

Estratégias computacionais para visualização de biomoléculas com aplicações para o ensino e estímulo à pesquisa em biologia no ensino médio

Computational strategies for biomolecular visualization with applications for high school biology teaching and research encouragement

Estrategias computacionales para la visualización de biomoléculas con aplicaciones para la enseñanza y estímulo a la investigación en biología en la educación secundaria

Zaira Oliveira Santos¹
Bruno Silva Andrade²
Rodrigo da Luz³

Resumo: O presente trabalho teve por objetivo analisar as potencialidades de integrar a utilização de ferramentas computacionais como estratégia metodológica para visualização de biomoléculas no ensino de biologia. Trata-se de um estudo de natureza qualitativa, além de ser uma Pesquisa de Natureza Interventiva (PNI). Para a coleta de dados, foram aplicados dois questionários (antes e após a intervenção), contendo questões abertas e fechadas, para estudantes do terceiro ano do ensino médio, cursantes da disciplina de biologia. Os dados provenientes do processo investigativo foram analisados de acordo com os pressupostos da Análise Textual Discursiva (ATD). Os resultados do estudo versam a respeito das contribuições para a aprendizagem de biomoléculas, uma vez que o uso de recursos de informática pode ajudar os alunos a compreender conceitos complexos de biologia e associá-los ao seu cotidiano, ao passo que elucida limitações de necessidades estruturais da escola. O trabalho ainda frisa a finalidade maior do ensino de ciências, sendo essa a formação de cidadãos capazes de compreender e atuar no mundo de forma crítica e consciente.

Palavras-chave: Biomoléculas. Bioinformática. Ensino de biologia.

Abstract: The present study aimed to analyze the potentialities of integrating the use of computational tools as a methodological strategy for the computational visualization of biomolecules in biology education. This is a qualitative study, as well as an Interventional Nature Research (INR). To collect data, two questionnaires (before and after the intervention) containing open and closed-ended questions were administered to third-year high school students, enrolled in the biology course. The data from the investigative process were analyzed according to the assumptions of Discursive Textual Analysis (DTA). The results of the study concern the contributions to the learning of biomolecules, as the use of computer resources can help students

¹ Licenciada em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - Campus Jequié/BA. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0408-8000>. E-mail: zairaoliveirabio@gmail.com

² Doutor em Biotecnologia pela Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS). Professor Pleno (Medicina) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Jequié/BA. Coordenador do Laboratório de Bioinformática e Química Computacional - LBQC/UESB. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8031-9454>. E-mail: bandrade@uesb.edu.br

³ Doutor em educação pela Faculdade de Educação da Universidade Federal da Bahia (FACED/UFBA). Professor assistente, lotado no Departamento de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5711-1447>. E-mail: rlsilva@uesc.br



understand complex biology and associate them with their daily lives, while also highlighting the structural needs of the school. The work also emphasizes the overarching purpose of science education, which is to cultivate critical and conscious citizens capable of understanding and engaging with the world.

Keywords: Biomolecules. Bioinformatics. Biology education.

Resumen: El presente trabajo tuvo como objetivo analizar las potencialidades de integrar el uso de herramientas computacionales como estrategia metodológica para la visualización de biomoléculas en la enseñanza de biología. Se trata de un estudio de naturaleza cualitativa, además de ser una Investigación de Naturaleza Interventiva (INI). Para la recolección de datos, se aplicaron dos cuestionarios (antes y después de la intervención), que contenían preguntas abiertas y cerradas, a estudiantes de tercer año de educación secundaria, que cursaban la asignatura de biología. Los datos provenientes del proceso investigativo fueron analizados de acuerdo con los supuestos del Análisis Textual Discursivo (ATD). Los resultados del estudio se refieren a las contribuciones para el aprendizaje de biomoléculas, dado que el uso de recursos informáticos puede ayudar a los alumnos a comprender conceptos complejos de biología y asociarlos con su vida diaria, al tiempo que aclara limitaciones de necesidades estructurales de la escuela. El trabajo también destaca la mayor finalidad de la enseñanza de las ciencias, que es la formación de ciudadanos capaces de comprender y actuar en el mundo de manera crítica y consciente.

