

FERRAMENTAS DE BIOINFORMÁTICA E METODOLOGIAS ATIVAS NO ENSINO DE BIOMOLÉCULAS

BIOINFORMATICS TOOLS AND ACTIVE METHODOLOGIES IN TEACHING BIOMOLECULES

Fabiana Pacheco Reis Batista
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Roraima – IFRR
fabianaprb@gmail.com

Wilson Botelho Nascimento Filho
Universidade Federal de Roraima – UFRR

RESUMO

O ensino de biomoléculas, tema central na Bioquímica e na Biologia, apresenta desafios significativos devido à complexidade estrutural dessas moléculas e à dificuldade de integração entre níveis micro e macroscópicos. Este estudo, por meio de uma revisão integrativa, analisou a contribuição das metodologias ativas associadas ao uso de ferramentas de bioinformática para a melhoria do processo de ensino-aprendizagem de ácidos nucleicos, proteínas, carboidratos e lipídios. A pesquisa foi conduzida a partir da questão norteadora: “Como as metodologias ativas podem facilitar a compreensão no ensino de biomoléculas?”. A busca foi realizada em agosto de 2025, abrangendo publicações entre 2015 e 2025 em português, inglês e espanhol, nas bases SciELO, Google Acadêmico, CAPES, USP e UNICAMP. Após aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, 39 artigos foram analisados integralmente. Os resultados indicam que o uso de softwares como PyMOL, SwissSidechain, RasMol, GlycoWorkbench, LabXchange e outros possibilita a visualização tridimensional de biomoléculas, estimula a aprendizagem e favorece a construção de conhecimentos significativos. Essas ferramentas contribuem para o desenvolvimento de competências científicas, como raciocínio lógico, análise crítica e resolução de problemas, além de promover maior engajamento dos estudantes. Apesar dos benefícios, identificou-se uma concentração de recursos voltados às proteínas e uma escassez de materiais em português, o que pode dificultar sua aplicação em níveis básicos de ensino. Conclui-se que a integração eficaz dessas tecnologias demanda planejamento didático, mediação docente qualificada e formação continuada, sendo uma estratégia promissora para transformar o ensino de Ciências em experiências mais interativas, acessíveis e alinhadas às demandas contemporâneas.

PALAVRAS-CHAVE:

Metodologias ativas; tecnologias digitais; ensino de biomoléculas; bioinformática educacional.

ABSTRACT

Teaching biomolecules, a central topic in biochemistry and biology, presents significant challenges due to the structural complexity of these molecules and the difficulty in integrating microscopic and macroscopic levels. This integrative review study analyzed the contribution of active methodologies combined with the use of bioinformatics tools to improving the teaching-learning process of nucleic acids, proteins, carbohydrates, and lipids. The research was conducted based on the guiding question: "How can active methodologies facilitate understanding in the teaching of biomolecules?" The search was conducted in August 2025, covering publications published between 2015 and 2025 in Portuguese, English, and Spanish, in the SciELO, Google Scholar, CAPES, USP, and UNICAMP databases. After applying the inclusion and exclusion criteria, 39 articles were fully analyzed. The results indicate that the use of software such as PyMOL, SwissSidechain, RasMol, GlycoWorkbench, LabXchange, and others enables the three-dimensional visualization of biomolecules, stimulates active learning, and fosters the construction of meaningful knowledge. These tools contribute to the development of scientific skills, such as logical reasoning, critical analysis, and problem-solving, in addition to promoting greater student engagement. Despite the benefits, a concentration of resources focused on proteins and a scarcity of materials in Portuguese were identified, which may hinder their application at basic levels of education. The conclusion is that the effective integration of these technologies requires didactic planning, qualified teacher mediation, and ongoing training, representing a promising strategy for transforming science teaching into more interactive, accessible experiences, aligned with contemporary demands.

KEYWORDS:

Active methodologies; digital technologies; biomolecule teaching; educational bioinformatics.

INTRODUÇÃO

O ensino de Ciências, em especial nas áreas de Bioquímica, apresenta desafios significativos para educadores e estudantes, uma vez que envolve o estudo de fenômenos invisíveis a olho nu, altamente abstratos e que exigem a compreensão integrada de diferentes níveis de organização da vida. Entre os conteúdos que mais demandam estratégias inovadoras estão as biomoléculas, como ácidos nucleicos, proteínas, carboidratos e lipídios, fundamentais para a compreensão dos processos vitais e para a formação de competências científicas críticas, uma vez que caracterizam-se por complexas associações conceituais que dificultam a aprendizagem dos alunos, os quais muitas vezes já carregam uma aversão a disciplinas da área desde a educação básica (Andrade; Silva; Zierer, 2017).

O ensino tradicional, centrado na transmissão de informações, tende a amplificar essas dificuldades, pois nem sempre proporciona a significação necessária dos conteúdos, resultando em um distanciamento do estudante em relação ao processo de aprendizagem. Nesse modelo, o aluno assume predominantemente o papel de receptor, enquanto o professor se mantém como principal fonte de conhecimento (Ausubel; Novak; Hanesian, 1980). Em contrapartida, torna-se necessária a adoção de estratégias didáticas que aproximem os estudantes do objeto de estudo, favorecendo uma aprendizagem mais ativa, autônoma e significativa.

As metodologias ativas de ensino-aprendizagem, nesse sentido, têm se consolidado como alternativas promissoras, já que incentivam a participação do aluno, estimulam a busca pelo conhecimento, criam espaços para a resolução de problemas reais e fortalecem as relações entre teoria e prática, tendo o professor como mediador do processo, que possui a missão de incorporar em suas práticas dimensões éticas, críticas, reflexivas e transformadoras. O professor deve ter em mente que o processo formativo vai além do mero treinamento técnico, possibilitando a construção de uma aprendizagem integral. Por isso, adotar metodologias que integrem a produção de materiais didáticos diversificados, apoiados por tecnologias digitais, representa uma estratégia inovadora no ensino. Essa prática favorece aprendizagens mais qualificadas, ao mesmo tempo em que apresenta potencial de ser sistematizada e replicada em diferentes contextos da educação (Cardozo, 2022). Assim, ao serem articuladas com recursos tecnológicos e interativos, como as ferramentas de bioinformática, abrem-se novas possibilidades pedagógicas que contribuem não apenas para a compreensão das biomoléculas, mas também para a formação de competências investigativas e críticas.

