

Obrigada por ver esta apresentação

Gostaríamos de recordar-lhe que esta apresentação é propriedade do autor.

É-lhe fornecida pela Sociedade Portuguesa de Pediatria no contexto do 17º Congresso Nacional de Pediatria, para seu uso pessoal, tal como submetido pelo autor

© 2016 pelo autor

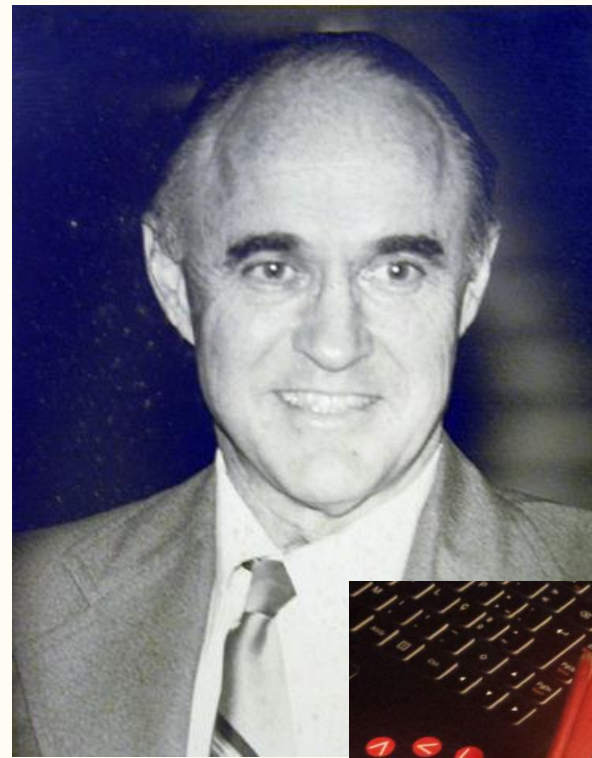
Equilíbrio ácido-base e gases do sangue

Miguel Félix
Hospital Pediátrico, Coimbra
CHUC, EPE

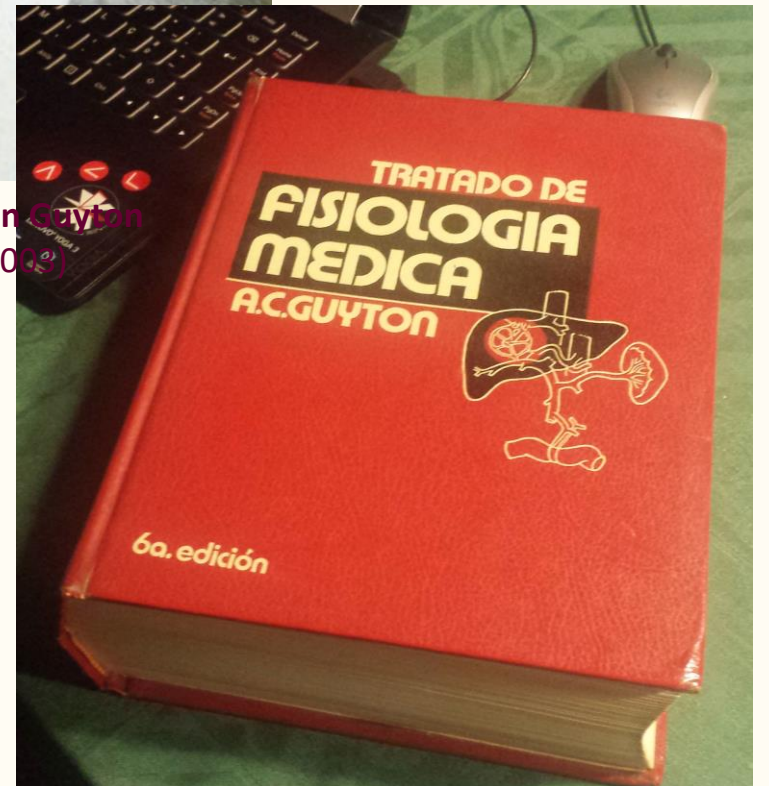
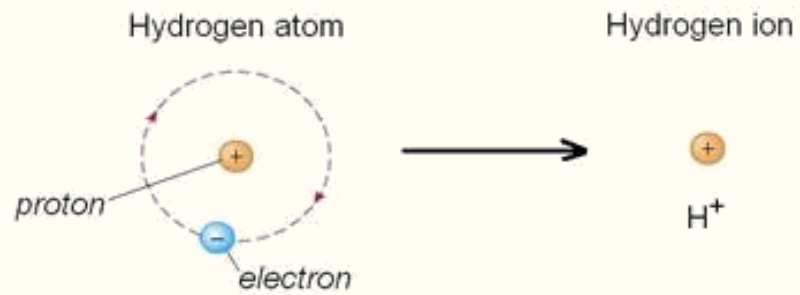




Svante August Arrhenius
(1859-1927)
Nobel Química 1903



Arthur Clifton Guyton
(1919-2002)



Objetivos

- Fisiología
 - p
 - M
- Alter
- Inter
- Oxige
- Ques



pH

- Escala numérica que exprime a acidez / alcalinidade de uma solução aquosa

- pH - negativo do loga

- Logaritmo de um núm
elevado para se obte

- Exemplo: logaritmo c

- $[H^+] = 0.0000001$ mo

- $[H^+] = 0.00000007$ m

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission is required for reproduction or display.

table 2.5 Hydrogen Ion Concentrations and pH	
Grams of H^+ per Liter	pH
0.000000000000001	14
0.000000000000001	13
0.000000000000001	12
0.000000000000001	11
0.000000000000001	10
0.000000000000001	9
0.000000000000001	8
0.000000000000001	7
0.000000000000001	6
0.000000000000001	5
0.000000000000001	4
0.000000000000001	3
0.000000000000001	2
0.000000000000001	1
0.000000000000001	0

hidrogénio $[H^+]$

(base) deve ser

7.15

Equilíbrio ácido-base

- Alterações mínimas concentrações de iões hidrogénio / pH têm influências significativas em todos os processos celulares
- Importância dos processos de regulação
- pH “normal” sangue arterial 7.4
 - Aceitável 7.35 – 7.45
- pH “compatível com a vida” – 7.0 a 7.8 (*)

Equilíbrio ácido-base

Sistema bicarbonato - CO₂



(pH e CO₂ medição direta. HCO₃ calculado...)