Palabras clave: Biomoléculas. Bioinformática. Enseñanza de biología.

Introdução

O ensino de biologia no século XXI vem sofrendo constantes transformações decorrentes dos avanços em ciência e tecnologia vivenciados nas últimas décadas que fizeram com que as informações circulassem de maneira muito rápida e em tempo real, diminuindo as distâncias entre as pessoas (Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2018). Onde, anteriormente, tinha-se uma área voltada a laboratórios tradicionais com experimentos de bancada ou a aulas puramente expositivas nos ambientes escolares, agora tem-se também buscado incluir, de maneira mais frequente, ferramentas desenvolvidas pela tecnologia da informação que dinamizam o processo de ensino e aprendizagem. Na perspectiva apresentada por Jesus (2016), o uso das tecnologias digitais tem influenciado e modificado a sociedade, bem como a educação escolar. A inserção de estratégias computacionais articuladas aos saberes científicos pode resultar num processo educativo exitoso, tendo em vista que, atualmente, os alunos apresentam considerável facilidade com o manuseio de ferramentas digitais.

A possibilidade de visualizar biomoléculas mediante ferramentas computacionais em sala de aula, constitui uma estratégia didático-pedagógica que representa uma grande vantagem no ensino de biologia, visto que muitas instituições de ensino no país não são munidas de equipamentos experimentais que tornam possível tal visualização *in loco*, por apresentarem alto custo. Todavia, os recursos computacionais são acessíveis e de baixo custo, possibilitando aulas diferenciadas e colaborativas.

De acordo com Cachapuz *et al.* (2005), nós, professores, somos desafiados a abraçar e inserir estratégias metodológicas que culminem no melhoramento da educação científica, levando em consideração a crescente recusa dos estudantes para a aprendizagem das ciências. Nesse sentido, os recursos computacionais associados a biologia podem oferecer aos alunos a chance de interagir durante as aulas, de visualizar e manipular a estrutura de moléculas, mesmo que em ambiente virtual, possibilitando o protagonismo discente no processo do seu aprendizado e “[...] não reduzindo o ensino científico à apresentação de conhecimentos já elaborados, sem dar ocasião aos estudantes de se aproximarem das atividades características do trabalho científico” (Cachapuz, apud Gil-Pérez *et al.*, 1999, p. 38).

O estudo das biomoléculas vai além de uma compreensão teórica da biologia, pois conecta-se diretamente com questões políticas, econômicas e sociais que impactam o cotidiano. A produção e o uso de biotecnologias, por exemplo, influenciam decisões políticas sobre regulamentação e segurança alimentar, além de moldarem o mercado econômico global através da indústria farmacêutica e agrícola. Por outro lado, a compreensão dessas tecnologias é essencial para uma atuação cidadã consciente, pois permite que os sujeitos tomem decisões informadas sobre temas diversos. Em um mundo cada vez mais dominado pela ciência e tecnologia, relacionar os conhecimentos científicos com a realidade cotidiana é crucial para enfrentar desigualdades e demandas sociais no sentido de construir uma sociedade que possa viver de forma equitativa e sustentável. Nesse sentido, o ensino de ciências pode colaborar para a formação crítica dos estudantes ao contextualizar os conteúdos curriculares com discussões presentes no contexto de vida dos sujeitos, contribuindo para a participação social, engajamento e tomada de decisão em assuntos que envolvem ciência e tecnologia (Luz; Santana; Moraes, 2023).

