

## **ÁCIDOS, BASES E REAÇÕES DE NEUTRALIZAÇÃO ÁCIDO-BASE FORTES: ANÁLISE SOBRE ENSINO, HISTÓRIA E CONCEITOS**

 <https://doi.org/10.56238/arev6n4-291>

**Data de submissão:** 18/11/2024

**Data de publicação:** 18/12/2024

### **Bruno Vinícius de Menezes Barros**

Mestre em Engenharia Mecânica  
Universidade Federal da Paraíba - UFPB  
Crato, Ceará, Brasil  
E-mail: brunovmbarros@gmail.com  
Lattes: <https://lattes.cnpq.br/6349890661645027>

### **Valdirio Alexandre Gadelha Segundo**

Mestre em Engenharia Química  
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG  
Campina Grande, Paraíba, Brasil  
E-mail: valdirio.segundo@eq.ufcg.edu.br  
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9901198051854116>

### **Giusepe Gianini Muniz Rodrigues**

Bacharel em Engenharia Química  
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG  
Campina Grande, Paraíba, Brasil  
E-mail: giusepe\_rodrigues@hotmail.com  
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9114750356932948>

### **Caio Cefas da Nóbrega Souza**

Mestre em Engenharia Química  
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG  
Campina Grande, Paraíba, Brasil  
E-mail: caio.cefas@eq.ufcg.edu.br  
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6632326272987760>

### **Cicero Cezar Ferreira Dantas**

Especialista em Infraestrutura De Transportes  
Instituto Brasileiro de Educação Continuada – INBEC  
Belém, Pará, Brasil  
E-mail: engcezardantas@gmail.com  
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2968194945297843>

### **Raquel Colares Abreu**

Especialista em Infraestrutura De Transportes  
Instituto Brasileiro de Educação Continuada – INBEC  
Belém, Pará, Brasil  
E-mail: raquel-colares@hotmail.com  
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1900058742985992>

**Luênea Leite de Albuquerque**  
Especialista em Direito Constitucional  
Universidade Regional do Cariri - URCA  
Crato - Ceará, Brasil  
E-mail: luenea\_leite@hotmail.com  
Lattes: <https://lattes.cnpq.br/2215615248737294>

**Davi Rodrigues Souza**  
Bacharel em Engenharia de Petróleo  
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG  
Crato - Ceará, Brasil  
E-mail: eng.petrodavi@yahoo.com.br  
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2126200191773306>

## **RESUMO**

Este artigo abordou aspectos sobre o ensino, pesquisa, história e conceitos das teorias ácido-base e das reações de neutralização ácido-base fortes com o objetivo de sintetizar e comparar tais tópicos em dois cenários históricos: antes e a partir do século XX. Para tal, utilizou-se o método da revisão narrativa. Assim, evidenciou-se a importância da colaboração sucessiva dos vários autores para o fortalecimento desses conceitos e como influenciaram na investigação, compreensão e explanação docente de vários fenômenos nas áreas da química e da biologia. Destacou-se também as reações de neutralização em uma abordagem não convencional, com base em aspectos cinéticos, realçando o entendimento do importante equilíbrio de autoprotólise da água no estudo desse fenômeno.

**Palavras-chave:** Ácido. Base. Reações de Neutralização.

## 1 INTRODUÇÃO

O fenômeno ácido-base foi identificado há muito tempo. Desde então, os cientistas têm desenvolvido conceitos teóricos que buscam esclarecer esse comportamento. Essas teorias tentam definir o que constitui um ácido e uma base, bem como explicar como eles interagem, além de abordar outros aspectos secundários. O intrigante é que, de acordo com algumas teorias atuais, a maioria das substâncias conhecidas exibe esse comportamento, tornando esse tema tanto interessante quanto essencial para o estudo da química (CHAGAS, 1998).

Um exemplo notável da antiguidade desses conceitos é a civilização egípcia, que dominava as técnicas de fermentação alcoólica e acética, resultando na produção de álcool e vinagre. Contudo, a nossa compreensão original do conceito de ácido foi concebida pelos gregos, relacionando-o ao paladar. A palavra "ácido" encontra sua raiz na palavra grega "oxein", que posteriormente influenciou o verbo latino "acere", denotando a qualidade "azedo" e, por conseguinte, originou o termo "ácido acético". Quanto à expressão "alcalino", ela tem sua origem na palavra árabe "al qaly", que se referia às "cinzas de plantas". Esse termo ganhou relevância na Idade Média, quando o potássio era obtido a partir das cinzas, embora também houvesse outras fontes naturais para a obtenção de álcalis. Hoje em dia, comprehende-se que as designações "alcalina" e "básica" para uma substância são consideradas sinônimas. O conceito de "base" foi formalizado no século XVIII com a introdução do uso de indicadores em procedimentos de titulação (MAAR, 1999).

De tempos remotos para os dias atuais, os conceitos ganharam várias formas, frutos das mais diversas observações científicas e evoluções tecnológicas vivenciadas por dezenas de estudiosos. Muitos desses conceitos foram esquecidos, outros foram aglutinados em definições únicas e uns poucos ganharam a eternidade e são aplicados.

Os compostos ácidos e básicos formam os reagentes de uma importante classe de reações para a química e a biologia: as reações de neutralização. Esse tipo de reação envolve geralmente a formação de um sal e água, com tendência a neutralização do meio reativo. Por isso recebem esse nome (HARRIS, 2008).

As reações de neutralização são frequentemente exotérmicas, liberando calor como resultado da formação da água. São amplamente utilizadas em várias aplicações, desde o tratamento de águas ácidas até a produção de medicamentos e alimentos. Além disso, são cruciais para regular o pH em sistemas biológicos, como o corpo humano, mantendo condições ideais para as reações químicas e processos metabólicos (WRIGHT, 2007).

Embora os termos ácido e base sejam amplamente conhecidos, muitos estudantes e profissionais da área não compreendem sua definição real e como reagem entre si, pois o ensino de

química é frequentemente percebido como uma coleção de teorias abstratas, incentivando a memorização do conhecimento em vez de destacar a razão fundamental para o aprendizado.

