

## **UMA PROPOSTA DE ACESSIBILIDADE NO ENSINO DE QUÍMICA: A TECNOLOGIA ASSISTIVA NA TITULAÇÃO ÁCIDO-BASE**

**Charlyana de Carvalho Bento**

Universidade de São Paulo (USP)

**charlyana1984@gmail.com**

**<https://orcid.org/0000-0002-7946-4734>**

**Rodrigo Ferreira de Lucena**

Universidade de São Paulo (USP)

**rodrigo.lucena09@gmail.com**

**<https://orcid.org/0009-0009-3566-8522>**

**Camila Pinto Dourado**

Universidade de São Paulo (USP)

**camiladourado54@gmail.com**

**<https://orcid.org/0000-0002-9379-5644>**

**Letícia Rodrigues Barrozo Lopes**

Universidade de São Paulo (USP)

**leticia.rodrigues.lopes@usp.br**

**<https://orcid.org/0009-0000-6552-8437>**

**Miriam Sannomiya**

Universidade de São Paulo (USP)

**miriamsan@usp.br**

**<https://orcid.org/0000-0003-3306-9170>**

### **RESUMO**

O ensino de Química no contexto escolar é tradicionalmente orientado por práticas experimentais que envolvem forte dependência da observação visual, como nas reações químicas que apresentam mudanças de coloração ou formação de precipitados. Tais abordagens, no entanto, podem limitar o acesso de estudantes com deficiência visual aos conteúdos práticos e experimentais. Este artigo objetiva apresentar reflexões a respeito do desenvolvimento de um modelo didático acessível para a prática da titulação ácido-base, utilizando tecnologia assistiva para representar, de forma sensorial, o ponto de equivalência. A metodologia adotada baseou-se nos princípios do Desenho Universal e na construção de um sistema composto por uma balança de pratos tátil e um sinalizador sonoro, acionado por um circuito com microcontrolador (Arduino Uno), buzzer e protoboard. Os materiais utilizados foram de baixo custo e fácil aquisição. O ponto de viragem, geralmente indicado por mudança de coloração, foi representado pelo equilíbrio da balança e pela emissão sonora do sistema, possibilitando a identificação do momento da neutralização por meio do tato e da audição. Como resultado, a proposta demonstrou potencial de aplicação em atividades escolares, promovendo acessibilidade e participação de estudantes com deficiência visual em atividades experimentais. Conclui-se que

práticas inclusivas com recursos de tecnologia assistiva podem contribuir para um ensino mais equitativo e sensível à diversidade dos alunos.

**Palavras-chave:** ensino de química; material didático; titulação; deficiência visual.

## A PROPOSAL FOR ACCESSIBILITY IN CHEMISTRY TEACHING: ASSISTIVE TECHNOLOGY IN ACID-BASE TITRATION

### ABSTRACT

*Chemistry teaching in schools is traditionally guided by experimental practices that rely heavily on visual observation, such as chemical reactions involving color changes or precipitate formation. However, such approaches may limit access to practical and experimental content for students with visual impairments. This article aims to present considerations on the development of an accessible didactic model for acid–base titration, using assistive technology to represent the equivalence point through sensory cues. The methodology was based on the principles of Universal Design and involved the construction of a system composed of a tactile balance scale and an audible signal triggered by a circuit with a microcontroller (Arduino Uno), buzzer, and protoboard. The materials used were low-cost and easy to obtain. The titration endpoint, typically indicated by a subtle color change, was represented by the balance reaching equilibrium and by the activation of a sound signal, allowing students to identify the moment of neutralization through touch and hearing. The proposed model showed potential for use in school activities, promoting accessibility and enabling the participation of students with visual impairments in experimental tasks. It is concluded that inclusive practices supported by assistive technologies can contribute to more equitable and inclusive science education.*

**Keywords:** chemistry teaching; teaching material; titration; visually impaired person.

## UNA PROPUESTA DE ACCESIBILIDAD EN LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA: TECNOLOGÍA DE ASISTENCIA EN LA TITULACIÓN ÁCIDO-BASE

### RESUMEN

*La enseñanza de la Química en el contexto escolar se orienta tradicionalmente por prácticas experimentales que dependen en gran medida de la observación visual, como en las reacciones químicas que presentan cambios de color o formación de precipitados. Sin embargo, estos enfoques pueden limitar el acceso de estudiantes con discapacidad visual a los contenidos prácticos y experimentales. Este artículo tiene como objetivo presentar reflexiones sobre el desarrollo de un modelo didáctico accesible para la práctica de la titulación ácido-base, utilizando tecnología asistiva para representar sensorialmente el punto de equivalencia. La metodología se basó en los principios del Diseño Universal y en la construcción de un sistema compuesto por una balanza de platos táctil y una señal sonora, activada mediante un circuito con microcontrolador (Arduino Uno), zumbador y protoboard. Se utilizaron materiales de bajo costo y fácil adquisición. El punto de viraje, normalmente indicado por un cambio de color, fue representado por el equilibrio de la balanza y la emisión del sonido, lo que permitió la identificación del momento de neutralización a través del tacto y la audición. La propuesta demostró potencial para ser aplicada en actividades escolares, promoviendo la accesibilidad y la participación de estudiantes con discapacidad visual. Se concluye que las prácticas inclusivas con tecnologías asistivas pueden contribuir a una enseñanza más equitativa y sensible a la diversidad.*

**Palabras clave:** *enseñanza de la química; material de enseñanza; titulación; discapacidad visual.*

## 1 INTRODUÇÃO

A evolução da legislação brasileira sobre a educação de pessoas com deficiência visual reflete um compromisso crescente com a inclusão, fundamental para a proposta de recursos didáticos inclusivos. A Constituição Federal de 1988 garante atendimento educacional especializado na rede regular de ensino. A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (1996) define a educação especial como transversal a todos os níveis de ensino, assegurando métodos e recursos específicos. O Decreto n.º 3.298/1999 regulamenta a Política Nacional para a Integração da Pessoa com Deficiência, destacando a necessidade de materiais em braile. Em 2008, a Política Nacional de Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva orienta práticas educacionais inclusivas. O Plano Nacional de Educação (Brasil, 2014) e a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Brasil, 2015) reforçam o acesso à educação e tecnologias assistivas. Diversas iniciativas complementam essas legislações, proporcionando materiais e tecnologias assistivas essenciais para a criação de recursos didáticos que promovam a aprendizagem de estudantes com deficiência visual em um contexto inclusivo.