Em dezembro de 2019, houve um surto de uma síndrome respiratória aguda grave causado por uma nova linhagem de um coronavírus, o SARS-CoV-2, em Wuhan, China. Muito rapidamente o vírus se espalhou em escala global e foi decretada a pandemia. Diante disso, surgiu todo um movimento de busca por soluções que culminou no desenvolvimento de vacinas e medicamentos terapêuticos. Nesse cenário, houve a abrangente aplicação de ferramentas computacionais (bioinformática) que pôde auxiliar nesse processo de produção de vacinas e potenciais fármacos capazes de combater a disseminação do vírus. Atualmente, após o período pandêmico, houve a intensificação da utilização de tais ferramentas, culminando no aprimoramento das técnicas, procedimentos e materiais ligadas à bioinformática, o que tornou a temática ainda mais conhecida e requisitada (Chukwudozie *et al.*, 2021).

Considerando a relevância social da utilização das ferramentas e estratégias computacionais na ciência e nos espaços escolares, o atual trabalho foi construído com o intuito de desenvolver no ambiente escolar em parceria com professores e alunos um conhecimento adquirido e pesquisado a partir da caminhada da primeira autora que

atuou durante três anos no Laboratório de Bioinformática e Química Computacional – UESB, campus Jequié/Bahia, na condição de aluna de iniciação científica, desenvolvendo o projeto intitulado por “Estudos *in silico* e *in vitro* para busca de potenciais fármacos contra o Sars-Cov-2 (covid-19)” e que em sua pesquisa monográfica conferiu a esse estudo uma dimensão educacional, voltada à Educação em Ciências.

Por meio das vivências no referido projeto, das experiências proporcionadas ao longo da graduação e da importância de trabalhar com a bioinformática no ensino de biologia, neste artigo nos questionamos: em que medida a aplicação de estratégias computacionais em sala de aula, como recurso didático-pedagógico, pode contribuir para um ensino de biologia que seja mais crítico e atrativo para os estudantes do ensino médio?

Diante disso, o presente trabalho teve por objetivo analisar as potencialidades de integrar a utilização de ferramentas computacionais como estratégia metodológica para visualização computacional de biomoléculas no ensino de biologia.

Estratégias computacionais e a escola

No ano de 1997 foi criado pelo Ministério da Educação (MEC) o Programa Nacional de Tecnologia Educacional (PROINFO) visando promover o uso da tecnologia como ferramenta de enriquecimento pedagógico na educação básica (Carlan, 2009). O programa tem como principal diretriz levar às escolas computadores, recursos digitais, bem como conteúdos educacionais. A chegada de tais artefatos nas escolas, por meio de políticas públicas, representa um grande avanço na educação, todavia esses recursos não garantem por si só que o aluno desenvolva suas habilidades de aprender e aprimorar seus conhecimentos (Carlan, 2009). Por isso, se faz necessária a mediação do processo pedagógico pelo professor capacitado, que ao se apropriar dos conhecimentos de informática e das estratégias computacionais, possa, junto aos alunos, explorar essas ferramentas no âmbito educacional e evitar que sejam utilizadas de forma reducionista, como afirmam Teixeira e Brandão:

A utilização do computador na educação só faz sentido na medida em que os professores o concebem como uma ferramenta de auxílio às suas atividades didático-pedagógicas, como instrumento de planejamento e realização de projetos interdisciplinares, como elemento que motiva e, ao mesmo tempo, desafia o surgimento de novas práticas pedagógicas, tornando o processo ensino-aprendizagem uma atividade inovadora, dinâmica, participativa e interativa (Teixeira; Brandão, 2003, p.1).

Em seu estudo, Alencar (2005) disserta acerca do pensamento de Paulo Freire sobre a tecnologia. Uma das concepções de Freire é encontrada no livro *Pedagogia da Autonomia*, onde o educador, quando Secretário de Educação da cidade de São Paulo, decide democratizar o acesso aos computadores para todos os alunos da escola pública da cidade. Freire afirma:

Não tenho dúvida nenhuma do enorme potencial de estímulos e desafios à curiosidade que a tecnologia põe a serviço das crianças e dos adolescentes das classes sociais chamadas favorecidas. Não foi por outra razão que, enquanto secretário de educação da cidade de São Paulo, fiz chegar à rede das escolas municipais o computador. Ninguém melhor do que meus netos e minhas netas para me falar de sua curiosidade instigada pelos computadores com os quais convivem (Freire, 1996, p. 97-98).