Diante do exposto, o presente artigo abordou aspectos históricos e conceituais sobre as principais contribuições ao longo da história, com o objetivo de enriquecer o debate acadêmico e realizar uma síntese dessas abordagens. Para isso, discutiu-se as teorias ácido-base em dois cenários: anteriores ao Século XX e a partir do Século XX, abordando também a reação de neutralização ácido forte – base forte, destacando os aspectos cinéticos envolvidos e, por fim, uma comparação entre as abordagens dos dois cenários.

## 2 MÉTODO

Para elaboração deste trabalho foi realizada uma revisão de literatura do tipo Narrativa. De acordo com Ribeiro (2014), a revisão narrativa ou tradicional possibilita a compilação de informações de várias fontes e a apresentação ao leitor de maneira abrangente, sem a obrigação de explicar detalhadamente os critérios pelos quais as obras foram selecionadas e avaliadas.

De acordo com as instruções de Souza et al. (2018), é possível associar a revisão narrativa a seis etapas distintas: 1) a delimitação do tema; 2) investigação na literatura; 3) seleção de fontes; 4) leitura abrangente; 5) elaboração do texto; e 6) compilação das referências.

Para a revisão narrativa foi realizada uma seleção de artigos a partir dos sites dos seguintes periódicos na área da química ou afins: Royal Society of Chemistry (Discussions of the Faraday Society e Quarterly Reviews, Chemical Society); Semantic Scholar; Elsevier; SciELO México; ResearchGate National Library of Medicine; Revistes Catalanes amb Accés Obert; Wiley Online Library.

Os critérios de seleção dos artigos foram: dissertar sobre ácido e base em contextos históricos; dissertar sobre comparações de teorias ácido-base; dissertar sobre reações de neutralização ácido-base fortes e dissertar sobre o ensino desses tópicos. Uma primeira triagem de quinze artigos foi realizada e apenas os mais abrangentes foram escolhidos e citados no trabalho.

Além dos artigos, foram selecionados livros renomados e amplamente utilizados no campo acadêmico na área de química que abordam as teorias ácido-base e reações de neutralização.

## 3 DESENVOLVIMENTO

### 3.1 TEORIAS ÁCIDO-BASE ANTERIORES AO SÉCULO XX

Ao longo da Idade Média, numerosos alquimistas estiveram envolvidos na manipulação de substâncias corrosivas conhecidas como "águas agudas," conforme definido na terminologia da época,

bem como em substâncias alcalinas, tais como alcális. No século XII, destacaram-se dois alquimistas árabes notáveis. O primeiro deles foi Abu Bakr Muhammad ibn Zakariyya Razi, que se dedicou ao manuseio das "águas agudas," embora estas não fossem necessariamente de origem ácida. Razi, possivelmente, chegou próximo de obter o ácido clorídrico em sua receita denominada "Sobre a Sublimação do Sal Amônia" (MAAR, 1999).

O segundo alquimista de destaque é Abu Musa Jabir ibn Hayyan, embora haja controvérsias a respeito de sua existência, devido ao grande número de obras atribuídas a ele, conhecidas como o "corpus jabiriano." No entanto, independentemente das incertezas, suas contribuições para o entendimento da alquimia árabe são de valor inestimável.

Dentro dos trabalhos de Jabir ibn Hayyan, encontram-se métodos de tratamento de metais utilizando essas "águas agudas," que provavelmente resultavam da destilação de várias substâncias, incluindo a produção do ácido acético a partir do vinagre. Há até mesmo uma suposta receita para a produção do ácido nítrico em sua obra "A Arca do Saber." Contudo, é mais plausível que suas teorias tenham servido como fonte de inspiração para Geber, seu homônimo latinizado, que, já na Europa medieval, desenvolveu ácidos minerais com base em seus conceitos (MAAR, 1999).

Os alquimistas desempenharam um papel crucial na evolução das técnicas que mais tarde se tornariam fundamentais para a química moderna. Enquanto os alquimistas árabes possuíam conhecimentos sobre a produção de ácidos mais suaves e soluções de sais corrosivos, os alquimistas europeus deram um grande passo à frente na criação de ácidos de maior potência. Dentre essas inovações, merecem destaque a invenção de substâncias como a "aqua fortis" ou "espírito do nitro" (ácido nítrico), o "espírito do sal" (ácido clorídrico), o "espírito de vitríolo" (ácido sulfúrico) e a sua forma altamente concentrada, o "óleo de vitríolo". Além disso, esses alquimistas desenvolveram uma substância conhecida como "água régia," uma combinação dos ácidos clorídrico e nítrico, que demonstrou ser extremamente reativa e corrosiva (BAENSAUDE, 1992).

Em acordo com Porto (1997), no Século XVII, durante a era da Iatroquímica, o médico e químico Van Helmont introduziu uma teoria inovadora conhecida como a teoria ácido-alcalino. Essa teoria postulava uma equivalência entre os processos de digestão e fermentação, sugerindo que as secreções produzidas pelo corpo poderiam ser classificadas como os produtos desses processos, dividindo-as em categorias ácidas e alcalinas. De acordo com essa abordagem, Van Helmont argumentava que todos os materiais deveriam conter elementos ácidos e alcalinos. Seu principal objetivo ao desenvolver essa teoria era a busca por uma integração mais estreita entre os campos da química e da fisiologia.

No século XVII, o químico inglês Robert Boyle desempenhou um papel crucial ao desafiar a generalização da teoria ácido-alcalina. Por meio de uma série de experimentos e análises químicas e físicas, Boyle buscou aprimorar a classificação das substâncias como ácidas ou alcalinas. Durante esse processo, ele identificou várias substâncias que não se encaixavam nas características estabelecidas para ácidos e bases. Boyle nomeou essas substâncias como "neutras". A descoberta das substâncias neutras questionou profundamente a validade da teoria anterior que categorizava todas as substâncias como ácidas ou alcalinas. Apesar disso, a teoria ácido-alcalina continuou a evoluir com adaptações ao longo do século seguinte. Eventualmente, os métodos de classificação desenvolvidos por Boyle e seus testes para identificar substâncias ácidas, básicas e neutras tornaram-se amplamente aceitos e foram adotados como padrão em grande parte dos compêndios de química (PORTO, 1997).

