



Neurociência e aprendizagem significativa no ensino de Química: convergências epistemológicas e implicações didáticas

Elenir Souza Santos Rocha¹

Ednilce Silva de Eça²

Janete Eli Santos Rocha³

Sandro Lúcio Nascimento Rocha⁴

Robson Silva da França⁵

1. elenirsantos@yahoo.com.br; 2. psicologaednilce@gmail.com; 3. jr1362516@gmail.com;
4. sandronascimento2122@gmail.com; 5. robsonsilvafranca@gmail.com;

1. Doutora em Química Analítica e Professora da Universidade Federal da Bahia, Instituto Multidisciplinar em Saúde, Campus Anísio Teixeira, Vitória da Conquista - Bahia; 2. Psicóloga Clínica - Conselho Regional de Psicologia (CRP) 03/27264/ BA. 3. Neuropsicopedagoga do Centro Educacional Jesuino Flores, localizado na cidade de Caraíbas; 4. Graduação em Medicina pela Universidade Federal da Bahia, Instituto Multidisciplinar em Saúde, Campus Anísio Teixeira, Vitória da Conquista - Bahia. Avenida Olívia Flores, nº 3000 – Bairro Candeias, Vitória da Conquista – Bahia. CEP: 45000-000. 5. Mestre em Química Analítica e Técnico em Química da Universidade Federal da Bahia, Instituto Multidisciplinar em Saúde, Campus Anísio Teixeira, Vitória da Conquista - Bahia.

Resumo

O presente trabalho discute, em perspectiva teórica, como os fundamentos da neurociência da aprendizagem podem orientar práticas pedagógicas mais eficazes no ensino de Química. Ao investigar os mecanismos cerebrais relacionados à cognição, emoção e comportamento, a neurociência aproxima-se da educação, consolidando o campo da neuroeducação e ampliando as possibilidades de compreensão dos processos de ensino e aprendizagem. Nesse contexto, aspectos como neuroplasticidade, atenção, memória, emoção e funções executivas são articulados à Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel e a investigações contemporâneas no ensino de Ciências, com ênfase no ensino de Química, evidenciando a importância da integração entre conhecimentos prévios e novas informações. A neuroplasticidade constitui a base biológica da aprendizagem e sustenta o uso de metodologias ativas e contextualizadas. A atenção, a memória e a emoção formam uma tríade indissociável. Emoções negativas podem comprometer o foco e a consolidação do conhecimento, enquanto ambientes emocionalmente seguros favorecem o engajamento e a retenção. As funções executivas, associadas ao córtex pré-frontal, permitem ao estudante planejar, monitorar e regular sua aprendizagem, sendo essenciais para a resolução de problemas e o desenvolvimento da metacognição em Química. Conclui-se que a interface entre neurociência e ensino de Química configura-se como exigência epistemológica e pedagógica contemporânea, requerendo formação docente fundamentada em evidências científicas e comprometida com a promoção de aprendizagens significativas e o desenvolvimento integral dos estudantes.

Palavras-chave: neurociência educacional; ensino de química; neuroplasticidade; aprendizagem significativa; neuroeducação.

Introdução

A aproximação entre neurociência e educação tem se consolidado como um dos campos mais promissores e desafiadores da pesquisa pedagógica contemporânea (OLIVEIRA *et al.*, 2022; GORDON *et al.*, 2024). Compreender como o cérebro aprende, processa, armazena e recupera informações não é apenas uma questão de interesse científico, mas uma demanda



crescente de docentes que buscam fundamentar suas práticas em evidências sobre o funcionamento cognitivo dos estudantes (UDEN; CHING, 2023).

Nesse cenário, o ensino de Química ocupa posição singular, pois articula conceitos abstratos, representações simbólicas e fenômenos concretos em diferentes níveis de complexidade, exigindo do aprendiz elevado esforço cognitivo e, frequentemente, gerando dificuldades relacionadas à abstração e ao distanciamento entre teoria e realidade (BROWN, 2023).

O avanço das pesquisas em neurociência tem ampliado a compreensão dos processos de ensino e aprendizagem, evidenciando que o desenvolvimento cognitivo está diretamente relacionado às dimensões emocionais e sociais, o que reforça a necessidade de integrar conhecimentos neurocientíficos às práticas pedagógicas contemporâneas, especialmente diante das demandas por uma educação mais humanizada, inclusiva e voltada ao desenvolvimento integral do estudante (HUANGAL-SCHEINER *et al.*, 2024; OLIVEIRA *et al.*, 2022).

O presente trabalho tem por objetivo discutir, sob uma perspectiva teórica, como os fundamentos neurocientíficos da aprendizagem, como neuroplasticidade, atenção, memória, emoção e funções executivas podem orientar práticas pedagógicas mais eficazes no ensino de Química. Para tanto, articula-se a literatura neurocientífica com a teoria da aprendizagem significativa e com investigações recentes sobre o ensino de ciências, buscando oferecer subsídios consistentes para a prática docente nessa área do conhecimento (GORDON *et al.*, 2024; UDEN; CHING, 2023).

Percurso metodológico

O presente trabalho caracteriza-se como uma revisão narrativa da literatura de natureza teórica, modalidade adequada à proposição de articulações conceituais entre campos do conhecimento e à síntese crítica de produções científicas sobre uma temática em consolidação (ROTHER, 2007). Diferentemente das revisões sistemáticas, a revisão narrativa não pressupõe a adoção de protocolo rígido de buscas nem a quantificação dos estudos incluídos, privilegiando, em contrapartida, a capacidade interpretativa e argumentativa do pesquisador na construção de uma perspectiva coerente sobre o objeto investigado.

A construção do corpus bibliográfico orientou-se pela relevância teórica e pela representatividade das obras em relação aos eixos temáticos centrais do estudo: neuroplasticidade, atenção, memória, emoção, funções executivas e aprendizagem significativa no ensino de Química. A seleção das fontes contemplou artigos científicos publicados em



periódicos nacionais e internacionais, capítulos de livros e obras de referência, priorizando produções dos últimos quinze anos, sem exclusão de trabalhos clássicos cuja contribuição permanece epistemologicamente relevante para o campo. As buscas foram realizadas nas bases de dados SciELO, Google Acadêmico e periódicos indexados na área de educação em ciências e neurociência educacional, utilizando os descritores: neurociência e educação, neuroeducação, ensino de Química, neuroplasticidade, aprendizagem significativa, funções executivas e cognição.

