

A aplicação do vidro no desenvolvimento de eletrodos destinados à medição do potencial hidrogeniônico (pH) de soluções.

Vestígios de materiais vítreos de origem egípcia foram datados de 3500 A.C¹. Dessa forma, evidencia-se a dedicação atribuída ao estudo da aplicabilidade do vidro desde os primórdios da evolução humana, que é legítima, uma vez que são raros materiais que se assemelham a pluralidade de aplicações em diferentes contextos, estando presente em simples processos produtivos como a fabricação de espelhos ou até mesmo na realização de experimentos químicos complexos de elevada precisão.

No entanto, foram necessários milhares de anos para chegarmos ao patamar atual, e cada vez mais, esse material amplia a sua notoriedade em nosso cotidiano. Com isso, uma série de inovações e soluções surgiram no decorrer dos anos, possibilitando o avanço em diversos setores da indústria, como a utilização do vidro em diversas aplicações tecnológicas como, por exemplo, monitores, cabos de fibra ótica, lentes fotocromáticas e produção de eletrodos de vidro combinados utilizados para medição do potencial hidrogeniônico (pH) de soluções¹⁸.

Em particular, o estudo do pH, termo introduzido em 1909 por Sören P. T. Sörensen, bioquímico dinamarquês², teve um progresso intimamente ligado com o vidro. Os métodos colorimétricos primordialmente utilizados baseavam-se na mudança de cor quando certas substâncias entram em contato com meio ácido ou alcalino², chegando em um pH próximo ao real⁶ por meio da comparação entre a coloração dos padrões da escala e da amostra (figura 1²), classificando a substância de acordo com o valor obtido (figura 2³). Mesmo com a utilização de comparadores e calorímetros, essa metodologia apresenta imprecisão, ocasionada principalmente pela acuidade visual variável, viragem de indicador pouco marcante, influência da temperatura e da concentração das espécies².

Tabela 3. Corantes e soluções-tampão propostos por Clark e Lubs (1919)

Indicador	Mudança de cor	Faixa de viragem
Azul de timol	Vermelho-amarelo	1,2-2,8
Azul de bromofenol	Amarelo-azul	3,0-4,6
Vermelho de metila	Vermelho-amarelo	4,4-6,0
Púrpura de bromocresol	Amarelo-púrpura	5,2-6,8
Azul de bromotimol	Amarelo-azul	6,0-7,6
Vermelho de fenol	Amarelo-vermelho	6,8-8,4
Vermelho de cresol	Amarelo-violeta	7,2-8,8
Azul de timol	Amarelo-azul	8,0-9,6
Soluções-tampão		
KCl 0,2 mol L ⁻¹ + HCl 0,2 mol L ⁻¹		1,2-2,2
Ftalato ácido de potássio 0,2 mol L ⁻¹ + HCl 0,2 mol L ⁻¹		2,2-3,8
Ftalato ácido de potássio 0,2 mol L ⁻¹ + NaOH 0,2 mol L ⁻¹		4,0-6,2
KH ₂ PO ₄ 0,2 mol L ⁻¹ + NaOH 0,2 mol L ⁻¹		5,8-8,0
H ₃ BO ₃ + KCl + NaOH 0,2 mol L ⁻¹		7,8-9,6

Figura 1² – Tabela para análise da coloração

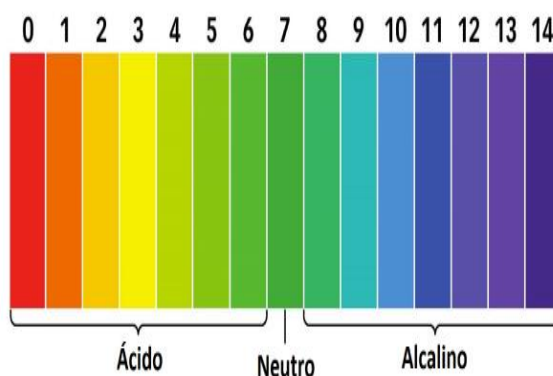


Figura 2³ – Escala de pH de um indicador universal

O estabelecimento do potencial hidrogeniônico das soluções aprimorou o entendimento dos parâmetros de uma reação química, o funcionamento do nosso corpo e também a verificação da qualidade de alguns produtos como a cerveja e o leite⁴. Sendo assim, em inúmeros processos que envolvem certo procedimento químico realiza-se o cálculo do logaritmo negativo da concentração de íons H⁺ na base 10, ou seja, $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$ e $\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-]$, tendo $\text{pH} + \text{pOH} = 14$ ⁵. De acordo com essa escala, soluções que apresentam valor de pH menor que 7,0 são consideradas ácidas, enquanto soluções que apresentam valor

de pH maior que 7,0 são consideradas alcalinas e as que apresentam valor de pH igual a 7 são classificadas como neutras¹⁴.

