

Gasometria neonatal: interprete certo, passo a passo

Qualidade da amostra, regras de compensação, anion gap neonatal, fórmula de Winters e índices de oxigenação.



REFERÊNCIAS

1. Travers C, Ambalavanan N. Blood gases: technical aspects and interpretation. In: Keszler M, Gautham KS, eds. *Goldsmith's Assisted Ventilation of the Neonate*. 7ª ed. Elsevier; 2022. Cap. 10, p. 94–110.
2. Mathew B, Lakshminrusimha S. Noninvasive monitoring of gas exchange. In: *Goldsmith's Assisted Ventilation of the Neonate*. 7ª ed. Elsevier; 2022. Cap. 11.
3. Albert MS, Dell RB, Winters RW. Quantitative displacement of acid-base equilibrium in metabolic acidosis. *Ann Intern Med*. 1967;66:312–22.
4. Adrogué HJ, Madias NE. Secondary responses to altered acid-base status: the rules of engagement. *J Am Soc Nephrol*. 2010;21:920–3.
5. Berend K, de Vries AP, Gans RO. Physiological approach to assessment of acid-base disturbances. *N Engl J Med*. 2014;371:1434–45.
6. Lorenz JM, Kleinman LI, Markarian K, et al. Serum anion gap in the differential diagnosis of metabolic acidosis in critically ill newborns. *J Pediatr*. 1999;135:751–5.
7. Kraut JA, Madias NE. Serum anion gap: its uses and limitations in clinical medicine. *Clin J Am Soc Nephrol*. 2007;2:162–74.
8. *The Harriet Lane Handbook*. 23ª ed. Elsevier; 2023. Tabela 11.14.
9. Kliegman RM, St Geme JW III, Blum NJ, et al. *Nelson Textbook of Pediatrics*. 22ª ed. Elsevier; 2025.
10. Mammel MC, van Kaam AHL, Donn SM, eds. *Manual of Neonatal Respiratory Care*. 5ª ed. Springer; 2022.

Seis passos, em toda gasometria

A gasometria arterial continua sendo o padrão-ouro para avaliar oxigenação e ventilação no recém-nascido grave, mas só se for interpretada corretamente.

PASSO 0

A amostra é confiável?

Bolhas de ar, diluição, atraso, coleta capilar, HbF, temperatura.

PASSO 1

pH

Acidemia ou alcalemia?

PASSO 2

PaCO_2 + pH esperado

O CO_2 explica todo o pH?

PASSO 3

HCO_3^- / BE / lactato

Componente metabólico e sua origem.

PASSO 4

Compensação esperada

Winters, regra da alcalose, regra da acidose respiratória.

PASSO 5

Anion gap + oxigenação

Faixa neonatal do AG, CaO_2 , IO, OSI, AaDO_2 .

Uma gasometria muito diferente da anterior é **uma mudança importante no paciente** ou **um erro de medida**. Nunca a interprete sem o quadro clínico.

Os erros acontecem **antes** do analisador

Os erros pré-analíticos (coleta e manuseio) são os que o clínico mais encontra.

Problema	Efeito no resultado
Bolhas de ar	A PaCO_2 cai. A PaO_2 tende a ~150 mmHg (sobe se estava abaixo, cai se estava acima). Até um scalp expõe ar suficiente.
Diluição com soro	A PaCO_2 cai e o déficit de base aumenta, quase sem mudar o pH: simula acidose metabólica + alcalose respiratória.
Emulsão lipídica · heparina	Sem efeito relevante.
Atraso no processamento	As células continuam consumindo O_2 . $\text{PaO}_2/\text{SaO}_2$ estáveis por até 30 min (em temperatura ambiente ou no gelo); a PaCO_2 sobe após 20 min, sem significado clínico.
Lactato	Processar em até 15 min , ou ocorre o aumento na espera.

Retire todas as bolhas de ar antes de colocar a amostra no analisador.

Três armadilhas exclusivas da UTI neonatal

1 · Amostra capilar arterializada

- CAU e calcanhar aquecido, coletados ao mesmo tempo: a capilar **prediz mal** o pH, a PaCO_2 e a PaO_2 arteriais.
- Mais útil no RN em ventilação crônica, para acompanhar **grandes variações** de pH e PaCO_2 .
- Nunca ajuste a FiO_2 por uma PaO_2 capilar.