A análise do material selecionado seguiu uma lógica temático-argumentativa, na qual os textos foram organizados em torno dos eixos conceituais do estudo e articulados de forma a evidenciar convergências, tensões e implicações pedagógicas para o ensino de Química. Adotou-se uma perspectiva crítica em relação à transposição direta de achados neurocientíficos para o contexto educacional, reconhecendo os limites epistemológicos dessa interface e a necessidade de mediações teóricas e contextuais para sua aplicação pedagógica responsável (SOUSA *et al.*, 2025).

Neurociência e educação: a emergência de uma interface necessária

A neurociência é um campo interdisciplinar que investiga a estrutura e o funcionamento do sistema nervoso central, buscando compreender como processos biológicos sustentam funções cognitivas, emocionais e comportamentais. Sua aproximação com a educação, denominada por parte da literatura de Neuroeducação, tem emergido como campo interdisciplinar estratégico ao articular achados das neurociências, da psicologia e da educação, especialmente no que concerne ao desenvolvimento de práticas pedagógicas mais eficazes em contextos escolares contemporâneos. Representa, portanto, uma tentativa legítima de traduzir descobertas científicas sobre o cérebro em estratégias pedagógicas fundamentadas em evidências (ROCHA FILHO *et al.*, 2026).

A emergência da Neuroeducação tem ampliado o debate contemporâneo sobre ensino e aprendizagem ao propor a integração entre achados das Neurociências, contribuições da Psicologia Cognitiva e fundamentos da Educação, buscando conferir maior consistência científica às pesquisas educacionais e aproximar o conhecimento sobre o funcionamento cerebral das práticas pedagógicas desenvolvidas em contextos escolares (MARTINS *et al.*, 2026). Contudo, como advertem pesquisadores da área, essa aproximação exige rigor epistemológico para evitar reducionismos biologizantes e apropriações acríticas do conhecimento neurocientífico (SOUSA *et al.*, 2025).



Costa (2023) apresenta noções da neurociência como neuroplasticidade e funções nervosas superiores, atenção, memória, motivação, emoções e funções executivas, estabelecendo relações entre elas e a aprendizagem, com o objetivo de articular as contribuições da neurociência às práticas pedagógicas, visando à promoção de aprendizagens mais significativas aos estudantes. Nesse sentido, a compreensão do funcionamento cerebral é cada vez mais valorizada na formação docente, pois fornece bases científicas para aprimorar as práticas pedagógicas, considerando que a capacidade de aprender se liga à forma como o cérebro codifica e recupera informações, e que a plasticidade cerebral permanece como elemento essencial nesse processo, uma vez que o cérebro adulto se mantém moldável e experiências de aprendizagem podem reorganizar sinapses e fortalecer conexões neurais (SANTOS, 2025).

No campo específico do ensino de Química, essa interface revela-se especialmente produtiva. Pesquisadores que investigam as licenciaturas em Química no Brasil apontam que a neurociência e a Neuroeducação ainda não integram de forma sistemática os currículos de formação docente, embora sejam aliadas importantes para a compreensão mais profunda do cérebro humano e de sua relação com a aprendizagem, o que reforça a necessidade de inserir essa discussão nos cursos de licenciatura em Química (FERREIRA; RIBEIRO, 2023a). Essa lacuna é preocupante, pois, como demonstra a literatura, a articulação entre elementos da neurociência cognitiva com as práticas pedagógicas, priorizando as funções executivas, constitui um elemento central para que educadores possam criar intervenções e propostas cada vez mais eficazes para a aprendizagem (KOIDE; TORTELLA, 2023).

A aquisição de saberes em neurociências e a utilização de tecnologias nos processos de ensino e aprendizagem auxiliam e qualificam a resignificação de conhecimentos no ensino de Química, proporcionando ao professor a habilidade de motivar, ensinar e avaliar o estudante em um formato compatível com o funcionamento cerebral, e que o cérebro, quando excitado adequadamente, promove momentos de aprendizagem significativa (FERREIRA; RIBEIRO, 2025b).

Essa perspectiva alinha-se ao que Santos (2025) denomina de necessidade premente de integração da neurociência na formação docente de nível superior, uma integração que possibilite ao professor criar ambientes de aprendizagem mais eficazes, personalizados e inclusivos, por meio da aplicação de práticas pedagógicas baseadas em evidências científicas e comprometidas com a formação integral do estudante (SANTOS, 2025). Pode-se dizer que



para o ensino de Química, essa compreensão tem implicações pedagógicas diretas e consistentes.

Neuroplasticidade: o substrato biológico da aprendizagem

O conceito de neuroplasticidade designa a capacidade do sistema nervoso central de se reorganizar estrutural e funcionalmente em resposta a experiências, estímulos e aprendizagens. Trata-se de um fenômeno que abrange tanto as modificações morfológicas das estruturas cerebrais quanto as alterações nas redes de comunicação entre os neurônios, ocorrendo em diferentes escalas temporais e com intensidades variadas ao longo do desenvolvimento humano. Contrariando a noção superada de que o cérebro adulto era uma estrutura rígida e imutável após determinado período crítico do desenvolvimento, a neurociência contemporânea demonstrou que a plasticidade neural persiste ao longo de toda a vida humana, constituindo o substrato biológico fundamental de toda aprendizagem (GUTIERRES, 2024).

Essa descoberta representou uma verdadeira revolução paradigmática no campo das ciências cognitivas e, por extensão, nas ciências da educação, uma vez que estabeleceu bases científicas sólidas para compreender de que modo os processos de ensino e aprendizagem deixam marcas duradouras na arquitetura funcional do cérebro (FERREIRA, 2023; RIBEIRO; JOHNSON, 2023).