Também a Base Nacional Curricular Comum (BNCC), documento normativo que define o conjunto de aprendizagens essenciais que os alunos devem desenvolver ao longo de todas as etapas da Educação Básica, prevê o uso da tecnologia de maneira responsável, incentiva a modernização dos recursos e práticas pedagógicas com o uso da tecnologia. Em sua competência geral de número cinco, discorre:

Compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais (incluindo as escolares) para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva (Brasil, 2018, p. 9).

Com esse retrospecto do avanço tecnológico e da possibilidade de explorar esses recursos no ambiente educacional, o professor não deve ficar alheio a esses fatos, limitando-se ao que o sistema de ensino geralmente dispõe, que envolve, basicamente, o espaço da sala de aula, lousa, pincel e livro didático. A utilização de ferramentas computacionais e recursos metodológicos diferenciados e inovadores em sala de aula implica em algum esforço do corpo docente e da equipe pedagógica da escola, bem como um maior compromisso com uma educação crítica que contribua para uma participação efetiva dos sujeitos nos contextos em que vivem, cada vez mais marcados pela ciência e pela tecnologia (Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2018).

O trabalho com o conteúdo de biomoléculas no ensino de biologia por meio de estratégias computacionais

As células do nosso organismo são formadas por biomoléculas que interagem entre si e executam diversas funções. O conhecimento dessas biomoléculas é imprescindível para entender o funcionamento de reações bioquímicas e fisiológicas dos seres vivos. No ensino de biologia, estratégias computacionais podem se tornar um instrumento facilitador da aprendizagem de conteúdos abstratos, à medida que podemos fazer uso de softwares que simulam essas reações e interações entre biomoléculas, possibilitando a visualização de imagens tridimensionais, elucidando as estruturas das moléculas biológicas (Jesus; Collet, 2012).

Para Freitas (2013), ensinar biologia sem que o discente tenha contato direto com o material biológico demanda exacerbado exercício da imaginação, o que acaba acontecendo diante das dificuldades limitantes do modelo de ensino. Por outro lado, a melhor maneira de aprender acontece quando a natureza multissensorial do aluno é

estimulada, a partir de imagens e/ou objetos que tornem a aula mais proveitosa, quando a informação é percebida mediante diferentes sentidos.

É hoje consensual que um aluno que presta atenção retém aproximadamente 10% do que lê 20% do que ouve 30% do que vê, 50% do que vê e ouve ao mesmo tempo, 80% do que diz e 90% do que diz fazendo qualquer coisa a propósito da qual reflète e na qual se implica pessoalmente (Rocha, 1988 p. 176).

A citação de Rocha (1988) destaca a importância da participação ativa dos alunos em sala de aula, sugerindo que o envolvimento pessoal e a ação prática são fundamentais para o processo de ensino e aprendizagem. O simples ato de ler ou ouvir informações pode não ser suficiente para garantir uma compreensão duradoura. Desse modo, quando os alunos aplicam esse conhecimento de maneira prática, eles não apenas reforçam o conteúdo, mas também desenvolvem habilidades críticas e reflexivas. Esse processo ativo de aprendizagem, onde o aluno se torna protagonista, é crucial para a construção de um conhecimento significativo e aplicável em diferentes contextos de interação social.