2 · Hemoglobina fetal e a SaO_2 do laudo

- A maioria dos analisadores **calcula** a SaO_2 a partir da PaO_2 , supondo hemoglobina adulta.
- Com HbF alta (curva desviada para a esquerda), a saturação calculada fica **falsamente baixa**.
- Precisa do valor real? Use a **co-oximetria**.

3 · Temperatura (hipotermia terapêutica)

- Os analisadores informam a 37°C ; o RN em hipotermia está a $33,5\text{--}34,5^\circ\text{C}$.
- O resultado a 37°C pode não refletir o estado real do paciente, e não há consenso sobre a correção.
- Alguns serviços informam os valores: **corrigidos e não corrigidos**.

Primeiro o pH: de que lado estamos?

7,35 – 7,45

pH normal

 $\text{HCO}_3^- : \text{CO}_2 = 20 : 1$

Tampão ácido carbônico-bicarbonato

- Em toda a faixa de pH compatível com a vida (6,9–7,6), a $[\text{H}^+]$ varia **menos de 0,13 mmol/L**: o controle é muito estreito.
- A compensação ("resposta secundária") leva o pH **em direção** ao normal, mas em geral não corrige totalmente nem hipercorrige.
- Resposta **respiratória**: começa quase imediatamente e age em minutos.
- Resposta **renal**: começa em 6–12 h e leva **3–5 dias**.

Distúrbio primário	pH	Alteração primária
Acidose respiratória	↓	$\text{PaCO}_2 \uparrow$
Alcalose respiratória	↑	$\text{PaCO}_2 \downarrow$
Acidose metabólica	↓	$\text{HCO}_3^- \downarrow$ (BE mais negativo)
Alcalose metabólica	↑	$\text{HCO}_3^- \uparrow$

pH "normal" com PaCO_2 e HCO_3^- alterados é **distúrbio misto** até prova em contrário.

O CO_2 explica o pH?

PaCO_2 normal: 35–45mmHg. Uma mudança aguda da PaCO_2 altera o pH em uma quantidade previsível.

Hipercapnia: pH esperado = $7,40 - (\text{PaCO}_2 - 40) \times 0,006$

Hipocapnia: pH esperado = $7,40 + (40 - \text{PaCO}_2) \times 0,01$

Exemplo: PaCO_2 55 mmHg $\rightarrow 15 \times 0,006 = 0,09 \rightarrow$ pH esperado **7,31**.
Se o pH medido diferir **mais de $\pm 0,03$** , há necessariamente um **distúrbio metabólico**.

- Ventilação alveolar = $\text{FR} \times (\text{V}_C - \text{espaço morto})$. O espaço morto pode chegar a **20% do V_C** no RN de extremo baixo peso intubado.
- Esta checagem funciona sem olhar o HCO_3^- nem o BE.

Excesso de base e lactato: conheça os limites

Excesso de base / déficit de base

- Quantidade de ácido ou base necessária para levar o pH a 7,4 com PaCO_2 normal.
- Derivado de **nomogramas**: os valores **diferem entre fabricantes de analisadores**.
- O HCO_3^- do laudo da gasometria é **calculado**, não medido.

Lactato

- RN a termo: em geral **$< 2,0 \text{ mmol/L}$** (use os valores de referência locais).
- Os valores arterial, venoso e capilar se correlacionam bem. Processar em até 15 min.
- O maior lactato nas primeiras horas prediz **EHI moderada a grave** após asfixia intraparto.
- Distingue **produção de ácido** (oferta de O_2 insuficiente) de **perda de bicarbonato** (ex.: acidose tubular renal).

Fórmula de Winters: a ventilação está acompanhando?

✓ Disponível no NeoFast

$$\text{pCO}_2 \text{ esperada} = 1,5 \times \text{HCO}_3^- + 8 (\pm 2) \text{ mmHg}$$

Exemplo: HCO_3^- 12 → pCO_2 esperada **26** (24–28 mmHg)

- pCO_2 medida **acima** da faixa → **acidose respiratória** associada.
- pCO_2 medida **abaixo** da faixa → **alcalose respiratória** associada.
- No RN em ventilação mecânica, a "resposta respiratória" são os **parâmetros do seu ventilador**.