Chaves (2023) explica que a aprendizagem e a neuroplasticidade estão diretamente interligadas: toda vez que o ser humano adquire um novo aprendizado, o cérebro encarrega-se de armazená-lo por meio da formação ou reorganização de conexões neuronais, de modo que a pessoa possa recuperar no futuro a nova informação ou habilidade adquirida. Esse mecanismo, conhecido na literatura neurocientífica como potenciação de longa duração, envolve o fortalecimento das sinapses utilizadas de forma repetida e contextualizada, tornando a recuperação da informação progressivamente mais eficiente. Em outras palavras, quanto mais significativa, emocionalmente engajante e conectada às experiências prévias for uma situação de aprendizagem, maior será a probabilidade de que as redes neurais associadas se consolidem de forma estável e duradoura na memória de longo prazo.

Para o ensino de Química, essa compreensão tem implicações pedagógicas diretas e de considerável relevância. Quando um estudante realiza um experimento investigativo, como a titulação de um ácido com uma base, a resolução de um problema de estequiometria ou a análise espectrofotométrica de uma solução, entre outras situações, o cérebro não registra apenas o procedimento técnico, mas ativa redes neurais que integram percepção sensorial,



memória de trabalho, raciocínio lógico e regulação emocional, caracterizando um processo complexo e multidimensional de aprendizagem (DEHAENE, 2020). A experiência laboratorial convoca simultaneamente diferentes regiões e sistemas cerebrais, o córtex pré-frontal, responsável pelo planejamento e pelo controle inibitório, o hipocampo, fundamental para a consolidação de memórias, e o sistema límbico, associado à dimensão afetiva da experiência, promovendo uma integração funcional essencial para a aprendizagem significativa (DIAMOND, 2013; IMMORDINO-YANG, 2016).

No ensino de Química, a neuroplasticidade manifesta-se de modo particularmente evidente na aprendizagem de conteúdos que exigem a construção progressiva de modelos mentais, como os modelos atômicos. A trajetória que vai do modelo de Dalton ao modelo quântico, de probabilidade, não é linear nem simples: cada novo modelo demanda a desestabilização de redes neurais previamente consolidadas e a reorganização de esquemas cognitivos que o estudante já internalizou. Esse processo, denominado mudança conceitual na literatura didática, tem base neurocientífica direta na neuroplasticidade sináptica: as conexões que sustentavam o modelo anterior precisam ser enfraquecidas ou reconfiguradas para que o novo modelo possa ser estabilizado na memória de longo prazo (DEHAENE, 2020; CHAVES, 2023). Estratégias pedagógicas que tornam explícitas as limitações do modelo anterior, antes de introduzir o novo, favorecem esse processo de reorganização neural ao criar conflito cognitivo intencional, condição que ativa o córtex pré-frontal e o hipocampo de forma conjunta e potencializa a consolidação do conhecimento científico mais sofisticado (DIAMOND, 2013).

Nesse contexto, evidências indicam que estratégias baseadas em aprendizagem ativa, como a experimentação, favorecem a mobilização simultânea desses sistemas cognitivos, resultando em maior retenção e compreensão do conhecimento científico quando comparadas a metodologias exclusivamente expositivas (FREEMAN *et al.*, 2014; HOFSTEIN; LUNETTA, 2003). No ensino de Química, essa abordagem é particularmente relevante, uma vez que a construção do conhecimento envolve a articulação entre diferentes níveis de representação e exige elevado grau de processamento cognitivo (TABER, 2013).

Nesse sentido, a aprendizagem ativa, incluindo estratégias como a aprendizagem baseada em projetos, favorece a neuroplasticidade, definida como a capacidade do sistema nervoso de se reorganizar estrutural e funcionalmente em resposta a experiências e estímulos ambientais, promovendo a formação de novas conexões sinápticas e o fortalecimento de circuitos neurais associados à aprendizagem (DEHAENE, 2020). No contexto do ensino de Química, tais estratégias, ao posicionarem o estudante como protagonista do processo de



construção do conhecimento, criam condições neurocognitivas que favorecem a mobilização simultânea de atenção, memória de trabalho, funções executivas e regulação emocional, elementos essenciais para a consolidação de aprendizagens significativas (DIAMOND, 2013; FREEMAN *et al.*, 2014).

Além disso, estudos na área de ensino de Química indicam que metodologias ativas potencializam a ressignificação de conceitos científicos ao promoverem maior engajamento cognitivo e emocional dos estudantes (MORI; CUNHA, 2020). Dessa forma, a aprendizagem deixa de ser um processo meramente reprodutivo e passa a assumir um caráter transformador, capaz de modificar estruturas cognitivas de maneira duradoura. Para o professor de Química, compreender os fundamentos da neuroplasticidade não se configura como um exercício teórico dissociado da prática docente, mas como uma ferramenta conceitual que orienta escolhas metodológicas mais consistentes, fundamentadas em evidências científicas e comprometidas com a promoção de aprendizagens profundas e transferíveis (DEHAENE, 2020; FRIEDMAN; GROBGELD; TEICHMAN-WEINBERG, 2019).

Atenção, memória e emoção: a tríade neurocientífica da aprendizagem

Entre as funções nervosas superiores, três se destacam como pilares do processo de aprendizagem: a atenção, a memória e a emoção. Compreender como essas funções operam e se inter-relacionam é indispensável para orientar o ensino de Química de forma neurocientificamente fundamentada (COSTA, 2023).

A atenção é o filtro que o cérebro usa para decidir sobre as informações que serão processadas; estar atento significa focalizar a consciência, concentrando os processos mentais na tarefa principal (COSENZA; GUERRA, 2011). Quanto maior a aderência das emoções na memória, melhor o desempenho na atenção, e não há ambiente favorável à aprendizagem onde o aluno não esteja atento ou curioso (COSENZA; GUERRA, 2011).

No ensino de Química, isso implica que estratégias pedagógicas capazes de capturar e sustentar a atenção dos estudantes, como situações-problema contextualizadas, atividades experimentais investigativas e debates dialógicos, são, antes de qualquer coisa, estratégias neurocientificamente fundamentadas (COSTA, 2023).