Para a criação de recursos didáticos inclusivos, especialmente para pessoas com deficiência visual, é fundamental considerar as teorias e pensamentos de diversos educadores e cientistas da educação. Maria Montessori enfatiza a importância de materiais sensoriais e acessíveis para promover a autonomia e o aprendizado de todas as crianças (Röhrs, 2010). Lev Vygotsky (2001, 2007), com sua teoria sociocultural, destaca que a inclusão é essencial para o desenvolvimento pleno, defendendo materiais didáticos adaptados que promovam o aprendizado colaborativo. Howard Gardner (2010), com sua teoria das inteligências múltiplas, argumenta que os recursos devem reconhecer e valorizar diferentes formas de aprender, oferecendo materiais que desenvolvam habilidades visuais, auditivas, táteis e cinestésicas. Paulo Freire (2014), com sua pedagogia do oprimido, defendia uma educação crítica e libertadora, onde os materiais didáticos devem ser acessíveis e culturalmente relevantes. David Rose e Anne Meyer (2002), fundadores do conceito de Desenho Universal para a Aprendizagem (DUA), defendem que o currículo e os materiais devem ser projetados desde o início para serem acessíveis a todos, utilizando tecnologias assistivas e flexibilização na apresentação da informação. A alfabetização em braile e o uso dessas tecnologias são essenciais para promover a independência e a igualdade de oportunidades para pessoas com deficiência visual (Frazão et al., 2020). Essas teorias fornecem uma base sólida para a criação de recursos didáticos inclusivos, garantindo uma educação de qualidade para todos os alunos.

A integração dessas tecnologias e habilidades aos recursos educacionais permite a participação dos estudantes com deficiência visual de forma autônoma e inclusiva no ambiente escolar (Santos; Sofiato, 2023). O Desenho Universal para a Aprendizagem (DUA) representa uma abordagem educacional que visa criar currículos, ambientes de aprendizagem, materiais acessíveis e eficazes para todos os educandos, independente de suas habilidades ou necessidades (Rose; Meyer, 2002). Isso significa garantir igualdade de acesso ao currículo e às oportunidades de aprendizagem, oferecer múltiplas maneiras de acessar, processar e expressar o conhecimento, criando métodos de ensino que motivem e envolvam todos os alunos. Os princípios fundamentais do DUA incluem a representação múltipla do conteúdo, permitindo diversas formas de expressão e ação, utilizando estratégias variadas para manter os alunos engajados (Sebastián-Heredero,

2020).

O ensino de química ainda hoje se depara com os entraves para seu aprendizado, sendo considerada uma ciência complexa e abstrata. O desinteresse e a desmotivação dos estudantes, assim como a descontextualização do conteúdo, podem estar diretamente ligados à abordagem metodológica adotada pelo professor na transmissão do conhecimento. Nesse sentido, o uso de metodologias diversificadas visa motivar os alunos e proporcionar uma compreensão mais eficaz dos conceitos e fenômenos químicos. A linguagem científica, muitas vezes distante da realidade dos estudantes, aliada à falta de contextualização, dificulta a apreensão dos conteúdos, resultando em uma aprendizagem superficial. Assim, a adoção de diferentes metodologias pode tornar o conteúdo mais atrativo e facilitar uma compreensão mais profunda. De acordo com Soares (2004), uma abordagem contextualizada que leve em conta a comunidade e a sociedade, oferece oportunidades iguais para o melhor aproveitamento do conhecimento. Além disso, é importante adaptar as práticas metodológicas às dificuldades e especificidades da turma. No ensino de química, os experimentos desempenham um papel fundamental ao proporcionar uma compreensão prática dos conceitos teóricos (Rosa; Darroz; Rosa, 2018). No entanto, a eficácia dessas atividades pode variar dependendo das habilidades prévias dos alunos e dos desafios enfrentados por aqueles com deficiências visuais. Para os alunos em geral, os experimentos oferecem a oportunidade de aplicar conhecimentos teóricos em contextos reais, promovendo um aprendizado mais profundo e significativo. Eles também incentivam o desenvolvimento de habilidades, como manipulação de equipamentos e interpretação de resultados, essenciais para uma formação científica sólida (Santos; Menezes, 2020). Diversos temas abordados envolvem experiências práticas que demonstram conceitos teóricos de forma visual, usando cores, formas e reações que podem não ser acessíveis para alunos com deficiência visual (Gonçalves et al., 2013; Duarte; Rossi, 2021). A interpretação visual dos experimentos pode ser limitada, exigindo adaptações criativas para tornar o conteúdo acessível, enriquecendo a experiência de aprendizado de toda a classe ao promover uma compreensão mais holística e empática da ciência (Bromfield; Nelson, 2024). Isso inclui o uso de materiais táteis, descrições detalhadas verbais, modelos tridimensionais e dispositivos de assistência tecnológica, como *softwares* de áudio (D'Agostino, 2021). Ao promover uma compreensão mais ampla e envolvente dos conceitos químicos através de múltiplos sentidos, os métodos multissensoriais atendem às necessidades específicas dos alunos com deficiência visual e oferecem uma metodologia mais dinâmica e acessível. Dessa forma, essa implementação de experimentos multissensoriais pode ainda representar uma oportunidade valiosa para explorar novas formas de ensino e aprendizagem que promovam a equidade e a diversidade na sala de aula de química.