←

neofast

Fórmula de Winters - Compensação do PCO_2 esperado na acidose metabólica

HCO₃ (mEq/L)

12

26 mmHg

PCO₂ esperado: pressão parcial de gás carbônico esperad...

24 mmHg - 28 mmHg

Intervalo do PCO₂ esperado

Interpretação do resultado

Compare o PCO₂ calculado com o PCO₂ do paciente obtido na gasometria da seguinte forma:

- PCO₂ do paciente é maior que o PCO₂ calculado (esperado): o paciente apresenta uma acidose respiratória associada (hipoventilação).
- Valores iguais (dentro da faixa ± 2): a compensação respiratória é adequada. Trata-se de uma acidose metabólica pura.
- PCO₂ do paciente é menor que o PCO₂ calculado (esperado): o paciente apresenta uma alcalose respiratória associada (hiperventilação).

Nota: fórmula utilizada: $\text{PCO}_2 = (1,5 \times [\text{HCO}_3]) + 8$. (intervalo ± 2)

III

O

<

Anion gap: use a faixa neonatal

✓ Disponível no NeoFast

$$AG = Na^{+} - (Cl^{-} + HCO_3^{-})$$

Sem potássio · mEq/L

AG (mEq/L)	Interpretação
4 – 12	Faixa neonatal normal (8 ± 4)
> 12	Aumentado
> 16	Na acidose metabólica, sugere acidose láctica

- Entre 8 e 16, o AG não diferencia as causas.
- Faixa obtida de RN graves na 1ª semana.
- Varia com o analisador.

←

neofast

Anion gap

Σ FÓRMULA

AG = Na⁺ – (Cl[–] + HCO₃[–])

Na⁺ (mEq/L)

Na⁺ em mEq/L, de 100 a 200

Cl[–] (mEq/L)

Cl[–] em mEq/L, de 50 a 150

HCO₃[–] (mEq/L)

HCO₃[–] em mEq/L, de 1 a 60

Anion gap corrigido pela albumina

>

Observações

O cálculo não inclui potássio. A faixa neonatal vem de RN gravemente enfermos na 1ª semana de vida (Lorenz 1999) e varia com o analisador. Na acidose metabólica, AG acima de 16 sugere acidose láctica; entre 8 e 16 não diferencia as causas (Lorenz 1999).

Na⁺, Cl[–] e HCO₃[–]: 1 mEq/L = 1 mmol/L.

Alcalose metabólica: muitas vezes iatrogênica

✓ Disponível no NeoFast

$$pCO_2 \text{ esperada} = 20 + 0,7 \times (HCO_3^-) (\pm 5) \text{ mmHg}$$

Exemplo: HCO_3^- 34 → pCO_2 esperada **43,8** (38,8 – 48,8 mmHg)

Causas neonatais

- Acidose respiratória crônica compensada com $PaCO_2$ **reduzida** rápida demais.
- Diuréticos crônicos (hipocloremia); perdas gástricas.
- Excesso de acetato na NP; citrato após exsanguineotransfusão.

←

neofast

pCO₂ esperado na alcalose metabólica

Σ FÓRMULA

Regra 1 (Oh's): $pCO_2 = 0,9 \times HCO_3^- + 9 (\pm 2) \text{ mmHg}$
Regra 2 (Boston): $pCO_2 = 0,7 \times HCO_3^- + 20 (\pm 5) \text{ mmHg}$
Regra 3 (Adrogué e Madias; Harriet Lane): $pCO_2 = 40 + 0,7 \times (HCO_3^- - 24) \text{ mmHg}$

HCO₃⁻ (mEq/L)

34

HCO₃⁻ em mEq/L, de 15 a 60

39,60 mmHg (37,60 a 41,60)

pCO₂ esperado, regra 1: $0,9 \times HCO_3^- + 9$

43,80 mmHg (38,80 a 48,80)

pCO₂ esperado, regra 2: $0,7 \times HCO_3^- + 20$

47,00 mmHg

pCO₂ esperado, regra 3: $40 + 0,7 \times (HCO_3^- - 24)$

Observações

Acidose respiratória: aguda ou crônica?