A memória, por sua vez, não é uma função unitária: envolve diferentes sistemas e processos, desde a memória de trabalho, responsável pelo processamento ativo de informações no momento presente, até a memória de longo prazo, onde o conhecimento é consolidado de forma duradoura. Quando trata da importância dos conhecimentos prévios, a teoria ausubeliana



aproxima-se bastante dos pressupostos da neurociência a respeito da aprendizagem e da memória, pois para as neurociências a aprendizagem é uma mudança de comportamento reflexo do constante e complexo processo pelo qual o cérebro reage aos estímulos do ambiente e ativa sinapses, ligações entre os neurônios por onde passam os estímulos, tornando-as mais intensas (COSENZA; GUERRA, 2011).

No ensino de Química, a sobrecarga da memória de trabalho é um fenômeno recorrente em conteúdos como estequiometria e equilíbrio químico. Ao resolver um problema estequiométrico, o estudante precisa manter simultaneamente ativos na memória de trabalho: a fórmula da substância, os coeficientes da equação balanceada, os fatores de conversão entre mols e gramas e a lógica proporcional que fundamenta o cálculo. Quando a capacidade da memória de trabalho é excedida, o estudante perde o fio do raciocínio não por falta de conhecimento declarativo, mas por limitação no processamento simultâneo, fenômeno diretamente relacionado ao tônus dopaminérgico pré-frontal (ARNSTEN, 2011).

Do ponto de vista pedagógico, isso implica que a decomposição de problemas estequiométricos em etapas explícitas e sequenciadas, o uso de representações externas como diagramas e tabelas, e a prática distribuída ao longo do tempo são estratégias que reduzem a demanda sobre a memória de trabalho e favorecem a consolidação progressiva dos procedimentos na memória de longo prazo (COSENZA; GUERRA, 2011). O mesmo princípio se aplica à compreensão do equilíbrio químico: a dificuldade de estudantes em raciocinar simultaneamente sobre reações diretas e inversas, concentrações e a constante de equilíbrio reflete, em grande medida, a sobrecarga imposta sobre sistemas cognitivos com capacidade limitada de processamento paralelo.

A emoção, longe de ser elemento perturbador do processo cognitivo, é um componente indissociável da aprendizagem. Nesse sentido, Silva, Santos e Santos (2024) alertam que a condição de fragilidade emocional dos estudantes pode ser agravada em contextos escolares que não reconhecem a conexão existente entre emoção e memória, comprometendo severamente um dos principais componentes dessa conexão: a atenção (SILVA; SANTOS; SANTOS, 2024). Em um ambiente de aula de Química marcado pela exposição ao erro, pela rigidez avaliativa ou pela ausência de vínculos afetivos entre professor e estudante, o sistema límbico, responsável pelo processamento emocional, entra em estado de alerta, reduzindo a capacidade atencional e, conseqüentemente, inviabilizando a consolidação de novos conteúdos na memória de longo prazo. Aprender Química, portanto, não é apenas um desafio cognitivo:



é, antes de tudo, um processo que exige condições emocionais favoráveis para que o cérebro possa operar em sua plena capacidade de aprendizagem (COSTA, 2023).

Os resultados de revisão sistemática sobre neurociência e educação indicam que ambientes educacionais emocionalmente seguros favorecem o engajamento, a motivação e a consolidação da aprendizagem, uma vez que as emoções influenciam diretamente processos cognitivos como atenção, memória e tomada de decisão. No ensino de Química, criar contextos de aprendizagem emocionalmente engajantes, seja por meio da problematização de situações reais, do trabalho colaborativo, do uso de situações-problema ou da valorização dos saberes prévios dos estudantes, não é apenas uma opção metodológica: é uma estratégia alinhada ao funcionamento cerebral e, portanto, às condições neurocientíficas da aprendizagem eficaz (GROSSI; LYRA, 2024).

Funções executivas e metacognição no ensino de Química

As funções executivas constituem um conjunto de processos cognitivos de ordem superior, planejamento, controle inibitório, flexibilidade cognitiva, memória de trabalho e tomada de decisão, mediados predominantemente pelo córtex pré-frontal. São essas funções que permitem ao estudante organizar uma estratégia de resolução de um problema analítico, monitorar o próprio raciocínio durante um procedimento experimental, reconhecer erros e ajustar estratégias, e avaliar criticamente os resultados obtidos (COSTA, 2023; FONSECA, 2014).

No ensino de Química, as funções executivas manifestam-se de forma especialmente clara em tarefas experimentais e analíticas. O planejamento de uma sequência experimental, como a preparação de uma solução tampão ou a determinação da constante de equilíbrio de uma reação, exige que o estudante organize etapas, antecipe possíveis fontes de erro, selecione materiais e reagentes adequados e mantenha o objetivo final em mente enquanto executa procedimentos parciais, todas operações mediadas pelo córtex pré-frontal (DIAMOND, 2013; FONSECA, 2014). O controle inibitório, por sua vez, é exigido quando o estudante precisa resistir a interpretações intuitivas incorretas, como a tendência de atribuir propriedades macroscópicas aos átomos e moléculas, um dos erros conceituais mais documentados no ensino de Química (TABER, 2013).

A flexibilidade cognitiva é demandada na transição entre os três níveis de representação do conhecimento químico, macroscópico, submicroscópico e simbólico, conforme



sistematizado por Johnstone e retomado por Taber (2013). Compreender que a dissolução do cloreto de sódio em água envolve simultaneamente um fenômeno observável (o sólido desaparecendo), um modelo submicroscópico (íons sendo hidratados) e uma representação simbólica ($\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$) exige que o estudante alterne e integre múltiplos registros representacionais, tarefa que sobrecarrega as funções executivas de estudantes cujos circuitos pré-frontais ainda estão em desenvolvimento ou que não receberam suporte explícito para essa integração (TABER, 2013).

A interpretação de gráficos de cinética química constitui outro exemplo revelador: identificar a ordem de reação a partir do perfil de uma curva concentração-tempo exige memória de trabalho para manter o modelo teórico ativo, flexibilidade cognitiva para testar hipóteses alternativas e controle inibitório para não se fixar na primeira interpretação visual. O professor de Química que compreende essas demandas executivas pode estruturar suas intervenções de forma a andar na zona de desenvolvimento proximal cognitivo do estudante, oferecendo andaimes explícitos antes de retirar o suporte gradualmente (DIAMOND, 2013; KOIDE; TORTELLA, 2023).