De acordo com Barbosa *et al.* (2012), uma das maiores dificuldades na aprendizagem no estudo de Biomoléculas decorre da necessidade de relacionar conceitos químicos abstratos com o contexto biológico. Para os autores, a Bioquímica, assim como outras ciências contemporâneas, demanda ferramentas capazes de facilitar a compreensão desses sistemas complexos, uma vez que profissionais da área se beneficiam da compreensão integrada dos aspectos evolutivos, metabólicos e moleculares. Nesse sentido, diferentes estudos destacam o papel das ferramentas computacionais como mediadoras e incentivadoras do processo de ensino e aprendizagem (Santos, Andrade, Luz, 2024; Nascimento, Saraiva, 2019; Alcantara, Moraes Filho, 2015).

O uso de softwares educacionais para o ensino de conceitos químicos, por exemplo, possibilita ao estudante integrar as dimensões macroscópicas e microscópicas dos fenômenos, além de oferecer múltiplas representações e simbolismos que evidenciam a natureza dinâmica das estruturas (Wu; Shah, 2004). Para Francisco e Francisco (2006), tais ferramentas são fundamentais para o desenvolvimento da competência de analisar representações estruturais das biomoléculas, permitindo que o aluno compreenda melhor processos complexos que, de outra forma, seriam de difícil visualização e entendimento. Essa habilidade é especialmente relevante para o estudo de proteínas, ácidos nucleicos, lipídios e carboidratos, cujas estruturas e funções frequentemente se apresentam como obstáculos à aprendizagem. Ao utilizar tais ferramentas em sala de aula, é possível favorecer a aprendizagem significativa, estimular a

curiosidade científica e desenvolver habilidades analíticas e investigativas nos alunos, alinhando-se às demandas contemporâneas de formação crítica e tecnológica.

A Bioquímica aborda conceitos relacionados a micro e macromoléculas e reações químicas que ocorrem em nosso organismo. Essas biomoléculas constituem a base estrutural e funcional de todos os organismos vivos e, por isso, representam um eixo central no ensino de Biologia. Entre elas, destacam-se quatro grupos principais: os ácidos nucleicos, as proteínas, os carboidratos e os lipídios. Os ácidos nucleicos, como DNA e RNA, são responsáveis pelo armazenamento e pela transmissão da informação genética, além de desempenharem papel essencial na regulação da síntese de proteínas e nos mecanismos de hereditariedade. As proteínas, por sua vez, apresentam funções variadas e vitais, atuando como enzimas catalisadoras de reações, elementos estruturais, transportadores e reguladores celulares. Os carboidratos exercem funções energéticas e estruturais, sendo fundamentais tanto no fornecimento de energia imediata quanto na composição de estruturas como a parede celular de plantas e microrganismos. Já os lipídios, desempenham papel estratégico na composição das membranas biológicas, na reserva energética e na sinalização celular (Nelson; Cox, 2022). Apesar da relevância de cada um desses grupos para a compreensão da vida, sua complexidade estrutural e a necessidade de relacionar diferentes níveis de organização, tornam seu estudo um desafio para estudantes e professores.

Portanto, o presente estudo tem como objetivo discutir as potencialidades do uso de ferramentas de bioinformática no ensino de biomoléculas, destacando recursos disponíveis, aplicações possíveis em contextos educacionais e as contribuições que podem trazer para a prática docente e para a aprendizagem dos estudantes, a partir da questão norteadora que orienta esta investigação: como as metodologias ativas podem facilitar a compreensão no ensino de biomoléculas?

REFERENCIAL TEÓRICO

Composição e Funções das Biomoléculas

As biomoléculas são compostos orgânicos essenciais à vida, atuando na constituição das células e no funcionamento dos sistemas biológicos. No ensino de Ciências, compreender essas moléculas é fundamental para estabelecer relações entre estrutura e função, além de integrar conhecimentos da Bioquímica, Biologia Celular e Genética. Entre os principais grupos de biomoléculas estudados estão os ácidos nucleicos, as proteínas, os carboidratos e os lipídios, cada um com características específicas e funções indispensáveis nos organismos vivos.

Os ácidos nucleicos, representados pelo DNA (ácido desoxirribonucleico) e RNA (ácido ribonucleico), são macromoléculas responsáveis pelo armazenamento, transmissão e expressão da informação genética. Compostos por unidades chamadas nucleotídeos, cada uma contendo uma base nitrogenada, um açúcar (pentose) e um grupo fosfato, essas moléculas organizam-se em longas cadeias que, no caso do DNA, formam os cromossomos presentes no núcleo celular. O DNA contém os genes, que regulam todas as atividades celulares e determinam as características hereditárias dos organismos. Já o RNA participa ativamente da síntese de proteínas, atuando em processos como a transcrição e a tradução (Nelson; Cox, 2022). No ambiente escolar, esses conteúdos são frequentemente considerados abstratos pelos estudantes, o que demanda o uso de recursos didáticos que favoreçam a visualização e a compreensão dos processos moleculares. O uso de animações, modelagem digital e ferramentas de bioinformática pode ser um diferencial para tornar esse tema mais acessível, estimulando o raciocínio científico e o interesse pela biotecnologia e genética.

As proteínas são macromoléculas formadas por cadeias de aminoácidos, ligados entre si por ligações peptídicas. Cada aminoácido possui um grupo amina ($-NH_2$), um grupo carboxila ($-COOH$), um átomo de hidrogênio e uma cadeia lateral (grupo R), cuja composição química

define as propriedades específicas do aminoácido. Embora existam apenas 20 aminoácidos essenciais, suas diferentes combinações originam milhares de proteínas com funções distintas no organismo. As proteínas desempenham papéis essenciais, como catalisar reações químicas (enzimas), transportar substâncias, atuar como hormônios e anticorpos, fornecer suporte estrutural e movimentar componentes celulares. A complexidade de suas estruturas, organizadas em níveis primário, secundário, terciário e quaternário, requer abordagens didáticas que permitam a visualização tridimensional dessas moléculas (Marques, 2014).

Já os carboidratos, também conhecidos como glicídios, sacarídeos ou açúcares, são biomoléculas formadas por carbono, hidrogênio e oxigênio, geralmente com a fórmula empírica $(CH_2O)_n$. Exercem funções essenciais, especialmente como fonte primária de energia para as células e são classificados em três grupos:

- Monossacarídeos, como glicose e frutose, que são unidades simples e não hidrolisáveis;
- Dissacarídeos, como sacarose, maltose e lactose, formados por dois monossacarídeos;
- Polissacarídeos, como amido, glicogênio e celulose, compostos por cadeias longas de monossacarídeos.