Equação de Henderson-Hasselbach

$$\text{pH} = 6.10 + \log ([\text{HCO}_3^-] \div [0.03 \times \text{PCO}_2])$$

(-log Ka)

Ka – constante de dissociação para esta reação

coeficiente de solubilidade do CO₂ no sangue

Controlo pH

- 1. Sistemas de tampão básicos
 - Substâncias que reagem de forma quase imediata transformando ácidos ou bases fortes adicionados noutros mais fracos
- 2. Mecanismos de compensação respiratória
- 3. Mecanismos de compensação renal

Sistema tampão bicarbonato

Compensação adição de ácido: $\text{HCl} + \text{NaHCO}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{NaCl}$

Compensação adição de base: $\text{NaOH} + \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{NaHCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

- Poder tampão intrínseco limitado:
 - Atua em área limitada da curva
 - Concentrações de HCO_3 e CO_2 relativamente baixas

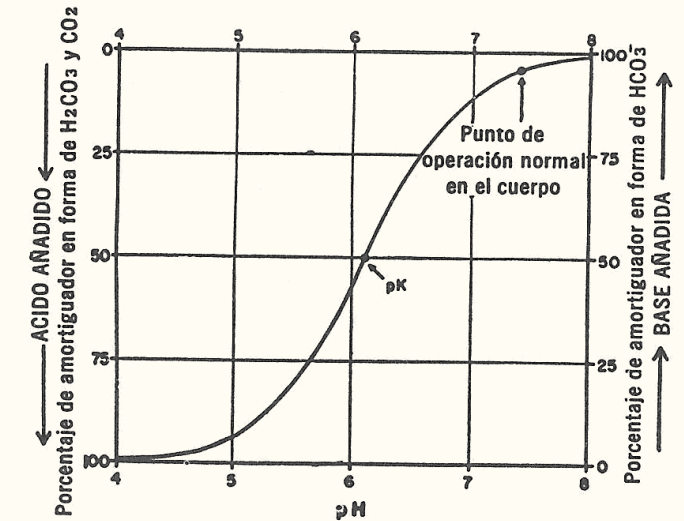


Fig. 37-1. Curva de reacción del sistema amortiguador de bicarbonato.

- Mas: importante pela possibilidade de regulação das quantidades de CO_2 e HCO_3 (pulmão e rim)

pK – pH no qual se verifica o efeito tampão máximo

Sistema tampão fosfato

Compensação adição de ácido: $\text{HCl} + \text{Na}_2\text{HPO}_4 \rightarrow \text{NaH}_2\text{PO}_4 + \text{NaCl}$

Compensação adição de base: $\text{NaOH} + \text{NaH}_2\text{PO}_4 \rightarrow \text{Na}_2\text{HPO}_4 + \text{H}_2\text{O}$

- pK de 6.8 – próximo pH corporal – maior eficácia tampão
- Concentração extracelular << que bicarbonato
- Concentração intracelular mais elevada
- Importância no rim
 - Concentração elevada nos túbulos renais
 - pH líquido tubular mais ácido – mais próximo do pK – mais eficácia

Sistema tampão proteínas

- Tampão globalmente mais abundante no organismo
- Grandes quantidades de proteínas intracelulares
- Funciona de modo semelhante ao tampão bicarbonato
 - Alguns aminoácidos têm radicais ácidos livres que podem dissociar-se em base + H^+
- Sistema mais lento, dado que
 - muitas proteínas são intracelulares
 - movimento de HCO_3^- e H^+ através das membranas celulares é demorado

Compensação respiratória

- Formação CO_2 relativamente constante
- Concentração CO_2 varia com ventilação alveolar, de forma inversa
- Como CO_2 varia de forma inversa com pH...

Ventilação alveolar $\leftrightarrow$ pH

- Processo rápido (minutos)

