiologia Respiratória, o que está interferindo na distribuição de oxigênio para os tecidos?

3

Qual o distúrbio primário da Gasometria Arterial?

Fisiologia Respiratória 1

Para começar esta unidade, iniciaremos com conceitos básicos e essenciais para você entender a **Fisiologia Respiratória**:

- Difusão do O₂ por meio da membrana alvéolo-capilar.
- Transporte de O₂ do ar para os tecidos.
- Captação do O₂ ao longo do capilar pulmonar.
- Transporte dos gases pelo sangue.

Difusão de O₂

Sobre a difusão de O₂, é possível afirmar:

A principal Função do Pulmão

A principal função do pulmão é realizar trocas gasosas. Fazer com que o O₂ passe do alvéolo para o sangue e com que o CO₂ passe do sangue para os alvéolos. Esta movimentação entre o ar e o sangue ocorre pela membrana

alvéolo-capilar, que é grande e extremamente fina, por difusão simples, ou seja, o ar passa de uma área de maior pressão para uma de menor pressão.

A Lei de Fick ou Lei da difusão

Afirma que a transferência de um gás por meio de uma lâmina de tecido é proporcional à área tecidual, é proporcional à diferença de pressão entre a pressão parcial dos dois lados e à solubilidade do gás, e é inversamente proporcional à espessura tecidual.

Segundo West JB (2013), no ar que respiramos há 20,93% de O_2 (frequentemente consideramos 21%). Quando estamos ao nível do mar, a pressão barométrica é 760 mmHg (em São Paulo varia entre 690-705 mmHg), sendo que 47 mmHg corresponde à pressão de vapor de água.

Portanto, para saber qual é a pressão parcial de O_2 (PO_2) inspirada no ar ambiente, ou seja, o ar que respiramos, temos a seguinte fórmula:

Figura 1: Imagem Ilustrativa da fórmula (PO_2).

$$\text{PO}_2 \text{ inspirada} = \frac{20,93 \times 713}{100}$$

$$\text{PO}_2 = 149 \text{ mmHg}$$

Imagen Ilustrativa da fórmula.

Para o cálculo da pressão total de gás seco é necessário subtrair 47 mmHg de 760 mmHg, que é igual a 713 mmHg.

Você já parou para pensar por que quando as pessoas viajam para locais de altitudes elevadas elas muitas vezes passam mal, podendo até desmaiar?

Para responder esta pergunta, substitua nesta mesma fórmula o valor de 713 mmHg, pela pressão de 253 mmHg (pressão no Monte Everest, a montanha mais alta do mundo) e veja o que acontece com a PO₂ inspirada.

O valor cai de 149 mmHg para 53 mmHg! Portanto, se você for ao Monte Everest, certamente precisará de O₂ suplementar.



CURIOSIDADE

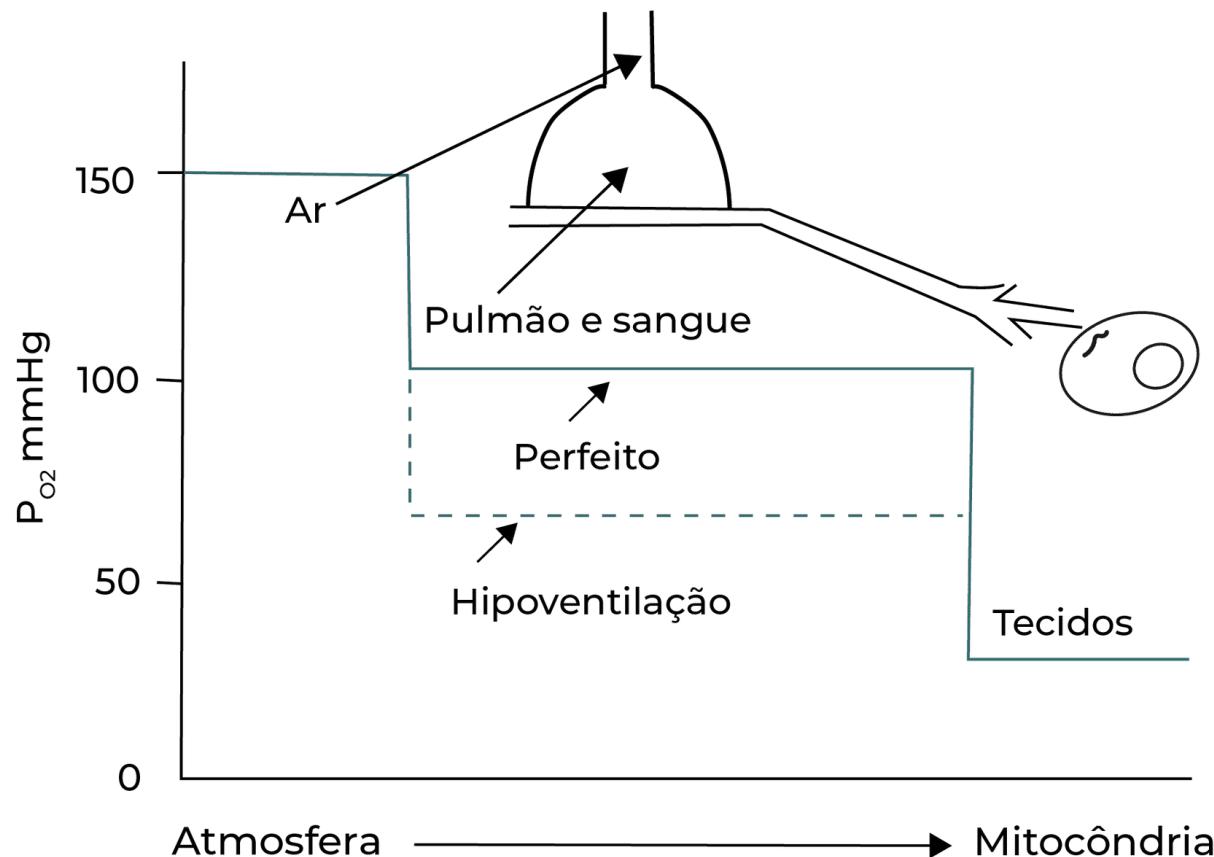
Você sabia que quando as pessoas viajam de avião, embora ele atinja grandes altitudes, não é necessário utilizar O₂ suplementar? Isso se dá pois o interior do avião é pressurizado e, desta forma, a PO₂ inspirada permanece normal.

Pressão parcial de O₂

Ao nível do mar, a PO₂ do gás inspirado é 149 mmHg. Assim que alcança os alvéolos, a PO₂ alveolar é de 100 mmHg e, quando o O₂ passa para o sangue, a

PaO_2 cai e diminui à medida que atinge os órgãos e tecidos. Veja na figura 2 a pressão parcial de O_2 desde o ar ambiente até os tecidos.

Figura 2: Pressão parcial de O_2 desde o ar ambiente até os tecidos.



Fonte: Adapatado de West JB. Fisiologia respiratória princípios básicos. 9. ed.
Porto Alegre: Artmed; 2013.

A linha sólida mostra uma situação ideal, onde não há espessamento da membrana alvéolo-capilar e a linha tracejada corresponde a situação de hipoventilação, ou seja, mesmo com a PO_2 no ar ambiente de 150 mmHg, a

PO₂ alveolar é mais baixa e, consequentemente, a do sangue e dos tecidos será menor ainda.

O sangue em repouso leva cerca de 0,75 seg durante a passagem pelo capilar. Depois do eritrócito ter percorrido 1/3 do seu trajeto, a PO₂ do sangue atinge a do alvéolo, ou seja, em 0,25 seg a PO₂ do sangue alcança a PO₂ alveolar. Veja nos gráficos a seguir, a passagem do O₂ dentro dos capilares pulmonares quando a difusão está normal e anormal.

Gráfico A —

Indica o tempo de passagem do O₂ quando a difusão é normal. Note que, a PO₂ alveolar é de 100 mmHg e a do sangue é de 40 mmHg (gerando uma diferença de pressão de 60 mmHg).

Figura 3: Passagem do O₂ dentro dos capilares pulmonares quando a difusão está normal e anormal.