A glicose, em particular, é um dos monossacarídeos mais importantes, sendo metabolizada para a produção de ATP, molécula que armazena energia celular. Quando em excesso, a glicose pode ser armazenada como glicogênio, principalmente no fígado e nos músculos, atuando como reserva energética. O estudo dos carboidratos pode ser contextualizado com temas do cotidiano, como alimentação, atividade física, metabolismo energético e saúde, permitindo uma abordagem interdisciplinar e significativa (Zanuto *et al.*, 2011).

Os lipídios são biomoléculas caracterizadas por serem apolares e hidrofóbicas, ou seja, insolúveis em água, mas solúveis em solventes orgânicos como éter e clorofórmio. Essa propriedade confere a eles a capacidade de formar estruturas de membrana, como a bicamada lipídica que envolve as células, controlando a entrada e saída de substâncias e contribuindo para o isolamento entre o meio intra e extracelular. Além dessa função estrutural, os lipídios também atuam como reserva energética de longo prazo, isolantes térmicos, precursores de hormônios esteroides, mensageiros intracelulares e carreadores de vitaminas lipossolúveis. Do ponto de vista químico, podem ser classificados em:

- Cadeia aberta, como os ácidos graxos, triacilgliceróis, fosfolipídios e glicolipídios;
- Cadeia cíclica, como os esteroides, sendo o colesterol seu principal representante.

A abordagem dos lipídios em sala de aula pode ser enriquecida com discussões sobre alimentação, obesidade, saúde cardiovascular e biotecnologia, tornando o conteúdo mais relevante e conectado com a realidade dos estudantes (Campbell; Farrell, 2007).

Educação e Tecnologias Digitais

A inserção das tecnologias digitais na educação tem provocado transformações significativas nos processos de ensino e aprendizagem, especialmente no que diz respeito à construção de saberes mais interativos, autônomos e contextualizados. Essas tecnologias, quando utilizadas de forma pedagógica, não devem ser vistas como meras ferramentas de apoio, mas como elementos estruturantes de uma nova dinâmica educacional centrada na mediação, na colaboração e na personalização da aprendizagem (Moran, 2012).

Na perspectiva das metodologias ativas, as tecnologias digitais tornam-se aliadas importantes para a promoção da aprendizagem significativa, conforme defendido por Ausubel, Novak e Hanesian (1980), na medida em que possibilitam ao aluno construir novos

conhecimentos a partir de experiências prévias, mediadas por ambientes digitais interativos, visualizações dinâmicas e acesso a múltiplas fontes de informação. Nesse contexto, o papel do professor é ressignificado: ele deixa de ser o detentor exclusivo do saber e passa a atuar como facilitador e mediador da aprendizagem, orientando os estudantes em trajetórias investigativas e reflexivas.

De acordo com Freire (1996), aprender é um ato dialógico, construído na relação entre sujeito e objeto do conhecimento, mediados por um contexto social e histórico. Nessa perspectiva, o ensino mediado por tecnologias não deve ser reduzido ao uso instrumental de recursos, mas compreendido como uma prática intencional e transformadora, capaz de ampliar as possibilidades cognitivas, expressivas e investigativas dos estudantes. Ao articular tecnologias digitais com metodologias ativas, o professor pode proporcionar situações de aprendizagem mais significativas, favorecendo a compreensão de conteúdos complexos, como os relacionados às biomoléculas.

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC), bem como as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Básica e para o Ensino Superior, têm enfatizado a importância de uma formação integral, que vá além da memorização de conteúdos, e que envolva o desenvolvimento de competências cognitivas, socioemocionais, éticas e tecnológicas (Brasil, 2018). Nesse sentido, a integração das tecnologias digitais no currículo pode favorecer uma aprendizagem ativa e contextualizada, ampliando o repertório dos estudantes e permitindo-lhes vivenciar práticas educativas inovadoras, que dialoguem com a complexidade do mundo contemporâneo (Gonçalves, 2024).

No ensino de Ciências e Biologia, as tecnologias digitais têm se mostrado particularmente relevantes, uma vez que permitem simulações, modelagens e visualizações tridimensionais de estruturas e processos microscópicos, muitas vezes inacessíveis aos sentidos humanos. Esses recursos não apenas facilitam a compreensão de conteúdos abstratos, como também tornam as aulas mais atrativas, despertando o interesse e a curiosidade dos alunos (Coelho Neto; Blanco; Araújo, 2019). A seguir, apresentam-se algumas das estratégias de metodologias ativas mais relevantes para a área:

- **Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP):** Essa abordagem propõe que os alunos desenvolvam projetos investigativos sobre temas reais e relevantes, partindo de uma pergunta-problema. No ensino de biomoléculas, por exemplo, é possível propor projetos sobre doenças genéticas, alimentos funcionais ou biotecnologia, integrando conhecimentos de Bioquímica, Biologia Molecular e Saúde Pública. O uso de ferramentas digitais amplia as possibilidades de pesquisa, produção e apresentação dos projetos (Santos; Matos, 2024).
- **Gamificação:** A gamificação envolve a aplicação de elementos de jogos em contextos educacionais, como pontuação, desafios, rankings e recompensas. Essa metodologia estimula o engajamento e a motivação dos alunos, promovendo uma aprendizagem lúdica e ativa. Jogos digitais ou analógicos podem ser usados para representar reações químicas, estruturas moleculares ou processos metabólicos, tornando os conteúdos mais acessíveis e atrativos (Murr; Ferrari, 2020).
- **Interdisciplinaridade:** Trabalhar de forma interdisciplinar permite que os alunos compreendam os fenômenos científicos de forma mais ampla, relacionando conhecimentos de diferentes áreas. O ensino de biomoléculas, por sua própria natureza, exige a articulação entre Química, Biologia, Física e até mesmo História e Filosofia. O uso de tecnologias digitais facilita essa integração, permitindo a construção de mapas conceituais, a simulação de experimentos e a análise de dados interdisciplinares (Lago; Araújo; Silva, 2015).
- **Ensino Híbrido:** O ensino híbrido combina momentos presenciais e online, possibilitando a personalização do aprendizado e a ampliação das oportunidades de estudo. A combinação de aulas teóricas com atividades práticas em plataformas digitais, como quizzes, fóruns, vídeos

explicativos e simulações, permite que os alunos avancem no próprio ritmo, revisem conteúdos e desenvolvam competências digitais. Essa metodologia é particularmente útil, pois permite explorar visualizações tridimensionais, bancos de dados moleculares e animações que facilitam a compreensão (Horn; Staker, 2015).

