

Análise comparativa do pH da água no Extremo Norte do Brasil: Métodos potenciométrico vs. colorimétrico como ferramenta técnica e pedagógica

Comparative analysis of the water pH in the Far North of Brazil: Potentiometric vs. Colorimetric Methods as a Technical and Teaching Tool

Miguel Sales Porto de Sousa¹

¹Mestre em Agroecologia, Ambiente, Sociedade e Amazônia pela Universidade Estadual de Roraima (UERR); Engenheiro de Energia pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), <https://orcid.org/0000-0001-6942-3093>; <http://lattes.cnpq.br/7826145313228754>.

RESUMO

O pH é um indicador crítico da qualidade da água, influenciando a biodisponibilidade de nutrientes e a saúde dos ecossistemas no Extremo Norte do Brasil. Este estudo comparou a precisão dos métodos potenciométrico (pHmetro digital) e colorimétrico (papel universal) em três matrizes em Roraima: Rio Mucajaí, água de torneira e água mineral. As medições foram realizadas em triplicata e analisadas via ANOVA e teste de Tukey no software R (v. 4.5.3). Os resultados mostraram diferenças significativas entre as fontes ($p < 0,001$), sendo a água de torneira a mais alcalina ($6,79 \pm 0,02$). O método colorimétrico exibiu alta imprecisão, com erro absoluto de até 0,93 unidades. Conclui-se que, embora o papel colorimétrico seja uma ferramenta didática acessível para o ensino de conceitos de acidez, a potenciometria digital é indispensável para o monitoramento técnico.

Palavras-chave: Rios de Roraima; Equilíbrio ácido-base; Potenciometria; Educação Científica.

Abstract

The pH is a critical indicator of water quality, influencing nutrient bioavailability and ecosystem health in the Extreme North of Brazil. This study compared the precision of potentiometric (digital pH meter) and colorimetric (universal paper) methods across three matrices in Roraima: Mucajaí River, tap water, and bottled mineral water. Measurements were performed in triplicate and analyzed using One-way ANOVA and Tukey's test in R software (v. 4.5.3). Results showed significant differences between sources ($p < 0.001$), with tap water being the most alkaline (6.79 ± 0.02). The colorimetric method exhibited high inaccuracy, with an absolute error up to 0.93 units. It is concluded that while colorimetric paper is an accessible pedagogical tool for teaching acidity concepts, digital potentiometry is indispensable for technical monitoring.

Keywords: Roraima rivers; Acid-base equilibrium; Potentiometry; Science Education.

1. INTRODUÇÃO

O potencial hidrogeniônico (pH) é definido tecnicamente como o logaritmo negativo da atividade de íons hidrogênio em uma solução ($\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$). No Extremo Norte do Brasil, este parâmetro é um "termômetro" da saúde ambiental, pois regula a solubilidade de minerais e a especiação química de metais pesados (LIBÂNIO, 2016).

A importância do pH estende-se ao campo pedagógico, sendo um dos conceitos mais fundamentais no ensino de Química Analítica e Engenharia. No entanto, a escolha entre métodos de medição rápida (colorimetria) e precisos (potenciometria) muitas vezes é feita sem a compreensão dos erros experimentais envolvidos.

O objetivo deste estudo foi avaliar a acurácia destas metodologias em matrizes de água do estado de Roraima, evidenciando a importância do pH e fornecendo um guia prático para o monitoramento e ensino na região.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As análises foram conduzidas em abril de 2026, utilizando três matrizes em Roraima: água superficial

do Rio Mucajaí, água de torneira da rede pública e água mineral comercial. Para a análise potenciométrica, utilizou-se um pHmetro digital portátil com compensação automática de temperatura, calibrado com soluções tampão (pH 4,0 e 7,0), seguindo o protocolo APHA (2017). Simultaneamente, o método colorimétrico foi aplicado através de tiras de papel indicador universal.

Todas as amostras foram analisadas em triplicata sob temperatura controlada.