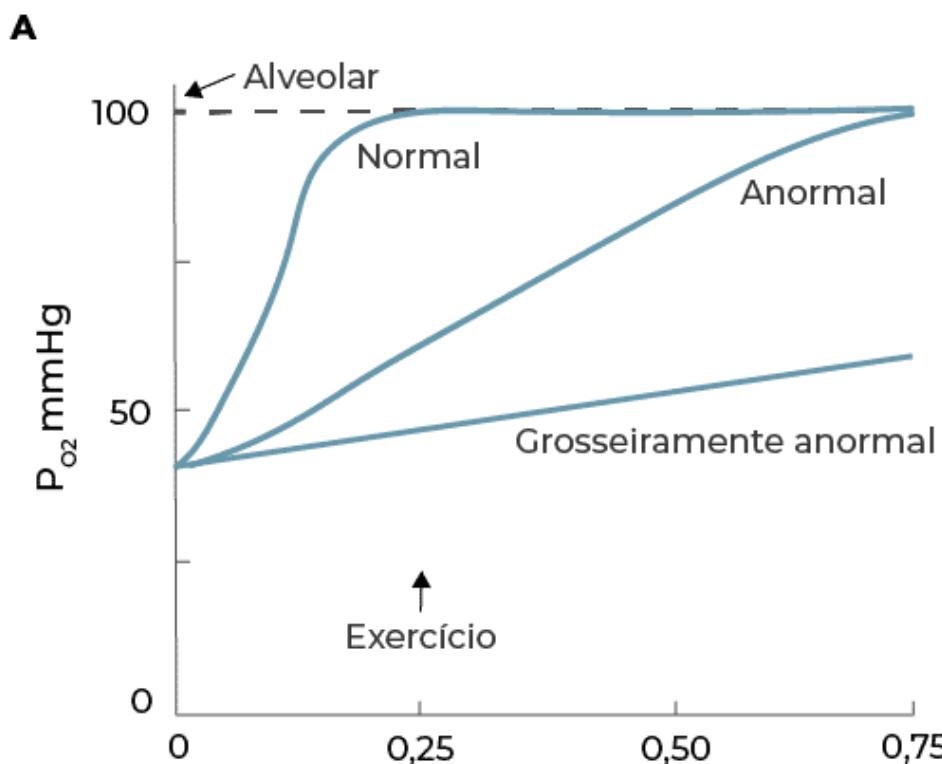
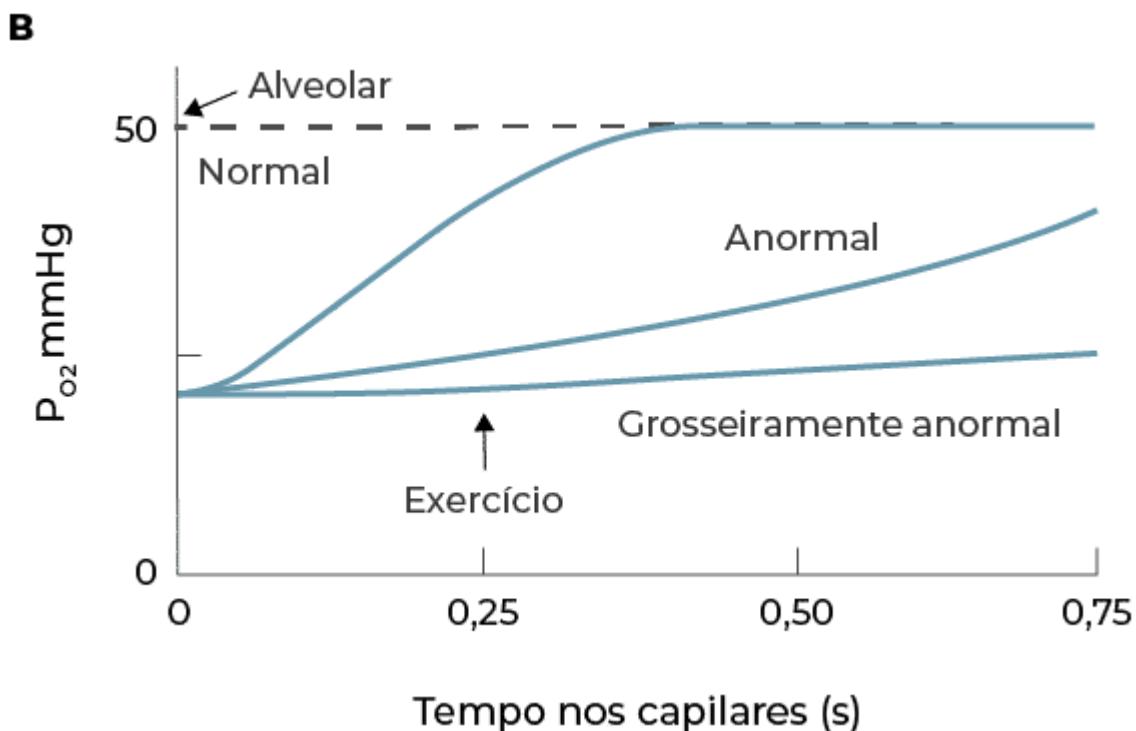


Gráfico B

Indica que a oxigenação do sangue é mais lenta quando a PO₂ inspirada é menor (50 mmHg). Perceba que, a PO₂ alveolar é de 50 mmHg e a do sangue é de aproximadamente 20 mmHg (diferença de pressão de 30 mmHg).

Figura 4: Passagem do O₂ dentro dos capilares pulmonares quando a difusão está normal e anormal.



Fonte: Adaptado de West JB. Fisiologia respiratória princípios básicos. 9. ed. Porto Alegre: Artmed; 2013.

Sabe-se que, quanto maior a diferença de pressão entre a pressão parcial dos dois lados, maior a difusão (Lei de Fick), portanto, na letra A, na curva normal, a PO₂ do sangue atinge a alveolar em 0,25 seg, e na letra B, na curva normal, demora mais tempo.

Em situações anormais, por exemplo, crianças com doenças respiratórias, este tempo é ainda mais aumentado, podendo a PO₂ do sangue não atingir a PO₂ alveolar.

Captação de O₂

A captação de O₂ dentro do sangue ocorre em 2 estágios:

01) Difusão do O₂ pela membrana alvéolo-capilar

Incluindo plasma e eritrócito.

02) Reação do O₂ com a Hb

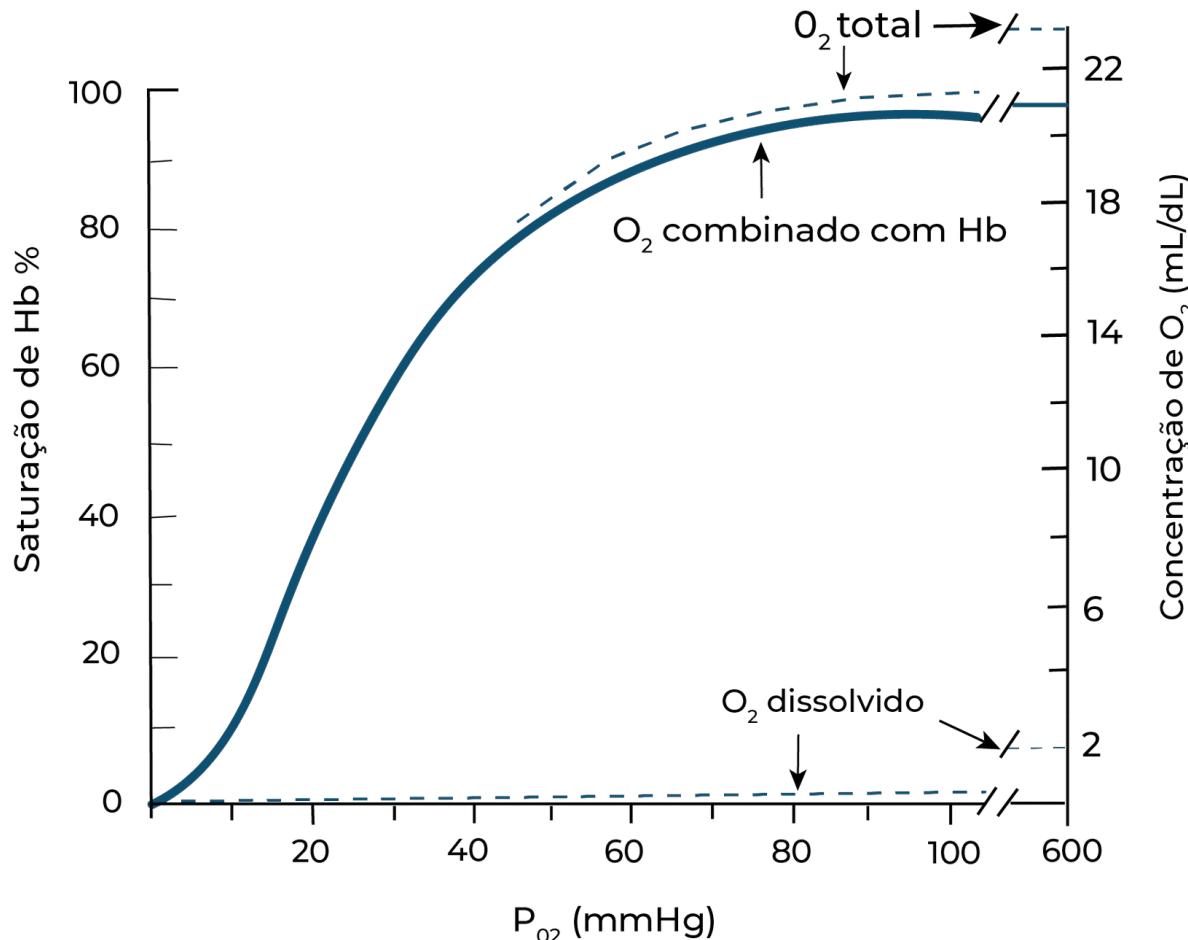
Combinação esta que ocorre muito rapidamente.

O O_2 é transportado no sangue de duas formas:

- 1 Dissolvido (2% apenas).
- 2 Ligado à Hb (98%).

Portanto, o O_2 dissolvido corresponde a uma pequena parcela na contribuição para o transporte de O_2 no sangue. Para cada mmHg de PO_2 há 0,003 ml de O_2/dL de sangue. Se no sangue arterial temos uma PO_2 de 100 mmHg, há 0,3 ml O_2/dL , que é inadequado.

Figura 5: Curva de dissociação do O_2 .



Fonte: Adaptado de West JB. Fisiologia respiratória princípios básicos. 9. ed. Porto Alegre: Artmed; 2013.

Na figura 5:

- A curva tracejada mais inferior corresponde ao O₂ dissolvido.
- A curva contínua mostra o O₂ combinado com a Hb.
- A curva tracejada superior o O₂ total.

Assista ao vídeo com a explicação mais detalhada sobre a curva de dissociação do O₂.



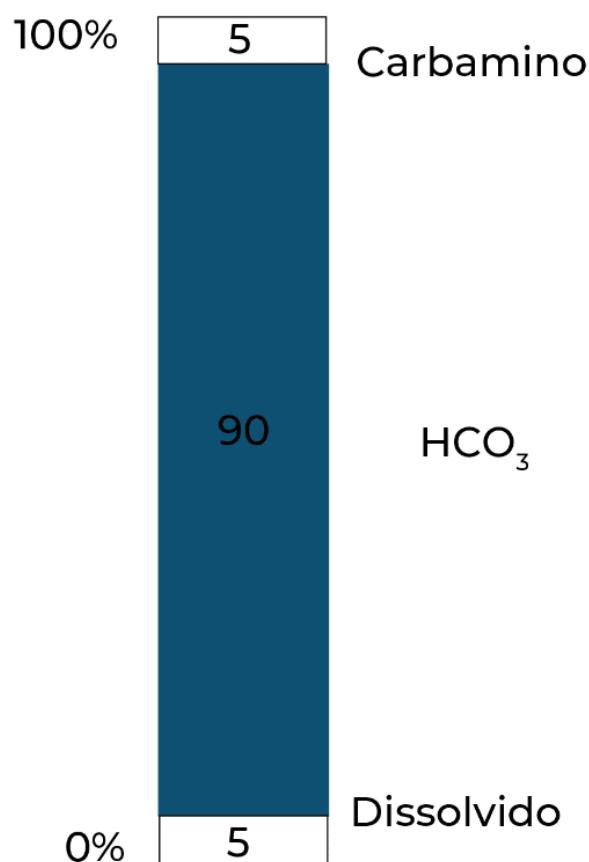
Curva de Dissociação de O₂
https://player.vimeo.com/video/721512921?app_id=122963

O CO₂ é cerca de 20 vezes mais solúvel no plasma e dentro dos eritrócitos do que o O₂ e é transportado no sangue de 3 formas:

- Dissolvido.
- Na forma de bicarbonato (HCO₃⁻).
- Em combinação com proteínas na forma de compostos carbamino.

