

A INTERPRETAÇÃO DA GASOMETRIA ARTERIAL



Através da gasometria arterial, o médico é capaz de diagnosticar o distúrbio ácido-básico do paciente, com uma certa facilidade. Para compreendermos a interpretação deste exame, vamos rever alguns conceitos importantes – melhor detalhados nos APÊNDICES 2, 3, 4 e 5.

$$\text{pH} = 6,10 + \frac{\log \text{HCO}_3}{0,03 \times \text{PCO}_2}$$

O pH plasmático é determinado pela relação entre o bicarbonato (HCO_3^-) e o dióxido de carbono (CO_2). Esta relação pode ser contemplada pela fórmula de Henderson-Hasselbach – abaixo. Esta fórmula não precisa ser memorizada, mas ela reflete bem o conceito principal do equilíbrio ácido-básico do plasma: o pH plasmático depende da relação bicarbonato/ CO_2 . Estas substâncias se interconvertem em nosso plasma, pela reação química abaixo. Este é o **sistema bicarbonato- CO_2** , o principal sistema tampão do plasma – um sistema capaz de evitar variações bruscas do pH.



Simplesmente esqueça o ácido carbônico (H_2CO_3) e veja esta fórmula da seguinte maneira:



Perceba que o bicarbonato é a **base** do sistema, pois consome íons H^+ , enquanto que o CO_2 funciona como **ácido**, já que libera H^+ , após se transformar em ácido carbônico, por ação da anidrase carbônica das hemácias circulantes.

É fácil entender... O aumento da concentração plasmática da base (bicarbonato) eleva o pH, isto é, alcaliniza o sangue, pois a base consome H^+ . O aumento da concentração plasmática do ácido (CO_2), por outro lado, reduz o pH, ou seja, acidifica o sangue, pois o ácido libera H^+ .

O que o aparelho de Gasometria mede ?

O aparelho de gasometria só é capaz de medir o pH e os gases sanguíneos, sob a forma de pressão parcial do gás (PO_2 e PCO_2). Todos os outros parâmetros fornecidos pela gasometria são calculados, e não medidos. Devemos conhecer o valor normal.

pH normal = 7,35-7,45

PCO_2 normal = 35-45mmHg

Sabendo a PCO_2 , podemos calcular a verdadeira concentração de CO_2 no plasma:

$$\text{CO}_2 = 0,03 \times \text{PCO}_2$$

CO_2 normal = 1,05-1,35mEq/L

O HCO_3^- real (*actual HCO_3^-*) é calculado a partir do TCO_2 (total de CO_2). Como isto é feito?

Através de um pequeno artifício... O aparelho adiciona HCl (ácido clorídrico) ao sangue – o excesso de H^+ originado deste ácido forte combina-se com o bicarbonato, formando H_2CO_3 e depois $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$. Assim que todo o HCO_3^- for convertido em CO_2 , teremos o TCO_2 (total de CO_2), que representa o somatório do CO_2 ‘verdadeiro’ com o CO_2 proveniente do HCO_3^- . Isto equivale dizer que: $\text{TCO}_2 = \text{CO}_2 + \text{HCO}_3^-$. Ou seja: $\text{HCO}_3^- = \text{TCO}_2 - \text{CO}_2$. Pode-se escrever que:

$$\text{HCO}_3^- = \text{TCO}_2 - 0,03 \times \text{PCO}_2$$

(confira esta relação em qualquer gasometria...)

TCO_2 normal = 27-28mEq/L

HCO_3^- real normal = 22-26mEq/L

Utilizando o método de interpolação de Astrup, o aparelho (ou o próprio laboratorista) calcula outros parâmetros da gasometria, tais como o HCO_3^- padrão (*standard HCO_3^-*), o *buffer base* (BB) e o *base excess* (BE).