✓ Disponível no NeoFast

Fase	Aumento esperado do HCO_3^-
Aguda	+1 mEq/L a cada 10 mmHg de aumento da pCO_2
Crônica > 2-5 dias	≈ +4 (3,5-5) mEq/L a cada 10 mmHg de aumento da pCO_2

Exemplo: RN com DBP, pCO_2 60 mmHg há semanas → HCO_3^- esperado ≈ $24 + 2 \times (3,5-4) = 31-32 \text{ mEq/L}$.

- HCO_3^- menor que o esperado → acidose metabólica associada.
- HCO_3^- maior que o esperado → alcalose metabólica associada (ex.: diuréticos).

<
neofast

Equilíbrio ácido-base

ACIDOSE METABÓLICA

Fórmula de Winters >

Anion gap >

Anion gap corrigido pela albumina >

ALCALOSE METABÓLICA

pCO_2 esperado na alcalose metabólica >

ACIDOSE RESPIRATÓRIA
Compensação metabólica esperada

Fase aguda + 1 mEq/L de HCO_3^- para cada 10 mmHg de aumento da pCO_2

Fase crônica cerca de + 4 (3,5 a 5) mEq/L de HCO_3^- para cada 10 mmHg de aumento da pCO_2

Crônica: 2 a 5 dias (Berend 2014).

Referência

- Fórmula de Winters: Albert MS, Dell RB, Winters RW. Quantitative displacement of acid-base equilibrium in metabolic acidosis. Ann Intern Med 1967;66:312-22.
- Acidose respiratória: Adrogué HJ, Madias NE. Secondary responses to altered acid-base status: the rules of engagement. J Am Soc Nephrol 2010;21:920-3.
- Acidose respiratória: The Harriet Lane Handbook. 23ª ed. Elsevier; 2023. Tabela 11.14.
- Acidose respiratória: Berend K, de Vries AP, Gans RO. Physiological approach to assessment of acid-base disturbances. N Engl J Med 2014;371:1434-45. Tabela 1.

Bicarbonato de sódio: raramente, e devagar

✓ Disponível no NeoFast

Não é para uso rotineiro. **Não é mais recomendado na RCP.** Pode ser prejudicial na hipóxia com acidose metabólica: trate a causa e restaure a oferta de O_2 .

$$HCO_3^- \text{ (mEq)} = \text{déficit de base} \times \text{peso (kg)} \times 0,3$$

- Bicarbonato a 8,4% (1 mEq/mL) diluído 1:1 em água destilada → 0,5 mEq/mL.
- Infundir lentamente, de preferência em **30–60 min** ou 1 mEq/Kg/h.
- Gera CO_2 : cuidado na **acidose mista**, a menos que o volume-minuto aumente.
- O **NeoFast** sugere infundir a 1 mEq/kg/h e coloca o resultado na tela, simples e rápido.

←

neofast

Déficit de bicarbonato

Peso (Kg)

2

HCO_3^- desejado (mEq/L)

24

HCO_3^- atual do paciente (mEq/L)

15

Valor da gasometria do paciente

5,4 mEq

Déficit de bicarbonato · ΔHCO_3^- 9 mEq/L

O app converte esta dose em mL de bicarbonato a 8,4% na seção Medicamentos:

Bicarbonato de sódio (acidose metabólica)

Nota: HCO_3^- necessário (mEq) = (HCO_3^- desejado – HCO_3^- atual) × 0,3 × peso (kg). Para o bicarbonato, 1 mEq = 1 mmol (íon monovalente), por isso os dois valores coincidem.

neofast

Medicamentos

Bicarbonato de sódio

Acidose metabólica (cálculo com base no déficit de base)

Calcular o déficit de HCO_3^-

Já tenho o déficit de HCO_3^-

8,4%

mEq/L

mg/dl

Peso (Kg)

2

déficit de HCO_3^- (mEq/L)

5,4

Bicarbonato de sódio

Já tenho o déficit de HCO_3^- - 8,4%

Dose	3,24mEq
Dose	3,24mL
Diluição	
Diluir a dose em mL com AD	3,24mL
Concentração final após diluição	0,5mEq/mL
Volume total a ser administrado	6,48mL
Tempo de infusão (a 1 mEq/kg/h)	1h38min
Velocidade de infusão (solução a 0,5 mEq/mL)	4mL/h

PaO₂ não é conteúdo de oxigênio

✓ Disponível no NeoFast

$$\text{CaO}_2 = (\text{Hb} \times 1,34 \times \text{SaO}_2) + (\text{PaO}_2 \times 0,0031)$$

Exemplo: Hb 15, SaO₂ 95%, PaO₂ 60 → **19,3 mL/dL**, dos quais só 0,2 está dissolvido.