Sendo representado pelo gráfico da figura 6:

Figura 6: Proporções da concentração total de CO₂ no sangue arterial.



Fonte: Adaptado de West JB. Fisiologia respiratória princípios básicos. 9. ed. Porto Alegre: Artmed; 2013.

Para o CO₂ ser transportado na forma de HCO₃⁻, ocorre uma reação química em que o CO₂ se combina com a água (H₂O) para formar ácido carbônico (H₂CO₃⁻), que em seguida se dissocia em um íon hidrogênio (H⁺) e um íon HCO₃⁻.

Figura 7: Reação química que ocorre com o CO₂ para ser transportado na forma de HCO₃⁻.



Fonte: Adaptado de Levitzky MG. Fisiologia pulmonar. 8. ed. Barueri, SP: Manole; 2016.

 **90% do CO₂ é transportado pelo sangue na forma de HCO₃⁻.**

Curva de Dissociação do O₂ e do CO₂ e Seus Desvios

Curva de dissociação do O₂

Desvio para direita

A curva de dissociação do O₂ pode ser desviada para a direita ou para baixo e, quando isto acontece, ocorre a diminuição da afinidade do O₂ pela Hb, ou seja, mais O₂ é liberado para os tecidos.

A diminuição da afinidade do O₂ pela Hb acontece quando existe:

- Aumento na concentração de H⁺.
- Aumento da PCO₂.
- Aumento da temperatura.
- Aumento de 2-3 difosfoglicerato (DPG).

- ⓘ Difosfoglicerato (2-3 DPG) corresponde ao produto final do metabolismo do eritrócito. (O aumento de 2-3 DPG é comum em situações de hipóxia crônica, em locais de grandes altitudes e doença pulmonar crônica).

Veja o que acontece quando há um aumento da PCO₂:

Efeito Bohr

É o estímulo à dissociação entre O₂ e Hb, causando liberação de O₂ para o sangue, quando ocorre aumento da PCO₂.

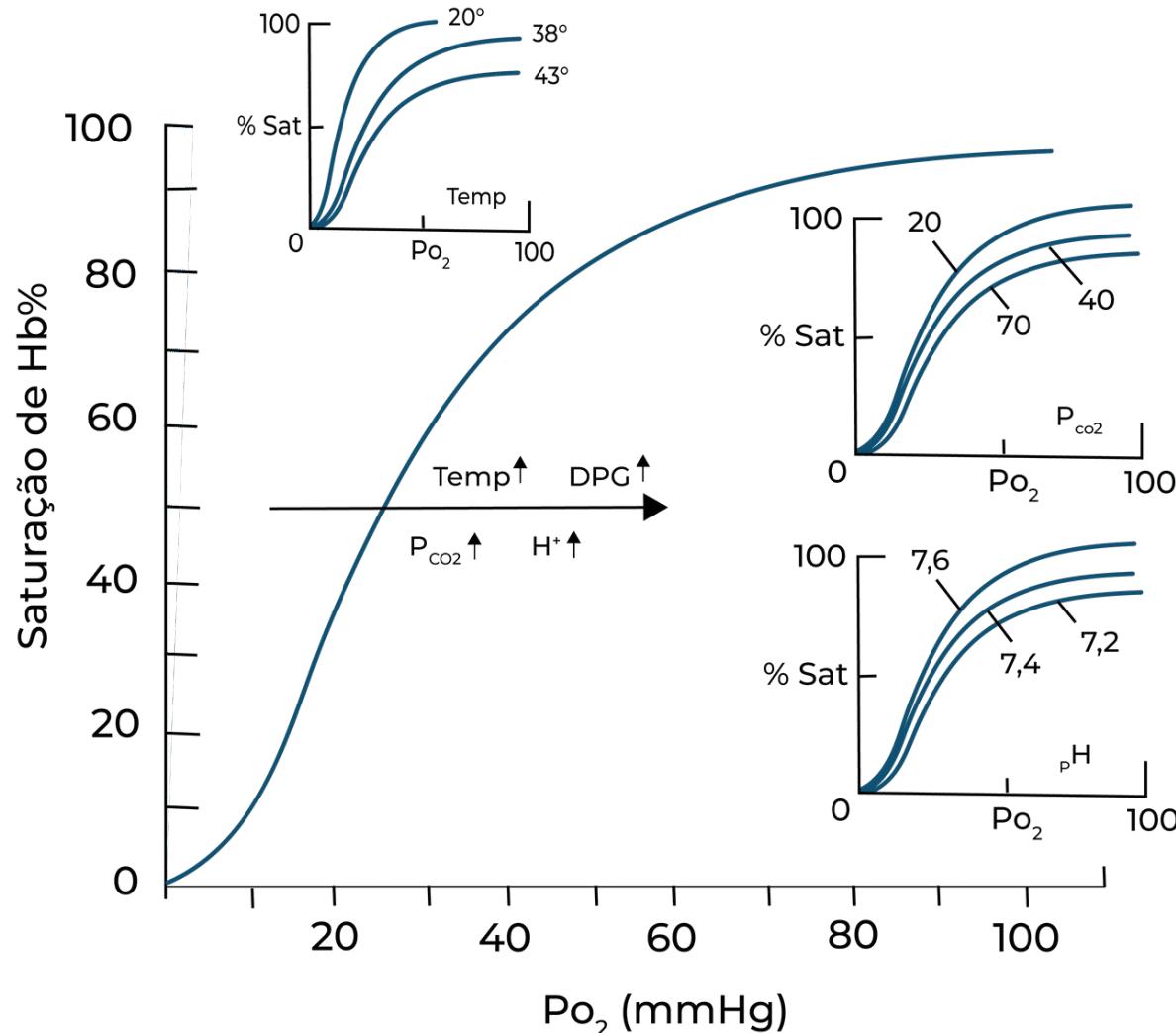
- ⓘ O aumento de H⁺ e/ou PCO₂ causam diminuição do pH, ou seja, o pH fica ácido. Desta forma, é simples entender o porquê da curva de dissociação do O₂ se desviar para a direita, quando fazemos exercício físico. Nesses casos, os músculos ficam ácidos, hipercárbicos (aumento de CO₂) e com temperatura elevada, com isso, eles se beneficiam da redução da afinidade do O₂ pela Hb, o que provoca maior liberação de O₂ para os tecidos.



SAIBA MAIS

O mesmo acontece com as crianças que estão internadas com febre e que têm aumento da PCO₂. A curva de dissociação do O₂ é desviada para a direita, auxiliando na oxigenação dos tecidos. A fisiologia e o cotidiano mais uma vez!

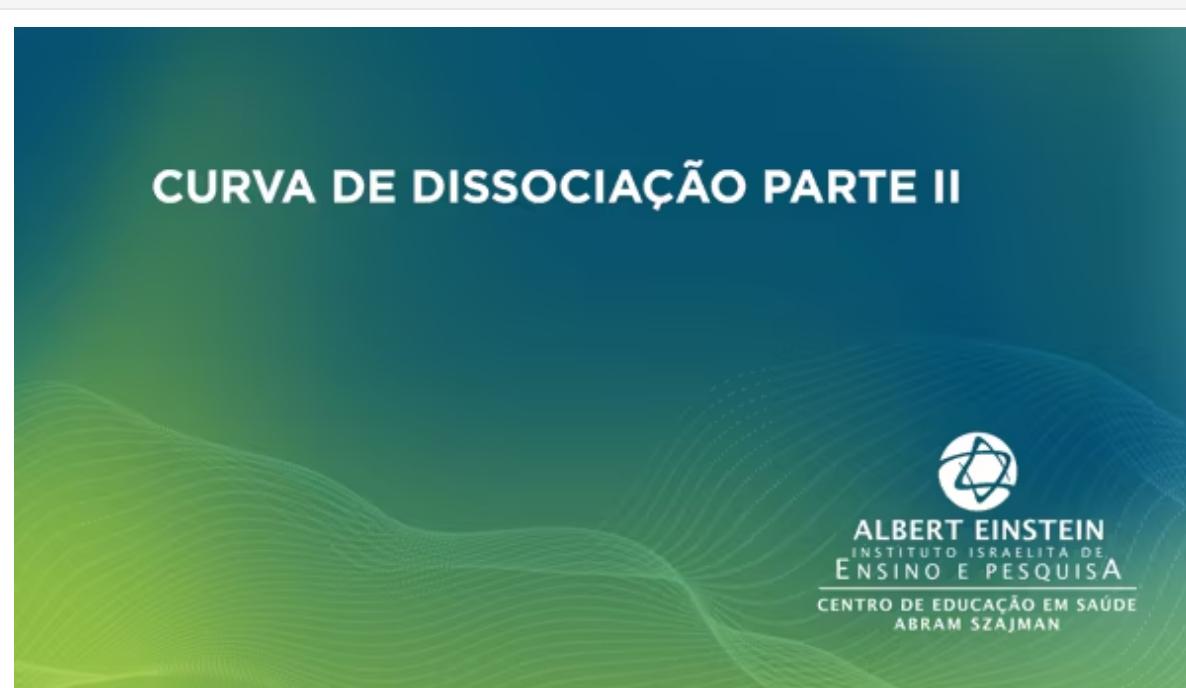
Figura 8: Desvio da curva de dissociação do O₂ causado pelo aumento de H⁺, CO₂, temperatura e 2,3 DPG.



Fonte: Adapatado de West JB. Fisiologia respiratória princípios básicos. 9. ed.
Porto Alegre: Artmed; 2013.

Observe na figura acima que as 3 curvas menores mostram o comportamento da curva de dissociação de O₂ em diferentes valores de pH, de PCO₂ e temperatura.

Assista ao vídeo a seguir com a explicação mais detalhada.



Curva de Dissociação Parte II
https://player.vimeo.com/video/721512921?app_id=122963

Desvio para esquerda

Além do desvio da curva de dissociação de O₂ para a direita, pode ocorrer o desvio para a esquerda ou para cima. O desvio para a esquerda faz com que ocorra o aumento da afinidade do O₂ pela Hb, ou seja, menos O₂ será liberado aos órgãos e tecidos.

O aumento da afinidade do O₂ pela Hb acontece quando há:

- Diminuição da concentração de H⁺.
- Diminuição do CO₂.
- Diminuição da temperatura.
- Diminuição de 2-3 difosfoglicerato (DPG).

(i) Por isso a hipotermia (baixa temperatura), bem como a hipocapnia (diminuição do CO₂) são tão temidas dentro da Terapia Intensiva.