1. Arnold O. Beckman¹⁰ e a invenção do acidímetro ou peagâmetro⁷.

Após algumas décadas, em 1934⁸, a conjugação de conhecimentos de diversas áreas (química em solução aquosa, eletroquímica e eletrônica) viabilizou a criação de um novo aparelho: o peagâmetro⁷, concebido para responder às deficiências e necessidades da ciência em buscar medidas rápidas e confiáveis de um parâmetro de grande aplicabilidade prática². Beckman, utilizando os resultados da pesquisa de Duncan McInnes e Malcolm Dole⁹, projetou um instrumento sensível e robusto que possuía um par de amplificadores de sinal de tubo de vácuo e eletrodos de vidro para medir o pH mais precisamente¹¹. O uso do recém-inventado eletrodo de vidro significou um salto espetacular na obtenção de medidas exatas do potencial hidrogeniônico.

2. O eletrodo de vidro combinado e seu funcionamento químico.

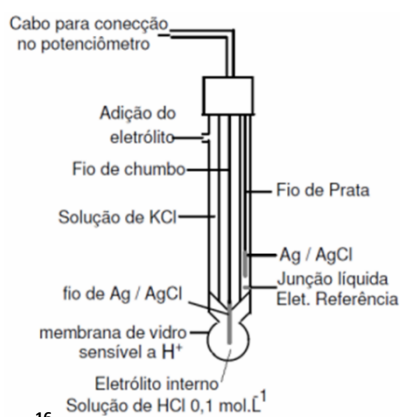


Figura 3¹⁶ – Eletrodo de vidro combinado

Com o passar dos anos, uma série de melhorias foram introduzidas nos medidores de pH, com o aprimoramento da estabilidade, precisão e eficiência². Ademais, um aspecto que passou por uma grande evolução foi a praticidade desses instrumentos, uma vez que os modelos atuais possuem menos de 50% do tamanho dos instrumentos da década de 1980². Esse progresso só foi possível devido à utilização de uma membrana de vidro que atua como eletrodo indicador e possui no seu interior uma solução com concentração fixa de H⁺, prata e cloreto que dispõe de um fio de Ag (prata) com AgCl (cloreto de prata) como eletrodo de referência interna¹². A Figura 3¹⁶ mostra a configuração mais comum de um eletrodo de vidro para a

medida de pH. Nesse arranjo, o eletrodo de vidro e seu eletrodo de referência interno de prata-cloreto de prata são posicionados no centro do cilindro que compõe este tipo de eletrodo. Ao seu redor está o eletrodo de referência externo para o qual o eletrodo de prata-cloreto de prata é mais frequentemente empregado. Este eletrodo é conhecido como eletrodo de vidro combinado e a membrana sensível ao pH é localizada na parte inferior do mesmo¹⁶. Dessa maneira, quando há o contato do lado externo da membrana com uma solução de determinada concentração de íons H⁺, a diferença entre o potencial permite a determinação do pH dessa solução (figura 4¹²), como elucidado no vídeo¹² a partir do minuto 8. A resposta iônica seletiva é função da composição da membrana de vidro. Membranas contendo 22% em Na₂O, 72% de SiO₂ e 6% de CaO monitoram variações de pH¹⁵. O vidro consiste em uma rede tridimensional na qual cada átomo de silício está ligado a quatro átomos de oxigênio e cada átomo de oxigênio está sendo compartilhado por dois átomos de silício. Dentro do interstício dessa estrutura estão presentes quantidades suficientes de cátions para balancear a carga negativa dos grupos silicatos. Cátions de carga unitária, como lítio e sódio, possuem mobilidade dentro do retículo de vidro e são responsáveis pela condução elétrica dentro da membrana¹⁵.

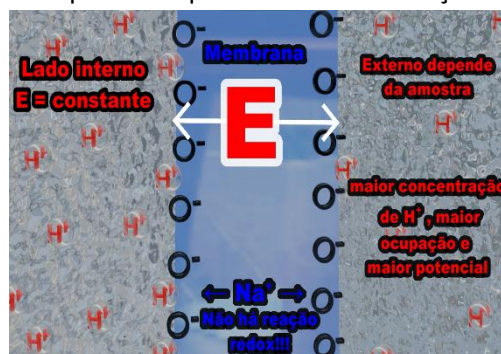
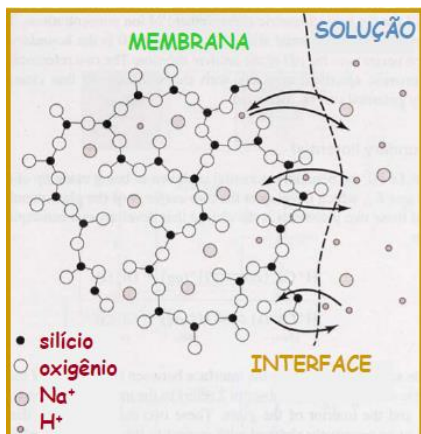