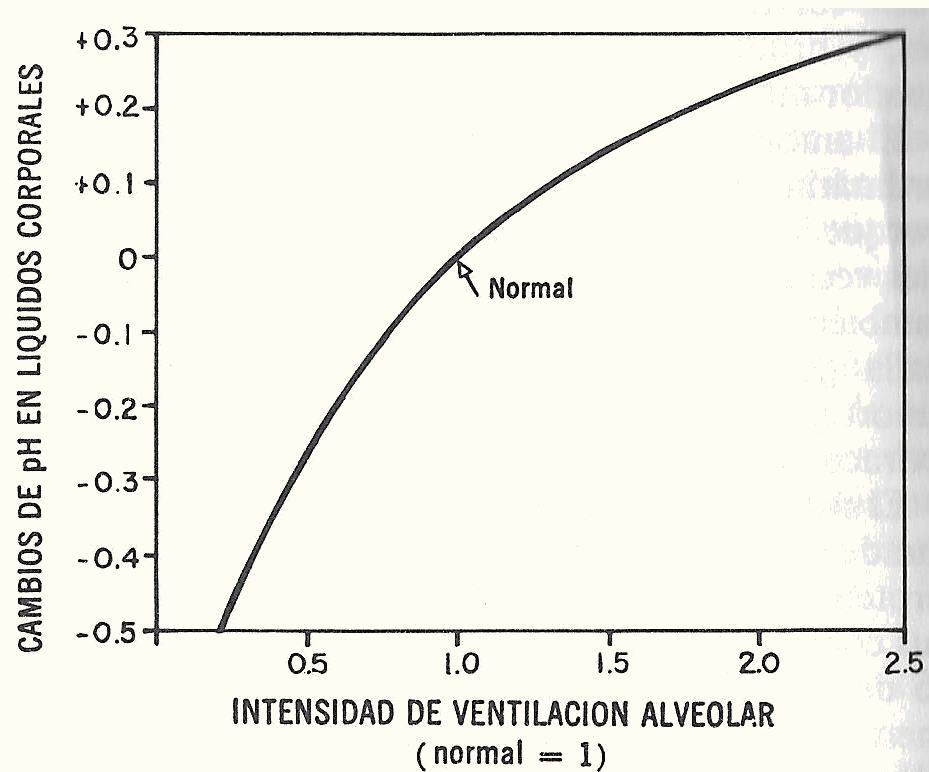
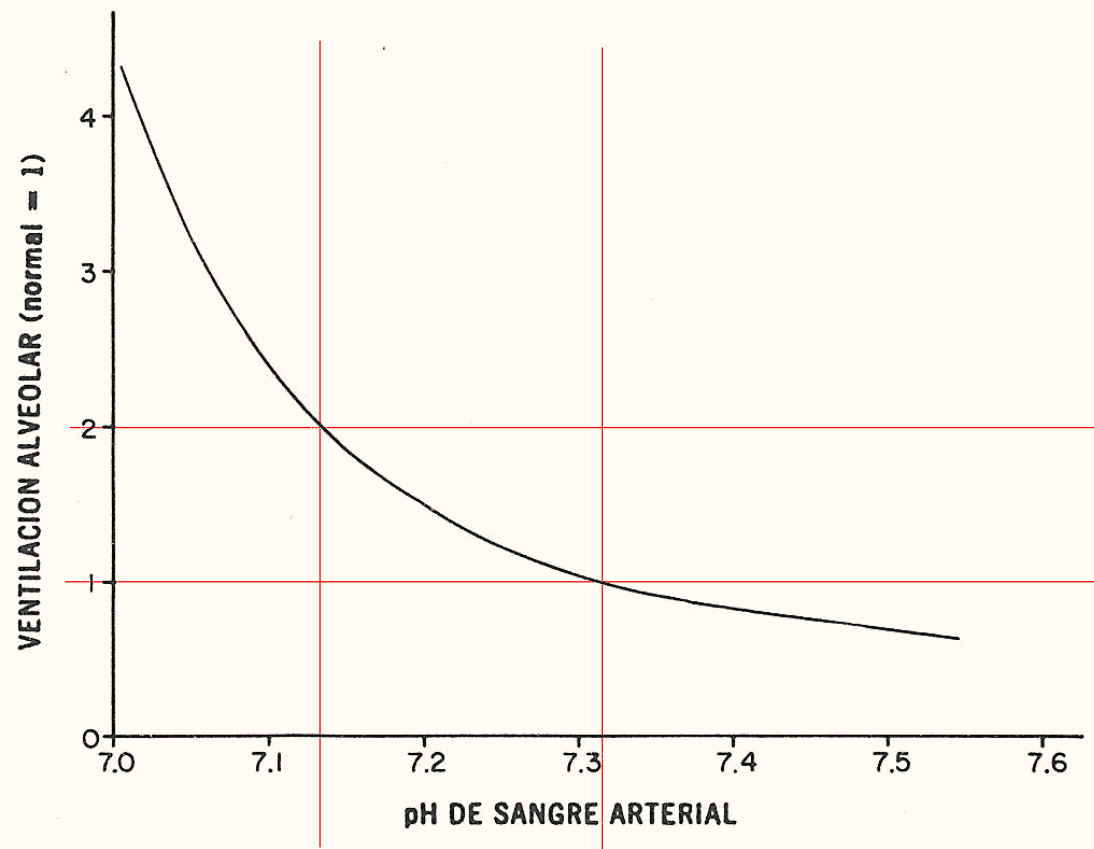


Fig. 37-2. Cambios aproximados en el pH de los líquidos corporales por aumento o disminución de la ventilación alveolar.



Efeito do pH sanguíneo sobre a ventilação alveolar

Compensação respiratória

- Sistema clássico de controlo por feedback sobre o centro respiratório
- Limitações da compensação
 - Parcial por diminuição do feedback com a normalização do pH
 - Diminuição da eficácia com o prolongar da situação
- Muito eficaz na correção a curto prazo mas...
- Se alteração metabólica persiste, a diminuição de PCO_2 causa uma redução mantida de HCO_3 , devido a redução da secreção renal ácida e perda urinária de HCO_3
- Assim, o pH na acidose metabólica crónica acaba por não se modificar muito independentemente da resposta respiratória.