De acordo com Moraes e Cezar-de-Mello (2021), atualmente, mesmo com tantos avanços tecnológicos, há uma escassez de trabalhos sobre bioinformática no contexto do ensino de ciências. Apesar da lacuna de pesquisas, é possível citar um desses poucos. Rosa e Loreto (2013) realizaram uma atividade com um grupo de alunos do 2º ano do Ensino Médio sobre Síntese de Proteínas por meio do acesso ao GenBank, o que, segundo os autores, permitiu um avanço significativo das relações conceituais do conteúdo. Tal resultado reforça a importância de associar tecnologias computacionais à aprendizagem de moléculas biológicas no ensino de ciências e biologia.

Cada vez mais a informática ganha espaço na sociedade como instrumento de aprendizagem e é esperado, como consequência, que os recursos computacionais ganhem espaço também no cenário educacional. No estudo de Jesus e Collet (2012), foram realizadas, como implementação de um projeto de intervenção pedagógica, oficinas para capacitar e estimular professores na utilização de recursos computacionais como ferramenta educacional, obtendo resultados exitosos, uma vez que os professores compreenderam que o uso dessas ferramentas pode ser muito interessante, particularmente para facilitar a aprendizagem dos estudantes no ensino de biologia. Nesse sentido, os recursos computacionais possibilitam uma abordagem mais interativa e visual para o ensino de biologia, pois permitem explorar conceitos complexos de maneira mais acessível e compreensível, tornando o processo de aprendizagem mais eficaz e atrativo para os estudantes.

Delineamento metodológico

Tratou-se de um estudo de natureza qualitativa. Essa abordagem de pesquisa tem como foco a esfera das aspirações, valores, atitudes e significados que os sujeitos produzem sobre a realidade, o que corresponde a um espaço mais profundo das relações dos processos e das ocorrências (Chizzotti, 2003). Nesse sentido, cabe ao pesquisador ir a

campo para investigar cuidadosamente os processos sob a perspectiva dos partícipes nele envolvidos.

Além de qualitativa, tratou-se de uma Pesquisa de Natureza Interventiva (PNI), a qual, de acordo com Teixeira e Megid (2017, p. 1056), “possibilita testar recursos e estratégias didáticas, desenvolver processos formativos, nos quais, os pesquisadores e demais sujeitos envolvidos, atuam na intenção de resolver questões práticas”.

O estudo foi desenvolvido com uma turma do terceiro ano do ensino médio do Complexo Integrado de Educação Básica Profissional e Tecnológica (CIEB), localizado no município de Jequié-BA, no ano de 2023. A turma contava com 25 alunos matriculados, mas nem todos frequentavam assiduamente. Para manter a identidade dos participantes da pesquisa preservada, foram atribuídos códigos que substituem os nomes dos alunos (Ex.: A1, A2, A3...). As respostas dos mesmos foram conservadas da maneira como escreveram, sem nenhuma correção ortográfica. A seleção da turma se deu pelo critério de que são alunos cursantes da disciplina de biologia que aborda o assunto sobre biomoléculas. A pesquisa foi realizada após todos os participantes firmarem o Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE), por serem menores de idade, e seus responsáveis firmarem o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), de maneira que os participantes da pesquisa foram informados sobre seus direitos, riscos e benefícios ao aceitarem participar da pesquisa.

O processo formativo ocorreu no mês de maio do ano de 2023, em turma do terceiro ano do ensino médio, na disciplina de biologia e no contexto de uma escola da rede estadual do município de Jequié/Bahia. Os encontros ocorreram durante três aulas da referida disciplina, cada uma com horário duplo (100 min), contando com a presença do professor regente. A pesquisa foi dividida em três momentos, conforme expressa o Quadro 1:

Quadro 1: Os três momentos do processo formativo envolvendo a utilização da bioinformática para o aprendizado de biomoléculas na disciplina de biologia do 3º ano do ensino médio.