Bioinformática no Ensino

A Bioinformática, originalmente concebida como um campo de pesquisa voltado para a análise de dados biológicos em larga escala, tem se consolidado também como um recurso didático inovador e promissor no contexto educacional, especialmente no ensino de Ciências, Biologia e Bioquímica. Por sua natureza interdisciplinar, que envolve Biologia Molecular, Computação e Estatística, a bioinformática permite o desenvolvimento de práticas pedagógicas que integram o conhecimento científico com habilidades tecnológicas e investigativas (Pevsner, 2015).

No ensino de biomoléculas, a bioinformática se destaca como uma ferramenta capaz de mediar a aprendizagem de conteúdos complexos, promovendo a visualização, manipulação e análise de estruturas moleculares em ambientes digitais interativos. Por meio de softwares e plataformas, é possível explorar tridimensionalmente proteínas, ácidos nucleicos, carboidratos e lipídios, identificando suas propriedades estruturais, interações químicas e implicações funcionais (Wu; Shah, 2004; Francisco; Francisco, 2006). Essa integração está em sintonia com as metodologias ativas, na medida em que estimula a aprendizagem por investigação, o pensamento científico e a construção do conhecimento em contextos reais. Por exemplo, ao analisar a mutação de um gene ou a estrutura de uma enzima envolvida em uma doença genética, os estudantes não apenas aplicam conceitos teóricos, mas também desenvolvem habilidades práticas, como a interpretação de sequências genéticas, a modelagem de proteínas e a comparação de organismos em nível molecular (Alcantara; Moraes Filho, 2015).

Além disso, o uso de bioinformática no ensino favorece a interdisciplinaridade, permitindo conexões entre Biologia, Química, Física, Matemática e Informática. O estudo das biomoléculas por meio de modelos computacionais, por exemplo, pode ser articulado a temas de saúde, alimentação, biotecnologia e meio ambiente, ampliando a compreensão dos estudantes sobre a relevância social e científica desses conteúdos (Barbosa *et al.*, 2012).

Outro aspecto relevante é o potencial dessas ferramentas para contribuir com a aprendizagem significativa, uma vez que permitem ao aluno relacionar novos conhecimentos a situações concretas e visualizáveis. Diferentemente do ensino puramente teórico, centrado na memorização de estruturas e funções, a bioinformática propicia uma abordagem visual, interativa e contextualizada, que facilita a retenção e a aplicação dos conhecimentos em diferentes situações (Ausubel; Novak; Hanesian, 1980).

Contudo, para que a bioinformática seja efetivamente incorporada ao processo educativo, é necessário superar alguns desafios, como a carência de formação docente específica, a falta de infraestrutura tecnológica em algumas instituições e a necessidade de reorganização curricular. Professores que desejam adotar essa abordagem precisam conhecer os fundamentos teóricos da bioinformática, explorar suas aplicações didáticas e planejar atividades que integrem as ferramentas digitais aos objetivos de aprendizagem (Nascimento; Saraiva, 2019). A formação continuada de professores e o apoio institucional tornam-se essenciais para a implementação bem-sucedida dessas práticas. Quando bem planejada e integrada ao currículo, a bioinformática pode não apenas facilitar a compreensão das biomoléculas, mas também promover a cultura científica e digital dos alunos, preparando-os para atuar em um mundo cada vez mais orientado pela ciência, pela tecnologia e pela inovação.

METODOLOGIA

O presente estudo adota uma metodologia de revisão integrativa, sendo suas etapas desenvolvidas conforme referencial de Souza, Silva e Carvalho (2010) e as cinco fases por eles propostas. Na primeira fase, o estudo foi baseado na seguinte questão norteadora: como as metodologias ativas podem facilitar a compreensão no ensino de biomoléculas? Por meio dessa questão objetivou-se compreender como artigos dos últimos dez anos, publicados em português, inglês e espanhol, desenvolvem a temática da utilização das metodologias ativas para facilitar o processo de ensino-aprendizagem, em especial no uso de ferramentas de bioinformática. Posteriormente, a segunda fase foi composta da busca dos descritores, utilizando os termos: "Metodologia ativa", "Objetos de aprendizagem", "Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação", "Ferramentas de bioinformática", "Biomoléculas". Para inclusão nesse estudo buscou-se realizar uma busca abrangente, mas focada. Os critérios de inclusão foram: artigos na íntegra, no período de janeiro de 2015 a agosto de 2025, e relacionados ao tema. Como critérios de exclusão: textos jornalísticos ou em outros formatos que não configuram artigo científico, artigos em outros idiomas, com período anterior a 2015.

A busca de artigos foi realizada no mês de agosto de 2025. As bases de busca foram a Scientific Electronic Library Online (SciELO - <https://www.scielo.br/>), Google Acadêmico (<https://scholar.google.com>), como também na base de dados da CAPES, USP e UNICAMP.

Com base nos cinco descritores anteriormente enunciados, tendo por critério a presença de pelo menos dois deles nos artigos selecionados, obteve-se um total de 554 publicações dentro do período estabelecido na busca. Para esses primeiros artigos, foi feita uma primeira filtragem pelo resumo do artigo verificando os que porventura estivessem muito longe do objetivo traçado na questão norteadora, de modo que ficaram para a primeira fase de análise 154 artigos. Após análise dos resumos e palavras-chave, permaneceram 39 artigos para a análise minuciosa e composição da revisão integrativa. Nessa fase de análise, os artigos foram lidos para extração de pontos relevantes referentes à metodologias ativas de biomoléculas, metodologia do artigo e argumentos mais relevantes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O uso de softwares educacionais voltados ao estudo de biomoléculas possibilita que os alunos visualizem fenômenos estruturais em nível molecular, favorecendo a construção de modelos mentais que os auxiliam a compreender e prever interações futuras, provocadas por situações de indagação, reflexão e resolução de problemas. Essa característica se aproxima das metodologias ativas, uma vez que o estudante deixa de ser um receptor passivo e passa a desempenhar um papel ativo na aprendizagem, explorando, questionando e elaborando hipóteses a partir da simulação. Tais ferramentas apresentam a vantagem de poder ser reutilizadas em diferentes contextos e conteúdos, aumentando a eficiência e a abrangência no processo de ensino-aprendizagem, configurando-se como instrumentos pedagógicos potentes, pois permitem ao aluno interagir com representações que não seriam possíveis de observar em sala de aula. Essa possibilidade contribui não apenas para ampliar a compreensão conceitual, mas também para uniformizar a comunicação de conteúdos complexos entre professores e alunos (Borges, 2002).