Boyle, em 1664, também conduziu uma série de ensaios envolvendo diversos extratos vegetais, incluindo o pau-brasil, que era famoso por seu emprego na coloração de tecidos e por sua capacidade de alterar sua coloração com o tempo ou na presença de determinadas substâncias. Boyle reconheceu a utilidade do extrato de pau-brasil como um indicador para identificar substâncias ácidas e alcalinas. Além disso, ele utilizou o tornassol e o extrato de violetas como indicadores em suas investigações. As pesquisas de Boyle tiveram um impacto notável na introdução da prática de empregar extratos de plantas como indicadores em experimentos químicos. Esse método se difundiu amplamente na química do século XVIII, particularmente em procedimentos de titulação (MAAR, 1999).

Posteriormente, Nicolas Lémery, no âmbito de um modelo mecanicista, ofereceu uma interpretação microscópica do processo de neutralização. Ele propôs que as partículas ácidas eram pontiagudas (pois causavam "picadas" na pele) e que as partículas alcalinas eram permeáveis. Como resultado, a neutralização era concebida como a união das duas formas de partículas, levando à formação de substâncias com propriedades neutras (GAGLIARDI, 1986).

No ano de 1699, Hobemberg empreendeu as primeiras investidas para determinar as proporções relativas entre ácidos e bases. No entanto, foi somente em 1729 que Geoffroy conduziu a pioneira titulação ácido-base. Lewis, ainda durante o século XVIII, se destacou como o precursor ao utilizar pela primeira vez um indicador em um processo de titulação (CHAGAS, 2006).

Chagas (2006) ainda contribui que no século XVIII, durante essa época, os estudos do químico francês Antonie Lavoisier se destacaram. Nesse contexto, o oxigênio já havia sido identificado por químicos como Scheele (1742-1786) e Priestley (1733-1804). Lavoisier conduziu uma série de experimentos com o objetivo de compreender melhor esse gás. Com base nos resultados de suas investigações, ele começou a acreditar na existência de um princípio acidificante ou um princípio oxigênio. Assim, em um texto apresentado à Academia em 5 de setembro de 1777, Lavoisier propôs

que todos os ácidos eram formados pela combinação de oxigênio com outros elementos, uma ideia que não é mais aceita atualmente.

Entretanto, naquela época, a associação entre oxigênio e acidez parecia razoável, uma vez que todos os ácidos conhecidos continham oxigênio. Somente mais tarde, após as pesquisas de cientistas como Davy, Gay-Lussac e Thernard, entre outros, foi reconhecida a existência de ácidos que não continham oxigênio. A busca por um princípio acidificante diferente do oxigênio levou Davy a sugerir que o hidrogênio poderia desempenhar esse papel, uma vez que ele, e não o oxigênio, parecia estar presente em todos os ácidos cuja composição era conhecida. A descoberta de que o hidrogênio e o cloro formavam um ácido deslocou o foco da presença de oxigênio para o hidrogênio nos ácidos (CHAGAS, 2006).

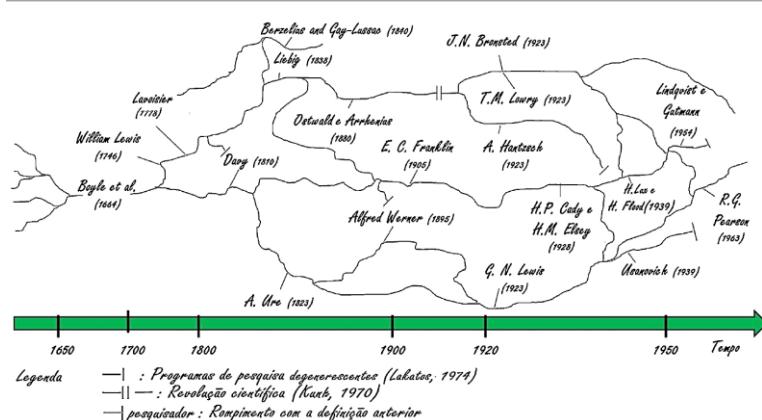
Na primeira metade do século XIX, Jons Jacob Berzelius utilizou o conceito de dualismo eletroquímico para definir ácidos e bases. Berzelius desenvolveu seu sistema dualista assumindo que, em todos os casos, um sal era uma combinação de um ácido com uma base. Ele e William Hisinger demonstraram que sais, em solução, poderiam ser decompostos por uma corrente elétrica em suas bases e ácidos componentes. Esse conceito estava intrinsecamente ligado à polaridade elétrica. Para Berzelius, as bases eram óxidos eletropositivos, enquanto os ácidos eram óxidos eletronegativos, ou seja, substâncias eletropositivas e eletronegativas, respectivamente (CHAGAS, 2006).

Berzelius concluiu que as reações ácido-base eram, fundamentalmente, o resultado de atrações elétricas e estendeu essa ideia a outros tipos de reações químicas. Para ele, sua teoria dualística explicava as interações químicas em termos da neutralização de cargas elétricas opostas (MAAR, 1999).

A Figura 1 abaixo, elaborado por Souza e Aricó (2016), traz de forma didática a cronologia da evolução das definições a partir de Boyle (1664).

Figura 1 – Cronologia Ácido-Base por autores, a partir de Boyle.

F. Moura Souza, E.M. Aricó



Fonte: por Souza e Aricó (2016).