Assista ao vídeo a seguir para saber mais sobre o assunto.

CURVA DE DISSOCIAÇÃO PARTE III



ALBERT EINSTEIN
INSTITUTO ISRAELITA DE
ENSINO E PESQUISA
CENTRO DE EDUCAÇÃO EM SAÚDE
ABRAM SZAJMAN

Curva de Dissociação Parte III

https://player.vimeo.com/video/721511589?app_id=122963&h=ca4ad33ad5



SAIBA MAIS

Um outro fator que desvia a curva de dissociação de O₂ para a esquerda é a inalação CO, que se liga rapidamente à Hb e aumenta a afinidade do O₂ pela Hb, dificultando a liberação de O₂ para os tecidos. Isto ocorre, por exemplo, em incêndios, onde pessoas que estão no local inalando a fumaça rapidamente perdem o nível de consciência pela falta de O₂.

Curva de dissociação do CO₂

A curva de dissociação do CO₂ também pode sofrer desvios:

Curva desviada para a direita ou para baixo

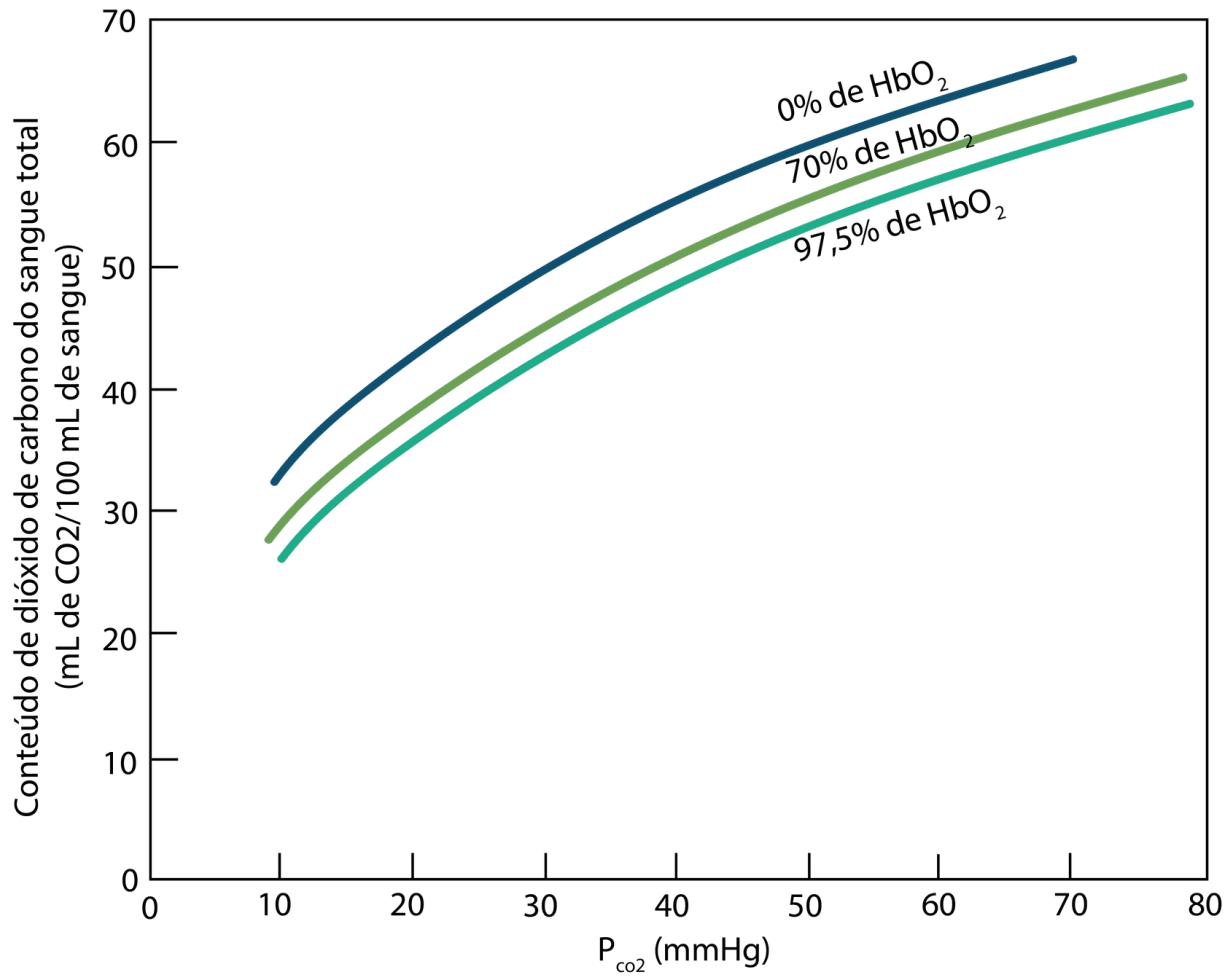
Quando a curva está desviada para a direita ou para baixo, ou seja, com uma SatO₂ maior, ocorre a diminuição da concentração de CO₂.

Curva desviada para esquerda ou para cima

Quando está desviada para esquerda ou para cima, com uma SatO₂ menor, ocorre o aumento da concentração do CO₂.

A desoxigenação do sangue aumenta sua capacidade de carregar CO₂, e isto é chamado de Efeito Haldane.

Figura 9: Curvas de dissociação do CO₂ para diferentes saturações de hemoglobina.



Fonte: Adaptado de Levitzky MG. Fisiologia pulmonar. 8. ed. Barueri, SP: Manole; 2016.

Agora, para entender melhor o conteúdo, assista ao vídeo sobre as Curvas de dissociação do CO_2 .

CURVA DE DISSOCIAÇÃO PARTE IV



Curva de Dissociação Parte IV

https://player.vimeo.com/video/721511892?app_id=122963&h=7eb168cff0

Equilíbrio Ácido-base

Os pulmões e os rins têm grande importância na manutenção da homeostasia ácido-básica.

Rins —

Trabalham constantemente para manter os valores de HCO_3^- em torno de 24 mEq/l.

Pulmões —

Trabalham para manter a PaCO_2 em torno de 40 mmHg.

Quando os rins e pulmões trabalham para que os valores supracitados sejam atingidos, o pH permanece 7,40. Se há oscilação no valor do pH, ocorre:

ALCALEMIA

ACIDEMIA

Valores de pH acima de 7,45.

ALCALEMIA

ACIDEMIA

Valores de pH abaixo de 7,35.

Este valor de pH é derivado da Equação de Henderson-Hasselbalch, que se resume na seguinte fórmula:

Figura 10: Fórmula Equação de Henderson-Hasselbalch.

$$\text{pH: } \frac{[\text{HCO}_3^-]}{\text{CO}_2}$$

Imagen Ilustrativa da fórmula Equação de Henderson-Hasselbalch.

 DICA

Esta fórmula precisa estar sempre com você para que consiga interpretar os distúrbios da gasometria arterial.

Note que, o HCO_3^- é diretamente proporcional ao pH, ou seja, se ocorre aumento do HCO_3^- ocorre também aumento do pH e o inverso também é verdadeiro. Já o CO_2 é inversamente proporcional ao pH, ou seja, quando ocorre aumento de CO_2 o pH diminui e o inverso também é verdadeiro.

Vamos aplicar a fórmula:

Figura 11: Aplicação da fórmula Equação de Henderson-Hasselbalch.

$$\text{↑ pH: } \frac{\text{↑} [\text{HCO}_3^-]}{\downarrow \text{CO}_2} \rightarrow \text{ALCALEMIA}$$

$$\text{↓ pH: } \frac{\text{↓} [\text{HCO}_3^-]}{\uparrow \text{CO}_2} \rightarrow \text{ACIDEMIA}$$

Imagen Ilustrativa da fórmula Equação de Henderson-Hasselbalch.

ALCALEMIA

ACIDEMIA

É necessário identificar se o distúrbio primário é alcalose respiratória, ou seja, se houve diminuição do CO_2 , ou alcalose metabólica, ou seja, aumento do HCO_3^- .

ALCALEMIA

ACIDEMIA

É preciso verificar se é causada por acidose respiratória, ou seja, aumento do CO_2 , ou acidose metabólica, através da diminuição do HCO_3^- .

Para facilitar o entendimento, você verá na fórmula como isso ocorre:

Distúrbio respiratório primário

Quando alterações nos valores de PCO_2 estão interferindo no pH.

Figura 12: Distúrbio Respiratório Primário.

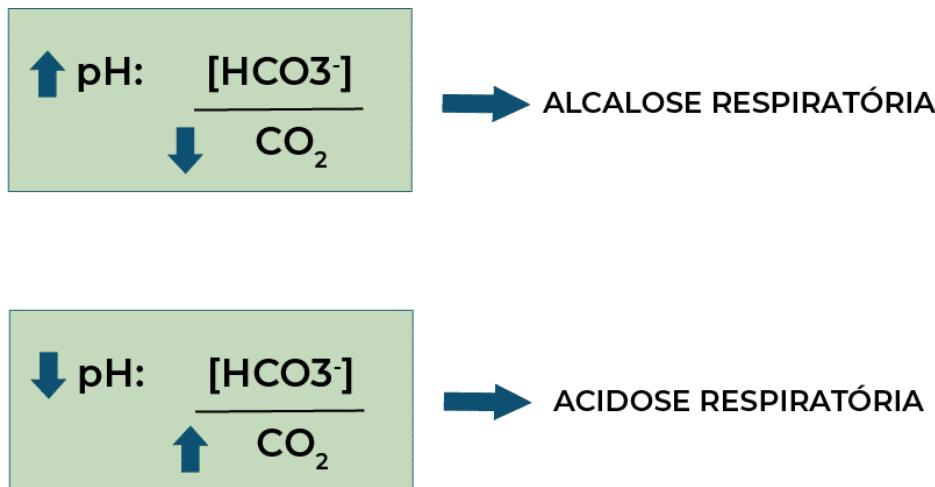


Imagen Ilustrativa da Fórmula Equação de Henderson-Hasselbalch.

Distúrbio metabólico primário

Quando as alterações nos valores de HCO_3^- estão interferindo no pH.

Figura 13: Distúrbio Metabólico Primário.