Figura 4¹² – Funcionamento da membrana de vidro

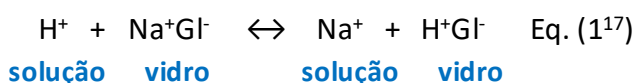
Contudo, ainda são necessários alguns cuidados ao se utilizar um eletrodo de pH, como a camada de hidratação da membrana de vidro, verificar a imersão do eletrodo de referência na solução e impedir o

contato com o fundo do recipiente¹². Além disso, a temperatura é um fator essencial na precisão do resultado obtido, estabelecendo a necessidade da utilização de sensores que permitam a verificação da isoterмия dos padrões e amostras¹². Todavia, erros substanciais podem ser verificados para valores de potencial hidrogeniônico muito baixos ou que excedem 12, apresentando a demanda de eletrodos e condições específicas para assegurar a exatidão da medição¹².



A superfície da membrana de vidro deve ser hidratada para funcionar como um eletrodo de pH. Vidros não higroscópicos não apresentam respostas para pH. Além disso, membranas higroscópicas perdem sua sensibilidade ao pH quando são desidratadas. A hidratação de uma membrana sensível ao pH envolve uma reação de troca iônica entre cátions monovalentes do retículo do vidro e prótons da solução¹⁵, como mostra a figura 5¹⁷. O processo envolve exclusivamente cátions monovalentes porque os di e trivalentes estão fortemente presos à estrutura. A troca iônica pode ser descrita pela equação química (1).

Figura 5¹⁹ – Utilização de solução tampão para calibração do medidor de pH



3. Análise experimental da medição do potencial hidrogeniônico de soluções através do peagâmetro^{6 e 13}

Tendo em vista os dois métodos de determinação do pH (indicadores ácido-base ou medidor de pH), podemos examinar a utilização do medidor de pH no experimento realizado no vídeo¹³. Composto pelo eletrodo de vidro combinado, sensor de temperatura e o potenciômetro, esse equipamento é um aparelho que deve ser manuseado com cautela. Após realizar todo procedimento preparatório já mencionado, como o armazenamento correto que previne a desidratação do bulbo de vidro (figura 6¹³), calibração por meio da lavagem do eletrodo com água destilada e a calibração do eletrodo através da solução tampão (figura 7¹³), o aparelho está pronto para a realização da medição¹³.



Figura 6¹³ – Bulbo de vidro que deve ser mergulhado nas soluções

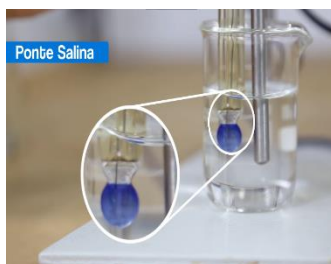


Figura 7¹³ – Utilização de solução tampão para calibração do medidor de pH

Poucos segundos após mergulhar o eletrodo de vidro na solução que se deseja descobrir o pH, o resultado é indicado pelo potenciômetro e logo se estabiliza. Nesse caso, a solução apresentou valor de pH igual a 10,58 e

é classificada como alcalina, visto que apresenta $\text{pH} > 7$.

Assim, nota-se que o medidor de pH é um aparelho de rápida e simples utilização, apresentando alta eficiência em seus experimentos e grande utilidade na contemporaneidade. A partir disso, pode-se afirmar que embora a maior parte da sociedade não entre em contato direto com esse instrumento, ele é de extrema importância em diversos processos produtivos, procedimentos relacionados a saúde corporal e execução de experimentos químicos.

4. Determinação do valor de pH de solução de soda cáustica e água de chuva

Através da utilização de um medidor de pH do laboratório do Colégio Agostiniano São José foi possível determinar o potencial hidrogeniônico de duas soluções: soda cáustica e água de chuva captada no dia 28/02/2023 na região do Belém às 16h30.

Cumprindo todas as instruções anteriormente citadas, foram realizadas as medidas de pH de ambas as soluções o obteve-se o valor de 10,21 (solução alcalina) para a solução de soda cáustica e 5,95 (solução ácida) para a amostra de água de chuva, como mostram as figuras 8 e 9.



Figura 8 – Medição do pH de solução de soda cáustica.