De acordo com Ribeiro e Greca (2003), as simulações têm a capacidade de potencializar o ensino, na medida em que promovem a conexão entre novos fenômenos e os conhecimentos já adquiridos. O caráter interativo dessas ferramentas ainda favorece a identificação imediata de erros, estimulando a autorreflexão e a reavaliação de decisões por parte do estudante. Um estudo de caso realizado por Raupp *et al.* (2010) evidenciou que, após o uso de softwares, os estudantes apresentaram melhorias significativas na representação de moléculas, passando a considerar aspectos espaciais e geométricos com maior clareza, algo alcançado unicamente pelo apoio computacional.

A aplicação de simulações digitais abre espaço para diferentes propostas pedagógicas, que ao mesmo tempo incentivam a curiosidade e a autonomia dos alunos e descentralizam a figura do professor. Alinhadas a perspectivas sociointeracionistas de Vygotsky (1987), que considera o software como mediador na interação entre sujeito e objeto de conhecimento dentro da Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), tais práticas posicionam o docente como mediador, responsável por criar um ambiente de aprendizagem que favoreça a interação, o diálogo e a construção coletiva do conhecimento (Araújo, 2007). Entretanto, é preciso destacar que o potencial pedagógico dessas tecnologias não se concretiza de forma automática. Como aponta Valente (2001), a mera utilização de simulações ou softwares digitais não garante, por si só, a aprendizagem significativa. Nesse contexto, a formação e o papel do professor tornam-se elementos centrais. É responsabilidade do docente atuar como mediador, criando situações de aprendizagem que integrem o recurso tecnológico aos objetivos pedagógicos e à realidade dos estudantes. Dessa forma, o professor deve não apenas dominar o conteúdo científico, mas também desenvolver competências didáticas e digitais que possibilitem a articulação entre teoria e prática.

A Tabela 1 apresenta exemplos de softwares e ferramentas digitais aplicáveis ao ensino de biomoléculas, abrangendo proteínas, carboidratos e lipídios. A análise evidencia que a maior parte dos recursos está voltada ao estudo de proteínas e ácidos nucleicos, reflexo de sua centralidade em pesquisas biomoleculares e da maior tradição em recursos computacionais para representação tridimensional.

Tabela 1. Softwares e ferramentas aplicados ao ensino de biomoléculas.

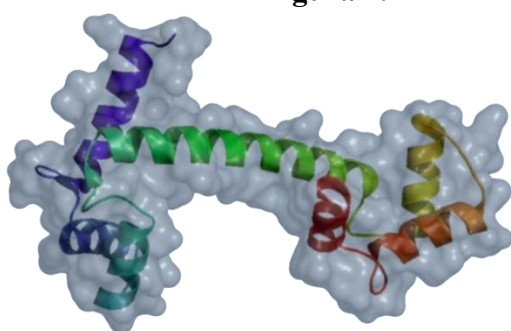
Biomolécula	Software/ Ferramenta	Atividade principal	Fonte	Endereço Web
Proteínas/ Ácidos Nucleicos	PyMOL	Manipulação interativa de proteínas e análise estrutural	De Lano (2002)	https://pymol.org
	RasMol	Visualização de estruturas tridimensionais de proteínas	Sayle; Milner-White (1995)	http://www.openrasmol.org
	RCSB PDB	Visualização de proteínas	Zardecki <i>et al.</i> (2016)	https://www.rcsb.org/
	SwissSidechain Viewer	Análise de interações proteína-ligante	Gfeller; Michielin; Zoete (2013)	https://www.swissidechain.ch/
	Concord	Explorando a estrutura 3D proteica	Concord	https://learn.concord.org/resources/827/exploring-protein-3d-structure
	Concord	Quatro níveis de estrutura proteica	Concord	https://learn.concord.org/resources/1095/four-levels-of-protein-structure
	LabXchange	Explorando o enovelamento proteico	LabXchange	https://www.labxchange.org/library/items/lb:La

				bXchange:08deacbe:lx_simulation:1
	LabXchange	Efeito da temperatura em proteínas	LabXchange	https://www.labxchange.org/library/items/lb:LabXchange:99c39c9f:lx_simulation:1
	LabXchange	Desnaturação de proteínas	LabXchange	https://www.labxchange.org/library/items/lb:LabXchange:4dff76f7:lx_simulation:1
Carboidratos	GlycoWorkbench	Modelagem e interpretação de estruturas de glicanos e ramificações.	Ceroni <i>et al.</i> (2012)	https://code.google.com/archive/p/glycoworkbench/
	GlyTouCan	Banco de dados aberto de glicanos; exploração em atividades investigativas.	Fujita <i>et al.</i> (2020)	https://glytoucan.org/
	SweetUnityMol	Visualização interativa em 3D de carboidratos, acessível para ensino.	Pérez <i>et al.</i> (2015)	https://glycopedia.eu/cateresources/sweet-unity-mol-3d-visualization-of-complex-carbohydrates-polysaccharides-and-glyco-conjugates/
	Carbohydrate Builder (GLYCAM-Web)	Construção e visualização de carboidratos em diferentes conformações.	Grant <i>et al.</i> (2025)	https://glycam.org/
Lipídios	LipidMaps (LMSD)	Repositório para classificação e diversidade lipídica, útil em atividades didáticas.	Conroy <i>et al.</i> (2023)	https://www.lipidmaps.org/databases/lmsd/overview
	CHARMM-GUI Membrane Builder	Construção de modelos de membranas lipídicas; estudo da composição estrutural.	Jo <i>et al.</i> (2008)	https://charmm-gui.org/?doc=tutorial&project=membrane

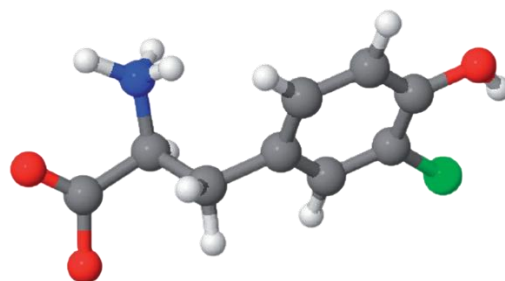
	CellPAINT	Representação ilustrativa de células com membranas lipídicas; recurso didático visual.	Gardner <i>et al.</i> (2019)	https://ccsb.scripps.edu/cellpaint/
--	-----------	--	------------------------------	---

Ferramentas como PyMOL e SwissSidechain (Figura 1) oferecem aos alunos a oportunidade de visualizar, manipular e compreender estruturas complexas de forma dinâmica, favorecendo a construção de hipóteses sobre interações moleculares, enovelamento e reconhecimento específico.