Primeiro Momento	Segundo Momento	Terceiro Momento
Quebrando o gelo: Conhecendo a turma; Apresentação da pesquisa e do pesquisador; Assinatura do Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE) e preenchimento do questionário inicial pela turma. Tal questionário visou sondar o conhecimento prévio da turma acerca das biomoléculas, a facilidade no manuseio de ferramentas tecnológicas, bem como rememorar o meio em	Desvendando os segredos das biomoléculas: Envolveu o uso de slides, ricos em ilustrações e animações, em que foram elucidadas as descrições e funções das principais biomoléculas (carboidratos, lipídios, proteínas e ácidos nucleicos) e sua importância para o funcionamento dos organismos vivos e para a vida dos estudantes em suas várias dimensões. O encontro ocorreu no ambiente	Explorando biomoléculas no universo digital: Utilização dos computadores; acesso ao site Biomodel-3: Structural Biochemistry for Secondary School (uah.es) para visualização das biomoléculas em imagens tridimensionais; explicação sobre o funcionamento das biomoléculas visualizadas.

que tiveram um primeiro contato com o conteúdo. O encontro ocorreu no ambiente da sala de aula, onde os estudantes se reúnem diariamente.	denominado “Sala dos Chromebooks”. O espaço apresenta <i>netbooks</i> com acesso à internet, onde os alunos acessam as plataformas digitais através de um login vinculado ao governo do estado. Além de um aparelho televisor para projeção da tela do computador do docente.	Avaliação após a oficina: Aplicação do questionário final, visando analisar o aprendizado dos estudantes durante e após o processo formativo. O encontro ocorreu no ambiente denominado “Espaço Maker”, convencionalmente chamado de “Sala de Informática”. O espaço apresenta computadores com acesso à internet, além de um aparelho televisor para projeção da tela do computador.
--	--	---

Fonte: Os autores (2023)

Conforme o Quadro 01, no primeiro momento denominado “Quebrando o gelo”, houve a exposição da proposta de pesquisa para a turma e uma dinâmica de apresentação entre professores e estudantes. Além disso, como instrumento de avaliação foi aplicado um questionário contendo 5 questões que foi respondido por intermédio da ferramenta *Google Forms*, de maneira virtual. No segundo momento denominado “Desvendando os segredos da natureza” foi trabalhado o conteúdo de biomoléculas em seus aspectos conceituais e contextuais de maneira que os estudantes pudessem compreender a importância desse assunto para a vida humana e não humana em suas variadas dimensões. O terceiro momento intitulado “Explorando biomoléculas no universo digital” ocorreu de forma mediada e orientada, onde a professora/formadora e primeira autora desse artigo projetou a tela do seu computador no aparelho televisor da sala de informática, possibilitando aos alunos acompanharem o passo a passo de como manusear as biomoléculas através do site.

Durante o processo formativo, quando algum discente apresentava dificuldade, a professora/formadora se dirigia até ele, sanando suas dúvidas e auxiliando-o no manejo da interface tecnológica. O site, utilizado para a visualização de biomoléculas, apesar de confeccionado na língua inglesa, pôde ser traduzido através do servidor *Google Chrome*, pelo qual foi acessado, que dispõe de tradução online dos sites em outras línguas. Ademais, os discentes já possuíam familiaridade com os computadores e *chromebooks* disponibilizados pela escola, os quais já haviam sido utilizados em outras ocasiões de ensino por outros professores. No último momento da formação ocorreu também a aplicação de questionário contendo 7 questões, o qual foi respondido por intermédio da ferramenta *Google Forms*, de maneira virtual.

Ressalta-se que o primeiro questionário foi respondido por 22 alunos e o segundo por 10 alunos da mesma turma. A diminuição do número de sujeitos participantes da pesquisa antes e após o processo formativo se deu em função de o primeiro questionário ter sido aplicado em sala, enquanto o questionário final ter sido respondido em horário diferente ao das aulas convencionais (não houve tempo para responder o questionário

nas aulas previstas para a biologia), de modo que essa flexibilidade pode ter feito com que alguns alunos deixassem de enviar suas contribuições.