HCO_3^- padrão ou standard – o que é? É o HCO_3^- do sangue após a correção da PCO_2 para 40mmHg (PCO_2 normal). Veja para que serve... Sempre que temos um distúrbio da PCO_2 (distúrbios

respiratórios), o HCO_3^- real sofre uma alteração imediata, pela dinâmica da reação $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$. Se a PCO_2 estiver alta, o HCO_3^- real ficará mais alto e se a PCO_2 estiver baixa, o HCO_3^- real ficará mais baixo. O HCO_3^- standard não sofre esta influência. Este parâmetro só está alterado quando houver um excesso ou déficit real de bicarbonato no sangue do paciente, significando um distúrbio metabólico primário ou compensatório. HCO_3^- standard normal = **22-26mEq/L**.

Buffer Base (BB) – o que é? É o total de bases presente no fluido extracelular do paciente. Pode ser representado como BB_{ecf} (ecf é a abreviatura de *extracellular fluid*) Aqui o termo "fluido extracelular" inclui o interstício, o plasma e as hemácias. O bicarbonato é a principal, mas não é a única base deste compartimento. A hemoglobina das hemácias e algumas proteínas plasmáticas também funcionam como bases, contribuindo com o sistema tampão. O BB Pode ser "traduzido" como total de bases. Veja para que serve... É utilizado no cálculo do *base excess*. BB normal = **45-51mEq/L**.

Base Excess (BE) – o que é? É a diferença entre o *buffer base* do paciente e o *buffer base* normal (48mEq/L). Pode ser representado como BE_{ecf} (ecf é a abreviatura de *extracellular fluid*). Veja para que serve... Se o BE for positivo e maior que + 3,0mEq/L, significa que existe um aumento do total de bases, isto é, o organismo está retendo bases, devido a um distúrbio metabólico primário (alcalose metabólica – ver adiante) ou compensatório (retenção renal de HCO_3^- para compensar o aumento da PCO_2 de uma acidose respiratória crônica – ver adiante). Se o BE for negativo e menor que - 3,0mEq/L, significa que houve uma redução do total de bases, ou seja, o organismo perdeu bases, devido a um distúrbio metabólico primário (acidose metabólica – ver adiante) ou compensatório (excreção renal de HCO_3^- para compensar a diminuição da PCO_2 de uma alcalose respiratória crônica – ver adiante). O BE não se altera nos distúrbios respiratórios agudos, pois não há tempo hábil para a resposta compensatória renal. BE normal = **-3,0 a +3,0mEq/L**.

Obs.: O BE_{ecf} pode ser calculado diretamente por uma fórmula que depende do HCO_3^- real e do pH. Segue a fórmula:

$$\text{BE}_{\text{ecf}} = (\text{HCO}_3^- \text{ real} - 24) + 14,8 \times (\text{pH} - 7,40)$$

Esta fórmula não deve ser memorizada. Ela foi colocada apenas para o leitor ter uma idéia de como o BE é determinado pela maioria dos aparelhos de gasometria atuais.

INTERPRETAÇÃO DA GASOMETRIA ARTERIAL

Vamos aprender de uma forma bem simples a interpretar uma gasometria arterial. Por enquanto, esqueça a PO_2 e a SatO_2 , estamos interessados apenas no perfil ácido-básico.

O diagnóstico do distúrbio ácido-básico pela gasometria necessita apenas de três parâmetros: pH, PCO_2 e HCO_3^- . Os outros elementos dados pelo método (HCO_3^- standard e BE_{ecf} principalmente) auxiliam no diagnóstico, mas não são essenciais para tal.

Antes de ensinarmos os macetes para a interpretação gasométrica, temos que definir os distúrbios ácido-básicos. São quatro: acidose respiratória, alcalose respiratória, acidose metabólica, alcalose metabólica (ver tabela abaixo).

Vamos lá: Como interpretar a gasometria?

Passo 1: Olhe para o pH – está normal, ácido ou alcalino em relação à faixa normal (7,35-7,45)?

Se o pH estiver ácido (acidemia), é por que existe uma acidose. Se o pH estiver alcalino (alcalemia), é por que existe uma alcalose. Se o pH estiver normal, de duas uma: ou não há distúrbio ácido-básico, ou há dois distúrbios que se compensaram.

Passo 2: Qual o distúrbio ácido-básico que justifica este pH?