Figura 1. Estruturas geradas por softwares.



Fonte: PyMOL



Fonte: SwissSidechain Viewer

As propostas didáticas não têm o intuito de exaurir o tema, pelo contrário, foram pensadas para serem aplicadas após uma explicação teórica, antes ou durante o seu uso, partindo do pressuposto que a simulação, pelo seu caráter imersivo, poderá auxiliar o estudante a consolidar e construir conhecimento. Ademais, a análise qualitativa das ferramentas levará em conta a interface de utilização da simulação, a dinâmica do sistema simulado e consistência teórica dos sistemas simulados.

Ao observar as atividades principais dos softwares, nota-se que cada um deles contribui de forma específica para a formação do estudante (Tabela 2).

Tabela 2. Desenvolvimento de competências no ensino de biomoléculas por meio de softwares educativos.

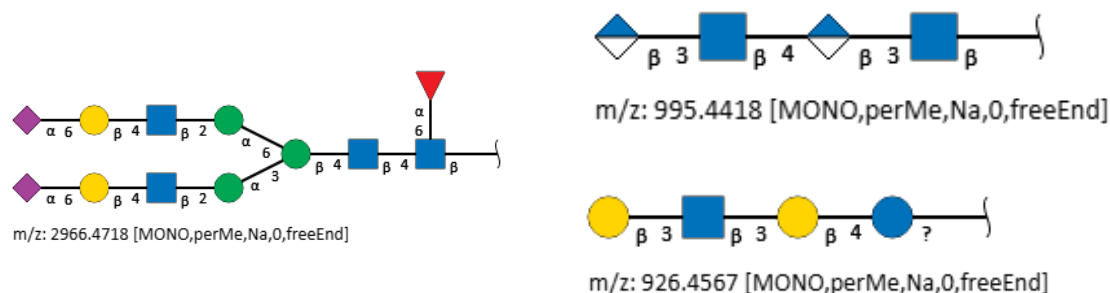
Software/Ferramenta	Competência desenvolvida no aluno
PyMOL	Relacionar estrutura e função de biomoléculas; desenvolver pensamento crítico para resolução de problemas em Biologia Molecular e Ciências dos Alimentos.
SwissSidechain	Compreender interações moleculares; aplicar raciocínio científico em contextos biotecnológicos e farmacológicos.
Rasmol	Introduzir conceitos de modelagem estrutural; desenvolver autonomia na investigação molecular.
Glycam-Web	Compreensão de funções de carboidratos em sinalização celular; análise de interações moleculares; desenvolvimento de pensamento crítico e colaborativo

Software/Ferramenta	Competência desenvolvida no aluno
SweetUnityMol	Aprendizagem colaborativa; resolução de problemas em grupo; estímulo à gamificação; desenvolvimento de competências sociais e digitais
LipidMaps	Integração de teoria e prática; análise de dados reais; pensamento investigativo; compreensão de processos metabólicos e patológicos

O PyMOL, por exemplo, permite a visualização tridimensional de proteínas, análise de mutações e observação de sítios ativos, o que favorece a compreensão das relações entre estrutura e função, aspecto fundamental para o estudo de Biologia Molecular, quanto para aplicações em Biotecnologia e Ciências dos Alimentos (De Lano, 2002). O SwissSidechain, ao oferecer simulações de docking molecular, contribui para que os alunos entendam a interação entre proteínas e pequenas moléculas, podendo ser utilizado em situações-problema relacionadas ao desenvolvimento de novos compostos bioativos (Gfeller; Michielin; Zoete, 2013). Já o RasMol, de uso mais acessível, permite explorar diferentes ângulos de estruturas moleculares, sendo ideal para a introdução de estudantes iniciantes no estudo tridimensional das biomoléculas (Sayle; Milner-White, 1995). O RCSB PDB oferece acesso a uma vasta base de dados de estruturas tridimensionais de proteínas e ácidos nucleicos, permitindo que os alunos explorem informações estruturais reais, realizem comparações entre moléculas e compreendam a relação entre conformação e função (Zardecki *et al.*, 2016). Ainda seguindo nas ferramentas sobre proteínas, o Concord disponibiliza simulações interativas voltadas ao estudo dos quatro níveis de estrutura proteica e do enovelamento proteico, favorecendo a visualização de fenômenos moleculares de difícil observação em sala de aula. A plataforma LabXchange proporciona atividades práticas virtuais, como experimentos sobre enovelamento e desnaturação de proteínas, integrando teoria e prática em um ambiente digital colaborativo.

Glicanos são polímeros de carboidratos formados por cadeias de monossacarídeos unidos por ligações glicosídicas, presentes em glicoproteínas, glicolipídios e proteoglicanos, desempenhando funções cruciais na célula, como sinalização e reconhecimento celular, estabilização de proteínas e constituição de estruturas extracelulares (Nelson; Cox, 2022). No contexto educativo, o estudo de glicanos representa um desafio devido à complexidade estrutural e à variedade de ligações possíveis, exigindo estratégias pedagógicas que facilitem a visualização e a compreensão dessas moléculas. Ferramentas como o GlycoWorkbench permitem aos alunos construir, analisar e interpretar espectros de massas de glicanos, promovendo o desenvolvimento de habilidades analíticas e a compreensão de padrões estruturais (Ceroni *et al.*, 2012). O GlyTouCan (Figura 2), por sua vez, funciona como um repositório de glicanos, oferecendo acesso a sequências padronizadas que possibilitam a exploração da diversidade estrutural e funcional desses polímeros em diferentes organismos (Fujita *et al.*, 2020). Já o Carbohydrate Builder (GLYCAM-Web) fornece recursos para a construção tridimensional de glicanos e simulação de suas interações com proteínas e outras moléculas, favorecendo a visualização de propriedades espaciais e a compreensão de processos de reconhecimento celular (Grant *et al.*, 2025). Complementando essas ferramentas, o SweetUnityMol possibilita uma visualização colaborativa de estruturas glicosídicas em ambientes digitais interativos, estimulando atividades em grupo que integram cooperação, análise crítica e construção coletiva do conhecimento (Pérez *et al.*, 2015).