A metacognição, capacidade de monitorar e regular o próprio processo de aprendizagem, é estreitamente vinculada às funções executivas e possui implicações específicas para o ensino de Química. Quando um estudante identifica o que compreende e o que ainda não domina sobre equilíbrio iônico ou análise quantitativa, e organiza sua aprendizagem a partir dessa autopercepção, está exercendo metacognição.

Koide e Tortella (2023) propõem uma reflexão teórica sobre como os conhecimentos neurocientíficos, neuroplasticidade, atenção, motivação, funções executivas e metacognição, podem ampliar a qualidade das aulas e das intervenções pedagógicas, buscando evidências neuropsicopedagógicas que fundamentam o processo de aprendizagem.

A partir da interface entre neurociência e educação, os autores discutem como o desenvolvimento adequado das funções executivas e da metacognição pode impactar positivamente o modo como se aprende e contribuir para resultados mais expressivos nas experiências de sala de aula na escola regular.

No contexto do ensino de Química, tais fundamentos assumem especial relevância pedagógica, uma vez que tarefas como a interpretação de equações químicas, a resolução de problemas estequiométricos e a análise de procedimentos experimentais demandam, simultaneamente, planejamento, controle inibitório, memória de trabalho e monitoramento



metacognitivo, funções que o professor de Química pode estimular intencionalmente por meio de estratégias pedagógicas adequadas.

Neurociência e aprendizagem significativa: convergências para o ensino de Química

A articulação entre os fundamentos neurocientíficos e a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel revela uma convergência epistemológica relevante: em ambas as perspectivas, o conhecimento prévio do aprendiz constitui o ponto de partida indispensável para qualquer nova aprendizagem. Do ponto de vista neurocientífico, novas informações tendem a se consolidar de forma mais duradoura quando se conectam a redes neurais preexistentes, ativando e reorganizando esquemas cognitivos já estabelecidos (MOREIRA, 2011; DEHAENE, 2020). Esse processo evidencia que aprender não significa apenas acumular informações, mas integrá-las de maneira significativa às estruturas cognitivas já existentes.

Estudos recentes evidenciam a aproximação entre a neurociência e a teoria da aprendizagem significativa, indicando que o uso de situações-problema mobiliza diferentes estruturas neurais e favorece a construção do conhecimento (DEHAENE, 2020; DIAMOND, 2013).

Nessa perspectiva, observa-se uma convergência entre os pressupostos neurocientíficos e a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, uma vez que estratégias baseadas em problematização são capazes de dinamizar a atividade cerebral e promover condições favoráveis à aprendizagem significativa (TABER, 2013).

Como exemplo, no caso específico da ligação química, conteúdo notoriamente difícil para estudantes do ensino médio e superior, a neurociência oferece uma perspectiva elucidativa. A dificuldade reside não na ausência de conhecimento prévio, mas na presença de conhecimentos prévios inadequados, como a ideia de que átomos "querem" completar sua camada de valência, uma antropomorfização que se consolida como rede neural estável e resiste à substituição por modelos baseados em energia e probabilidade (TABER, 2013).

Do ponto de vista neurocientífico, esses conhecimentos prévios inadequados funcionam como subsunçores distorcidos: ao invés de facilitar a ancoragem do novo conhecimento, desviam o processamento para redes já estabelecidas e incompatíveis com o modelo científico correto. Estratégias como mapas conceituais, situações-problema que expõem as limitações do modelo intuitivo e atividades de previsão-observação-explicação criam as condições neurocognitivas necessárias para que o conflito entre a rede neural existente e a nova



informação resulte em reorganização sináptica, e não em assimilação distorcida (MOREIRA, 2011; DEHAENE, 2020).

Além disso, tais estratégias contribuem para a ativação de múltiplos sistemas cognitivos, incluindo atenção, memória de trabalho e funções executivas, considerados elementos fundamentais para a consolidação do conhecimento (DIAMOND, 2013; FRIEDMAN; GROBGELD; TEICHMAN-WEINBERG, 2019).

Essa convergência mostra-se especialmente relevante para o ensino de Química, no qual a construção de conceitos como equilíbrio químico, estequiometria, eletroquímica e análise titrimétrica depende diretamente da ativação de conhecimentos prévios e da capacidade do estudante de articular o fenômeno observável com seus modelos explicativos e representações formais (JOHNSTONE, 1991; TABER, 2013).

Nesse contexto, no ensino de Química, práticas pedagógicas que consideram o funcionamento cerebral e valorizam a estrutura cognitiva do aprendiz tendem a favorecer aprendizagens mais profundas e duradouras.

Corroborando essa perspectiva, revisões de literatura na área indicam que a integração entre estratégias baseadas na neurociência e abordagens pedagógicas adequadas contribui significativamente para o desenvolvimento acadêmico dos estudantes, especialmente no ensino superior, ao favorecer a aprendizagem significativa por meio da compreensão dos processos cognitivos e das funções executivas envolvidas no aprender (FREEMAN *et al.*, 2014; IMMORDINO-YANG, 2016). Dessa forma, a aproximação entre neurociência e teoria da aprendizagem significativa não apenas amplia a compreensão dos processos educativos, mas também oferece subsídios concretos para a construção de práticas pedagógicas mais eficazes e fundamentadas.

A interface entre neurociência e teorias da aprendizagem tem se constituído como um campo fértil e crescente na pesquisa em educação matemática. Miatello e Daniel (2024) investigaram as conexões entre os conhecimentos oriundos da neurociência e a Teoria da Aprendizagem Significativa formulada por David Ausubel, identificando que a resolução de problemas representa um caminho capaz de articular esses dois campos de estudo. Os autores demonstraram que a utilização de situações-problema pode mobilizar diferentes estruturas neurais, sendo capaz de dinamizar o processo de ensino e, simultaneamente, satisfazer as condições propostas na teoria ausubeliana para que a aprendizagem seja verdadeiramente significativa. Tal perspectiva reforça a necessidade de que o ensino, incluindo o de Química, seja planejado de modo a engajar o estudante em experiências cognitivas e emocionalmente



ativas, nas quais o novo conhecimento se ancore em estruturas prévias já consolidadas, promovendo conexões neurais duradouras e aprendizagens contextualizadas (MIATELLO; DANIEL, 2024).