Distúrbios Respiratórios	Distúrbios Metabólicos
*ACIDOSE RESPIRATÓRIA	*ACIDOSE METABÓLICA
O aumento da PCO_2 faz cair o pH $\text{PCO}_2 > 45\text{mmHg}$ $\text{pH} < 7,35$	A redução do HCO_3^- faz cair o pH $\text{HCO}_3^- < 22\text{mEq/L}$ $\text{pH} < 7,35$
*ALCALOSE RESPIRATÓRIA	*ALCALOSE METABÓLICA
A redução da PCO_2 faz o pH elevar-se $\text{PCO}_2 < 35\text{mmHg}$ $\text{pH} > 7,45$	O aumento do HCO_3^- faz o pH elevar-se $\text{HCO}_3^- > 26\text{mEq/L}$ $\text{pH} > 7,45$

(*) Os distúrbios estão na forma "pura", isto é, não há distúrbio misto. Estes últimos serão descritos adiante.

pH ácido (< 7,35):

Pode ser justificado pelo aumento da PCO_2 (acidose respiratória) ou pela redução do HCO_3 (acidose metabólica).

pH alcalino (> 7,45):

Pode ser justificado pela redução da PCO_2 (alcalose respiratória) ou pelo aumento do HCO_3 (alcalose metabólica).

Interprete as gasometrias arteriais abaixo (obtidas de casos reais):

Gaso 1: pH = 7,52 / PCO_2 = 20mmHg / HCO_3 = 16mEq/L

Gaso 2: pH = 7,30 / PCO_2 = 27mmHg / HCO_3 = 13mEq/L

Gaso 3: pH = 7,33 / PCO_2 = 60mmHg / HCO_3 = 31mEq/L

Gaso 4: pH = 7,47 / PCO_2 = 44mmHg / HCO_3 = 31mEq/L

Vamos às respostas...

Gaso 1: Como está o pH? Alto. Qual é a alcalose? PCO_2 baixo – Alcalose Respiratória.

Gaso 2: Como está o pH? Baixo. Qual é a acidose? HCO_3 baixo – Acidose Metabólica.

Gaso 3: Como está o pH? Baixo. Qual é a acidose? PCO_2 alto – Acidose Respiratória.

Gaso 4: Como está o pH? Alto. Qual é a alcalose? HCO_3 alto – Alcalose Metabólica.

Uma observação importante: quando o distúrbio ácido-básico é leve, o pH pode encontrar-se no limite da faixa normal. Veja o exemplo...

Gaso 5: pH = 7,36 / PCO_2 = 36mmHg / HCO_3 = 20mEq/L

Como está o pH? No limite inferior. Existe alguma acidose leve? Sim – acidose metabólica.

DISTÚRBIOS ÁCIDO-BÁSICOS MISTOS

Se os distúrbios ácido-básicos mistos não existissem, a interpretação da gasometria seria uma tarefa muito fácil. Mas eles existem e não são raros. Vamos apresentar algumas regras e macetes para o diagnóstico dos distúrbios mistos. Para compreendê-los, primeiramente temos que descrever um outro conceito de extrema importância nos distúrbios ácido-básicos – a resposta compensatória.

Resposta Compensatória

Como o pH plasmático depende diretamente da relação HCO_3/CO_2 , a resposta compensatória de um distúrbio ácido-básico visa manter esta relação o mais próximo possível do normal. Por exemplo, como seria a resposta compensatória de uma acidose metabólica. Ora... por definição, a acidose metabólica é decorrente da redução do HCO_3 . Na tentativa de manter a relação, o organismo responde reduzindo a PCO_2 , através de uma hiperventilação compensatória (respiração de Kussmaul). Portanto, na acidose metabólica “pura” devemos encontrar, além de um HCO_3 baixo, também uma PCO_2 baixa. Na acidose respiratória crônica, o aumento primário de PCO_2 deve ser compensado com um aumento do HCO_3 , através da retenção renal de bicarbonato.

