

PH · VERBETE

Slope do eletrodo de pH: o que o número significa e quando trocar

Eficiência percentual, offset e o diagnóstico que a calibração entrega de graça

O slope informado na calibração é a razão entre a resposta real do eletrodo e a resposta teórica de Nernst naquela temperatura. É o indicador mais direto da saúde do sensor, e a maioria dos laboratórios o ignora até o resultado começar a divergir.

Ao calibrar em dois ou mais tampões, o instrumento mede a diferença de potencial entre eles e a compara com a diferença teórica prevista pela equação de Nernst. A razão entre as duas, em porcentagem, é o slope:

$$\text{eficiência (\%)} = (\text{inclinação medida} / \text{inclinação teórica na temperatura}) \times 100$$

Um eletrodo novo e bem hidratado costuma entregar entre 97 % e 100 %. A queda ao longo da vida é gradual e reflete o envelhecimento da camada hidratada da membrana de vidro, o entupimento progressivo da junção de referência e a contaminação do eletrólito.

Eficiência	Interpretação	Ação
95 % a 102 %	Eletrodo em boas condições	Usar normalmente
92 % a 95 %	Aceitável, início de degradação	Programar limpeza e reavaliar
85 % a 92 %	Degradado	Limpar e regenerar antes de usar em análise
abaixo de 85 %	Fim de vida útil	Substituir o eletrodo

Acima de 102 % o valor não indica um eletrodo melhor que o teórico, o que seria impossível: indica erro na calibração. As causas usuais são tampão contaminado ou vencido, tampões trocados entre si, e diferença de temperatura entre os tampões.

Slope e offset são diagnósticos diferentes

O slope descreve a sensibilidade, ou seja, quanto o potencial muda por unidade de pH. O offset descreve o deslocamento da curva, e é lido como o potencial em pH 7, que idealmente fica próximo de zero. Os dois se degradam por causas distintas:

- Slope caindo com offset normal aponta para a membrana de vidro: desidratação, envelhecimento ou depósito na superfície sensível.
- Offset deslocado com slope normal aponta para o sistema de referência: junção obstruída, eletrólito contaminado ou nível baixo.
- Os dois ruins ao mesmo tempo costumam significar fim de vida, ou um eletrodo guardado seco por período longo.

Guardar o eletrodo em água deionizada é a causa evitável mais comum de queda de slope. A água de baixa condutividade lixivia o eletrólito através da junção e desidrata a camada de gel da membrana. O armazenamento correto é em solução de KCl 3 mol/L ou em solução de armazenamento própria.

Por que a calibração de dois pontos é o mínimo

Com um único tampão, o instrumento consegue ajustar apenas o offset, e assume a inclinação teórica. Se o eletrodo tiver 90 % de eficiência, esse erro passa despercebido e se propaga proporcionalmente ao afastamento do ponto de calibração. Com dois tampões que enquadrem a faixa de trabalho, o slope é medido em vez de suposto.

Calibrar em pH 7,00 e 4,01 e medir amostras em pH 10 é extrapolação: a curva foi determinada numa faixa e aplicada em outra. O correto é escolher tampões que cerquem o valor esperado da amostra.

Perguntas frequentes

Meu slope está em 88 %. Posso usar o eletrodo?

Para triagem, talvez. Para análise com resultado reportado, não antes de limpar e regenerar. Se após a limpeza o valor não subir, o eletrodo chegou ao fim da vida útil.

O slope deu 104 %. Isso é bom?

Não, é sinal de erro. Nenhum eletrodo supera a resposta teórica de Nernst. Verifique validade e contaminação dos tampões, se não foram trocados entre si e se estão na mesma temperatura.

Quantos pontos de calibração devo usar?

No mínimo dois, escolhidos para enquadrar a faixa da amostra. Pontos adicionais ajudam quando a faixa de trabalho é ampla ou quando se quer verificar linearidade.

Com que frequência devo calibrar?

Depende da criticidade e da estabilidade observada. A prática defensável é definir o intervalo a partir do histórico do próprio laboratório, verificando com um tampão de controle entre calibrações.

O que faz o slope cair mais rápido?

Armazenamento seco ou em água deionizada, amostras com proteína ou gordura sem limpeza adequada, temperatura acima da faixa do eletrodo, e meio fortemente alcalino, que ataca o vidro.

Referências

1. SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. *Fundamentals of Analytical Chemistry*. 9. ed. Brooks/Cole, 2014. Cap. 21, Potentiometry.
2. HARRIS, D. C. *Quantitative Chemical Analysis*. 9. ed. W. H. Freeman, 2016. Cap. 14, Electrodes and Potentiometry.
3. MENDHAM, J.; DENNEY, R. C.; BARNES, J. D.; THOMAS, M. J. K. *Vogel's Textbook of Quantitative Chemical Analysis*. 6. ed. Prentice Hall, 2000.
4. BUCK, R. P. et al. *Measurement of pH. Definition, standards, and procedures (IUPAC Recommendations 2002)*. Pure and Applied Chemistry, 2002. v. 74, n. 11, p. 2169-2200.

Hydrocore Analítica Ltda. · CNPJ 37.683.010/0001-89 · Rua Alice Alem Saadi, 111 - Sala 03, Ribeirão Preto/SP - CEP 14096-570

Revisado por Marcos Daniel Bueno Rosa, CRQ IV 04167649 em 2026-07-30. Emitido em 31/07/2026.

Documento **BIB-BC79E404DC**, conferível em www.hydrocore.com.br/biblioteca/slope-eficiencia-do-eletrodo-de-ph

Conteúdo sob licença Creative Commons BY-NC 4.0: uso livre para estudo e ensino, com citação da fonte. Uso comercial não autorizado.