Revisão de literatura sobre neurociência e aprendizagem no ensino superior evidenciou que o uso de estratégias neurocientíficas, aliado a práticas pedagógicas adequadas, tem contribuído para o desenvolvimento dos estudantes, favorecendo a aprendizagem significativa por meio da compreensão do funcionamento cerebral e das funções executivas (SOUSA; SILVA; TELES, 2026).

Implicações pedagógicas para o ensino de Química

O conjunto de evidências neurocientíficas discutido ao longo deste trabalho aponta para implicações pedagógicas concretas e relevantes para o ensino de Química. A primeira delas diz respeito à centralidade do engajamento ativo: o cérebro aprende de forma mais eficaz quando é mobilizado a processar ativamente as informações, e não apenas a recebê-las passivamente. Esse princípio encontra respaldo em estudos empíricos que demonstram que estratégias de aprendizagem ativa promovem ganhos significativos no desempenho acadêmico e na retenção do conhecimento em áreas de Ciências (FREEMAN *et al.*, 2014). Nesse sentido, metodologias como Aprendizagem Baseada em Problemas, sala de aula invertida e aprendizagem por pares criam condições favoráveis à ativação simultânea de atenção, emoção, memória de trabalho e funções executivas, elementos essenciais para a consolidação da aprendizagem (DEHAENE, 2020; DIAMOND, 2013).

Além disso, essas abordagens favorecem o desenvolvimento da autonomia intelectual e da metacognição, permitindo que o estudante assuma um papel ativo na construção do conhecimento, monitorando e regulando seus próprios processos cognitivos. Essa perspectiva é particularmente relevante no ensino de Química, uma vez que a disciplina exige elevado nível de abstração e a articulação entre diferentes formas de representação do conhecimento científico (TABER, 2013).

A segunda implicação refere-se à necessidade de contextualização do conteúdo. Evidências indicam que o cérebro responde de maneira mais eficiente a estímulos que possuem significado para o indivíduo, especialmente quando relacionados a situações do cotidiano ou a problemas reais (IMMORDINO-YANG; DAMÁSIO, 2007). Dessa forma, a aprendizagem torna-se mais consistente e duradoura quando os conteúdos de Química são apresentados de



maneira contextualizada, possibilitando ao estudante estabelecer conexões entre o conhecimento científico e sua realidade. Essa abordagem contribui para a ressignificação dos conceitos químicos e favorece a construção de aprendizagens mais profundas e transferíveis (FERREIRA; RIBEIRO, 2025b).

No âmbito da neurociência, a atribuição de significado está diretamente associada à ativação de sistemas emocionais e motivacionais, os quais desempenham papel fundamental na consolidação da memória (SOUZA *et al.*, 2020). Assim, práticas pedagógicas que integram contexto, relevância social e interdisciplinaridade tendem a potencializar o engajamento cognitivo e emocional dos estudantes.

A terceira implicação diz respeito ao ambiente emocional da aprendizagem. Estudos demonstram que cognição e emoção são processos indissociáveis, sendo que estados emocionais positivos favorecem a atenção, a motivação e a retenção do conhecimento (IMMORDINO-YANG, 2016). Nesse sentido, salas de aula caracterizadas por relações horizontais, respeito à diversidade cognitiva e estímulo à curiosidade criam condições neurobiológicas mais favoráveis à aprendizagem, ao reduzir níveis de estresse e ansiedade e ao estimular sistemas neurais associados à recompensa, como a liberação de dopamina (COSTA, 2023).

No ensino de Química, isso se traduz na valorização do erro como parte do processo investigativo, no reconhecimento dos conhecimentos prévios dos estudantes e na promoção de um ambiente de aprendizagem baseado na colaboração e no diálogo. Tais práticas contribuem para o desenvolvimento de uma postura investigativa e crítica, essencial à formação científica. Além disso, ambientes emocionalmente seguros favorecem a participação ativa dos estudantes, ampliando as possibilidades de construção coletiva do conhecimento (MORI; CUNHA, 2020).

Por fim, destaca-se que a integração entre neurociência e ensino de Química não implica a substituição de teorias pedagógicas consolidadas, mas sim o seu enriquecimento a partir de evidências científicas sobre o funcionamento do cérebro. Essa articulação possibilita a construção de práticas pedagógicas mais eficazes, intencionais e sensíveis à complexidade do processo de aprendizagem, contribuindo para uma educação científica mais significativa, inclusiva e contextualizada (TABER, 2013).





Considerações finais

A neurociência não oferece receitas prontas para o ensino de Química, e seria reducionista pretender que o fizesse. O que ela disponibiliza é um conjunto robusto e crescente de evidências científicas acerca da plasticidade cerebral, das funções executivas e da influência das emoções nos processos de aprendizagem. Tais evidências, embora promissoras, não podem ser transpostas de forma linear para o contexto educacional, exigindo abordagens transdisciplinares que considerem as dimensões socioculturais, históricas e individuais que permeiam o processo educativo. Nesse sentido, a neurociência deve ser compreendida como um campo de diálogo com a educação, e não como um modelo prescritivo.

Compreender como o cérebro aprende torna-se, portanto, uma condição necessária para ensinar com maior intencionalidade pedagógica. A formação docente ancorada em princípios da neurociência contribui para que educadores realizem escolhas metodológicas fundamentadas em evidências científicas, superando práticas baseadas exclusivamente em intuições ou tendências pedagógicas pouco sustentadas empiricamente. Adicionalmente, esse conhecimento favorece a construção de estratégias que considerem aspectos como atenção, memória, motivação e regulação emocional, elementos essenciais para a consolidação da aprendizagem significativa.

No contexto específico do ensino de Química, essa interface assume relevância ainda maior, uma vez que a área exige do estudante elevado grau de abstração e controle cognitivo para transitar entre o fenômeno concreto, os modelos teóricos e a linguagem simbólica que caracterizam o conhecimento químico.