De uma forma geral, podemos fazer duas generalizações sobre a resposta compensatória aos distúrbios ácido-básicos:

Regras da Resposta Compensatória

1- A resposta compensatória é sempre no mesmo sentido do distúrbio primário: a redução do HCO_3 (acidose metabólica) deve ser acompanhada de uma redução da PCO_2 ; o aumento da PCO_2 (acidose respiratória) deve ser acompanhado pelo aumento do HCO_3 ; o aumento do HCO_3 (alcalose metabólica) deve ser acompanhado pelo aumento da PCO_2 ; a redução da PCO_2 (alcalose respiratória) deve ser acompanhada pela redução do HCO_3 .

2- Excetuando-se os distúrbios leves, podemos dizer que a resposta compensatória nunca é completa, isto é, não corrige o pH para a faixa normal. A resposta compensatória apenas evita que haja uma grande variação do pH plasmático, o que poderia ser fatal para o paciente.

Retorne às gasometrias 1, 2, 3 e 4 e observe a resposta compensatória de cada distúrbio ácido-básico. Nesses quatro casos, houve uma resposta compensatória normalmente esperada.

Agora já podemos descrever as regras e macetes para o diagnóstico dos distúrbios mistos... Analise a seguinte gasometria:

Gaso 6: pH = 7,05 / PCO_2 = 55mmHg / HCO_3 = 15mEq/L

Se o pH está ácido, é por que existe acidose. Qual é a acidose? Como você está percebendo, existe tanto uma acidose respiratória (PCO_2 alta) como uma acidose metabólica (HCO_3 baixa). Por isso, o pH encontra-se muito baixo. Como veremos no capítulo seguinte, este pH tão baixo põe em risco a vida do paciente. Trata-se de uma **acidose mista**. Neste caso, a primeira regra sobre

a resposta compensatória não pôde ser respeitada. Aliás, não houve resposta compensatória.

Análise agora esta...

Gas 7: pH = 7,80 / PCO_2 = 20mmHg / HCO_3 = 30mEq/L

Se o pH está alcalino, é por que existe alcalose. Qual é a alcalose? Na verdade existem duas alcaloses – respiratória (PCO_2 baixa) e metabólica (HCO_3 alto). Por isso, o pH está extremamente alto, pondo em risco a vida do paciente. Trata-se de uma **alcalose mista**.

Na acidose mista e na alcalose mista o pH costuma estar bastante alterado, o que pode por em risco a vida do paciente.

Veja com muita atenção esta gasometria;

Gas 8: pH = 7,42 / PCO_2 = 19mmHg / HCO_3 = 12mEq/L

Como está o pH? Está normal. Mas observe a PCO_2 e o HCO_3 – estão bastante alterados. O que aconteceu é que existem dois distúrbios ácido-básicos graves que se compensaram mutuamente, mantendo o pH normal. Neste caso, trata-se de uma alcalose respiratória (PCO_2 baixa) associada à uma acidose metabólica (HCO_3 baixo). Aproveite e veja mais este exemplo:

Gas 9: pH = 7,42 / PCO_2 = 60mmHg / HCO_3 = 38mEq/L

Mais uma vez o pH está normal, apesar de uma grande alteração da PCO_2 e do HCO_3 . Os dois distúrbios estão se compensando. Trata-se de uma acidose respiratória (PCO_2 alta) associada à uma alcalose metabólica (HCO_3 alta).

Quando estamos diante de um pH normal e ao mesmo tempo amplas variações da PCO_2 e do HCO_3 , com certeza existe um distúrbio ácido-básico misto – uma acidose associada a uma alcalose.

A última regra exige um pouco de cálculo matemático. Mas não se assuste, pois é muito simples. Olhe esta gasometria.

Gas 10: pH = 7,11 / PCO_2 = 32mmHg / HCO_3 = 10mEq/L

Como está o pH? Baixo. Qual é a acidose? HCO_3 baixo – Acidose Metabólica.

Tudo bem... Você fez o diagnóstico... Contudo, existe um problema além da acidose metabólica nesta gasometria: a resposta compensatória foi aquém do esperado. Em uma acidose metabólica grave como esta, em que o HCO_3 está 10mEq/L, era para a PCO_2 ter caído mais – para em torno de 23mmHg. Portanto,

existe um segundo distúrbio que aumentou a PCO_2 de 23mmHg para 32mmHg – uma acidose respiratória. Trata-se, portanto, de um distúrbio misto.