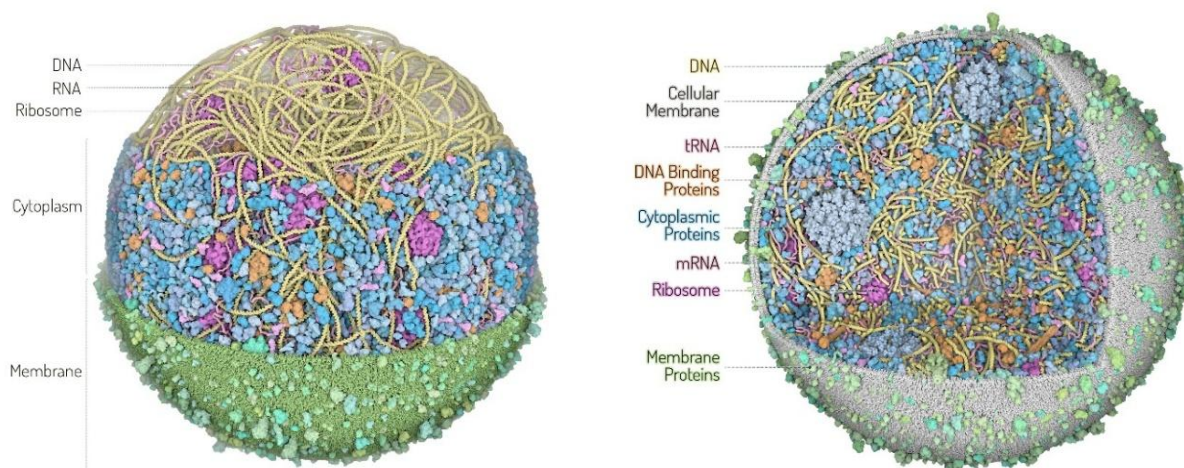
Figura 2. Sequências padronizadas de glicanos.



Fonte: GlyTouCan

A plataforma LipidMaps (LMSD) fornece uma base de dados detalhada sobre classes lipídicas, vias metabólicas e funções biológicas, permitindo que os estudantes explorem a composição de membranas celulares, a síntese e o metabolismo lipídico, bem como a relação entre alterações lipídicas e doenças metabólicas (Conroy *et al.*, 2023). O CHARMM-GUI Membrane Builder possibilita a modelagem de membranas biológicas em três dimensões, promovendo a visualização das interações entre lipídios e proteínas e a análise de propriedades estruturais e dinâmicas de sistemas biomembranares (JO *et al.*, 2008). Já o CellPAINT (Figura 3) oferece uma abordagem interativa e lúdica, permitindo aos alunos construir representações celulares em nível molecular, posicionando lipídios, proteínas e outras biomoléculas, o que facilita a compreensão de processos de organização e função celular (Gardner *et al.*, 2019).

Figura 3. Célula inteira em 3D de *Mycoplasma genitalium*.



Fonte: CellPAINT.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo evidencia que o uso de ferramentas de bioinformática no ensino de biomoléculas apresenta um grande potencial para promover a aprendizagem ativa, significativa e integrada, permitindo aos estudantes visualizar e manipular estruturas complexas de ácidos nucleicos, proteínas, carboidratos e lipídios. Observou-se, contudo, uma carência de repositórios e simulações em língua portuguesa, o que representa um desafio especialmente no

ensino básico, onde a fluência em inglês pode ser limitada. Apesar disso, a utilização desses softwares não inviabiliza o aprendizado, uma vez que os termos básicos de navegação e muitos conceitos científicos possuem origem etimológica latina ou grega, facilitando sua compreensão, além de poderem ser adaptados ou traduzidos pelo professor durante a mediação do conteúdo.

Outro ponto relevante identificado foi a disponibilidade desigual de ferramentas para diferentes classes de biomoléculas. Enquanto há uma maior oferta de softwares voltados ao estudo de proteínas, os recursos para carboidratos e lipídios ainda são limitados, indicando lacunas no desenvolvimento de materiais educacionais específicos. Essa situação representa uma oportunidade para o desenvolvimento de novas simulações, repositórios e recursos didáticos, que possam ampliar o acesso dos estudantes a experiências de aprendizagem imersivas e colaborativas.

REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, N. R.; MORAES FILHO, A. V. Elaboração e utilização de um aplicativo como ferramenta no ensino de Bioquímica: carboidratos, lipídios, proteínas e ácidos nucleicos. **Revista de Ensino de Bioquímica**, v. 13, n. 5, 2015. 10.16923/reb.v13i2.560
- ANDRADE, R. S. B.; SILVA, A. F. S; ZIERER, M. S. Evaluation of learning difficulties in Biochemistry from the Federal University of Piauí students. **Journal Of Biochemistry Education**, v. 15, n. 01, 2017. 10.16923/reb.v15i1.690
- ARAÚJO, J. C. **Internet & ensino: novos gêneros, outros desafios**. Rio de Janeiro: Lucerna, 2007.
- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J.; HANESIAN, H. **Psicologia educacional**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.
- BARBOSA J. U.; LEAL, M. C.; ROSSI, S. Q.; DIAS, T. N.; FERREIRA, K. A.; OLIVEIRA, C. P. Analogias para o ensino de Bioquímica no nível médio. **Revista Ensaio**, v. 14, p. 195-208, 2012.
- BORGES A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. 2002;19(3):291-313.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018.
- CAMPBELL, M. K.; FARRELL, S. O. **Bioquímica Vol. 3: bioquímica metabólica**. São Paulo: Thomson Learning, 2007.
- CARDOZO, L. C. **Uso de metodologias ativas integradas à tecnologias digitais no ensino híbrido de bioquímica dos seres vivos para estudantes do ensino médio**. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação *Lato Sensu* em Práticas Pedagógicas) - Instituto Federal do Espírito Santo. Piúma, p. 59, 2022.
- CERONI, A.; MAASS, K.; GEYER, H.; GEYER, R.; DELL, A.; HASLAM, S. M. GlycoWorkbench: A Tool for the Computer-Assisted Annotation of Mass Spectra of Glycans. **Journal of Proteome Research**, v. 7, n. 4, p. 1650–1659, 2008. 10.1021/pr7008252
- COELHO NETO, J.; BLANCO, M. B.; ARAÚJO, R. N. de. As Tecnologias da Informação e Comunicação para o ensino de Ciências: percepções, desafios e possibilidades para o contexto educacional. **Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista**, v. 9, n. 2, 2019. 10.31512/encitec.v9i2.2218
- CONROY, M. J.; ANDREWS, R. M.; ANDREWS, S.; COCKAYNE, L.; DENNIS, E. A.; FAHY, E.; GAUD, C.; GRIFFITHS, W. J.; JUKES, G.; KOLCHIN, M.; MENDIVELSO, K.; LOPEZ-CLAVIJO, A. F.; READY, C.; SUBRAMANIAM, S.; O'DONNELL, V. B. LIPID MAPS: update to databases and tools for the lipidomics community. *Nucleic Acids Research*, v. 52, p. 1677–1682, 2023. 10.1093/nar/gkad896
- DE LANO, W. L. **The PyMOL Molecular Graphics System**. Version 0.99rc6, Schrödinger, 2002.
- FRANCISCO JR; W. E.; FRANCISCO, W. Proteínas: Hidrólise, precipitação e um tema para o ensino de Química. **Química Nova na Escola**, v. 24, p. 12-16, 2006.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1996.