Nesse cenário, o desenvolvimento das funções executivas e da metacognição emerge como condição fundamental para que o estudante consiga interpretar fenômenos, estabelecer relações e transferir conhecimentos para novas situações de aprendizagem.

Além disso, as evidências indicam que a aprendizagem é profundamente influenciada por fatores emocionais, sendo impossível dissociar cognição e emoção nos processos educativos. Ambientes de aprendizagem que promovem engajamento, segurança emocional e significado tendem a potencializar a ativação de redes neurais associadas à memória e ao raciocínio, favorecendo a retenção e a aplicação do conhecimento em diferentes contextos.

Dessa forma, a aproximação entre neurociência e ensino de Química não deve ser compreendida como uma tendência passageira, mas como uma exigência epistemológica e pedagógica contemporânea.



Trata-se de um movimento que contribui para a construção de práticas docentes mais críticas, reflexivas e eficazes, alinhadas às demandas de uma educação baseada em evidências e comprometida com a formação integral dos estudantes. Nesse sentido, a inserção sistemática de conteúdos de neurociência na formação inicial e continuada de professores configura-se como uma necessidade urgente para a melhoria da qualidade educacional, possibilitando a criação de ambientes de aprendizagem mais eficazes, inclusivos e sensíveis à diversidade dos sujeitos.

Por fim, destaca-se que o avanço dessa interface depende do fortalecimento do diálogo entre pesquisadores da neurociência, da educação e do ensino de Ciências, de modo a evitar reducionismos e promover uma compreensão mais ampla e integrada dos processos de aprendizagem. Assim, a consolidação de práticas pedagógicas fundamentadas na ciência do cérebro deve estar sempre associada a uma perspectiva crítica, ética e contextualizada da educação.

Referências

ARNSTEN, A. F. T. Catecholamine influences on dorsolateral prefrontal cortical networks. **Biological Psychiatry**, v. 69, n. 12, p. e89-e99, 2011. DOI: 10.1016/j.biopsych.2011.01.027. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0006322311001193>. Acesso em: 7 maio 2026.

BROWN, J. The role of educational neuroscience in learning enhancement. **Frontiers of Educational Research**, v. 5, n. 2, p. 43–50, 2023. Disponível em: <https://www.journal-fer.com/5/2/43>. Acesso em: 1 abr. 2026.

CHAVES, J. M. Neuroplasticidade, memória e aprendizagem: uma relação atemporal. **Revista Psicopedagogia**, São Paulo, v. 40, n. 121, p. 66–75, 2023. DOI: <https://doi.org/10.51207/2179-4057.20230006>. Acesso em: 1 abr. 2026.

COSENZA, R. M.; GUERRA, L. B. **Neurociência e educação: como o cérebro aprende**. Porto Alegre: Artmed, 2011.

COSTA, R. L. S. Neurociência e aprendizagem. **Revista Brasileira de Educação**, v. 28, e280010, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1413-24782023280010>. Acesso em: 2 abr. 2026.
DEHAENE, S. **Como aprendemos: por que o cérebro aprende melhor do que qualquer máquina... por enquanto**. São Paulo: Contexto, 2020.

DIAMOND, A. Executive functions. **Annual Review of Psychology**, v. 64, p. 135–168, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>. Acesso em: 2 abr. 2026.

FERREIRA, G. C. Neurociência e educação: entre saberes e desafios. **Revista Educação Pública**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 40, 2023. Disponível em:



<https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/23/40/neurociencia-e-educacao-entre-saberes-e-desafios>. Acesso em: 3 abr. 2026.

FERREIRA, M. de S.; RIBEIRO, M. E. M. Um olhar sobre as licenciaturas em Química nas universidades federais no Estado do Rio Grande do Sul: como a neuroeducação se mostra neste contexto? **Revista Insignare Scientia**, v. 6, n. 6, p. 42–76, 2023a. DOI: <https://doi.org/10.36661/2595-4520.2023v6n6.13424>. Acesso em: 1 abr. 2026.

FERREIRA, M. de S.; RIBEIRO, M. E. M. A relevância da neuroeducação no ensino de Química, na visão de professores do IFSUL. **Signos**, Lajeado, v. 46, n. 1, p. 93–114, 2025b. Disponível em: <https://www.univates.br/revistas/index.php/signos/article/view/3954/2599>. Acesso em: 2 abr. 2026.

FONSECA, V. da. Papel das funções cognitivas, conativas e executivas na aprendizagem: uma abordagem neuropsicopedagógica. **Revista Psicopedagogia**, São Paulo, v. 31, n. 96, p. 236–253, 2014. Disponível em: https://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84862014000300002. Acesso em: 2 abr. 2026.

FREEMAN, S. et al. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 23, p. 8410–8415, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1319030111>. Acesso em: 3 abr. 2026.

FRIEDMAN, I. A.; GROBGELD, E.; TEICHMAN-WEINBERG, A. Imbuing education with brain research can improve teaching and enhance productive learning. **Psychology**, v. 10, n. 2, 2019. DOI: <https://doi.org/10.4236/psych.2019.102010>. Disponível em: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=90366>. Acesso em: 3 abr. 2026.

GORDON, R.; FERREIRA, R. A.; RODRIGUEZ, C.; TOLMIE, A. Editorial: educational neuroscience: key processes and approaches to measurement. **Frontiers in Psychology**, v. 14, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1342147>. Acesso em: 1 abr. 2026.

GROSSI, M. G. R.; LYRA, L. R. Emoção, neurociência e educação: revisão da produção acadêmica brasileira de 2018 a 2022. **Educação**, Santa Maria, v. 49, 2024. DOI: <https://doi.org/10.5902/1984644484508>. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reveducacao/article/view/84508>. Acesso em: 1 abr. 2026.

GUTIERRES, L. B. J. Neuroplasticidade e aprendizado ao longo da vida: desmistificando o potencial do cérebro humano. **Revista Científica Multidisciplinar**, v. 28, n. 135, 2024. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.11684888>. Disponível em: <https://revistaft.com.br/neuroplasticidade-e-aprendizado-ao-longo-da-vida-desmistificando-o-potencial-do-cerebro-humano/>. Acesso em: 1 abr. 2026.