Santos et al. (2015) propuseram materiais inclusivos para trabalhar conteúdos de peso, medida, soluções e titulação. Maciel, Batista Filho e Prazeres (2016) implementaram uma balança e um medidor de volume. Silva (2018) elaborou uma proposta para os conteúdos de acidez e condutividade elétrica e relatou outra que aborda um material voltado para tipos de misturas (heterogênea e homogênea). A adaptação de procedimentos experimentais pode desempenhar um papel crucial na inclusão de estudantes com deficiência visual no ensino de química. Simplificações em experimentos tradicionais, como a destilação, utilizando materiais alternativos e seguros, permitem que esses alunos participem de forma ativa e autônoma (Lima et al., 2022). Em um estudo recente, dispositivos simples, como destiladores feitos com garrafas PET e bulbos de lâmpadas, foram desenvolvidos para auxiliar os alunos a entenderem os princípios da separação de misturas sem depender exclusivamente da visão (Benite et al., 2022). E ainda pode-se destacar o uso da corrida de carrinhos com textura marcada com pontos em braile, representando a separação cromatográfica de pigmentos, conforme a proposta

inclusiva por Darim et al. (2024). Em uma revisão na literatura feita entre 2000 e 2019 sobre a multissensorialidade no ensino voltado a educandos com deficiência visual, foram encontrados quatro trabalhos relacionados com o ensino de química (Darim; Guridi; Critelli, 2021) e nenhum é voltado ao conteúdo de titulação ácido-base.

A titulação ácido-base é uma técnica essencial na química, amplamente empregada em laboratórios de ensino e pesquisa, sendo simples, de alta confiabilidade e adaptabilidade. Esta técnica tem suas aplicações em diferentes setores, como na indústria farmacêutica, onde é usada na determinação da concentração do ingrediente ativo dos medicamentos, garantindo a consistência entre lotes. No setor alimentício, por sua vez, é empregada para analisar a composição de produtos a fim de garantir a segurança e a qualidade (Pinthong et al., 2022).

Trata-se de uma técnica que engloba as etapas de “titulação” e “determinação”. Na primeira fase, a solução padrão é gradualmente adicionada à solução do analito até que a reação química atinja o ponto de equivalência. Esse processo pode ser executado com a utilização de buretas de vidro convencionais, bombas dosadoras modernas e precisas ou até mesmo eletrólise *in situ* de eletrólitos (titulação coulométrica) (Kuntzleman et al., 2011). O ponto de equivalência pode ser acompanhado por mudanças físicas específicas que acompanham a equivalência química. Já a “determinação”, se refere ao estabelecimento do ponto final de uma reação de titulação, através da adição de um indicador apropriado ou aproveitando outras técnicas de análise instrumental. O método do indicador, conhecido por sua simplicidade e confiabilidade, aponta o ponto final da titulação ao discernir as mudanças de coloração da solução através do indicador ácido-base ou a formação de um precipitado (Wang; Geng; Zhu, 2024). Por outro lado, os métodos de análise instrumental determinam o ponto final de forma mais precisa e sensível, detectando e quantificando alterações em um sinal físico específico, como o método potenciométrico, que é o mais prevalente. Na titulação, geralmente, a bureta é posicionada verticalmente em um suporte, com um regulador de vazão na extremidade inferior, permitindo que o titulante seja liberado de forma controlada. Outros instrumentos, como balanças e provetas, também são utilizados, embora apresentem margens de erro em suas leituras (Assumpção et al., 2010; Atkins; Jones, 2012).

Duarte e Rossi (2021) destacam que cabe aos professores, especialmente os de química, a responsabilidade de adotar ou criar estratégias e recursos didáticos eficazes. Ensinar química a pessoas com deficiência visual engloba a superação dos desafios da falta de acessibilidade, materiais didáticos adequados, tecnologias assistivas, e bem como da necessidade de uma formação docente específica e a remoção de barreiras atitudinais. Assim, é fundamental o esforço de professores e demais profissionais da educação para minimizar falhas no ensino de química, buscando favorecer a formação do conhecimento químico em estudantes com deficiência visual (D’Agostino, 2021), desenvolvendo propostas didáticas inclusivas e materiais didáticos adaptados.

A Didática Multissensorial favorece a inclusão, tanto em escolas regulares quanto especiais, adaptando recursos pedagógicos e a dinâmica de sala de aula para atender a todos os alunos. Essa abordagem se alinha ao conceito de desenho universal (BRASIL, 2015), criando um ambiente acessível e sem segregação para estudantes com deficiência. A proposta, fundamentada nesse referencial, é apresentada na próxima sessão.

Este artigo objetiva apresentar reflexões a respeito do desenvolvimento de um modelo didático acessível para a prática da titulação ácido-base, utilizando tecnologia assistiva para representar, de forma sensorial, o ponto de equivalência.

A metodologia adotada baseou-se nos princípios do Desenho Universal e na construção de um sistema composto por uma balança de pratos tátil e um sinalizador sonoro, acionado por um circuito com microcontrolador (Arduino Uno), buzzer e protoboard. Detalhes encontram-se apresentados a seguir.

## 2 O EXPERIMENTO: DADOS E ANÁLISES

### 2.1 Experimento adaptado para inclusão de estudantes com deficiência visual

Um exemplo concreto de experimento adaptado para inclusão de estudantes com deficiência visual é a titulação química. Nesse contexto, foi desenvolvido um modelo didático acessível a ser utilizado em aulas práticas de titulação. O experimento utiliza uma balança de pratos tátil para representar o processo: de um lado, posiciona-se um material que simula o reagente a ser titulado, enquanto, do outro, um fluxo controlado de material particulado representa o titulante. O ponto de equivalência é indicado quando a balança atinge o equilíbrio, sendo esse momento reforçado por um sinal sonoro (alarme) que auxilia os alunos na identificação do fim da reação. Essa abordagem promove uma compreensão multissensorial do experimento, contribuindo para a inclusão e o aprendizado significativo de todos os estudantes.

Para a construção do modelo didático, foram utilizados materiais de baixo custo e fácil acesso, conforme descrito no Quadro 1.