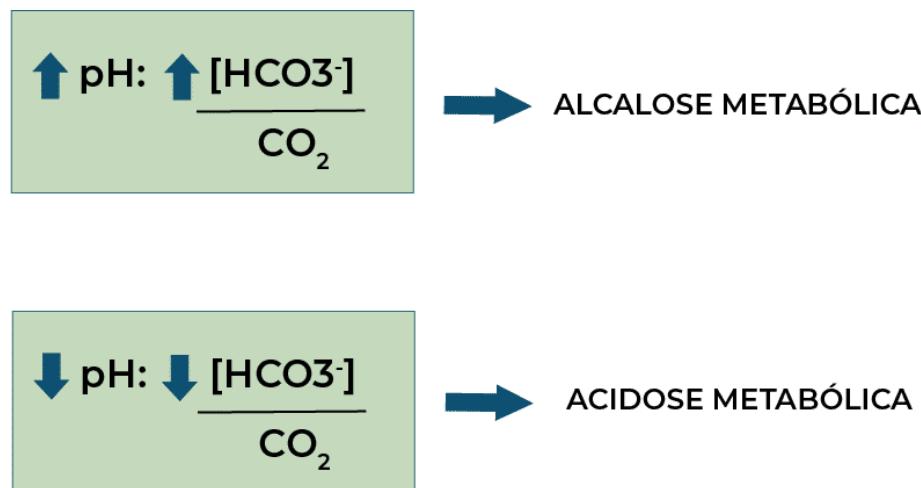


Imagen Ilustrativa da Fórmula Equação de Henderson-Hasselbalch.

Compensações

Como os pulmões regulam as concentrações de CO₂?

Por meio do aumento ou diminuição da ventilação, ou seja, aumento ou diminuição do VC e/ou frequência respiratória.

O aumento ou diminuição da ventilação ocorrem das seguintes formas:

- Quando o CO₂ está alto e o pH ácido, ocorre o aumento da ventilação (hiperventilação) para eliminar o excesso de CO₂.
- Quando CO₂ está baixo, ocorre diminuição da ventilação (hipoventilação) para aumentarem os níveis de CO₂ no sangue.

(i) Esta compensação pelos pulmões é rápida e ocorre em minutos ou horas.

A compensação do pH pelos rins também é feita de duas formas:

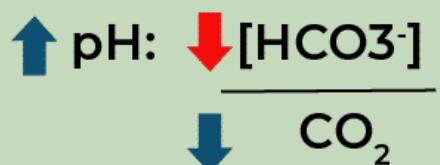
- 1 Pela excreção ou reabsorção de H⁺.
- 2 Pela mudança na reabsorção ou excreção do HCO₃⁻.

Veja abaixo a fórmula de cada compensação feita pelos pulmões e pelos rins. (As setas azuis mostram o distúrbio primário e as vermelhas correspondem às compensações).

COMPENSAÇÕES

COMPENSAÇÕES

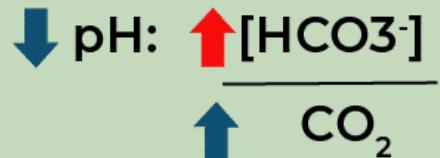
Figura 14: Compensação do distúrbio respiratório Primário.



ALCALOSE RESPIRATÓRIA



Rins eliminam mais HCO_3^-



ACIDOSE RESPIRATÓRIA



Rins aumentam a reabsorção de HCO_3^-

COMPENSAÇÕES

COMPENSAÇÕES

Quando o distúrbio primário é metabólico.

Figura 15: Compensação do distúrbio metabólico primário.

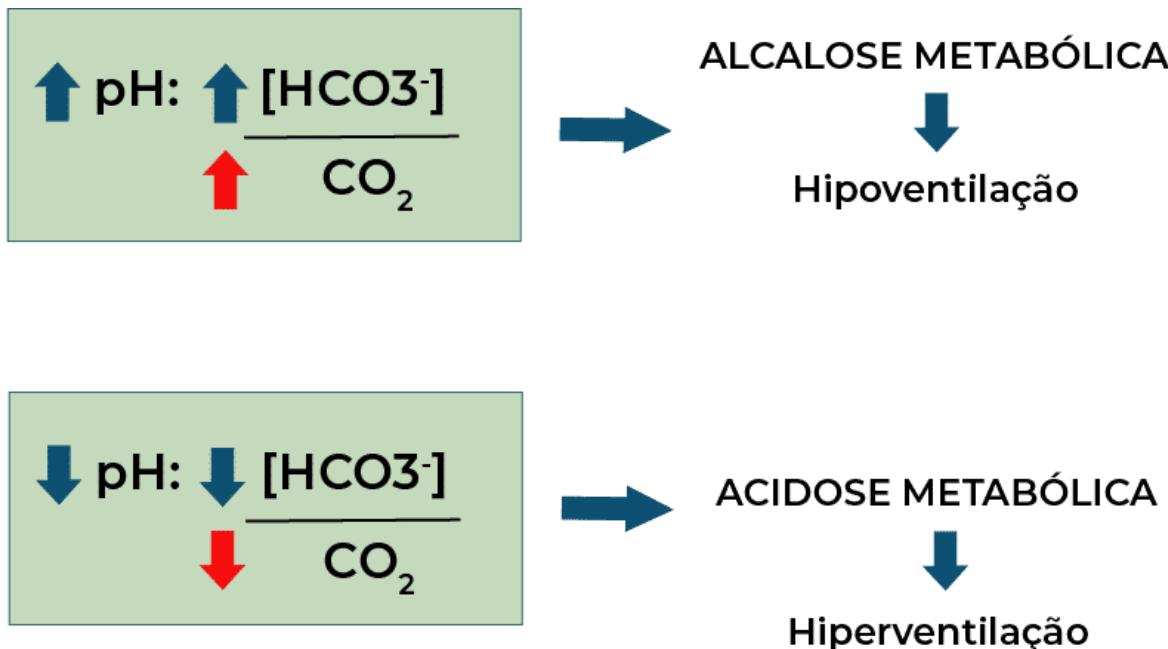


Imagen Ilustrativa da fórmula Equação de Henderson-Hasselbalch.

Agora, veja a explicação mais detalhada das compensações no vídeo a seguir.

GASOMETRIA ARTERIAL



Gasometria Arterial

https://player.vimeo.com/video/721517187?app_id=122963&h=b4bd035d82

Gasometria Arterial

Para classificar uma gasometria arterial é necessário saber quais são os valores normais dos seus parâmetros. Observe no quadro abaixo:

Quadro 1: Valores normais dos parâmetros da gasometria arterial.

Parâmetro	Sangue Arterial	Classificação
pH	7,35 - 7,45	< acidemia > alcalemia
PaCO ₂	35 - 45 mmHg	< alcalose respiratória > acidose respiratória

Parâmetro	Sangue Arterial	Classificação
PaO ₂	80 - 100 mmHg	< hipoxemia > hiperoxemia
BIC	22 - 26	< acidose metabólica e > alcalose metabólica
SatO ₂	92 - 100%	< hipoxemia

Fonte: Adapatado de West JB. Fisiologia respiratória princípios básicos. 9. ed. Porto Alegre:
Artmed; 2013.

Classificação do distúrbio primário

Veja a seguir, o passo a passo

Etapa 1

Categorizar o pH (acidemia ou alcalemia).

Etapa 2

Avaliar a PaO₂ (hiperoxemias ou hipoxemias).

Etapa 3

Determinar o envolvimento respiratório (acidose respiratória ou alcalose respiratória).

Etapa 4

Determinar o envolvimento metabólico (acidose metabólica ou acidose respiratória).

Agora, coloque em prática esta classificação!

Antes de começar, assista ao vídeo a seguir para compreender melhor o processo de classificação.



Distúrbio Primário da Gasometria
https://player.vimeo.com/video/721516204?app_id=122963&h=2da3b5ad17

Utilize o passo a passo e classifique os distúrbios primários nos exemplos de gasometrias arteriais a seguir.

Antes de começar, assista ao vídeo com a explicação do exercício número 1.

GASOMETRIA ARTERIAL

Gasometria Arterial

https://player.vimeo.com/video/721517187?app_id=122963&h=b4bd035d8

- 1 Gasometria arterial: pH 7,22 PaO₂ 115 PaCO₂ 36 HCO₃₋ 8.
- 2 Gasometria arterial: pH 7,56 PaO₂ 63 PaCO₂ 28 HCO₃₋ 26.
- 3 Gasometria arterial: pH 7,53 PaO₂ 70 PaCO₂ 41 HCO₃₋ 40.
- 4 Gasometria arterial: pH 7,60 PaO₂ 50 PaCO₂ 20 HCO₃₋ 22.
- 5 Gasometria arterial: pH 7,25 PaO₂ 58 PaCO₂ 55 HCO₃₋ 24.

Para finalizar este assunto, quais são os efeitos deletérios nos órgãos e sistemas causados pela acidose e alcalose?

O quadro abaixo resume os principais efeitos:

Quadro 2: Efeitos deletérios nos órgãos e sistemas causados pela acidose e alcalose.

Efeitos deletérios da acidose aguda	Efeitos deletérios da alcalose aguda
<ul style="list-style-type: none"> Sobrecarga respiratória 	<ul style="list-style-type: none"> Hipocalcemia.
<ul style="list-style-type: none"> Anorexia 	<ul style="list-style-type: none"> Hipopotassemia com aumento de perda urinária de K+.
<ul style="list-style-type: none"> Alterações neurológicas como depressão do sistema nervoso central (SNC), confusão 	<ul style="list-style-type: none"> Arritmias.
<ul style="list-style-type: none"> Hiperpotassemia Depressão da contratilidade miocárdica 	<ul style="list-style-type: none"> Aumento da afinidade do O₂ pela Hb (desvio da curva de dissociação do O₂ para a esquerda), resultando em hipóxia tecidual.

- Vasoconstrição renal e oligúria

- Resistência à ação da insulina

- Piora das condições neurológicas, como torpor, convulsões, tremores musculares.

Fonte: Adaptado de Évora PRB, Garcia LV. Equilíbrio ácido-base. Medicina (Ribeirão Preto) [Internet]. 2008 [citado 2022 jun 02];41(3):301-11. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.2176-7262.v41i3p301-311>. doi: 10.11606/issn.2176-7262.v41i3p301-311.

ATENÇÃO

Observe que a acidose e alcalose podem ser prejudiciais à órgãos nobres como pulmões, coração, SNC e rins. Daí a grande importância de estarem sempre atentos às gasometrias arteriais dos pacientes.

Volumes e Capacidades Pulmonares, Espaço Morto e Shunt

Neste tópico vamos falar sobre os volumes e capacidades pulmonares.

Volumes Pulmonares

É importante relembrar que existem quatro Volumes pulmonares:

- 1 Volume corrente.
- 2 Volume residual.
- 3 Volume de reserva expiratório.
- 4 Volume de reserva inspiratório.