Compensação renal

- Rins regulam o pH (concentração iões H^+) através da modificação dos níveis de HCO_3 nos líquidos orgânicos
- Secreção tubular de iões H^+
- Célula tubular
 - $CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3 \rightarrow H^+ + HCO_3^-$
 - H^+ transporte ativo para lúmen tubular troca com Na^+
- Reabsorção tubular bicarbonato
- Lúmen tubular
 - $H^+ + HCO_3^- \rightarrow H_2CO_3 \rightarrow CO_2 + H_2O$
 - CO_2 difunde para célula tubular

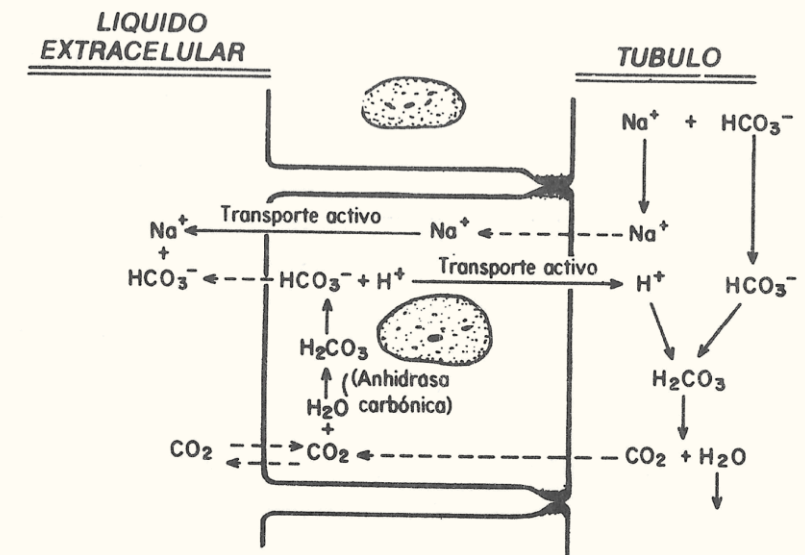


Fig. 37-4. Reacciones químicas para: 1) secreción de ion de hidrógeno, 2) absorción de ion de sodio intercambiado por ion de hidrógeno, y 3) combinación de iones de hidrógeno con iones de bicarbonato en los túbulos.

Compensação renal

- Resposta mais lenta (dias)
- Papel importante na compensação de acidose respiratória crônica mas menos relevante na insuficiência respiratória aguda
- Valor real da compensação renal não reside na sua rapidez mas na capacidade de longo prazo

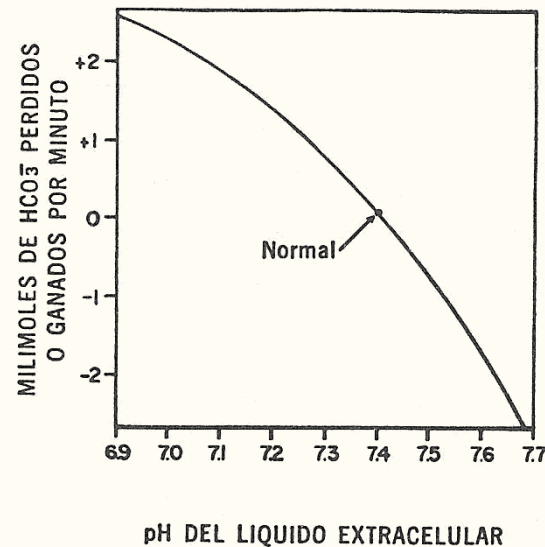


Fig. 37-7. Efecto del pH del líquido extracelular sobre la intensidad de pérdida o ganancia de iones de bicarbonato en los líquidos corporales por minuto.

Anomalias clínicas do equilíbrio ácido-base

- < 7.35 – acidémia
 - Acidose
 - Respiratória: $\downarrow \text{pH}$ $\uparrow \text{pCO}_2$
 - Metabólica: $\downarrow \text{pH}$ $\downarrow \text{HCO}_3$
- > 7.45 – alcalémia
 - Alcalose
 - Respiratória: $\uparrow \text{pH}$ $\downarrow \text{pCO}_2$
 - Metabólica: $\uparrow \text{pH}$ $\uparrow \text{HCO}_3$

Acidose e alcalose são os processos (fisiopatológicos) que originam acidémia ou alcalémia