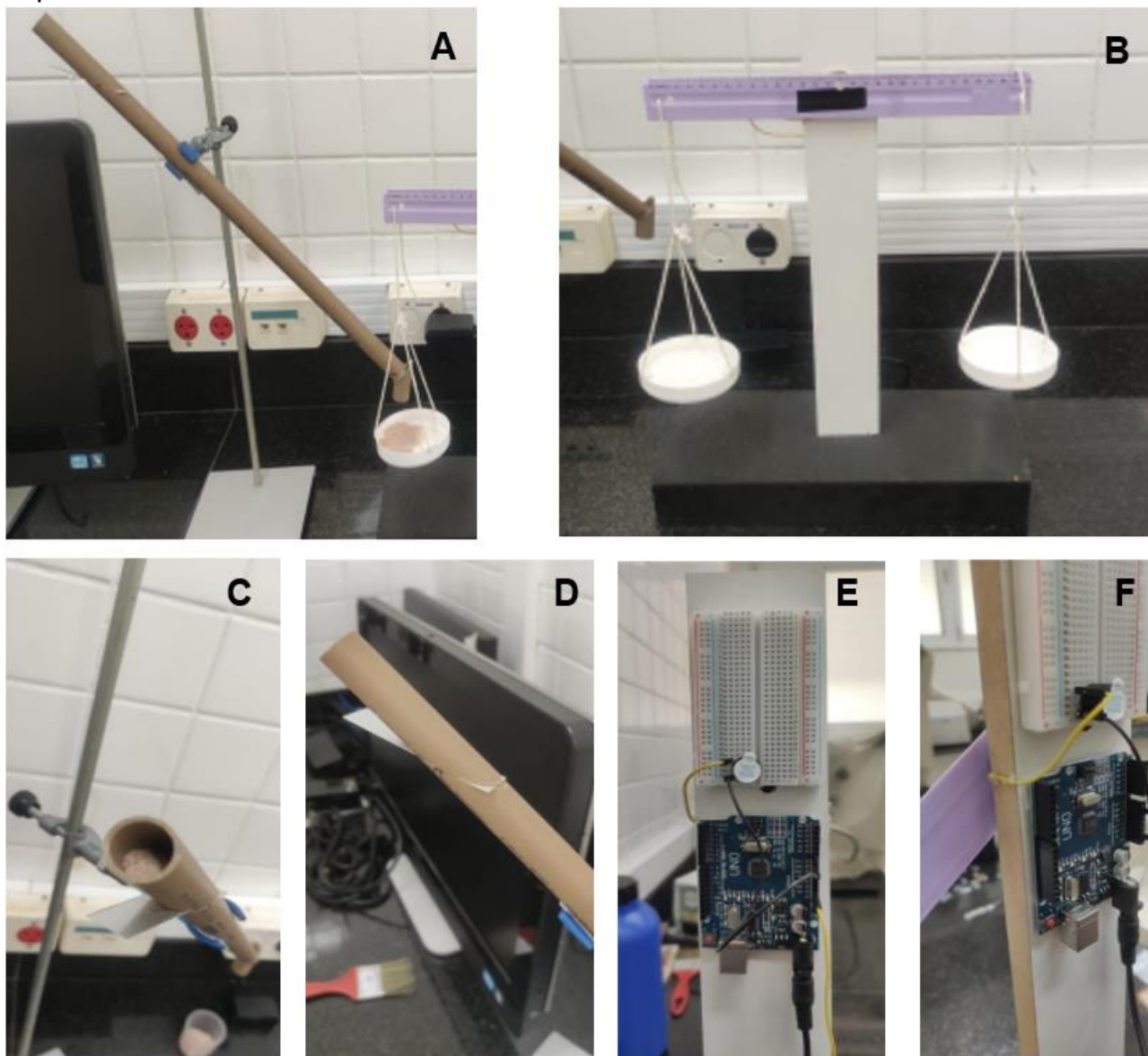
Quadro 1 – Componentes e funções do modelo didático adaptado para titulação voltado a pessoas com deficiência visual

Componente	Descrição	Função didática
<b>Bureta adaptada</b>	Tubo de PVC (50 cm x 2 cm), placa de alumínio (7 cm x 1,7 cm), fixada em suporte universal	Representa a bureta tradicional; possibilita controle manual e seguro do “titulante”
<b>Titulante (simulado)</b>	Grãos de areia	Simulam a adição controlada do titulante em função da percepção tátil e auditiva
<b>Balança de pratos</b>	Base e coluna de madeira, barbantes, duas tampas de frascos, fita de cobre (10 cm x 0,5 cm), régua (30 cm) e alfinete	Indica o ponto de equivalência por equilíbrio físico, facilitando a percepção sensorial do resultado
<b>Sistema de alarme</b>	Arduino Uno, buzzer, protoboard e fios de conexão	Emite som ao atingir o ponto de equivalência, reforçando a percepção auditiva do final da titulação

Fonte: Os autores (2024).

A Figura 1 apresenta o modelo didático elaborado para adaptar a técnica de titulação a estudantes com deficiência visual, ilustrando os componentes previamente descritos e suas respectivas funções na promoção da acessibilidade e inclusão no ensino de Química.

Figura 1 - Sistema de fluxo de material construído usando um tubo de PVC fixado em um suporte universal



Legenda: (A); Balança de pratos com os barbantes fixados em 3 pontos de cada tampa plástica e nas extremidades da régua, suportados por uma base de madeira (B); material titulante represado (C); Válvula de controle de fluxo (D); Sistema de alarme composto de microcontroladora, *proto-board*, fios e componente eletrônico (E e F).

Fonte: Os autores.

Neste experimento, o material representando o reagente titulado é colocado em um dos pratos da balança, inicialmente em desequilíbrio. No outro prato, um fluxo de material particulado (areia), representando o titulante, é adicionado gradualmente. O ponto de equivalência é identificado quando a balança atinge o equilíbrio, sendo indicado pelo acionamento do alarme sonoro. É essencial destacar que, na titulação tradicional, o ponto de equivalência é determinado pelo número de mols, e não pela massa adicionada. Essa distinção deve ser reforçada ao longo da atividade para garantir uma compreensão conceitual adequada pelos alunos.