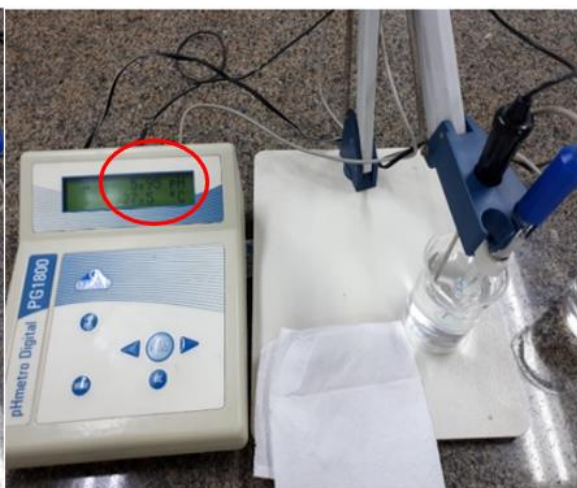


Figura 9 – Medição do pH de água de chuva.

Em suma, é evidente a evolução proporcionada pela introdução do eletrodo de vidro na medição do pH, que possibilitou o aumento da exatidão e maior simplicidade desse cálculo. A sua importância mostra-se presente em simples experimentos laboratoriais e até em grandes indústrias, podendo ser notada em diversos setores da indústria no controle de qualidade de diversos produtos recorrentes em nosso cotidiano como, por exemplo, produtos alimentícios, produtos de limpeza e em análises clínicas. Logo, nota-se que o vidro foi responsável por inúmeros avanços que revolucionaram a ciência e, conseqüentemente, promoveram o melhor entendimento da natureza e de seus acontecimentos, tornando viável a busca por uma melhor qualidade de vida e melhor aplicabilidade dos recursos disponíveis no planeta Terra. Dessa forma, a imprescindibilidade desse material é inequívoca e cada vez maior devido ao estudo e descoberta de novas aplicações.

Referências Bibliográficas:

- [1] Site: <<https://www.archdaily.com.br/br/914991/infografico-a-evolucao-do-vidro>> Acessado em 21/02/2023
- [2] Site: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/cTDk87pgTjLpcc4WXf8njj/?lang=us>> Acessado em 21/02/2023
- [3] Site: <<https://beduka.com/blog/materias/quimica/o-que-e-ph/>> Acessado em 21/02/2023
- [4] Site: <<https://vaiquimica.com.br/o-que-e-ph/>> Acessado em 21/02/2023
- [5] Vogel, A. Química Analítica Qualitativa, 5 ed., Ed. Mestre Jou, São Paulo, 1992.
- [6] Vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=CB_0vcyBC1o> Acessado em 21/02/2023
- [7] Site: <<https://www.youtube.com/watch?v=7cHa2wHrhQk>> Acessado em 21/02/2023
- [8] Site: <<https://www.citisystems.com.br/phmetro/#:~:text=O%20phmetro%20foi%20inventado%20em,medir%20a%20acidez%20dos%20lim%C3%B5es.>> Acessado em 21/02/2023
- [9] Site: <https://qnint.sbg.org.br/qni/popup_visualizarConceito.php?idConceito=23&semFrame=1> Acessado em 21/02/2023.
- [10] Site: <<https://www.beckman.com/about-us/company-history/arnold-beckman>> Acessado em 22/02/2023
- [11] Site: <<https://clubedaquimica.com/2022/03/02/como-o-phmetro-foi-inventado/#:~:text=S%C3%B8rensen%20desenvolveu%20a%20defini%C3%A7%C3%A3o%20de,para%20medir%20o%20pH%20facilmente.>> Acessado em 22/02/2023.
- [12] Vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=p5WMot4mFXU&t=493s>. Acesso em 25/02/2023, a partir de 8'13".
- [13] Vídeo Experimental: <<https://www.youtube.com/watch?v=zosqquhAQx0>> Acessado em 25/02/2023
- [14] ATKINS, P. & JONES, L. Princípios de Química, 7. ed., Porto Alegre: Bookman, 2018.
- [15] SKOOG, D.; WEST, D.; HOLLER, F. Princípios de análise instrumental, 6 ed., São Paulo: Bookman, 2007.
- [16] Site: <<https://analiticaqmc20132.paginas.ufsc.br/files/2013/11/potenciometria-rev.pdf>> Acesso em: 05/03/2023.
- [17] Site: <<https://www2.ufjf.br/nupis/files/2011/02/aula-3-potenciometria.pdf>> Acesso em: 10/03/2023.
- [18] Site: <https://lqes.igq.unicamp.br/canal_cientifico/pontos_vista/pontos_vista_divulgacao47-1_vidros.pdf> Acesso em: 02/03/2023.