Confira no quadro abaixo a definição dos volumes:

Quadro 3: Definição dos volumes pulmonares.

Volumes pulmonares	Definição
Volume Corrente (VC)	Volume de ar que entra e sai dos pulmões durante uma respiração tranquila.
Volume Residual (VR)	Volume de gás que permanece nos pulmões após uma expiração máxima forçada.
Volume de Reserva Expiratório (VRE)	Volume de gás exalado dos pulmões durante uma expiração máxima forçada, que se inicia no final de uma expiração corrente normal.
Volume de Reserva Inspiratório (VRI)	Volume de gás inspirado para os pulmões durante uma inspiração máxima forçada que se inicia no final de uma inspiração corrente normal.

Fonte: Elaborado pela autora.

Capacidades pulmonares

Assim como os volumes, também são quatro as Capacidades pulmonares:

1

Capacidade residual funcional.

- 2 Capacidade inspiratória.
- 3 Capacidade vital.
- 4 Capacidade pulmonar.



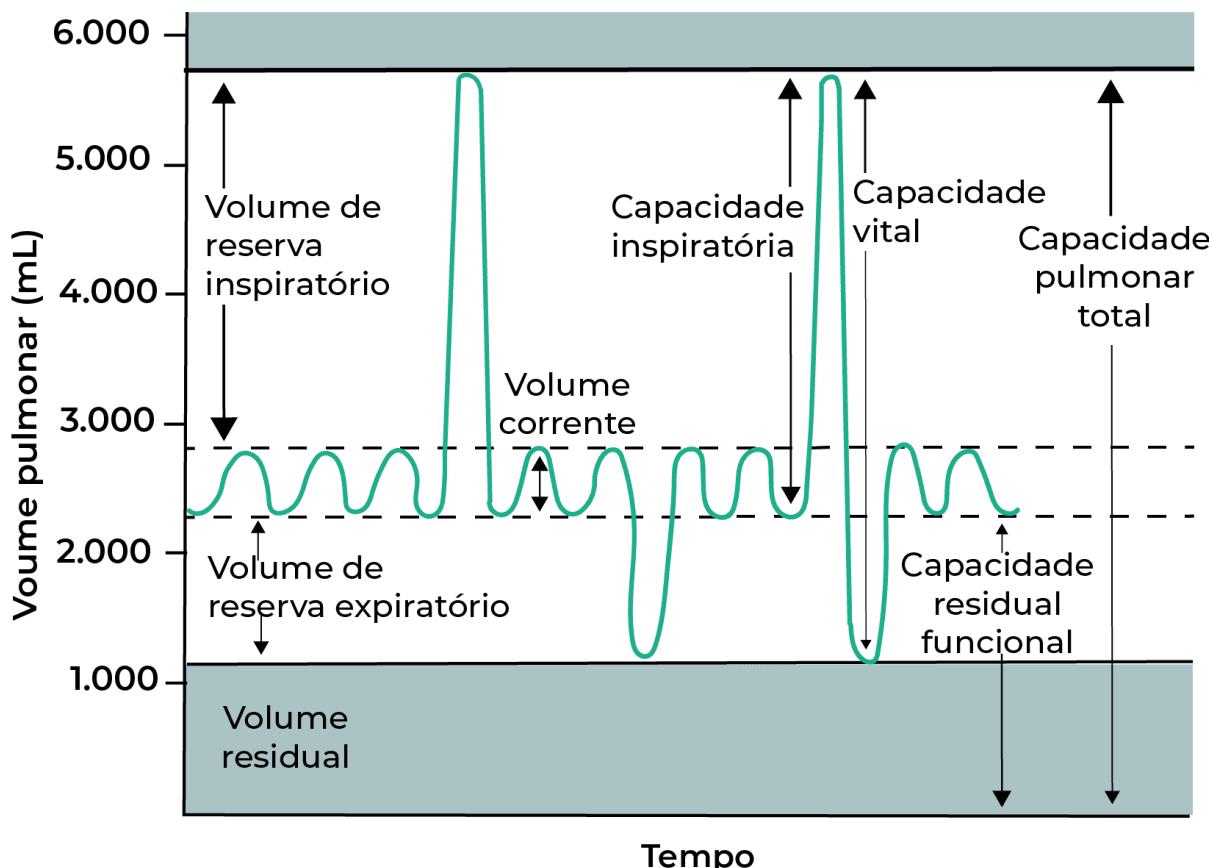
SAIBA MAIS

Vale ressaltar que a CRF é o volume de gás que permanece nos pulmões ao final de uma expiração tranquila e, como a expiração é totalmente passiva, a CRF representa o ponto de equilíbrio entre a retração elástica dos pulmões e da parede torácica.

É graças a CRF que os nossos alvéolos não colabam ao final de uma expiração tranquila! Além disso, a CRF tem grande importância, pois durante a apneia, é ela que vai suprir o sangue com O_2 .

Observe a figura abaixo e note que as capacidades pulmonares correspondem à soma dos volumes.

Figura 16: Diagrama mostrando os volumes e capacidades pulmonares.



Fonte: Adaptado de Hall JE, Hall ME. Guyton & Hall: tratado de fisiologia médica [Internet]. 2021 [citado 2022 Jun 02]; 14. ed. Rio de Janeiro: GEN. Disponível em: https://cssjd.org.br/images/editor/_les/2019/Abril/Tratado%20de%20Fisiologia%20M%C3%A9dica.pdf.

Observe abaixo o quadro de definição das Capacidades Pulmonares:

Quadro 4: Definição das capacidades pulmonares.

Capacidades pulmonares	Descrição
Capacidade Residual Funcional (CRF)	VRE + VR

Capacidades pulmonares	Definição
Capacidade Inspiratória (CI)	VC + VRI
Capacidade Vital (CV)	VC + VRI + VRE
Capacidade Pulmonar Total (CPT)	VC + VRI + VRE + VR

Legenda: Siglas: VRE: volume de reserva expiratório; VR: volume residual; VRI: volume de reserva inspiratório; VC: volume corrente.

Fonte: Elaborado pela autora.

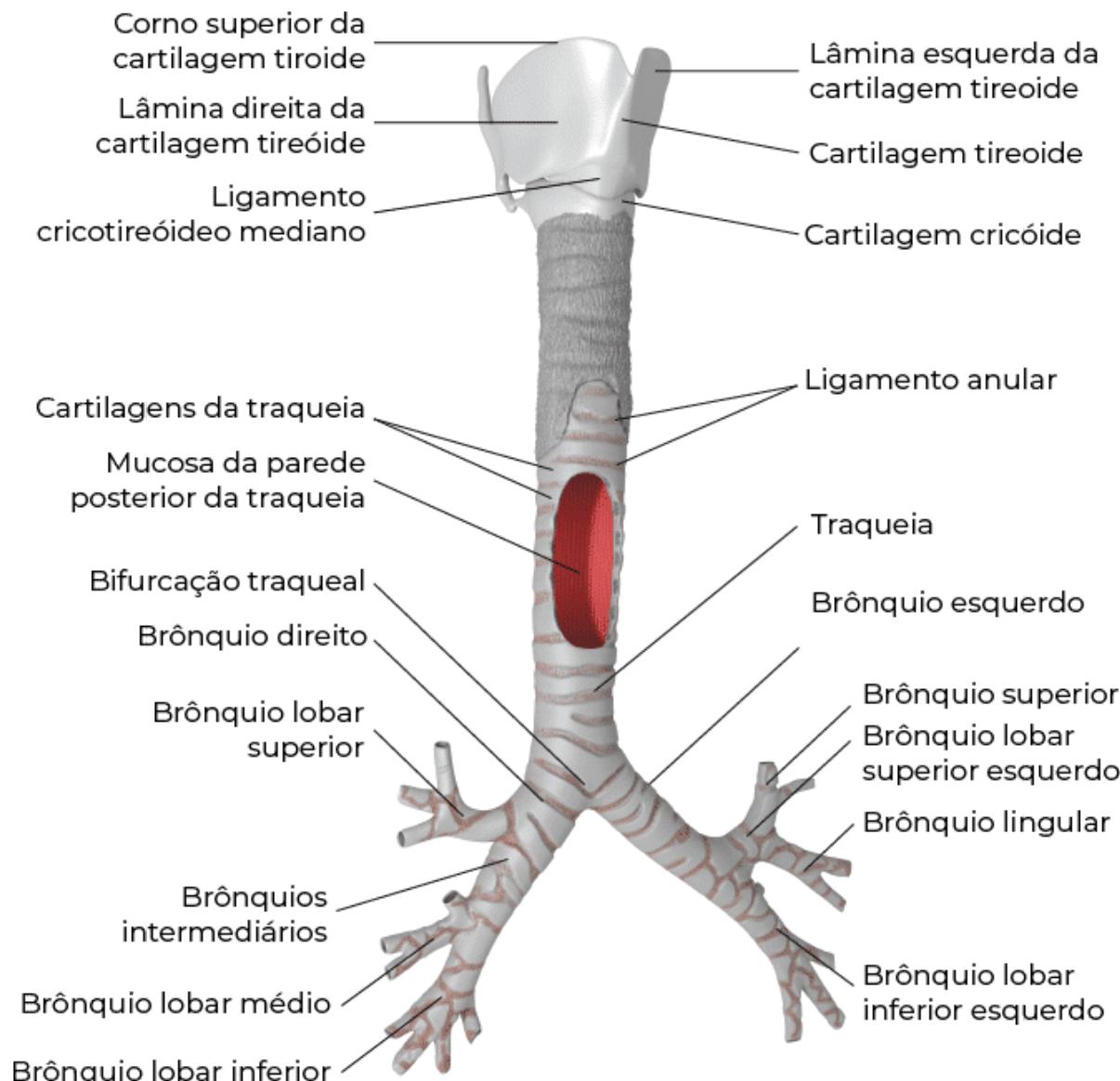
Espaço Morto Anatômico

As vias aéreas

Consistem em tubos ramificados que, quanto mais se aprofundam no parênquima pulmonar, mais se tornam numerosas, estreitas e curtas.

Observe a imagem a seguir para entender o caminho que o gás inspirado faz até às trocas gasosas:

Figura 17: Traqueia, brônquios principais e suas subdivisões.



Fonte: Adaptado de Netter FH. Atlas de anatomia humana. 6. ed. Rio de Janeiro: Elsevier; 2015.