## 2.2 Funcionamento do sistema

O sistema de fluxo de material foi desenvolvido a partir de um tubo de PVC com adaptação em sua extremidade inferior para o material titulante poder escoar na vertical (Figura 1A). A 10 cm da extremidade superior do tubo de PVC foram realizados dois cortes, opostos entre si, em um ângulo de  $45^\circ$  para permitir a passagem de uma lâmina de alumínio, que funciona como uma válvula que controla o fluxo de material pelo tubo de PVC (Figura 1C e 1D). Com a válvula fechada, a areia é adicionada acima dela e fica represada até que a válvula seja aberta. Todo o sistema de fluxo de material foi então fixado em um suporte universal (figura 1A). Para o desenvolvimento da balança (figura 1B), as duas tampas de frascos, utilizadas como os pratos da balança, foram fixadas nas extremidades opostas da régua por meio dos pedaços de barbante, onde três pedaços foram amarrados em três pontos equidistantes no decorrer do perímetro de cada tampa e de suas junções partiu mais um pedaço de barbante que foi amarrado em cada uma das extremidades opostas da régua. A fita de cobre foi colada centralizada pela extensão de comprimento maior da régua. Em seguida, a régua foi anexada ao suporte de madeira por meio do alfinete, de modo a permitir sua livre rotação em torno de seu centro de massa e de forma que a superfície com a fita de cobre ficasse voltada ao suporte de madeira.

Por fim, o circuito do sistema de alarme (Figura 1E e 1F) foi montado com o componente *buzzer* sendo inserido na placa *protoboard* com o seu terminal negativo conectado ao terminal terra da microcontroladora (fio preto) e o terminal positivo soldado na posição central da fita de cobre, anexada à régua (fio amarelo). A extremidade de um terceiro fio foi conectado ao terminal de 5V da microcontroladora e sua extremidade oposta foi desencapada e anexada na coluna de madeira de forma que quando a régua está na posição horizontal, essa extremidade do fio encosta na fita de cobre e fecha o circuito elétrico, fazendo com que o *buzzer* emita um som de alarme, ou seja, o alarme soa toda vez que a balança estiver em sua posição de equilíbrio. É importante salientar que não há a necessidade de criar algum código de programação para ser inserido na microcontroladora.

Para iniciar o experimento, coloca-se o material titulado em um dos pratos da balança e a extremidade inferior do tubo de PVC (bureta adaptada) no outro prato. Ao ligar a microcontroladora, a balança estará em desequilíbrio. A abertura da válvula inicia o fluxo de areia, e o som dos grãos caindo no prato indica o ajuste do fluxo que deve ser feito. Quando o alarme soa, indicando o equilíbrio da balança, a válvula deve ser fechada imediatamente.

No experimento de titulação ácido-base, o desafio para alunos com deficiência visual é relevante, uma vez que é necessário observar uma alteração de coloração no titulado, que indica o ponto final da titulação. Adequar o experimento de maneira a permitir a execução autônoma da tarefa requer o uso de tecnologias assistivas, como termômetros vocais e sensores que indicam o ponto de equivalência por meio de sinais auditivos (Santos et al., 2020).

O uso de descrições verbais detalhadas e de simulações sonoras podem ajudar esses estudantes a formarem imagens mentais dos processos químicos em estudo. Isso não apenas reforça o entendimento conceitual, mas também promove a inclusão ao assegurar que todos os alunos, independentemente de suas capacidades sensoriais, tenham acesso igualitário ao conhecimento. A criação de um ambiente de aprendizagem inclusivo, onde a diversidade é vista como um recurso valioso e não como um desafio, é essencial para o desenvolvimento pleno dos estudantes (Schnepp; Watson, 2023).

Além disso, a abordagem multissensorial é uma estratégia pedagógica que envolve o uso de múltiplos sentidos (visão, audição, tato, olfato e, em alguns casos, paladar) para facilitar a aprendizagem. Essa metodologia tem mostrado ser especialmente eficaz na educação inclusiva, proporcionando uma gama de benefícios que vão além da mera transmissão de conhecimento (Shams; Seitz, 2008).

O uso de diferentes canais sensoriais pode aumentar significativamente a apropriação dos conteúdos. Quando os educandos são expostos a conceitos por meio de múltiplos sentidos, eles tendem a processar e armazenar melhor o conhecimento, pois diferentes áreas do cérebro são ativadas simultaneamente (Theresa; Recard, 2021). Por exemplo, um aluno com deficiência visual pode entender melhor os conceitos de titulação por meio de modelos táteis ou de descrições auditivas detalhadas (Shams; Seitz, 2008). Além disso, a abordagem multissensorial promove um engajamento mais profundo dos estudantes. Ao variar os estímulos, o ensino torna-se mais dinâmico e interessante, o que ajuda a manter a atenção dos alunos por mais tempo (Edwards et al., 2019). Essas estratégias combinadas não apenas tornam a titulação acessível, mas também demonstram o compromisso contínuo com a inclusão e a igualdade de oportunidades na educação científica. Ao integrar recursos didáticos adaptados, às escolas e educadores é possível garantir que cada estudante, independentemente de suas habilidades, tenha as ferramentas necessárias para explorar e compreender os princípios químicos de maneira significativa e envolvente, tendo a chance de alcançar seu pleno potencial acadêmico (Souza et al., 2023). Entretanto, a implementação dessas práticas requer um esforço contínuo por parte dos educadores para explorar e aplicar novas estratégias pedagógicas que rompam com as barreiras tradicionais da educação científica. Ao adotar uma abordagem inclusiva, que valorize tanto as diferenças quanto às semelhanças entre os alunos, é possível construir um ambiente educacional mais justo, onde cada estudante tenha a oportunidade de explorar e desenvolver suas habilidades ao máximo (Maciel; Castro, 2023).

O material elaborado visa ser acessível a todos os alunos ao estudarem conteúdos de química, mais especificamente titulação, permitindo a exploração de texturas e formas que correspondem aos ácidos, bases e indicadores. Essa adaptação sensorial possibilita aos estudantes com deficiência visual detectar as transições de cor que indicam o ponto de equivalência da titulação, um aspecto crítico do procedimento. Modelos táteis e sonoros como esse facilitam a compreensão dos processos químicos fundamentais através da manipulação desses materiais, proporcionando uma experiência sensorial que complementa as explicações verbais fornecidas pelos professores nas aulas teóricas (Reyes, 2023). Como é o caso do uso de buretas com escalas em alto-relevo ou que emitem *feedback* auditivo, quando o líquido é dispensado para ajudar na precisão do volume do titulante (Benite et al., 2022). Tais adaptações garantem que os estudantes com deficiência visual realizem a titulação com a mesma precisão e compreensão conceitual que os demais alunos (Dantas Filho; Pequeno; Diniz, 2019). Além dos modelos táteis, propomos um recurso didático inclusivo que incorpora tecnologias assistivas e flexibilidade na apresentação da informação. Esse recurso inclui modelo análogo ao sistema de titulação, para representar a prática de titulação ácido-base usando a audição e o tato para acompanhar e participar da aula prática/demonstrativa. Essa adaptação sensorial possibilita aos estudantes com deficiência visual detectar as transições de cor que indicam o ponto de equivalência da titulação. Também são utilizadas estratégias de engajamento que refletem os interesses dos estudantes e oferecem desafios ajustados ao nível individual. A adoção dessa abordagem, fundamentada no DUA, visa criar um ambiente de aprendizagem equitativo e eficaz, garantindo que todos os alunos tenham as ferramentas e oportunidades necessárias para alcançar o sucesso educacional.