- A hemoglobina transporta quase todo o O₂: aumentar a PaO₂ acrescenta muito pouco.
- A HbF desvia a curva para a **esquerda**: SaO₂ maior com a mesma PaO₂. A transfusão de Hb adulta a desloca de volta.
- A oferta de O₂ também depende do débito cardíaco (120–150 mL/kg/min).

<
neofast

Conteúdo Arterial de Oxigênio - CaO2

Σ FÓRMULA

CaO2 = (Hb × 1,34 × SaO2) + (PaO2 × 0,0031)

Hb (g/dL)

SaO2

Valores entre 0 a 1,0, onde 1 equivale a 100%.

PaO2 (mmHg)

Valores de referência

Normal: 18 – 20 mL/dL. O conteúdo venoso de referência é de 13 a 16 mL/dL, e a diferença arteriovenosa, de 4 a 5,5 mL/dL.

Fonte: Knobel.

Referência

- Elias Knobel, Adalberto Stape, Eduardo Juan Troster, Alice D'Agostini Deutsch - Terapia Intensiva: Pediatria e Neonatologia - Atheneu, p. 851 e 853 — fórmula e faixa normal.
- Ashok P. Sarnaik, Shekhar T. Venkataraman, Bradley A. Kuch - Mechanical Ventilation in Neonates and Children: A



neofast

Conteúdo Arterial de Oxigênio - CaO2

Σ FÓRMULA

$$\text{CaO}_2 = (\text{Hb} \times 1,34 \times \text{SaO}_2) + (\text{PaO}_2 \times 0,0031)$$

Hb (g/dL)

15

SaO2

0,95

Valores entre 0 a 1,0, onde 1 equivale a 100%.

PaO2 (mmHg)

60

19,28 mL/dL

Conteúdo arterial de oxigênio

Normal (18 – 20 mL/dL)

CaO2 entre 18 e 20 mL/dL: a quantidade total de oxigênio transportada no sangue arterial está dentro da faixa esperada.

Valores de referência

Normal: 18 – 20 mL/dL. O conteúdo venoso de referência é de 13 a 16 mL/dL, e a diferença arteriovenosa, de 4 a 5,5 mL/dL.

Fonte: Knobel.

Referência

- Elias Knobel, Adalberto Stape, Eduardo Juan Troster, Alice D'Agostini Deutsch - Terapia Intensiva: Pediatria e Neonatologia - Atheneu, p. 851 e 853 — fórmula e faixa

IO e OSI: gravidade, com ou sem gasometria

✓ Disponível no NeoFast

$$IO = FiO_2 \times 100 \times MAP \div PaO_2$$

$$OSI = FiO_2 \times 100 \times MAP \div SpO_2$$

SpO_2 pré-ductal · $IO \approx 2 \times OSI$ (SpO_2 70–99%)

Exemplo: MAP 12, FiO_2 0,6, SpO_2 90% → OSI 8 → IO ≈ 16

IO	Cortes publicados
> 15	Comprometimento respiratório grave
> 25	Considerar ECMO
≥ 40	Historicamente ~80% de mortalidade; critério de ECMO

←

neofast

Índice de Saturação de Oxigênio - OSI

Σ FÓRMULA

$$OSI = (MAP \times FiO_2 \times 100) \div SpO_2$$

Calcular a Pressão Média de Via Aérea >

Sobre o OSI

O Índice de Saturação de Oxigênio é uma versão não invasiva do Índice de Oxigenação (OI).

MAP (cmH2O)

12

FiO2

0,6

Valores entre 0,21 e 1,00, onde 1,00 equivale a 100% e 0,40, a 40%, por exemplo.

SpO2 (%)

90

Informe um valor inteiro entre 1 e 100, como 94 para uma saturação de 94%.