Outros autores reforçam as discussões já levantadas aqui. Por exemplo, Bell (1947) Afirma que Após Boyle, no final do século XVII, diversos pesquisadores começaram a identificar propriedades distintivas dos ácidos em comparação com outras substâncias. Por exemplo, em 1746, William Lewis (1708-1781) definiu que as propriedades dos ácidos incluíam o sabor azedo e a capacidade de efervescer ao entrar em contato com cal. Como resultado, as bases foram categorizadas com características opostas às dos ácidos. Baseado em uma teoria da combustão, em 1789, Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) afirmou que "o oxigênio é o princípio acidificante", ou seja, que substâncias ácidas deveriam conter oxigênio em sua estrutura molecular.

Um aspecto notável nessa descrição de Lavoisier é que, dois anos antes de sua afirmação, Claude Louis Berthollet (1748-1822), em 1787, já havia identificado diversos ácidos que não continham oxigênio, como o cianeto de hidrogênio e o sulfeto de hidrogênio (Jensen, 1980). Surpreendentemente, a definição de Lavoisier recebeu apoio de Jöns Jacob Berzelius (1779-1848) e Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850) até 1840, apesar da existência de diversos estudos sobre ácidos que não continham oxigênio publicados nesse período. Esse episódio ilustra como a ciência frequentemente é influenciada por considerações políticas e como cientistas famosos podem sustentar teorias que posteriormente se revelam incorretas (MARTINS, 2006).

Humphry Davy (1778-1829) também descreveu diversos ácidos que não continham oxigênio em 1810 (CHAGAS, 2000). Antes mesmo de identificar esses ácidos, ele questionava a crença de que o cloro continha oxigênio simplesmente porque era um ácido. Ele também afirmava que a acidez não estava vinculada a nenhuma substância elementar específica, mas sim à configuração peculiar de várias substâncias (BELL, 1947).

CHAGAS (1998) elabora que em 1983 Andrew Ure (1778-1857) afirmou: "... não existe um elemento acidificante fundamental, nem um critério absoluto para a escala de força entre diferentes ácidos... a acidez e a alcalinidade dependem mais da maneira como os componentes estão combinados do que da própria natureza dos componentes". Nota-se que tal afirmação corrobora com uma definição bem aceita para ácidos e bases, proposta por Lewis e Usanovich.

Jensen (1980) aborda que Justus von Liebig (1803-1873), em 1838, expressou que a categorização de ácidos como substâncias que abrigam hidrogênio estava alinhada com o comportamento dos ácidos orgânicos e caracterizou os ácidos como "... substâncias que incluem hidrogênio, em que o hidrogênio tem a capacidade de ser substituído por metais...".

No período compreendido entre os anos 1880 e 1890, as pesquisas conduzidas por F. W. Ostwald e S. A. Arrhenius no campo da dissociação eletrolítica trouxeram à tona reflexões de grande importância. Essas considerações enfatizaram que apenas as substâncias químicas com a capacidade

de gerar íons hidrogênio em soluções aquosas podem conferir propriedades ácidas a essas soluções. Além disso, essas investigações introduziram o conceito da constante de dissociação como um parâmetro que quantifica a intensidade da acidez (Arrhenius, Caldwell e Wold, 2008). Mantendo-se nesse contexto, merece destaque a definição de ácidos proposta por S. A. Arrhenius, que delimitou o termo "ácido" às substâncias que liberam íons hidrogênio em soluções aquosas (JENSEN, 1980).

No entanto, em 1895, Alfred Werner (1866-1919), uma figura proeminente no campo da química de coordenação, desafiou a definição de ácidos e bases delineada por S. A. Arrhenius, lançando críticas às concepções de Arrhenius e J. V. Liebig (JENSEN, 1980).

Apesar das objeções de Werner, a definição de ácidos formulada por S. A. Arrhenius continua sendo ensinada e amplamente aceita em manuais de química. É importante ressaltar que, até os dias atuais, a maioria dos livros didáticos de química para o ensino médio apresenta essa definição sem aprofundar nas limitações inerentes à sua aplicação (CHAGAS, 2000).

Assim, com os trabalhos sobre a dissociação eletrolítica de Ostwald e Arrhenius, abriram-se portas importantes para novas pesquisas e discussões sobre os conceitos de ácido-base e suas reações. Essas novas e importantes ideias no campo da química e biologia se estenderam pelo século XX. As principais serão abordadas a seguir.

### 3.2 TEORIAS ÁCIDO-BASE A PARTIR DO SÉCULO XX

A primeira teoria a ser considerada é a teoria de Arrhenius (de 1887), que emergiu como uma componente da Teoria da Dissociação Eletrolítica. Essa teoria engloba um vasto conjunto de eventos previamente reconhecidos e pavimentou o caminho para o surgimento de várias esferas de pesquisa (CHAGAS, 1998).

De acordo com a perspectiva de Arrhenius, um ácido é uma substância que, quando dissolvida em água, gera íons  $H^+$ , enquanto uma base é uma substância que, em uma solução aquosa, produz íons  $OH^-$ . A neutralização, por sua vez, é o processo químico que ocorre quando essas duas espécies reagem, resultando na formação de água (CHAGAS, 1998).

A teoria de Arrhenius, que postula a reação entre  $H^+$  e  $OH^-$  para produzir  $H_2O$ , englobou uma ampla gama de fenômenos e facilitou o desenvolvimento de várias direções de pesquisa. Isso abrange a obtenção da Lei de Diluição de Ostwald, a formulação da Equação de Nernst, que estabelece a conexão entre a força eletromotriz e os íons  $H^+$  e  $OH^-$ , a compreensão do efeito tampão e a introdução do conceito de pH por Soren para análise de soluções aquosas. Apesar da grande utilidade da teoria de Arrhenius, ela apresenta limitações em sua aplicação a sistemas sólidos e não aborda reações análogas que ocorrem em solventes não aquosos (PINHEIRO et al., 2016).

No ano de 1905, Edward Curtis Franklin (1862-1937) propôs uma definição alternativa para ácidos e bases, desafiando a teoria de S. A. Arrhenius. Essa abordagem, conhecida como sistemas de solventes de ácidos e bases, adotou uma perspectiva mais flexível e relativa, contrastando com as definições predominantes da época (PINHEIRO et al., 2016).