### 2.3 Proposta de plano de aula: titulação

O plano de aula aqui proposto consiste em uma sequência didática composta por duas aulas de 50 minutos, destinadas a turmas do ensino médio. A proposta tem como foco a Titulação de Ácidos-Bases, utilizando uma abordagem inclusiva e multissensorial para promover a participação ativa de todos os estudantes.

O principal objetivo é possibilitar a compreensão dos conceitos fundamentais da titulação ácido-base, enfatizando a importância do ponto de equivalência e diferenciando número de mols e massa. Além disso, busca-se proporcionar aos alunos o conhecimento e a operação de um modelo didático adaptado para a realização da titulação, incluindo um sistema de alarme sonoro para a inclusão de estudantes com deficiência visual. A proposta também visa desenvolver habilidades colaborativas e sensoriais.

Para a execução da atividade, há que se utilizar materiais de baixo custo e adaptados, como um modelo tátil de balança de pratos e um sistema de alarme controlado pela placa microcontroladora Arduino. Essa adaptação permite que alunos com deficiência visual participem ativamente da aula prática, tornando o experimento de titulação ácido-base mais acessível e inclusivo.

No primeiro momento, a turma precisa ser dividida em grupos, favorecendo a interação e o trabalho colaborativo. Essa organização facilita a dinâmica da aula, permitindo que cada grupo tenha acesso direto aos materiais e ao acompanhamento próximo do professor. Os primeiros 10 minutos são dedicados à formação dos grupos e à ambientação inicial. Em seguida, o professor introduz os conceitos fundamentais da titulação ácido-base, com o objetivo de ativar os conhecimentos prévios dos alunos. São enfatizadas a importância do ponto de equivalência e a distinção entre aspectos quantitativos, como o número de mols, e a representação prática do experimento. Essa explicação ocorre ao longo de aproximadamente 20 minutos.

Para auxiliar na compreensão, o docente precisa utilizar recursos didáticos, demonstrando a montagem do modelo didático. Explicando, por exemplo, como os barbantes são fixados nas tampas plásticas e como a régua, sustentada por um alfinete, deve ser posicionada para girar livremente. Essa etapa de demonstração será conduzida nos 20 minutos finais da primeira aula.

Na segunda aula, os alunos, organizados em grupos, iniciam a parte prática. Os grupos observam a montagem do experimento pelo professor, seguindo todas as orientações. O material que representa o reagente é colocado em um dos pratos da balança, inicialmente em desequilíbrio, enquanto, no outro prato, o fluxo de areia, simbolizando o titulante, é liberado gradualmente através do tubo de PVC. O ponto de equivalência é identificado quando a balança atingir o equilíbrio, momento em que o sistema de alarme sonoro é acionado. O professor acompanha de perto o manuseio, esclarecendo dúvidas e reforçando os conceitos abordados na aula anterior, de modo a garantir a participação ativa de todos os alunos. Essa fase prática deve durar aproximadamente 30 minutos.

Ao término da atividade prática, sugere-se reservar um momento de discussão, no qual cada grupo compartilha suas experiências, dificuldades e observações. Essa etapa permite que os alunos associem os conhecimentos teóricos com a prática realizada, tenham esclarecimentos e tirem dúvidas sobre o experimento, e precisa durar aproximadamente 20 minutos. Dessa forma, a sequência didática proposta combina teoria e prática por meio de uma abordagem inclusiva e multissensorial, estimulando o trabalho em grupo e utilizando materiais de baixo custo.

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta desenvolvida demonstrou-se viável tanto na construção quanto na aplicação, com potencial de replicação em diferentes realidades educacionais, especialmente em escolas com infraestrutura limitada. O modelo apresentado, composto por uma balança de pratos artesanal e sinal sonoro, permitiu representar de forma sensorial e significativa um conceito fundamental da Química. Além disso, ao incorporar princípios do Desenho Universal, a atividade promoveu um ambiente de aprendizagem mais equitativo, em que todos os alunos puderam acessar, compreender e interagir com o conteúdo de maneira ativa.

Como desdobramento, recomenda-se a ampliação da aplicação do modelo em sala de aula, bem como a avaliação de sua efetividade a partir do acompanhamento sistemático com diferentes perfis de estudantes. A integração de tecnologias assistivas ao cotidiano escolar não deve ser vista como adaptação pontual, mas como uma estratégia pedagógica permanente para uma educação verdadeiramente inclusiva.

### REFERÊNCIAS

ASSUMPÇÃO, M. H. M. T.; FREITAS, K. H. G.; SOUZA, F. S.; FATIBELLO-FILHO, O. Construção e adaptação de mates alternativos em titulação ácido-base. **Eclética Química**, v. 35, p. 133-138, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-46702010000400017>. Acesso em: 7 mar. 2025.

ATKINS, P.; JONES, L. **Princípio de química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

BENITE, C. R. M.; ARAÚJO FRANÇA, L.; NOBRE VARGAS, G.; CANAVARRO BENITE, A. M. Chemistry teaching for visually impaired students: experimentation with the use of assistive technology. **Educação Química em Ponto de Vista**, [S.l.], v. 6, 2022. Disponível em: <https://revistas.unila.edu.br/eqpv/article/view/3293>. Acesso em: 3 dez. 2024.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 2016. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm). Acesso em: 7 mar. 2024.

BRASIL. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional**, LDB. 9394/1996. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9394.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9394.htm). Acesso em: 7 mar. 2024.