Com base na figura acima, sabe-se que a **traqueia** divide-se em:

Brônquio principal direito e Brônquio principal esquerdo

Estes dois brônquios, por sua vez, se dividem em:

Brônquios lobares

Que sofrem mais uma subdivisão:

Brônquios segmentares

Este processo continua até os:

Bronquiolos terminais

Que são as menores vias aéreas que não contém alvéolos.

Os Bonquiolos terminais subdividem-se em:

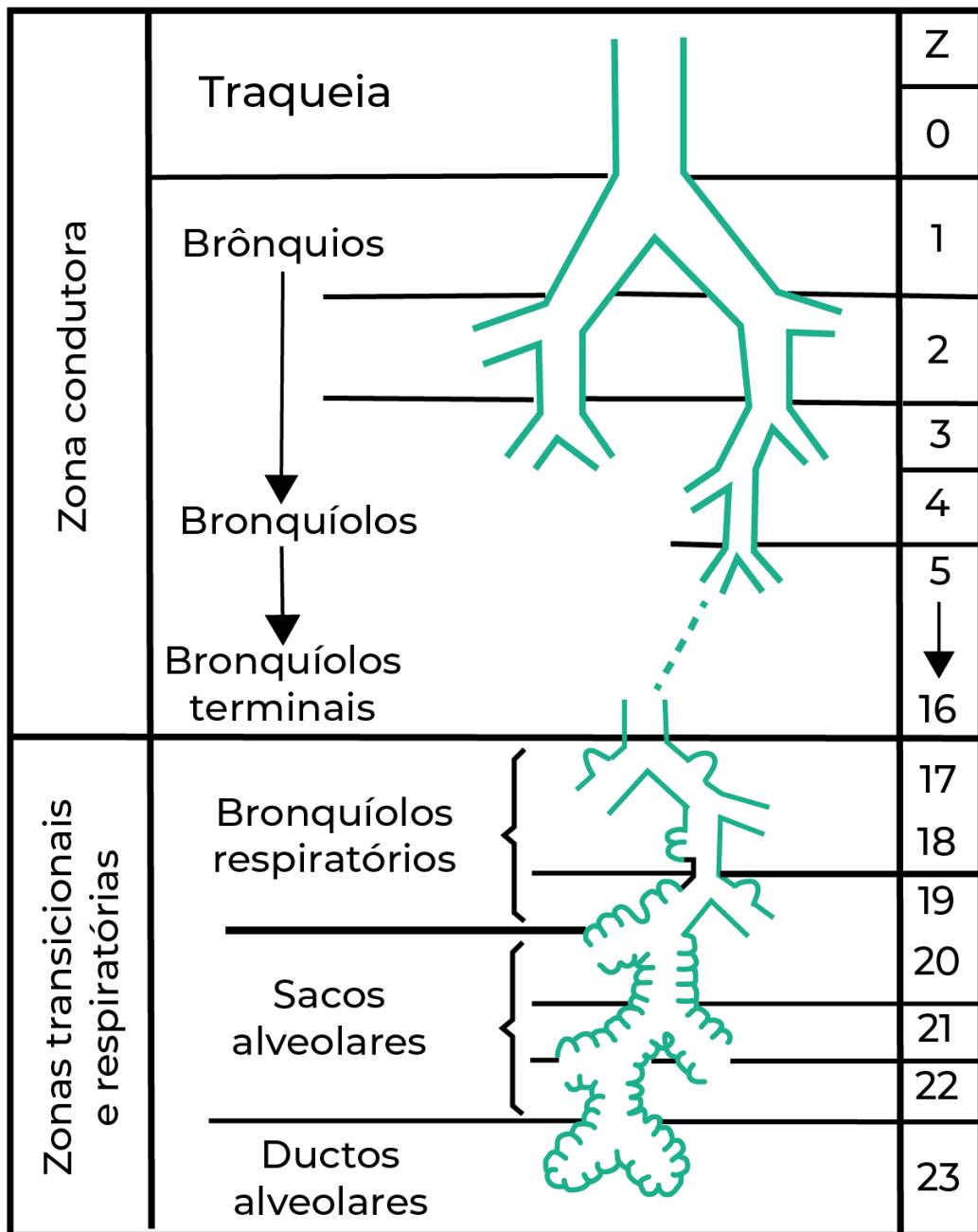
Bronquiolos respiratórios

Que ocasionalmente possuem alvéolos. E por fim, chegamos aos:

Ductos alveolares

São repletos de alvéolos.

Figura 18: Divisões das vias aéreas humanas.



Legenda: Note que as primeiras 16 gerações das divisões das vias aéreas humanas formam a via aérea condutora e as últimas 7 formam as zonas transicionais e respiratórias.

Fonte: Adaptado de West JB. Fisiologia respiratória princípios básicos. 9. ed. Porto Alegre: Artmed; 2013.

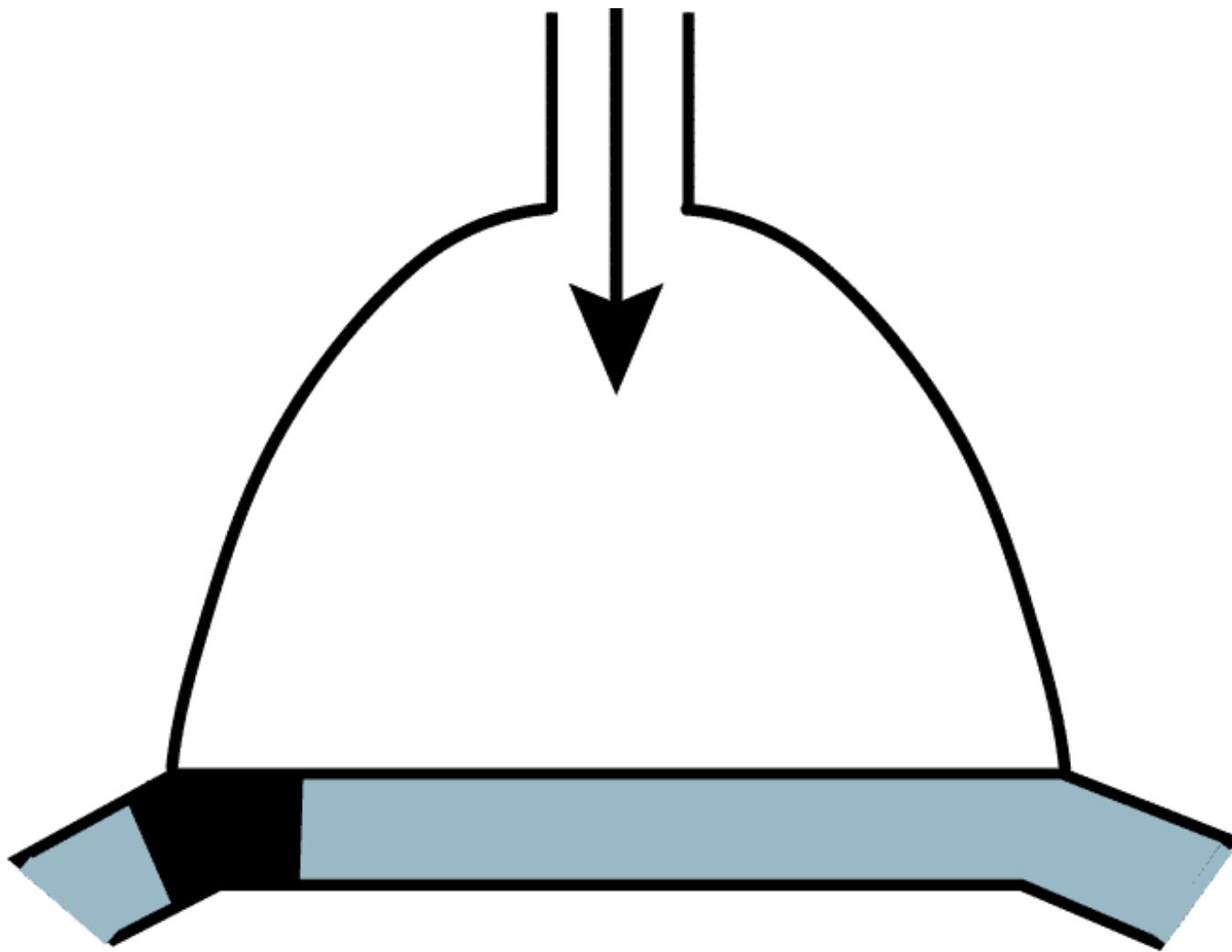
VIAS AÉREAS CONDUTORAS	ZONA DE TRANSIÇÃO	ZONA RESPIRATÓRIA
Têm como função levar o gás inspirado para as regiões onde efetivamente ocorrem as trocas gasosas, constituem o espaço morto anatômico que varia cerca de 1 ml por 450 g de peso e não participam das trocas gasosas.		
VIAS AÉREAS CONDUTORAS	ZONA DE TRANSIÇÃO	ZONA RESPIRATÓRIA
Composta pelos bronquíolos respiratórios, que ocasionalmente possuem alvéolos.		
VIAS AÉREAS CONDUTORAS	ZONA DE TRANSIÇÃO	ZONA RESPIRATÓRIA
Incluem os sacos alveolares e ductos alveolares, repletos de alvéolos.		

Espaço Morto Alveolar

O espaço morto alveolar corresponde aos alvéolos ventilados, porém não perfundidos. Esses alvéolos não participam das trocas gasosas, portanto, nesta região não há eliminação de CO₂.

Veja na figura a seguir o exemplo de efeito espaço morto:

Figura 19: Espaço morto alveolar: área ventilada, porém não perfundida.



Fonte: Adaptado de West JB. Fisiologia respiratória princípios básicos. 9. ed. Porto Alegre: Artmed; 2013.

No efeito espaço morto alveolar o alvéolo está intacto, porém, devido a um trombo, não há perfusão, ou seja, o sangue não chega neste alvéolo e, portanto, não há troca gasosa.