E.C. Franklin formulou uma teoria em que considerou a possibilidade de a amônia passar por autoionização, produzindo  $\text{NH}^+$  e  $\text{NH}^-$ . Ele sugeriu que essas espécies teriam uma natureza ácida e básica, respectivamente, e que a reação entre elas seria semelhante à reação entre  $\text{H}^+$  e  $\text{OH}^-$ . De acordo com essa teoria, uma reação de neutralização entre as espécies  $\text{NH}^+$  e  $\text{NH}^-$ , como exemplificado pela reação  $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NaNH}_2 \rightarrow \text{NaCl} + 2\text{NH}_3$ , resultaria na formação da amônia (CHAGAS, 1998).

Conforme a definição de ácidos e bases de E. C. Franklin, um ácido é qualquer substância que eleva a concentração do cátion característico do solvente, enquanto uma base é aquela que aumenta a concentração do ânion característico do solvente. A neutralização, nesse contexto, é o processo de formação do solvente a partir da interação desses cátions e ânions. Essa definição recebeu posterior apoio de Hamilton Perkins Cady (1874-1943) e Howard McKee Elsey (1891-1982) em 1928, com modificações mínimas (JENSEN, 1980).

O ano de 1923 foi notável por um crescente interesse entre os cientistas na definição de ácidos e bases, levando à apresentação de quatro definições independentes em um curto espaço de tempo. Os pesquisadores envolvidos nesse debate foram J. N. Bronsted, T. M. Lowry, G. N. Lewis e Arthur Rudolf Hantzsch (1857-1935) (JENSEN, 1980).

Em 1923, de forma independente, tanto Bronsted em Copenhague quanto J.M. Lowry em Cambridge, introduziram uma nova perspectiva na caracterização de ácidos e bases. Eles postularam que um ácido é uma espécie química que atua como doadora de prótons ( $\text{H}^+$ ), enquanto uma base é aquela que atua como receptora de prótons. É crucial destacar que, sob essa teoria, os solventes, como a água, são considerados agentes reativos e possuem a habilidade de desempenhar funções tanto como ácidos quanto como bases. Substâncias que podem manifestar essa dualidade, atuando em alguns casos como base e em outros como ácido, são identificadas como anfípróticas (PINHEIRO et al., 2016).

T. M. Lowry, um cientista britânico, compartilhou suas pesquisas na revista *Journal of Society of Chemical Industry*, sob o título "The uniqueness of hydrogen" ou "A singularidade do hidrogênio", com o objetivo de estabelecer conexões entre a variedade de características do hidrogênio (JENSEN, 2016).

Já o cientista da Dinamarca, J. N. Brönsted, compartilhou os resultados de suas investigações em um artigo intitulado "Observações em torno do conceito de ácidos e bases" publicado na revista

Recueil des Travaux Chimiques des Pays-Bas. Nessa publicação, ele identificou as limitações na definição proposta por S. A. Arrhenius e ofereceu recomendações para resolver as discrepâncias entre os pesquisadores. Brönsted expressou sua discordância com a ideia de que ácido ou base dependem das características dos solventes presentes na reação. Esse evento foi registrado em seu trabalho científico (ARICÓ e SOUZA, 2016).

J. N. Brönsted desempenhou um papel de destaque na formulação dos conceitos de bases conjugadas e ácidos conjugados em reações químicas, enquanto a definição de ácido ou base com base na doação ou aceitação de prótons é atribuída às publicações de Lowry, que também reconheceu a contribuição de outros pesquisadores (JENSEN, 2016).

Um cientista menos reconhecido nos tempos atuais é A. R. Hantzsch, de nacionalidade alemã. Ele desenvolveu uma definição de pseudo-ácidos com base em vários resultados experimentais, o que o levou a ser citado por outros pesquisadores. No entanto, suas interpretações e terminologia foram questionadas por diversos autores (BELL, 1947).

No mesmo ano de 1923, Gilbert Lewis, em decorrência de sua teoria do par eletrônico, apresentou uma abordagem inovadora na definição de ácido-base. Conforme Lewis, um ácido é qualquer entidade química capaz de receber um par de elétrons, enquanto uma base é aquela que doa esse par de elétrons. Todas as reações mencionadas anteriormente podem ser interpretadas como reações ácido-base de acordo com a perspectiva de Lewis, porém seu conceito engloba também outras substâncias químicas que não se enquadram nas definições anteriores de ácidos e bases (PINHEIRO et al., 2016).

Ainda segundo Pinheiro et al. (2016), Lewis reviu o conceito de ácido-base ao elaborar critérios macroscópicos que caracterizam esse comportamento, englobando: 1. A rápida ocorrência da reação de neutralização entre um ácido e uma base; 2. A habilidade de um ácido (ou base) de deslocar um ácido (ou base) mais fraco de seus compostos; 3. A possibilidade de titulação entre ácidos e bases por meio de indicadores; 4. A capacidade de ácidos e bases de servirem como catalisadores em reações químicas.

G. N. Lewis, publicou o livro "Valence and the structure of atoms and molecules." Nesta obra, ele explora diversas alternativas para definir ácidos e bases, apresentando argumentos a favor e contra diferentes abordagens, até chegar à definição amplamente aceita nos dias de hoje. No prefácio do livro, Lewis esclarece aos leitores que o trabalho é resultado de uma colaboração entre vários cientistas em seu laboratório, onde ele desempenhou o papel de editor do grupo (HILDEBRAND, 1958).

Em 1928, H. P. Cady e H. M. Elsey apresentaram uma nova concepção de ácidos e bases, levando em consideração os ânions e cátions presentes em solventes específicos. É importante notar

que essa definição não foi pioneira, pois expandiu o conceito de sistemas de solventes previamente introduzido por E. C. Franklin. Portanto, em termos cronológicos, suas contribuições vieram após as de E. C. Franklin, embora suas definições não tenham sido amplamente adotadas internacionalmente.