BRASIL. **Decreto nº. 3.298 de 20 de dezembro de 1999**. Brasília: Política Nacional para a Integração da Pessoa Portadora de Deficiência, 1999. Disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=DEC&numero=3298&ano=1999&ato=a55k3Zq5keNpWTe7a>. Acesso em: 7 mar. 2024.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Especial (SEESP). **Política Nacional de Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva**. Brasília: MEC/SEESP, 2008. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/arquivos/pdf/politicaeducacional.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2024.

BRASIL. **Lei nº 13.005, de 25 de junho de 2014.** Aprova o Plano Nacional de Educação (PNE) e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 26 jun. 2014. Seção 1, p. 1, Ed. Extra. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2014/lei/l13005.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2014/lei/l13005.htm). Acesso em: 12 nov. 2024.

BRASIL. **Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015.** Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência). Brasília, DF: Presidência da República, 2015. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm). Acesso em: 12 nov. 2024.

BROMFIELD, L. D.; NELSON, J. Modifying an Organic Chemistry Esterification Teaching Lab to Be Accessible to Blind and Visually Impaired (BVI) Students. **Journal of Chemical Education**, v. 101, n. 5, p. 1891-1898, 2024. DOI: 10.1021/acs.jchemed.3c01081. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c01081>. Acesso em: 19 jan. 2025.

D'AGOSTINO, A. T. Accessible teaching and learning in the undergraduate chemistry course and laboratory for blind and low-vision students. **Journal of Chemical Education**, v. 99, n. 1, p. 140-147, 2021. DOI: 10.1021/acs.jchemed.1c00285. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00285>. Acesso em: 19 jan. 2025.

DANTAS FILHO, F. F. D.; PEQUENO, I. C.; DINIZ, A. P. M. B. Desafios de Professores de Química Quanto a Inclusão de Alunos com Deficiência no Ensino Regular. **REIN - Revista Educação Inclusiva**, Campina Grande, Brasil., v. 3, n. 3, p. 37-54, 2019. Disponível em: <https://revista.uepb.edu.br/REIN/article/view/171>. Acesso em: 3 fev. 2025.

DARIM, L.P.; DOURADO, C. P.; GURIDI, V. M.; PEREIRA, A.; BARBOZA, R. C.; SANNOMIYA, M. Uma abordagem multissensorial para o ensino de cromatografia em uma perspectiva inclusiva. **ReBECCEM**, Cascavel (PR), v. 8, n. 1, p. 1-24, abr. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.48075/ReBECCEM.2024.v.8.n.1.30185>. Acesso em: 3 fev. 2025.

DARIM, L. P.; GURIDI, V. M.; CRITTELLI, B. A. A multissensorialidade nos recursos didáticos planejados para o ensino de Ciências orientado a estudantes com deficiência visual: uma revisão da literatura. **Revista Educação Especial**, Santa Maria -RS, v. 34, p. 1- 28, 2021

DUARTE, C. C. C.; ROSSI, A. V. Ensino de Química para pessoas com deficiência visual: mapeamento e investigação de produções no Brasil. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 20, n. 3, p. 396-421, 2021. Disponível em: [https://reec.webs.uvigo.es/volumenes/volumen20/REEC\\_20\\_3\\_4\\_ex1867\\_628.pdf](https://reec.webs.uvigo.es/volumenes/volumen20/REEC_20_3_4_ex1867_628.pdf). Acesso em: 19 jan. 2025.

EDWARDS, B. I.; BIELAWSKI, K. S.; PRADA, R.; CHEOK, A. D. Haptic virtual reality and immersive learning for enhanced organic chemistry instruction. **Virtual Reality**, v. 23, p. 363-373, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10055-018-0345-4>. Acesso em: 3 fev. 2025.

FRAZÃO, A. A. N.; ZAQUEU, L. C. C.; MENDONÇA, Í. P. S.; SILVA, T. N. F.; SILVEIRA, F. M. Tecnologia Assistiva: Aplicativos Inovadores para estudantes com Deficiência Visual/ Assistive Technology: Innovative Applications for Students with Visual Disabilities. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 11, p. 85076- 85089, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n11-066. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/19368>. Acesso em: 19 jan. 2024.

FREIRE, P. **Pedagogia da esperança**: um reencontro com a pedagogia do oprimido. Editora Paz e Terra, 2014.

GARDNER, H. E. **Frames of mind**: the theory of multiple intelligences. New York: Basic books, 2010.

GONÇALVES, F. P.; REGIANI, A. M.; AURAS, S. R.; SILVEIRA, T. S.; COELHO, J. C.; HOBMEIER, A. K. T. A educação inclusiva na formação de professores e no ensino de química: a deficiência visual em debate. **Química Nova na Escola**, v. 35, n. 4, p. 264-271, 2013. Disponível em: [http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc35\\_4/08-RSA-100-11.pdf](http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc35_4/08-RSA-100-11.pdf). Acesso em: 3 dez. 2024.

KUNTZLEMAN, T. S.; KENNEY, J. B.; HASBROUCK, S.; COLLINS, M. J.; AMEND, J. R. Simple and automated coulometric titration of acid using nonisolated electrodes. **Journal of Chemical Education**, v. 88, n. 11, p. 1565–1568, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ed101072c>. Acesso em: 3 fev. 2025

LIMA, F. S. C.; BOHN, D. M.; PASSOS, C. G.; RIBEIRO, D. C. A. Educação inclusiva no ensino de ciências e de química - uma revisão da literatura sobre as propostas pedagógicas direcionadas a estudantes com desenvolvimento atípico. **Ciência e Natura**, [S. l.], v. 44, p. e32, 2022. DOI: 10.5902/2179460X67178. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/67178>. Acesso em: 3 dez. 2024.

MACIEL, A. P.; BATISTA FILHO, A. B.; PRAZERES, G. M. P. Equipamentos alternativos para o ensino de Química para alunos com deficiência visual. **Revista Docência do Ensino Superior**, Belo Horizonte, v. 6, n. 2, p. 153–176, 2016. DOI: 10.35699/2237-5864.2016.2106. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rdes/article/view/2106>. Acesso em: 24 fev. 2024.