FUJITA, A.; AOKI, N. P.; SHINMACHI, D.; MATSUBARA, M.; TSUCHIYA, S.; SHIOTA, M.; ONO, T.; YAMADA, I.; AOKI-KINOSHITA, K. F. **The international glycan repository GlyTouCan version 3.0**. *Nucleic Acids Research*, v. 30, p. 1529-1533, 2020. 10.1093/nar/gkaa947

GARDNER, A.; AUTIN, L.; FUENTES, D.; MARITAN, M.; BARAD, B. A.; MEDINA, M.; OLSON, A. J.; GROTHJAHN, D. A.; GOODSELL, D. S. CellPAINT: Turnkey Illustration of Molecular Cell Biology. **Frontiers in Bioinformatics**, 2021. 10.3389/fbinf.2021.660936

GFELLER, D.; MICHIELIN, O.; ZOETE, V. SwissSidechain: a molecular and structural database of non-natural sidechains. **Nucleic Acids Research**, v. 41, 2013. 10.1093/nar/gks991

GONÇALVES, A. L. A importância do uso das tecnologias no século XXI nas escolas atuais e como tem sido o processo de avaliação dos alunos. **Revista Tópicos**, v. 2, n. 12, 2024. 10.5281/zenodo.13289949

GRANT, O. C.; WENTWORTH, D.; HOLMES, S. G.; KANDEL, R.; SEHNAL, D.; WANG, X.; XIAO, Y.; SHEPPARD, P.; GRELSSON, T.; COULTER, A.; MILLER, G.; FOLEY, B. L.; WOODS, R. J. Generating 3D Models of Carbohydrates with GLYCAM-Web. **Biorxiv**, 2025. 10.1101/2025.05.08.652828

HORN, M. B.; STAKER, H. **Blended: usando a inovação disruptiva para melhorar a educação**. Porto Alegre: Penso, 2015.

JO, S.; KIM, T.; IYER, V. G.; IM, W. CHARMM-GUI: A Web-based Graphical User Interface for CHARMM. **Journal of Computational Chemistry**. v. 29, p. 1859-1865, 2008. 10.1002/jcc.20945

MARQUES, M. R. F. **Bioquímica**. Florianópolis: BIOLOGIA/EAD/UFSC, 2014.

MORAN, J. M. **A educação que desejamos: novos desafios e como chegar lá**. 5. ed. Campinas: Papirus, 2012.

MURR, C. E.; FERRARI, G. **Entendendo e aplicando a gamificação: o que é, para que serve, potencialidades e desafios**. Florianópolis: UFSC-UAB, 2020.

NASCIMENTO, Y. A. P.; SARAIVA, L. F. M. Bioinformatics tools for teaching biotechnology. **Journal of Biochemistry Education**, v. 17, n. 1, 2019. 10.16923/reb.v17i1.819

NELSON, D. L.; COX, M. M. ; HOSKINS, A. A. **Princípios de bioquímica de Lehninger**. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2022.

PÉREZ, S.; TUBIANA, T.; IMBERTY, A.; BAADEEN, M. Three-dimensional representations of complex carbohydrates and polysaccharides--SweetUnityMol: a video game-based computer graphic software. **Glycobiology**, v. 25, n. 5, p. 483-491, 2015. 10.1093/glycob/cwu133

PEVSNER, J. **Bioinformatics and functional genomics**. 3. ed. Hoboken: Wiley-Blackwell, 2015.

RAUPP, D.; SERRANO, A.; MARTINS, T. L. C.; SOUZA, B. C. de. Uso de um software de construção de modelos moleculares no ensino de isomeria geométrica: um estudo de caso baseado na teoria de mediação cognitiva. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, Espanha**, v. 9, n. 1, p. 18-34, 2010.

RIBEIRO, A. A.; GRECA, I. M. Simulações computacionais e ferramentas de modelização em educação química: uma revisão de literatura publicada. **Química Nova**, São Paulo, v. 26, n. 4, p. 542-9, jul./ago., 2003.

SANTOS, S. S. R. F. dos; MATOS, E. A. S. A de. Possibilidades e desafios da Aprendizagem Baseada em Projetos na Educação Profissional e Tecnológica a partir das perspectivas docentes. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 17, p. 1-19, 2024.

SANTOS, Z. O.; ANDRADE, B. S.; LUZ, R. Computational strategies for biomolecular visualization with applications for high school biology teaching and research encouragement. **Journal of Teaching Initiation**, v. 9, n. 1, 2024. 10.22481/riduesb.v9i1.14854

SAYLE, R. A.; MILNER-WHITE, E. J. RASMOL: biomolecular graphics for all. Trends in **Biochemical Sciences**, v. 20, n. 9, p. 374-376, 1995. 10.1016/S0968-0004(00)89080-5

VALENTE, J. A. (Org.). **O Computador na Sociedade do Conhecimento. Campinas**. Ed. UNICAMP/NIED, 2001.

VYGOTSKY, L. S. **Pensamento e linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 1987.

LAGO, W. L. A. do; ARAÚJO, J. M.; SILVA, L. B. Interdisciplinaridade e ensino de ciências: perspectivas e aspirações atuais do ensino. **Saberes**, v. 1, n. 11, p. 52-63, 2015.

WU, H.; SHAH, P. Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. **Science Education**, v. 88, n. 24, p. 465-492, abr. 2004.

ZANUTO, R.; LORENZETI, F. M.; LIMA, W. P.; CARNEVALI JR, L. C. **Biologia e Bioquímica: Bases Aplicadas às Ciências da Saúde**. São Paulo: Phorte; 2011.

ZARDECKI, C.; DUTTA, S.; GOODSSELL, D. S.; VOIGT, M.; BURLEY, S. K. RCSB Protein Data Bank: A Resource for Chemical, Biochemical, and Structural Explorations of Large and Small Biomolecules. **Journal of Chemical Education**, v. 93, p. 569-575, 2016. 10.1021/acs.jchemed.5b00404