Em 1939, ocorreu uma ampliação adicional das definições de ácidos e bases, sob o título de "sistemas de solvente", influenciada pela abordagem protônica. Nesse contexto, Hermann Lux (1904-1999) e Hakon Flood (1905-2001) apresentaram uma perspectiva que estendeu os sistemas de definição de ácidos e bases. No entanto, na definição proposta por H. Lux e H. Flood, a entidade transferida não é o próton, mas sim o ânion  $O^{2-}$ . De acordo com eles, um ácido é aquele que recebe o ânion óxido  $O^{2-}$ , enquanto uma base é aquele que doa esse ânion (FLOOD E FORLAND, 1947).

Pinheiro et al. (2016) explica a abordagem proposta por Lux e Flood em 1939. Conforme essa abordagem, ácidos são substâncias que recebem  $O^{2-}$ , enquanto bases são espécies que doam  $O^{2-}$ . Essa teoria demonstrou ser especialmente útil na descrição de reações que envolvem líquidos iônicos, como sais e óxidos fundidos, presentes em processos metalúrgicos, na fabricação de vidro e cerâmica, bem como em sistemas geoquímicos.

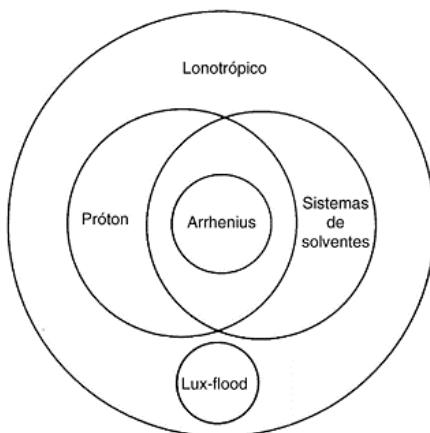
Na mesma época, Usanovich (1894-1981) apresentou uma teoria com a intenção de abranger todas as teorias discutidas anteriormente. Ele definiu ácido como uma substância que, ao reagir com uma base, leva à formação de sais, podendo doar cátions, aceitar ânions ou elétrons. Base, por sua vez, foi descrita como uma substância que, ao reagir com um ácido, também resulta na formação de sais, podendo doar ânions, elétrons ou combinar-se com cátions. No entanto, essa teoria teve um impacto limitado na geração de pesquisas subsequentes (ARICÓ e SOUZA, 2016).

Outra teoria que teve uma influência mínima na pesquisa foi a teoria Ionotrópica, proposta por Lindqvst e Gutmann em 1954. Seu objetivo era generalizar as teorias protônicas, dos sistemas solventes e a de Lux (CHAGAS, 1998).

Em 1963, Ralph G. Pearson (1919-1987) apresentou sua teoria dos ácidos e bases duros e moles, que ampliou ainda mais a compreensão dos conceitos de ácidos e bases de Lewis, especialmente no contexto de complexos metálicos. Sua teoria foi fortemente influenciada por notáveis cientistas como Alfred Werner, G. N. Lewis, F. I. Lindqvist e vários outros pesquisadores. Essa teoria contribuiu de forma significativa para o campo da química de coordenação, aprofundando o entendimento dos princípios relacionados a ácidos e bases (ARICÓ e SOUZA, 2016).

ARICÓ e SOUZA (2016) ainda afirmam que Jensen (1980), em seu livro, empregou um esquema de Venn para ilustrar a interligação das diversas concepções iônicas relacionadas a ácidos e bases, conforme exemplificado na Figura 2 a seguir. Essa representação gráfica é frequentemente adotada em materiais didáticos de química destinados ao ensino médio.

Figura 2 – Diagrama de Venn ilustrando a interrelação das definições ácido-base (adaptado).



Fonte: por Souza e Aricó (2016).

Souza e Aricó (2016) argumentam que embora funcione como uma ferramenta eficaz para representar a progressão das definições à medida que o conhecimento químico se desenvolve, o diagrama pode inadvertidamente induzir a concepções alternativas que resultam em erros conceituais por parte dos estudantes. Isso ocorre devido à suposição subjacente no diagrama de que todo ácido de Arrhenius é também um ácido de Brönsted-Lowry, uma vez que essa relação é denominada "definição de próton" no diagrama. No entanto, essa suposição é incorreta, uma vez que nem todos os ácidos de Arrhenius são ácidos de Brönsted-Lowry. Por exemplo, considere o seguinte sistema reacional:  $\text{NH}_3(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$ . Conforme a definição de Arrhenius, a molécula  $\text{H}_2\text{O}$  é considerada uma base, pois libera  $\text{OH}^-$  em solução aquosa. No entanto, sob a definição de Brönsted-Lowry, a molécula  $\text{H}_2\text{O}$  é um ácido, pois doa prótons. Portanto, esses autores defendem que é crucial que os professores de química abordem essa complexidade em sala de aula para esclarecer as limitações de uma teoria científica, o que não é imediatamente evidente ao examinar o diagrama de Venn proposto por Jensen (1980).

### 3.3 REAÇÕES DE NEUTRALIZAÇÃO ÁCIDO E BASE FORTES

Na teoria das soluções aquosas de Arrhenius, um ácido é uma substância que aumenta a concentração do íon hidrônio ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) quando dissociada em água. Já uma base é uma substância que aumenta a concentração do íon hidroxila ( $\text{OH}^-$ ) quando dissociada em água (HARRIS, 2008). Para efeito de simplificação, o íon ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) será escrito como  $\text{H}^+$ , íon hidrogênio hidratado.

Ácidos fortes são aqueles que se dissociam completamente quando em contato com o solvente. Ou seja, virtualmente não há moléculas não dissociadas em solução. De forma similar são as bases fortes (SKOOG et. al, 2006).