Para descobrir este tipo de distúrbio misto, devemos saber qual é a PCO_2 esperada na acidose metabólica.

$$PCO_2 \text{ esperada} = (1,5 \times HCO_3) + 8$$

No exemplo acima, com um HCO_3 = 10mEq/L, pela fórmula, esperar-se-ia uma PCO_2 de 23mmHg.

Qualquer um dos 4 tipos de distúrbio ácido-básico “puro” possui a sua resposta compensatória esperada:

Resposta Compensatória Esperada

ACIDOSE METABÓLICA:

$$PCO_2 \text{ esperada} = (1,5 \times HCO_3) + 8$$

ALCALOSE METABÓLICA:

$$PCO_2 \text{ esperada} = HCO_3 + 15$$

ACIDOSE RESPIRATÓRIA CRÔNICA:

HCO_3 aumenta 3,5mEq/L para cada 10mmHg de aumento da PCO_2

ALCALOSE RESPIRATÓRIA CRÔNICA:

HCO_3 cai 4mEq/L para cada 10mmHg de redução da PCO_2

BICARBONATO STANDARD E BASE EXCESS

Vamos mostrar através de exemplos como o HCO_3 standard e o base excess podem ajudar no diagnóstico gasométrico. Antes de continuar, releia a definição de bicarbonato standard e base excess no início deste capítulo.

Observe esta gasometria e dê o seu diagnóstico:

Gas 11:

pH = 7,18 / PCO_2 = 80mmHg / HCO_3 real = 29mEq/L

HCO_3 standard = 24mEq/L

Base excess = 0,0mEq/L

Como está o pH? Baixo. Qual é a acidose? PCO_2 alta – Acidose Respiratória.

Veja que existe um aumento do HCO_3 real, mas o HCO_3 standard e o base excess estão normais. Por quê? O que acontece é que o aumento do HCO_3 real é decorrente apenas da reação:



que foi deslocada para a esquerda, pelo aumento do CO_2 . Como não houve tempo de os rins reterem bicarbonato, o HCO_3 standard encontra-se normal e o base excess não se modificou. Conclusão: trata-se de uma acidose respiratória **aguda**. Este paciente está evoluindo com hipoventilação aguda e, se não for logo intubado, terá uma parada cardíaco-respiratória.

Compare a gasometria 11 com esta:

Gas 12:

pH = 7,35 / PCO_2 = 80mmHg / HCO_3 real = 42mEq/L
 HCO_3 standard = 37mEq/L
 Base excess = +5,0mEq/L

Nesta acidose respiratória, o HCO_3 standard está aumentado e o base excess mostra retenção de bases. Neste caso, houve tempo suficiente para os rins acumularem bicarbonato necessário para uma boa resposta compensatória. Conclusão: trata-se de uma acidose respiratória **crônica**. Este paciente não precisa ser intubado.

Veja as gasometrias seguintes:

Gas 13:

pH = 7,62 / PCO_2 = 20mmHg / HCO_3 real = 19mEq/L
 HCO_3 standard = 24mEq/L
 Base excess = 0,0mEq/L

Gas 14:

pH = 7,46 / PCO_2 = 20mmHg / HCO_3 real = 13mEq/L
 HCO_3 standard = 18mEq/L
 Base excess = -11mEq/L

Conclua você mesmo que a gas 13 corresponde a uma alcalose respiratória aguda e a gas 14 corresponde a uma alcalose respiratória crônica (pois houve uma perda compensatória de bicarbonato pelos rins). No primeiro caso, é provável que o paciente encontra-se sintomático (tontura, sonolência), enquanto que no segundo caso, provavelmente o paciente está assintomático.

Podemos resumir tudo isto numa regra geral:

O HCO_3 standard e o base excess são parâmetros importantes para diferenciarmos os distúrbios respiratórios agudos – geralmente graves – dos distúrbios respiratórios crônicos – geralmente sem repercussão clínica importante. *Nos primeiros, estes parâmetros estão dentro da faixa normal, enquanto que nos últimos, apresentam-se sempre alterados.*

O base excess também ajuda a estimar a gravidade dos distúrbios metabólicos. Um BE menor que -10mEq/L é um critério de acidose metabólica grave, e um BE maior que +10mEq/L é um critério de alcalose metabólica grave.