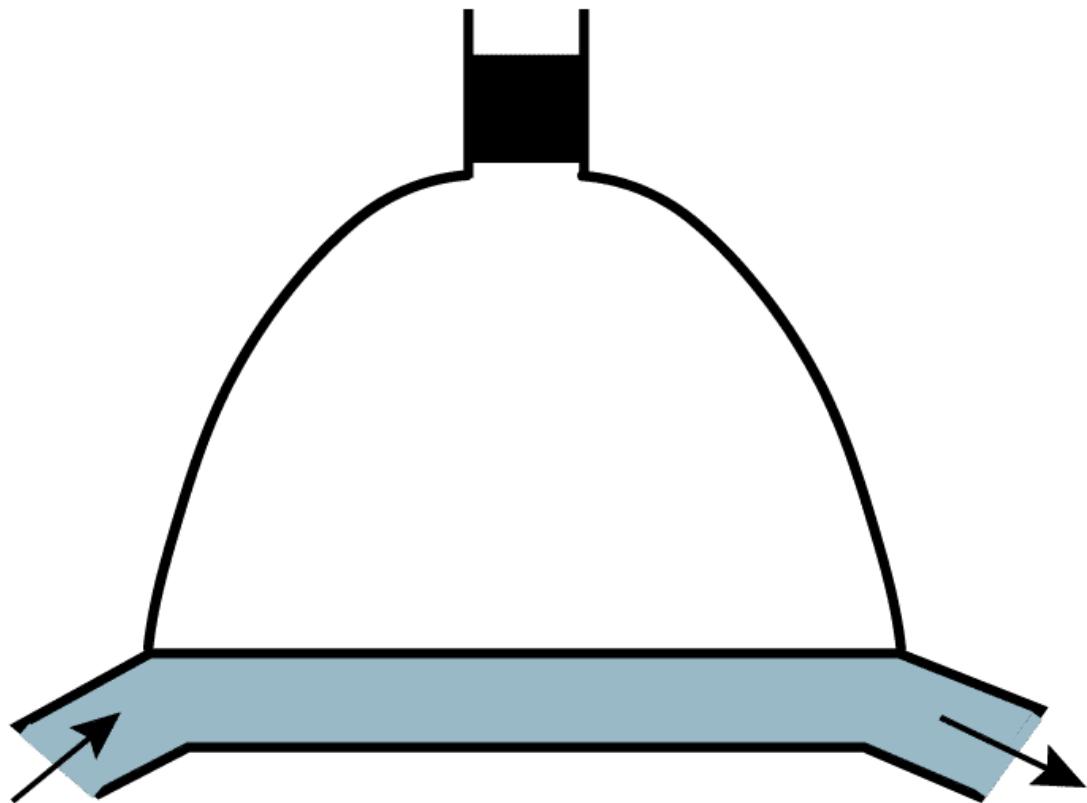
Shunt

O *shunt* ocorre quando temos alvéolos não ventilados (“fechados”, por exemplo nas Atelectasias. Nestes casos, dependendo do grau de comprometimento dos pulmões, adicionar O_2 suplementar pode não melhorar a SpO_2 que está baixa.

Entretanto, se a Atelectasia for pequena e/ou estiver localizada em uma determinada região do pulmão, ofertar O_2 pode melhorar a hipoxemia, já que o O_2 adicional vai aumentar a pressão parcial de O_2 do alvéolo e com isto, ocorrerá o aumento da diferença de pressão entre os dois lados (Lei de Fick), facilitando a difusão.

Observe na figura abaixo o exemplo de Efeito *Shunt*:

Figura 20: Shunt: Área perfundida, porém não ventilada.



Fonte: Adaptado de West JB. Fisiologia respiratória princípios básicos. 9. ed. Porto Alegre: Artmed; 2013.

O shunt é o mecanismo mais frequente em crianças com doenças respiratórias.

Conectando os Pontos

Agora que chegou ao fim desta unidade, retome os principais tópicos abordados e avalie se necessita voltar em algum deles.

- 1 O ar atravessa a membrana alvéolo-capilar por difusão simples e a passagem do gás ocorre de acordo com a Lei de Fick.
- 2 A PO₂ inspirada e sua fórmula para entender o que acontece com o tempo de oxigenação do sangue quando se está ao nível do mar, em altas altitudes ou mesmo quando temos uma criança com doença pulmonar.
- 3 A principal forma de transporte de O₂ pelo sangue é ligado à Hb e do transporte do CO₂ é na forma de HCO₃⁻.
- 4 A curva de dissociação de O₂ e seus desvios bem como suas aplicações na prática.
- 5 O distúrbio primário de uma gasometria arterial e os efeitos do pH nos diferentes órgãos e sistemas.

6

Conceitos de volumes e capacidades pulmonares bem como espaço morto alveolar e *shunt*.

Materiais Complementares

Caro(a) aluno(a),

Veja, a seguir, algumas sugestões de materiais que ajudarão a aprofundar seus conhecimentos sobre **Fisiologia 1**, tema desta unidade.

Volumes pulmonares

Este artigo reforça os conceitos dos volumes e capacidades pulmonares.

Clique no botão para acessar a artigo.

[CLIQUE AQUI](#)

Caracterização dos distúrbios da regulação ácido-base: uma abordagem didática e intuitiva

Esta revisão facilitará a compreensão da gasometria arterial.

Clique no botão para acessar a artigo.

[CLIQUE AQUI](#)

Glossário

O₂: Oxigênio.

V: Ventilação.

Q: Perfusion.

Relação V/Q: Relação ventilação perfusão.

PaO₂: Pressão parcial arterial de oxigênio.

CO₂: Dióxido de carbono / gás carbônico.

Hb: Hemoglobina.

CO: Monóxido de carbono.

VC: Volume corrente.

CRF: Capacidade residual funcional.

PO₂: Pressão parcial de oxigênio.

HCO₃⁻: Íon bicarbonato,

SatO₂: Saturação arterial de oxigênio.

SpO₂: Saturação periférica de oxigênio.

H₂O: Água.

H₂CO₃: Ácido carbônico.

H⁺: Íon hidrogênio.

2-3 DPG: 2-3 Difosfoglicerato.

PCO₂: Pressão parcial de gás carbônico.

PaCO₂: Pressão parcial arterial de gás carbônico.

BIC: Bicarbonato (HCO₃⁻).

SNC: Sistema nervoso central.

K+: Potássio.

VR: Volume residual.

VRE: Volume de reserva expiratório.

VRI: Volume de reserva inspiratório.

CI: Capacidade inspiratória.

CV: Capacidade vital.

CPT: Capacidade pulmonar total.

Referências

Barreto SSM. Volumes pulmonares. J Pneumol [Internet]. 2002 [cited 2022 Jun 02];28(3):83-94. Available from:
[https://cdn.publisher.gn1.link/jornaldepneumologia.com.br/pdf/Supe_135_45_22%20volumes%20pulmonares.pdf](https://cdn.publisher.gn1.link/jornaldepneumologia.com.br/pdf/Suple_135_45_22%20volumes%20pulmonares.pdf).

Collins JA, Rudenski A, Gibson J, Howard L, O'Driscoll R. Relating oxygen partial pressure, saturation and content: the haemoglobin-oxygen dissociation curve. Breathe [Internet]. 2015 [cited 2022 Jun 02];11:194–201. Available from: <https://doi.org/10.1183/20734735.001415>. doi: 10.1183/20734735.001415.

Évora PRB, Garcia LV. Equilíbrio ácido-base. Medicina (Ribeirão Preto) [Internet]. 2008 [citado 2022 jun 02];41(3):301-11. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.2176-7262.v41i3p301-311>. doi: 10.11606/issn.2176-7262.v41i3p301-311.

Furoni RM, Neto SMP, Giorgi RB, Guerra EMM. Distúrbios do equilíbrio ácido-básico. Fac Ciênc Méd Sorocaba. Revista Da Faculdade De Ciências Médicas De

Sorocaba [Internet]. 2010 [cited 2022 jun 02]; 12(1:5-12. Disponível em:
[https://revistas.pucsp.br/RFCMS/article/view/2407.](https://revistas.pucsp.br/RFCMS/article/view/2407)

Gomes EB, Pereira HCP. Interpretação de gasometria arterial. ed. Vittalle [Internet]. 2021 [cited 2022 jun 02]; 33(1:203-218. Disponível em:
<https://periodicos.furg.br/vittalle/article/download/11501/8853+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>.

Hall JE, Hall ME. Guyton & Hall: tratado de fisiologia médica [Internet]. 2021 [cited 2022 Jun 02]; 14. ed. Rio de Janeiro: GEN. Disponível em:
https://cssjd.org.br/imagens/editor/_les/2019/Abril/Tratado%20de%20Fisiologia%20M%C3%A9dica.pdf.

Hamilton PK, Morgan NA, Connolly GM, Maxwell AP. Understanding acid-base disorders. Ulster Med J [Internet]. 2017 [cited 2022 Jun 02]; 86(3:161-166.
Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5849971/>.

Hamm LL, Nakhoul N, Smith KSH. Acid-base homeostasis. Clin J Am Soc Nephrol [Internte]. 2015 [cited 2022 Jun 02];10(12:2232-2242. Available from:
<https://doi.org/10.2215/CJN.07400715>. doi: 10.2215/CJN.07400715.

Levitzky MG. Fisiologia pulmonar. 8. ed. Barueri, SP: Manole; 2016.

Lutfi MF. The physiological basis and clinical significance of lung volume measurements. Lutfi Multidisciplinary Respiratory Medicine [Internet]. 2017 [cited 2022 Jun 02];12(3:1-12 p. Available from:

<https://doi.org/10.1186/s40248-017-0084-5>. doi: 10.1186/s40248-017-0084-5.

Netter FH. Atlas de anatomia humana. 6. ed. Rio de Janeiro: Elsevier; 2015.

Prado C, Vale LA. Fisioterapia neonatal e pediátrica. 2012; 1. ed. Barueri: Manole.

Quade BN, Parker MD, Occhipinti R. The therapeutic importance of acid-base balance. *Biochemical Pharmacology* [Internet]. 2021 [cited 2022 Jun 02];183:1-29. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2020.114278>. DOI: 10.1016/j.bcp.2020.114278.

Rego FGM, Anghebem MI, Weiss ICRS, Moure VR, Picheth GF, Volanski W, et al. Caracterização dos distúrbios da regulação ácido-base: uma abordagem didática e intuitiva. *RBAC* [Internet]. 2020 [citado 2022 jun 02];4:337-345. Disponível em: <https://www.rbac.org.br/artigos/caracterizacao-dos-disturbios-da-regulacao-uma-abordagem-didatica-e-intuitiva/>.

Scanlan CL, Wilkins RL, Stoller J. Fundamentos da terapia respiratória de Egan. 7. ed. Barueri; 2000.

West JB. Fisiologia respiratória princípios básicos. 9. ed. Porto Alegre: Artmed; 2013.

Marcela Batan Alith
Lattes



ALBERT EINSTEIN
INSTITUTO ISRAELITA DE
ENSINO E PESQUISA
CENTRO DE EDUCAÇÃO EM SAÚDE
ABRAM SZAJMAN