HOFSTEIN, A.; LUNETTA, V. N. The laboratory in science education: foundations for the twenty-first century. **Science Education**, v. 88, n. 1, p. 28–54, 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/227503715_The_Laboratory_in_Science_Education_Foundations_for_the_Twenty-First_Century. Acesso em: 3 abr. 2026.



HUANGAL-SCHEINER, S. et al. Neuroeducation and impact on higher education: a systematic review. **International Journal of Evaluation and Research in Education**, 2024. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/386302012>. Acesso em: 1 abr. 2026.

IMMORDINO-YANG, M. H. **Emotions, learning, and the brain: exploring the educational implications of affective neuroscience**. New York: W. W. Norton & Company, 2016.

IMMORDINO-YANG, M. H.; DAMÁSIO, A. We feel, therefore we learn: the relevance of affective and social neuroscience to education. **Mind, Brain, and Education**, v. 1, n. 1, p. 3–10, 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/227624589_We_Feel_Therefore_We_Learn_The_Relevance_of_Affective_and_Social_Neuroscience_to_Education. Acesso em: 2 abr. 2026.

JOHNSTONE, A. H. Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. **Journal of Computer Assisted Learning**, v. 7, n. 2, p. 75–83, 1991. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.1991.tb00230.x>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2729.1991.tb00230.x>. Acesso em: 16 maio 2026.

KOIDE, A. B. de S.; TORTELLA, J. C. B. Segura sua mão na minha: uma conexão entre neurociência e educação. **Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação**, Rio de Janeiro, v. 31, n. 119, e0233805, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-40362023003103805>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ensaio/a/tgWJnRWc8sgkVFtCDSWGPFs/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 3 abr. 2026.

MARTINS, R. M. et al. Neuroeducação e tecnologias educacionais: fundamentos cognitivos e inovação pedagógica na escola contemporânea. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 12, n. 3, p. 1–11, 2026. DOI: <https://doi.org/10.51891/rease.v12i3.24473>. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/24473>. Acesso em: 6 maio 2026.

MIATELLO, V.; DANIEL, G. P. Conexões entre neurociência, aprendizagem significativa e resolução de problemas: uma proposta para o ensino de matemática. **Revista Eletrônica de Educação Matemática (REVEMAT)**, Florianópolis, v. 19, 2024. DOI: <https://doi.org/10.5007/1981-1322.2024.e97332>. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/revemat/article/view/97332>. Acesso em: 3 abr. 2026.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares**. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

MORI, L.; CUNHA, M. B. da. Problematização: possibilidades para o ensino de Química. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 42, n. 2, p. 176–185, 2020. Disponível em: https://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc42_2/10-EQF-41-19.pdf. Acesso em: 2 abr. 2026.

OLIVEIRA, M. G. S. et al. Neuroscience and education: a mapping of influences, connections and challenges for teaching-learning. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 3, 2022. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i3.22458>. Acesso em: 1 abr. 2026.



RIBEIRO, L. L. dos S.; JOHNSON, L. F. Neurociência aplicada à educação: uma abordagem inicial. **Communitas**, Rio Branco, v. 7, n. 17, p. 117–132, 2023. DOI: <https://doi.org/10.29327/268346.7.17-9>. Disponível em: <https://periodicos.ufac.br/index.php/COMMUNITAS/article/view/6948>. Acesso em: 3 abr. 2026.

ROCHA FILHO, J. F. da et al. Neuroeducação e desenvolvimento socioemocional na educação contemporânea: contribuições, evidências e limites epistemológicos. **Caderno Pedagógico**, [S. l.], v. 23, n. 3, p. e23378, 2026. DOI: <https://doi.org/10.54033/cadpedv23n3-040>. Disponível em: <https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/23378>. Acesso em: 3 abr. 2026.

ROTHER, E. T. Revisão sistemática x revisão narrativa. **Acta Paulista de Enfermagem**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. v–vi, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-21002007000200001>. SANTOS, R. B. dos. A neurociência aplicada à formação docente de nível superior. **International Integralize Scientific**, v. 5, n. 50, 2025. Disponível em: <https://iiscientific.com/artigos/d82d4f/>. Acesso em: 1 abr. 2026.

SILVA, M. A. e; SANTOS, C. L. A. dos; SANTOS, A. de S. A neurociência e a educação: abordagem sobre memória e emoções no processo de aprendizagem. **Educação**, Santa Maria, v. 49, n. 1, p. e49/1–21, 2024. DOI: <https://doi.org/10.5902/1984644472088>. Acesso em: 3 abr. 2026.

SOUSA, F. P. de et al. Neurociência aplicada à educação: desafios e possibilidades no século XXI. **Caderno Pedagógico**, Curitiba, v. 22, n. 8, p. 1–20, 2025. DOI: <https://doi.org/10.54033/cadpedv22n8-059>. Disponível em: <https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/16997>. Acesso em: 2 abr. 2026.

SOUSA, L. B. de; SILVA, G. M. de M. A.; TELES, W. R. Neurociência e aprendizagem no ensino superior: contribuições para práticas inclusivas. **Id on Line Revista de Psicologia**, v. 20, n. 80, 2026. DOI: <https://doi.org/10.14295/online.v20i80.4357>. Disponível em: <https://idonline.emnuvens.com.br/id/article/view/4357>. Acesso em: 5 maio 2026.

SOUZA, J. C.; HICKMANN, A.; ASINELLI-LUZ, A.; HICKMANN, G. A influência das emoções no aprendizado escolar. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, Brasília, v. 101, n. 258, p. 455–472, 2020. DOI: <https://doi.org/10.24109/2176-6681.rbep.101i258.4279>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/344967170_A_influencia_das_emocoes_no_aprendizado_de_escolares. Acesso em: 2 abr. 2026.

TABER, K. S. Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 14, n. 2, p. 156–168, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1039/C3RP00012E>. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2013/rp/c3rp00012e>. Acesso em: 2 abr. 2026.



UDEN, L.; CHING, G. S. Enhanced learning and teaching via neuroscience. **Frontiers in Psychology**, v. 14, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1305618>. Acesso em: 1 abr. 2026.