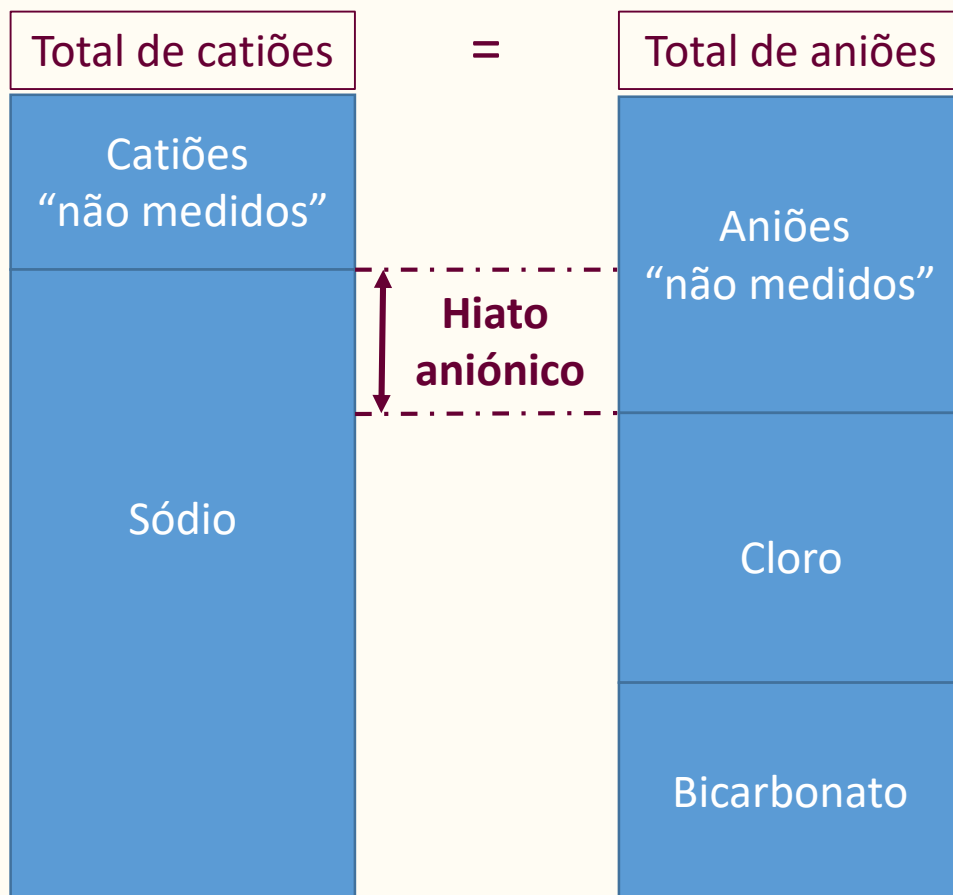
Causas respiratórias

- Acidose respiratória
 - Insuficiência / falência respiratórias aguda/crónica (hipoventilação central ou obstrutiva de causas diversas)
 - Principalmente causas patológicas
- Alcalose respiratória
 - Hiperventilação de causa patológica (raras, muitas vezes associadas a doença psiquiátrica) ou iatrogénica (ventilação mecânica...)

Causas metabólicas

- Acidose metabólica
 - Produção/acumulação excessiva de ácidos (p. ex. sépsis, hipoperfusão tecidular, doenças metabólicas, diabetes...)
 - Incapacidade renal de excretar ácidos adequadamente (acidoses tubulares...)
 - Perda exagerada de bases (diarreia...)
- Alcalose metabólica
 - Perda digestiva de iões H^+ (conteúdo gástrico...)
 - Perda renal de iões H^+ (excesso primário de mineralocorticóides, diuréticos da ansa ou tiazidas...)
 - Alcalose metabólica pós-hipercápica (paciente com hipoventilação crónica compensada com aumento de HCO_3 , submetido de forma aguda a ventilação mecânica...)
 - Administração de bases exógenas (principalmente de forma aguda)

Acidose metabólica e hiato aniônico



$$\text{Hiato aniônico} = \text{Na}^+ - (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-) = 10 - 14 \text{ mEq/L}$$

Acidose metabólica com hiato aniônico normal:

- Diminuição do HCO_3^- e aumento do Cl^-
- Causas: perdas digestivas ou renais de HCO_3^-

Acidose metabólica com hiato aniônico aumentado:

- Acumulação de ácidos habitualmente não encontrados em quantidades significativas (cetoacidose, lactato, AAS...)

cátions "não medidos" – potássio, cálcio, magnésio...

ânions "não medidos" – albumina, fosfatos, sulfatos...

Mecanismos compensatórios

- Alteração de causa respiratória

- 1º, minutos – tampões sangue, fluidos intra e extracelulares
 - elevação do HCO_3^- (se acidose respiratória) ou diminuição (se alcalose respiratória)
- 2º, 3 a 5 dias, renal – resposta principal
 - Aumento da excreção de H^+ e reabsorção HCO_3^- na acidose respiratória
 - Redução da excreção ácida e aumento excreção HCO_3^- na alcalose respiratória

Alteração aguda

Acute respiratory acidosis	$\uparrow \text{Paco}_2$	$\downarrow \text{pH}$	$\uparrow \text{HCO}_3^-$ by 1 mEq/L for each 10 mmHg rise in Paco_2
Acute respiratory alkalosis	$\downarrow \text{Paco}_2$	$\uparrow \text{pH}$	$\downarrow \text{HCO}_3^-$ by 1–3 mEq/L for each 10 mmHg fall in Paco_2
Chronic respiratory acidosis	$\uparrow \text{Paco}_2$	$\downarrow \text{pH}$	$\uparrow \text{HCO}_3^-$ by 4 mEq/L for each 10 mmHg rise in Paco_2
Chronic respiratory alkalosis	$\downarrow \text{Paco}_2$	$\uparrow \text{pH}$	$\downarrow \text{HCO}_3^-$ by 2–5 mEq/L for each 10 mmHg fall in Paco_2