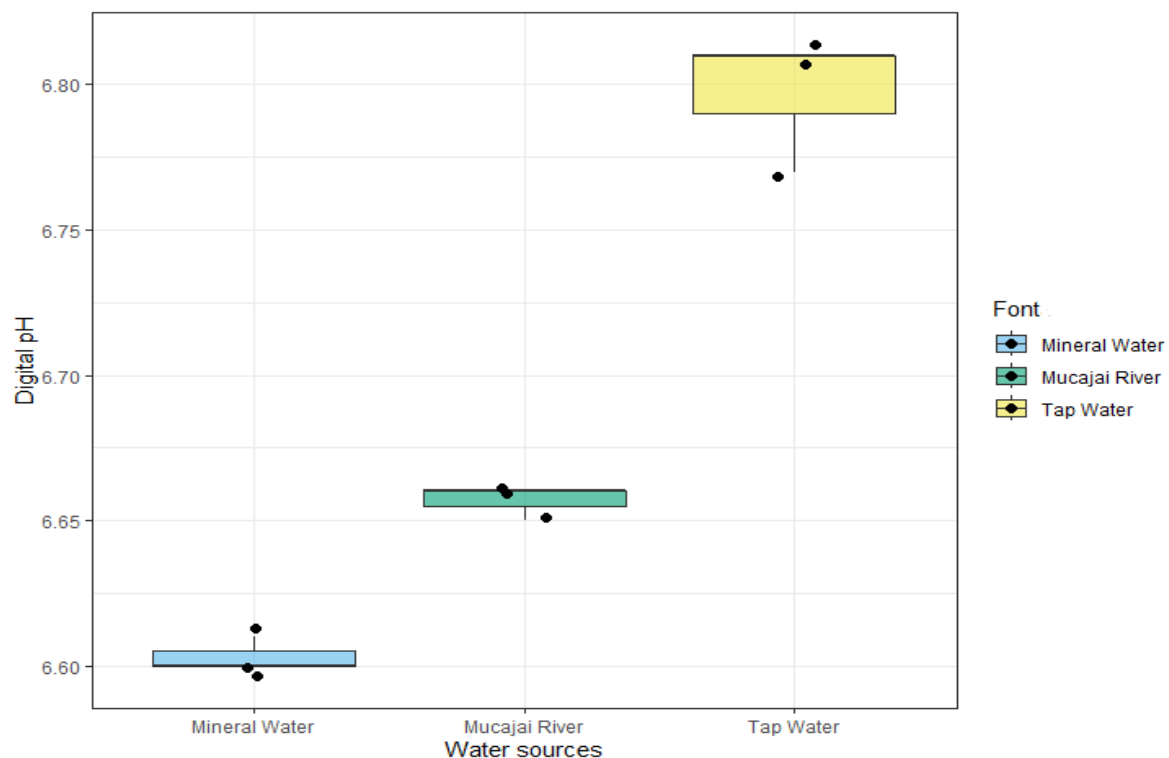
O rigor estatístico foi garantido pela aplicação de Análise de Variância (ANOVA) e teste de Tukey ($p < 0,05$) utilizando o software R (versão 4.5.3) (R CORE TEAM, 2026).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise Estatística e Desempenho Técnico

Os resultados via potenciometria revelaram variações significativas ($F(2,6) = 149,6$; $p < 0,001$). A água de torneira apresentou o maior pH ($6,79 \pm 0,02$), diferindo estatisticamente das demais fontes pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) (Figura 1).

Figura 1. Biplot representando a distribuição e o agrupamento dos valores de pH nas matrizes de água de Roraima pelo método potenciométrico (Software R).



Fonte: Próprio autor.

O Rio Mucajaí ($6,65 \pm 0,005$) mostrou-se ligeiramente mais ácido que a rede pública, refletindo a carga de ácidos orgânicos naturais da bacia. Na Tabela 1, a comparação direta entre as

metodologias evidenciou a fragilidade do uso de tiras indicadoras para fins técnicos, o erro absoluto médio do método colorimétrico variou de 0,46 a 0,93 unidades.

Tabela 1. Comparação do pH entre os métodos e as fontes de água em Roraima (Média +/- Desvio Padrão).

Fontes de água	Método Potenciométrico	Método Colorimétrico	Erro Absoluto
Mineral Water	6.60 +/- 0.005 ^a	5.66 +/- 0.28	0.94
Mucajaí River	6.65 +/- 0.005 ^b	6.16 +/- 0.28	0.49
Tap Water	6.79 +/- 0.023 ^c	6.33 +/- 0.28	0.46

Fonte: Próprio autor. Nota: Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A discrepância observada na água mineral é particularmente notável, pois o papel indicador subestimou o pH real em quase uma unidade inteira (5,67 vs 6,60). Tal imprecisão pode levar a tomadas de decisão equivocadas.

3.2. Importância Pedagógica e Prática Docente

Este estudo serve como um roteiro para professores de ciências e engenharia que atuam no Extremo Norte do Brasil. A prática demonstra aos alunos que a ciência depende da confiabilidade da ferramenta:

- **Fundamentação Teórica:** O docente pode utilizar a imprecisão de 0,93 encontrada para discutir conceitos de acurácia vs. precisão e erro de paralaxe na leitura colorimétrica.
- **Contextualização Ambiental:** Monitorar a água local (Rio Mucajaí) permite ensinar como o pH regula a biodisponibilidade de nutrientes: águas muito ácidas podem solubilizar alumínio, que é tóxico para as culturas típicas do lavrado roraimense, como o cajueiro.

- Reprodutibilidade: Professores podem replicar este experimento comparando fontes de água locais, incentivando os alunos a calibrarem equipamentos e a questionarem a validade de métodos de triagem rápida em decisões de engenharia.

4. CONSIDERAÇÕES

O pH é um parâmetro vital para a segurança hídrica no Extremo Norte do Brasil. Embora o método colorimétrico possua valor pedagógico para introduzir conceitos visuais de acidez e alcalinidade em contextos de baixa infraestrutura, a potenciometria digital é indispensável para o monitoramento técnico confiável. Este estudo reforça a necessidade de infraestrutura laboratorial para a formação de profissionais capacitados.

REFERÊNCIAS

APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23rd ed. Washington: American Public Health Association, 2017.

LIBÂNIO, M. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2016.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2026. Available at: <https://www.R-project.org/>.