8

Índice de saturação de oxigênio

Limiar diagnóstico atingido (5 – 12)

OSI de 5 ou mais atinge o limiar diagnóstico da definição PARDS 2.0 em ventilação invasiva. Abaixo de 12, a gravidade é classificada como leve a moderada.

III O <

Correlação com o Índice de Oxigenação

Gradiente A-a: compare com a mesma FiO_2

✓ Disponível no NeoFast

$$\text{AaDO}_2 = [(713 \times \text{FiO}_2) - (\text{PaCO}_2 \div 0,8)] - \text{PaO}_2$$

mmHg · ao nível do mar

Exemplo: FiO_2 0,6, PaCO_2 50, PaO_2 60 →
 $\text{AaDO}_2 \approx 305 \text{ mmHg}$

- Normal no recém-nascido: $< 50 \text{ mmHg}$. Em ar ambiente, 20–40 mmHg podem persistir por dias.
- A AaDO_2 sobe de forma imprevisível com o aumento da FiO_2 : para acompanhar a evolução, compare medidas com a **mesma FiO_2** .
- A hipoxemia é, na maioria das vezes, distúrbio V/Q ou shunt (HPPN, atelectasia).

←

neofast

Diferença Alveolar-Arterial de Oxigênio - AaDO₂

Σ FÓRMULA

$$\text{AaDO}_2 = [(713 \times \text{FiO}_2) - (\text{PaCO}_2 \div 0,8)] - \text{PaO}_2$$

Sobre a AaDO₂

Avalia a eficiência pulmonar por meio da diferença entre a pressão alveolar e a pressão arterial de oxigênio.

Condição para o cálculo

Esta equação é utilizada para o cálculo à beira do leito considerando a pressão barométrica ao nível do mar.

FiO₂

0,6

Valores entre 0,21 e 1,00, onde 0,21 equivale a 21% e 1,00, a 100%.

PaCO₂ (mmHg)

50

PaO₂ (mmHg)

60

305,3 mmHg

Diferença alveolar-arterial de oxigênio

Prematuro de 28 semanas, 3º dia, ventilação convencional

Amostra arterial do CAU, sem bolhas, processada imediatamente.

pH
7,22

PaCO₂
58

HCO₃⁻
23

Na⁺
138

Cl⁻
106

Lactato
1,4

Passo 1 · pH

7,22 → acidemia.

Passo 2 · O CO₂ explica?

pH esperado = $7,40 - (58 - 40) \times 0,006 = 7,29$.

O medido, 7,22, está **0,07 abaixo** (além de $\pm 0,03$) → há também uma acidose metabólica.

Juntando tudo

Passo 4 · Compensação esperada

Acidose respiratória aguda: o HCO_3^- deveria subir ~ 1 a cada 10 mmHg → esperado $\approx 25,8$.

O medido, 23, está **abaixo** → confirma a acidose metabólica associada.

Passo 5 · Anion gap

$138 - (106 + 23) = 9 \text{ mEq/L}$ → dentro da faixa neonatal (4–12): acidose com **AG normal**. Lactato de 1,4 é normal.

Conclusão

Acidose mista: respiratória aguda + metabólica com AG normal.

Revise a ventilação (V_c , frequência, espaço morto) e investigue **perda de bicarbonato**, comum no rim do prematuro extremo. Considere acetato na NP antes de pensar em bicarbonato.

Dar bicarbonato aqui geraria mais CO_2 em um RN que já não consegue eliminá-lo.

SALVE PARA O PRÓXIMO PLANTÃO

Checklist à beira do leito

- 0 · A amostra é confiável: bolhas, diluição, atraso, capilar, HbF, temperatura.
- 1 · pH: acidemia ou alcalemia?
- 2 · PaCO_2 : o pH esperado bate dentro de $\pm 0,03$?
- 3 · HCO_3^- , BE e lactato: mesmo analisador, mesmo método.
- 4 · Compensação esperada: Winters, regra da alcalose, aguda vs. crônica.
- 5 · Anion gap neonatal (4–12) e oxigenação: CaO_2 , IO/OSI, AaDO_2 .

O **NeoFast** coloca essas fórmulas à beira do leito, em segundos, com faixas neonatais e referências em todas as telas.