Alteração crónica

Mecanismos compensatórios

- Alteração de causa metabólica

- Acidose

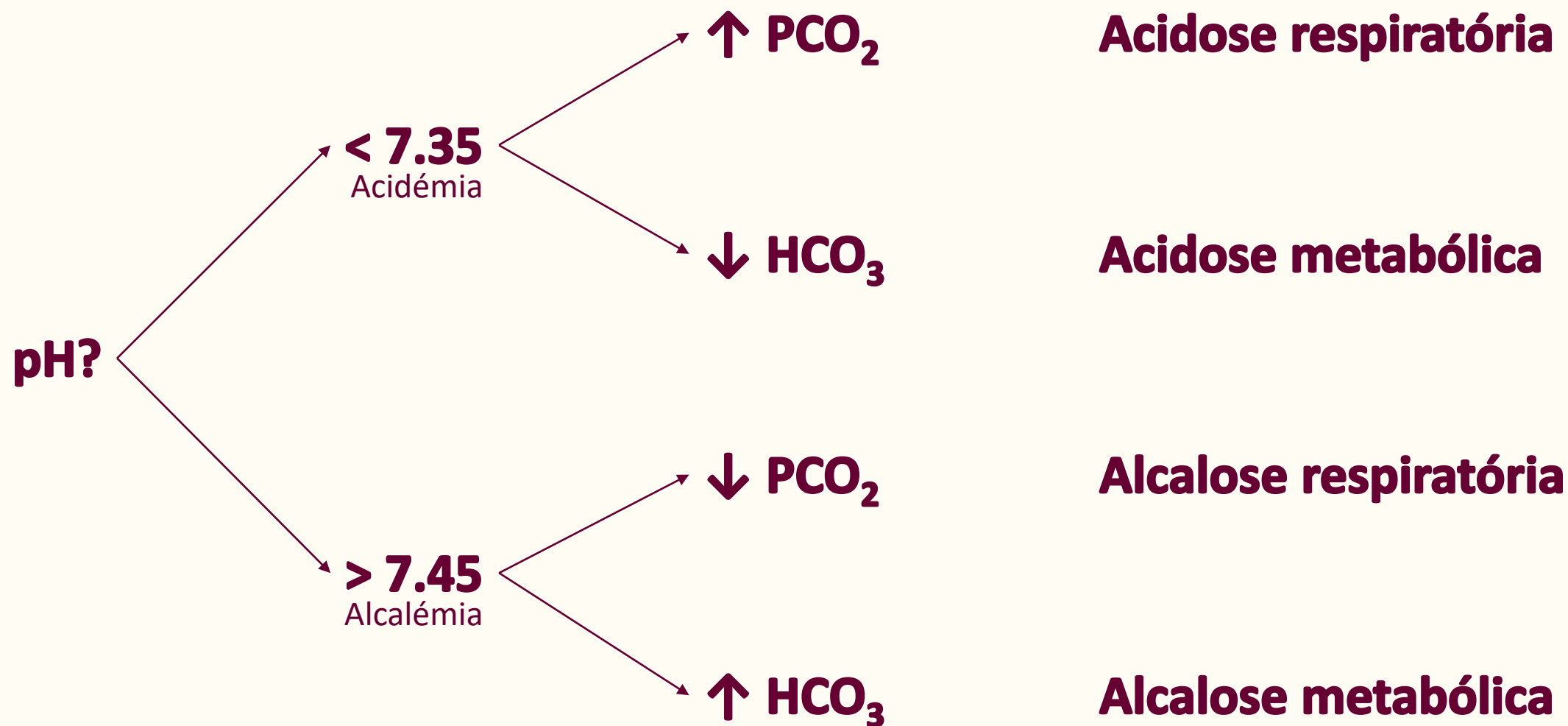
- Redução de cerca de 1.2 mmHg de PCO_2 por cada 1 meq/L de diminuição de HCO_3^-
 - Compensação respiratória inicia-se cerca de 30 minutos e completa-se em 12 a 24h
 - Se início da acidose é lento (p. ex. queda 4 meq/L em 15h) não há atraso na resposta

- Alcalose

- Aumento de cerca de 0.7 mmHg de PCO_2 por cada 1 meq/L de aumento de HCO_3^-

Metabolic acidosis	$\downarrow \text{HCO}_3^-$	$\downarrow \text{pH}$	$\downarrow \text{Paco}_2$ by 1–1.5 times fall in HCO_3^-
Metabolic alkalosis	$\uparrow \text{HCO}_3^-$	$\uparrow \text{pH}$	$\uparrow \text{Paco}_2$ by 0.25–1 times rise in HCO_3^-

Interpretação (passo 1)



Interpretação (passo 2)

Acidose respiratória

Compensação renal – aumento de HCO_3 , pH...

Acidose metabólica

Compensação respiratória – diminuição PCO_2 , pH...

Alcalose respiratória

Compensação renal – diminuição HCO_3 , pH...

Alcalose metabólica

Compensação respiratória – aumento PCO_2 , pH...

Interpretação (passo 3)

- Considerar alterações mistas!
- Avaliar grau de compensação
- Se grau de “compensação” claramente desadequado:

Provável alteração mista

- Exemplo: se causa inicial for uma acidose respiratória e o nível de HCO_3 não está aumentado da forma expectável, pode coexistir uma acidose metabólica que não permite ter o HCO_3/pH esperados pela compensação

Jovem 17 A, insuf. resp. crónica,
internado por pneumonia extensa

pH	7.08
PCO ₂ (mmHg)	123
HCO ₃ (mmol/L)	24.0

RN 1h vida, asfixia PN

pH	6.87
PCO ₂ (mmHg)	49
HCO ₃ (mmol/L)	8.8

Table 3. Arterial and venous blood gas reference values

	Arterial blood	Venous blood	Capillary blood
pH	7.40 (7.35–7.45)	7.36 (7.31–7.41)	7.35–7.45
PaCO ₂ mmHg	40 (35–45)	42–55	36–45
PaO ₂ mmHg	95 (80–100)	30–50	50–80
Bicarbonate mEq·L ⁻¹	24 (22–30)	24–28	22–27
Base excess mEq·L ⁻¹	-3–3	-3–3	-3–3
O ₂ saturation %	>90	60–85	
Data from Dzierba <i>et al.</i> (2011).			