MACIEL, G. de M.; CASTRO, T. H. C. Conexões entre o método montessoriano e a teoria de aprendizagem de bruner: novas perspectivas à educação inclusiva. **REAMEC - Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática**, Cuiabá, Brasil, v. 11, n. 1, p. e23075, 2023. DOI: 10.26571/reamec.v11i1.16501. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/reamec/article/view/16501>. Acesso em: 3 dez. 2024.

MONTESSORI, M. **A descoberta da criança**: pedagogia científica. Campinas, São Paulo: Kirion, 2017.

PINTHONG, C.; CHAIYEN, P.; MAENPUEN, S.; CHENPRAKHON, P. Inquiry-based laboratories for students to investigate the concepts of acid–base titration, pKa, equivalence points, and molar absorption coefficients. **Journal of Chemical Education**, v. 99, n. 12, p. 4008-4015, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00319>. Acesso em: 3 fev. 2025.

REYES, R. L. Exploring Science Literature: Integrating Chemistry Research with Chemical Education. **Journal of Chemical Education**, v. 100, n. 6, p. 2303-2311, 2023. DOI: 10.1021/acs.jchemed.3c00101. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00101>. Acesso em: 19 nov. 2024.

RÖHRS, H. **Maria Montessori**. Recife: Fundação Joaquim Nabuco, 2010.

ROSA, C. T. W.; DARROZ, L. M.; ROSA, Á. B. Ensino em Ciências nos anos iniciais mediado pelas atividades experimentais: discussões envolvendo estudos na área. **REXE. Revista de Estudios y Experiencias en Educación**, v. 17, n. 35, p. 105- 118, 2018. DOI: 10.21703/rexe.20181735werner7. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=243158173007>. Acesso em: 19 jan. 2025.

ROSE, D.; MEYER, A. **Teaching every student in the digital age: universal design for learning**. Alexandria: Association for Supervision and Curriculum Development, 2002.

SANTOS, L.; SOFIATO, C. G. Tecnologia e educação inclusiva: o uso de recursos educacionais digitais (REDs). **Revista Exitus**, v. 13, n. 1, p. e023072, 2023. DOI: 10.24065/re.v13i1.2517. Disponível em: <https://portaldeperiodicos.ufopa.edu.br/index.php/revistaexitus/article/view/2517>. Acesso em: 19 nov. 2024.

SANTOS, L.R.; MENEZES, J. A. A experimentação no ensino de Química: principais abordagens, problemas e desafios. **Revista Eletrônica Pesquiseduca**, v. 12, n. 26, p. 180-207, 2020. Disponível em: <https://periodicos.unisantos.br/pesquiseduca/article/view/940>. Acesso em: 19 nov. 2024.

SANTOS, P. M. de M.; NUNES, P. H. P.; WEBER, K. C.; GABRIEL, C. L. J. Educação inclusiva no Ensino de Química: uma análise em periódicos nacionais. **Revista Educação Especial, [S. l.]**, v. 33, p. e1/ 1–19, 2020. DOI: 10.5902/1984686X36887. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/educacaoespecial/article/view/36887>. Acesso em: 3 set. 2024

SANTOS, S. R. B.; DANIEL, L. X. L.; SILVA, A. A.; SILVA, P. R. A.; MEDEIROS, E. A. S.; SANTOS, L. M. Química experimental para deficientes visuais. **Latin American Journal of Science Education**, v. 2, n. 1, p. 1-7, 2015. Disponível em: [https://www.lajse.org/may15/12015\\_Santos.pdf](https://www.lajse.org/may15/12015_Santos.pdf). Acesso em: 6 jan. 2025.

SCHNEPP, Z.; WATSON, R. Making chemistry accessible for learners with vision impairment. **Communications Chemistry**, v. 6, n. 1, p. 232, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s42004-023-01033-x>. Acesso em: 9 jan. 2025.

SEBASTIÁN-HEREDERO, E. Diretrizes para o Desenho Universal para a Aprendizagem (DUA). **Revista Brasileira de Educação Especial**, v. 26, n. 4, p. 733- 768, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1980-54702020v26e0155>. Acesso em: 2 nov. 2024.

SHAMS, L.; SEITZ, A. R. Benefits of multisensory learning. **Trends in Cognitive Sciences**, v. 12, n. 11, p. 411–417, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.07.006>. Acesso em: 3 dez. 2024.

SILVA, B. E. O. **Desenvolvimento de procedimentos didático-pedagógicos de ensino de química experimental para a inclusão de alunos deficientes visuais**. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. João Pessoa, 43 f. 2018.

SOUZA, A. C. S. L. M.; LOPES, F. H. B.; SILVA JUNIOR, G. G.; RODRIGUES, M.; FAUSTO, I. R. S.; ANTUNES, C. D.; LIMA, A. M. dos S.; ZUQUIM, A. F.; PEREIRA, L. C.; MOSCOSO, C. D. S. The training of the Chemistry teacher for inclusive education. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 12, n. 1, p. e16412139329, 2023. DOI: 10.33448/rsd-v12i1.39329. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/39329>. Acesso em: 3 dez. 2024.

SOARES, M. H. F. B. **The ludic in chemistry**: games and activities in chemistry teaching. 2004. Tese (Doutorado em Ciências Exatas e da Terra) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/6215/4088.pdf?sequence=1&isAllowed=1>. Acesso em: 13 mar. 2025.

THERESIA, N.; RECARD, M. Applying multisensory approach to promote engagement in primary english home-based learning. **Eltr Journal**, [S. l.], v. 5, n. 2, p. 105-119, 2021. DOI: 10.37147/eltr.v5i2.118. Disponível em: <https://apspsi.or.id/eltr/index.php/eltr/article/view/118>. Acesso em: 4 mar. 2025.

VYGOTSKY, L. S. **Pensamento e Linguagem**. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

VYGOTSKY, L. S. **A Formação social da mente**: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores. 6. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

WANG, Y.; GENG, J; ZHU, Z. A comprehensive teaching laboratory program on titration analysis: transition from classic to modern approaches. **Journal of Chemical Education**, v. 101, n. 2, p. 612-620, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c01091>. Acesso em: 3 fev. 2025.