Ácidos fortes e bases fortes são também eletrólitos fortes, em água. Ou seja, as soluções aquosas formadas por ácidos e bases fortes são soluções eletrolíticas fortes.

Quando se misturam soluções aquosas de ácidos e bases, uma importante reação se processa: a reação de neutralização. São reações entre um ácido e uma base, em geral produzindo sal e água. Aqui, o interesse é voltado para a reação entre um ácido forte e uma base forte em meio aquoso (HARRIS, 2008).

Sejam um ácido forte genérico definido como HA e uma base forte genérica definida como BOH, onde A e B representam seus íons conjugados, respectivamente. Uma reação de neutralização pode ser expressa, teoricamente, de forma geral como  $HA + BOH \leftrightarrow BA + H_2O$ . Com “BA” representa o sal. O sal formado também é um eletrólito forte (VOGEL, 1981).

Sabendo que a reação de neutralização mostrada anteriormente ocorre em meio aquoso e que o ácido forte, a base forte e o sal encontram-se totalmente dissociados, a equação fica melhor representada na forma:  $H^+ + A^- + B^+ + OH^- \leftrightarrow B^+ + A^- + H_2O$ . De maneira simplificada:  $H^+ + OH^- \leftrightarrow H_2O$  (VOGEL, 1981).

A reação  $H^+ + OH^- \leftrightarrow H_2O$  mostra que o essencial numa reação de neutralização, em solução aquosa, é a formação ou dissociação da água. Ou seja, mostra que na união de soluções aquosas de um ácido forte e uma base forte o que realmente ocorre é a perturbação do equilíbrio iônico da água. Assim, se a concentração do íon hidrônio for maior que a concentração do íon hidroxila, o meio se tornará ácido. No entanto, se a concentração maior for do íon hidroxila, o meio se tornará básico. Por fim, se as concentrações desses íons forem iguais ou se a água estiver pura, o meio será neutro (SKOOG et. al, 2006).

Como dito, o equilíbrio da reação de formação/dissociação da água é fundamental para a neutralização, pois se a uma solução ácida é adicionado um agente titulante (de caráter básico), o aumento da concentração de  $OH^-$  irá deslocar a reação dada por  $H^+ + OH^- \leftrightarrow H_2O$  para a formação de  $H_2O$  às custas do consumo de  $H^+$ . Se o  $H^+$  consumido, isto é, removido do meio, produz uma elevação do pH do sistema.

Sabe-se que as espécies  $H^+$ ,  $OH^-$  e  $H_2O$  sempre estarão presentes nas soluções aquosas, sejam ácidas, básicas ou neutras. A diferença é a concentração de cada espécie nos três tipos de soluções mencionadas. A reação  $H^+ + OH^- \leftrightarrow H_2O$  pode ser reescrita em duas, explicitando as reações direta

$(H_2O \xrightleftharpoons{k_1} H^+ + OH^-)$  e inversa  $(H^+ + OH^- \xrightleftharpoons{k_2} H_2O)$ . Nessas reações,  $k_1$  e  $k_2$  são as constantes de velocidade das reações inversa e direta, respectivamente.

Eigen (1954) mostrou que os valores para  $k_1$  e  $k_2$  são, a 25°C, iguais a:  $k_1 = 2,6 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  e  $k_2 = 1,5 \times 10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ . Analisando os valores das constantes de velocidade pode-se perceber que  $k_1$  é muito menor do que  $k_2$ , implicando que a reação  $H^+ + OH^- \leftrightarrow H_2O$  está fortemente direcionada para a formação da água.

Essa importante observação quanto à velocidade da reação de neutralização, mostrada quantitativamente por Eigen (1954), já foi comentada por Lewis, conforme já discutido nesse texto.

Outro aspecto interessante foi discutido por Tanaka (2010). O autor argumentou que se uma diferença de potencial elétrico for aplicada na água pura, a constante  $k_1$  é aumentada e a constante  $k_2$  segue inalterada. Ou seja, a diferença de potencial favorece a ionização da água.

A reação de neutralização ácido forte-base é muito importante em sistema biológico diversos, bem como na indústria alimentar e farmacêutica. A abordagem por esse aspecto, diferentemente da forma usualmente abordada nos livros didáticos de química, mostra a influência dos aspectos cinéticos na formação desse equilíbrio iônico, o que aumenta a perspectiva desse importante fenômeno.

### 3.4 OBSERVAÇÕES SOBRE OS CONCEITOS ÁCIDO-BASE ANTERIORES E A PARTIR DO SÉCULO XX

A evolução das conceituações de ácidos e bases ao longo da história demonstra que as novas abordagens geralmente representam uma extensão da teoria anterior ou esclarecem fenômenos que a teoria anterior não conseguia explicar. Essas novas definições raramente entram em conflito com as definições anteriores, mas, em vez disso, as complementam. É notável como uma interpretação diferente do conceito de ácidos e bases no século XIX influenciou as direções de pesquisa até os dias atuais. Isso é evidenciado no cronograma histórico, onde as ideias de A. Ure e J.V. Liebig são consideradas como "ampliações" das definições atuais.

Ao longo da história, as definições de ácidos e bases frequentemente divergiram. Em determinados momentos, uma definição era valorizada em detrimento da outra, mesmo que esta última proporcionasse uma explicação mais abrangente dos fenômenos estudados. Isso destaca que o estudo da evolução das definições de ácido-base oferece uma oportunidade significativa para discutir com os alunos a natureza da ciência, especialmente no contexto da disciplina de química e sua história.