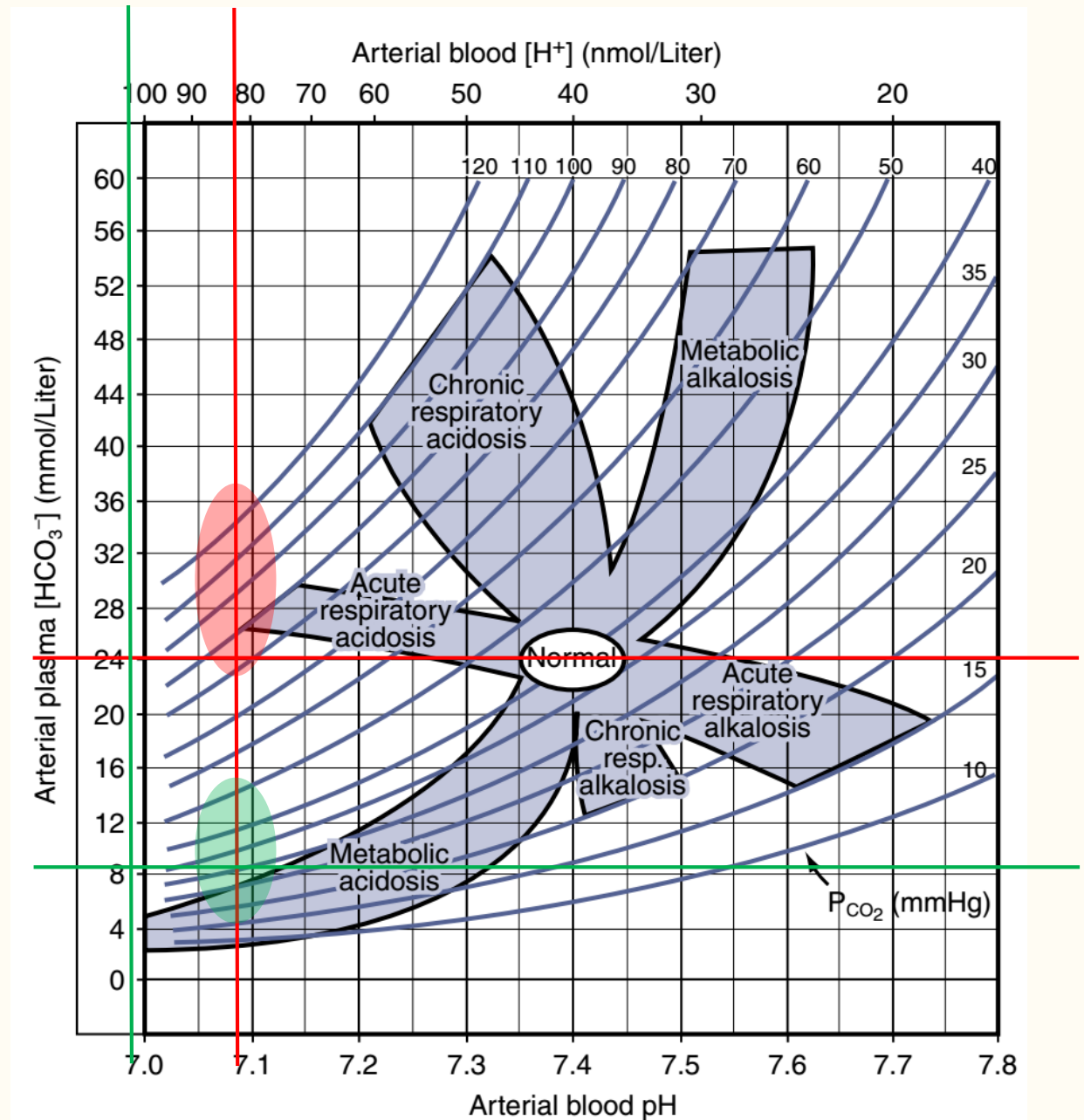
Compensadas?...

Jovem 17 A, insuf. resp. crónica,
internado por pneumonia extensa

pH	7.08
PCO ₂ (mmHg)	123
HCO ₃ (mmol/L)	24.0

RN 1h vida, asfixia PN

pH	6.87
PCO ₂ (mmHg)	49
HCO ₃ (mmol/L)	8.8

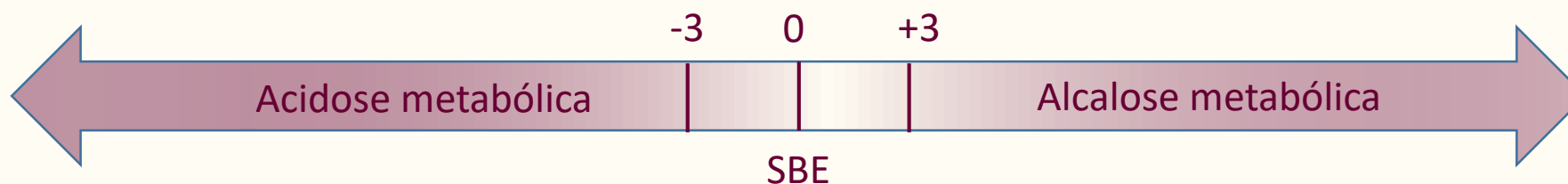


Excesso de base

- Melhor indicador de perturbação metabólica porque:
 - HCO_3 afetado por componentes metabólico e respiratório
 - Correlação acidose metabólica - $[\text{HCO}_3]$ não é sempre consistente ou linear
 - $[\text{HCO}_3]$ não é medida diretamente mas calculada