O base excess também é utilizado para se calcular a fórmula de reposição de bicarbonato de sódio no paciente com acidose metabólica grave.

SUGESTÕES BIBLIOGRÁFICAS

1. Rose, BD, Post, TW, *Clinical Physiology of Acid-Base and Electrolyte Disorders*, 5th ed, McGraw-Hill, New York, 2001, pp. 542-545.
2. Bushinsky, DA, Coe, FL, Katzenberg, C, et al. Arterial PCO_2 in chronic metabolic acidosis. *Kidney Int* 1982; 22:311.
3. Pierce, NF, Fedson, DS, Brigham, KL, et al. The ventilatory response to acute base deficit in humans. The time course during development and correction of metabolic acidosis. *Ann Intern Med* 1970; 72:633.
4. Javaheri, S, Shore, NS, Rose, BD, Kazemi, H. Compensatory hypoventilation in metabolic alkalosis. *Chest* 1982; 81:296.
5. Javaheri, S, Kazemi, H. Metabolic alkalosis and hypoventilation in humans. *Am Rev Respir Dis* 1987; 136:1011.
6. Polak, A, Haynie, GD, Hays, RM, Schwartz, WB. Effects of chronic hypercapnia on electrolyte and acid-base equilibrium. I. Adaptation. *J Clin Invest* 1961; 40:1223.
7. van Ypersele de Strijbe, C, Brasseur, L, de Coninck, J. The "carbon dioxide response curve" for chronic hypercapnia in man. *N Engl J Med* 1966; 275:117.
8. Arbus, GS, Hebert, LA, Levesque, PR, et al. Characterization and clinical application of "the significance band" for acute respiratory alkalosis. *N Engl J Med* 1969; 280:117.
9. Krapf, R, Beeler, I, Hertner, D, Hultner, HN. Chronic respiratory alkalosis – The effect of sustained hyperventilation on renal regulation of acid-base equilibrium. *N Engl J Med* 1991; 324:1394.
10. Gennari, FJ, Goldstein, MB, Schwartz, WB. The nature of the renal adaptation to chronic hypocapnia. *J Clin Invest* 1972; 51:1722.
11. Rose, BD, Post, TW, *Clinical Physiology of Acid-Base and Electrolyte Disorders*, 5th ed, McGraw-Hill, New York, 2001, pp. 615-619.
12. Recommendations of the British Thoracic Society and the Association of Respiratory Technicians and Physiologists. *Respir Med* 1994; 88:165.
13. Lightowler, JV, Elliot, MW. Local anaesthetic infiltration prior to arterial puncture for blood gas analysis: A survey of current practice and a randomised double blind placebo controlled trial. *J R Coll Physicians Lond* 1997; 31:645.
14. Bageant, RA. Variations in arterial blood gas measurements due to sampling techniques. *Respir Care* 1975; 20:565.
15. Harsten, A, Berg, B, Inerot, S, Muth, L. Importance of correct handling of samples for the results of blood gas analysis. *Acta Anaesthesiol Scand* 1988; 32:365.
16. Evers, W, Racz, GB, Levy AA. A comparative study of plastic (polypropylene) and glass syringes in blood-gas analysis. *Anesth Analg* 1972; 51:92.
17. Smeenk, FW, Janssen, JD, Arends, BJ, et al. Effects of four different methods of sampling arterial blood and storage time on gas tensions and shunt calculation in the 100% oxygen test. *Eur Respir J* 1997; 10:910.
18. Williams, AJ. ABC of oxygen - Assessing and interpreting arterial blood gases and acid-base balance. *BMJ* 1998; 317:1213.
19. Mueller, RG, Lang, GE, Beam, JM. Bubbles in samples for blood gas determinations: A potential source of error. *Am J Clin Pathol* 1976; 65:242.
20. Hansen, JE, Simmons, DH. A systematic error in the determination of blood PCO_2 . *Am Rev Respir Dis* 1977; 115:1061.