No entanto, feitas essas considerações históricas, o que se evidencia na prática educacional é a abordagem massiva das teorias de Arrhenius, Brönsted-Lowry e Lewis. Esses pesquisadores são

citados com naturalidade e suas teorias são defendidas como “as mais importantes”. Tal fenômeno pode ser entendido pelo encaixe espontâneo que os ácidos e bases de Arrhenius, Brönsted-Lowry e Lewis realizam no entendimento facilitado das reações químicas, nas generalizações conseguidas na organização dos compostos e também à simplicidade que fornecem no estudo de acidez e basicidade de compostos orgânicos (sabe-se que a maior parte dos compostos conhecidos são orgânicos, incluindo mais de dezoito milhões de espécies químicas), à simplicidade que fornecem ao entendimento e aplicação dos mais variados métodos físico-químicos e analíticos, como a volumetria e métodos de identificação e quantificação de cátions e ânions, sem deixar de destacar as reações ácido-base bioquímicas, que explicitam os processos biológicos de vegetais e animais.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O estudo dos ácidos e bases representa um pilar fundamental na química, sendo essencial para compreender uma vasta gama de fenômenos químicos e suas aplicações práticas. As definições desses conceitos servem como alicerce para a compreensão das reações químicas, possibilitando a identificação de substâncias, a previsão de comportamentos e a compreensão dos produtos formados. Isso é crucial para a síntese de compostos, a resolução de problemas químicos e o desenvolvimento de materiais, medicamentos e produtos químicos inovadores.

O papel dos ácidos e bases se estende para diversos campos, incluindo a bioquímica, onde as reações ácido-base são vitais para compreender a funcionalidade de enzimas, o pH em sistemas biológicos e os processos metabólicos. Além disso, esses conceitos encontram aplicação na indústria, análise química e proteção ambiental, contribuindo para a identificação e controle de poluentes. A compreensão desses princípios é essencial para o avanço da química, desempenhando um papel significativo em nossa qualidade de vida.

Adicionalmente, as reações de neutralização, envolvendo ácidos e bases, assumem um papel crucial em processos industriais, como a produção de sais e a purificação de substâncias. Além de sua relevância na medicina, contribuindo para a formulação de medicamentos e tratamentos, essas reações são essenciais em aplicações práticas diárias, como o tratamento de águas para consumo humano, assegurando a ausência de contaminantes ácidos ou alcalinos prejudiciais à saúde. Em suma, a compreensão do comportamento de ácidos e bases, incluindo suas reações de neutralização, é vital para o ensino da química, para a difusão química e desempenha um papel central em nossa sociedade moderna.

## REFERÊNCIAS

- ARRHENIUS, G., CALDWELL, K., & WOLD, S. Tribute to the Memory of Svante Arrhenius (1858-1927): A scientist ahead of his time. Stockholm, Sweden: Royal Swedish Academy of Engineering Sciences, 2008.
- ARICÓ, E. M; SOUZA, F. M. Mapa cronológico da evolução das dentições ácido-base: um potencial material de apoio didático para contextualização histórica no ensino de química. *Educación Química*, 2016.
- BELL, R. P. The use of the terms “acid” and “base”. *Quarterly Reviews, Chemical Society*, 1947.
- BENSAUDE-VINCENT, B.B. e STENGERS, I. História da Química. Trad. xxx. Lisboa: Editora Piaget, 1992. p. 23, 53- 54, 128-129, 198-199.
- CHAGAS, A. P. O Ensino De Aspectos Históricos E Filosóficos Da Química E As Teorias Ácido-Base Do Século XX. Instituto de Química. Unicamp, 1998.
- CHAGAS, A. P. A História e a Química do Fogo. Campinas, SP: Editora Átomo, 2006.
- EIGEN, M. Method for investigation of ionic reactions in aqueous solutions with half times as short as 10–9 s, application to neutralization and hydrolysis reactions, *Discuss. Faraday Soc.* 17 (1954) 194–205.
- FLOOD, H., FORLAND, T. The acidic and basic properties of oxides. *Acta Chem Scand.* 1947.
- GAGLIARDI, J.R. (1986). Los conceptos estructurales en el aprendizaje por investigación. *Enseñanza de las ciencias*, 4(1), 30-35.
- HILDEBRAND, J. H. Gilbert N. Lewis: Biographical Memoirs, National Academy of Sciences. Washington, D.C. USA. 1958.
- HARRIS, D. C., Análise Química Quantitativa, 6<sup>a</sup> Edição, Rio de Janeiro-RJ: LTC, 2005.
- JENSEN, W. B. The Lewis acid-base concepts: An overview. New York. USA: John Wiley & Sons, 1980.
- JENSEN, W. B. History and the teaching of chemistry. A tribute to Thomas Lowry’s textbook “Historical Introduction to Chemistry”. *Educación Química*, 2016.
- MAAR, H. J. Pequena História da Química, parte I, Ed. Papa-Livro: Florianópolis, 1999.
- PINHEIRO, B. C., BELLAS, R. R., SANTOS, L. M., Teorias Ácido-Base: aspectos históricos e suas implicações pedagógicas. *Anais do Encontro Nacional de Ensino da Química*, 2016.
- PORTE, P. Os três princípios e as doenças: a visão de dois filósofos químicos. *Química Nova*, n 05, p 569-572. 1997.

RIBEIRO, J. L. P. Revisão De Investigação e Evidência Científica. Psicologia, Saúde & Doenças, São Paulo, v. 15, n. 3, p. 671-682, 2014.

SKOOG, D. A., WEST, D. M., HOLLER F. J., Fundamentos de Química Analítica, tradução da 8<sup>a</sup> Edição norte-americana. São Paulo-SP: Editora Thomson, 2006. 1026p.

SOUZA, L. M. M; FIRMINO, C. F; MARQUES-VIEIRA, C. M. A; SEVERINO, S. S. P; PESTANA, H. C. F. C. Revisões da literatura científica: tipos, métodos e aplicações em enfermagem. Revista Portuguesa de Enfermagem de Reabilitação. v. 1, n.1, p. 45-54, 2018

TANAKA, Y., Water dissociation reaction generated in an ion exchange membrane. Journal of Membrane Science, Japão, 2010.

VOGEL, Análise Química Quantitativa, 6<sup>a</sup> Edição, Rio de Janeiro: LTC, 2002.

WRIGHT, M. R., An Introduction to Aqueous Electrolyte Solutions. UK: John Wiley& Sons Ltd, 2007. 603p.