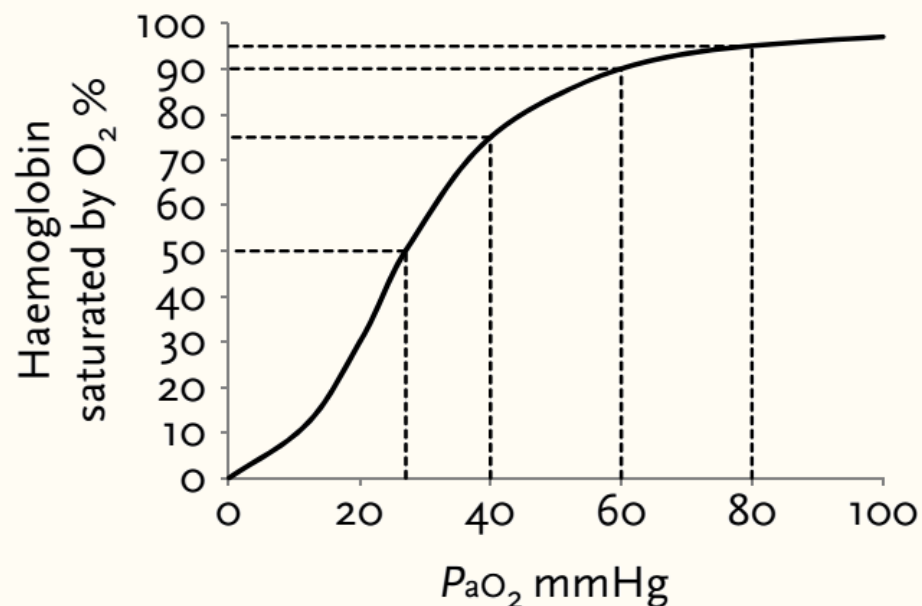
Excesso de base: quantidade de ácido (ou base) necessário para levar o pH de sangue normalmente oxigenado (*in vitro*) até 7.40 (a 37°C e pCO_2 de 40 mmHg)

Excesso de base *standard* (SBE): quantidade de ácido (ou base) necessário para levar o pH de fluidos extracelulares (*in vitro*) até 7.40. (a 37°C e pCO_2 de 40 mmHg)



Oxigenação

- Colheita arterial, utilização em Pediatria menos frequente.
- PaO_2 – pressão parcial de oxigénio (dissolvido no sangue)
- SaO_2 – oxigénio ligado a hemoglobina
- Em condições normais, se a $\text{PaO}_2 > 60 \text{ mmHg}$, $\rightarrow \text{SaO}_2 > 90\%$
- Considerar situações de desvio (pH, temperatura...)



- $\text{PaO}_2 / \text{FiO}_2$
 - Avaliação da adequação da oxigenação, considerando a fração inspirada de O_2
 - Se PaO_2 100 mmHg e FiO_2 0.21 $\rightarrow \text{PaO}_2/\text{FiO}_2 = 500$
 - Ratio aceitável / normal 300 a 500.
 - Valores < 250 – problema significativo trocas gasosas

Colheitas

- Classicamente, amostras arteriais → padrão
- Dificuldades colheitas, principalmente crianças
- Amostras capilares
 - Mistura sangue arteriolar, capilar e venoso (predomínio de arterial)
 - Razoável para interpretação de pH e PCO_2 , insuficiente para interpretação da PaO_2
 - Arterialização (aquecimento) pouco eficaz
- Amostras venosas periféricas
 - Aceitáveis para avaliação em situações respiratórias ligeiras a moderadas
 - Correlações aceitáveis de pH, bicarbonato e excesso de base se circulação periférica OK.
 - Diferenças venoso / arterial de PCO_2 – 5-7 mmHg
 - Aceitável para rastreio de hipercapnia ou monitorizar evolução, mas não deve ser o único método para diagnóstico de falência respiratória hipercápnica

Pormenores práticos e colheita análise

- Colheita em seringa adequada
- Colheita anaeróbica e anticoagulada
- Análise imediata (se não for possível, refrigerar e processar no máximo em 30')
- Introduzir no analisador dados importantes: temperatura, FiO_2 , tipo de amostra...)
- Fatores que podem influenciar resultados:
 - Tipo de seringa, principalmente se demora na análise
 - Presença de bolhas de ar na amostra (sobrevaloriza PaO_2 e subestima PCO_2)
 - Demasiada heparina como anticoagulante (subvaloriza pCO_2)
 - Calibração / manutenção incorretas do analisador

13A, distrofia miotónica, 1ª consulta

pH	7.32
PCO ₂ (mmHg)	60
HCO ₃ (mmol/L)	30.9

1.5M, pneumonia aspiração

pH	7.17
PCO ₂ (mmHg)	69
HCO ₃ (mmol/L)	21.7

5M, convulsões

pH	7.56
PCO ₂ (mmHg)	14
HCO ₃ (mmol/L)	11

Exercícios...

Table 3. Arterial and venous blood gas reference values

	Arterial blood	Venous blood	Capillary blood
pH	7.40 (7.35–7.45)	7.36 (7.31–7.41)	7.35–7.45
P _a CO ₂ mmHg	40 (35–45)	42–55	36–45
P _a O ₂ mmHg	95 (80–100)	30–50	50–80
Bicarbonate mEq·L ⁻¹	24 (22–30)	24–28	22–27
Base excess mEq·L ⁻¹	-3–3	-3–3	-3–3
O ₂ saturation %	>90	60–85	
Data from Dzierba <i>et al.</i> (2011).			

Resumo

- Fisiologia básica do equilíbrio ácido-base
 - pH
 - Mecanismos controlo pH
- Alterações equilíbrio ácido-base e compensação
- Interpretação alterações ácido-base
- Oxigenação na análise de gases do sangue
- Questões práticas – amostras, colheitas...

- <http://lifeinthefastlane.com/ccc/base-excess-vs-standard-base-excess/>
- http://cursoenarm.net/UPTODATE/contents/mobipreview.htm?9/45/9936?source=see_link
- The Harriet Lane Handbook. 20th edition, 2015. Elsevier Saunders
- ERS Pediatric Respiratory Medicine Handbook. 1st edition, 2013. European Respiratory Society
- Kendig and Chernick's Disorders of the Respiratory Tract in Children. 8th edition, 2012. Elsevier Saunders
- A.C. Guyton. Tratado de Fisiologia Medica. 6a edición, 1983. W.B. Saunders