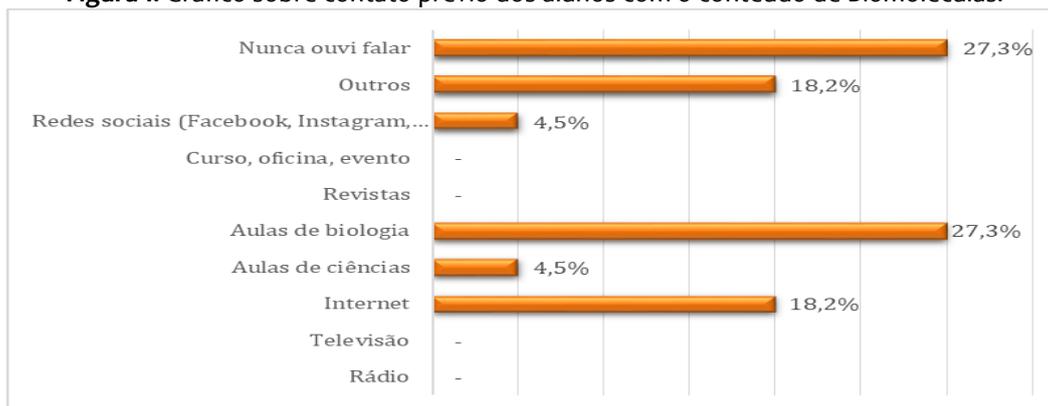
Do ponto de vista analítico, a presente pesquisa inspirou-se na Análise Textual Discursiva (ATD), proposta por Moraes (2003), que visa examinar processos de análise textual qualitativa, em um ciclo composto por quatro elementos: unitarização, categorização, comunicação e auto organização. O processo de unitarização envolve a análise minuciosa dos textos presentes no corpus, fragmentando-os para identificar suas unidades constituintes. Na etapa da análise de informações, evidenciamos apenas as falas representativas dos alunos e as categorias que emergiram delas. O processo chamado de categorização envolve a criação de conexões entre as unidades fundamentais, combinando-as e classificando-as para entender como esses elementos individuais podem ser agrupados para formar conjuntos mais complexos, chamados categorias. Por fim, no terceiro estágio do ciclo de análise, comunicam-se as novas compreensões obtidas nos estágios anteriores por meio de metatextos que explicitam as novas estruturas analisadas com profundidade. Tal movimento possibilita a emergência de novas compreensões com base na auto-organização (Moraes, 2023).

Resultados e Discussão

Ao analisar as informações obtidas por meio do **questionário inicial** intitulado “Biomoléculas - O que sei sobre elas?”, aplicado antes do processo formativo, o qual se constituiu a partir de cinco questões (abertas e fechadas), foi possível observar as percepções e conhecimentos dos alunos sobre o assunto, que serão descritas a seguir:

Quando questionados se já tiveram contato com o assunto “Biomoléculas”, seis (27,3%) dos alunos participantes alegaram que nunca ouviram falar (Figura 1); seis (27,3%) assinalaram que tiveram contato nas aulas de biologia; quatro (18,2%), através da internet; quatro (18,2%) assinalaram “outros”; e os demais, uma pequena porcentagem, tiveram contato em espaços como redes sociais (4,5%) e aulas de ciências (4,5%).

Figura 1: Gráfico sobre contato prévio dos alunos com o conteúdo de Biomoléculas.



Fonte: Os autores (2023).

Os alunos relataram, mediante questionário, como foi a experiência com o assunto nas aulas de ciências ou biologia. Foi possível estabelecer relações entre os relatos analisados e organizá-los em três categorias emergentes: a) Experiência acrescentadora; b) Experiência superficial; e c) Experiência inexistente ou esquecida. O quadro a seguir trará alguns relatos de cada categoria.

Quadro 2: Relatos de experiência prévia com o conteúdo biomoléculas.

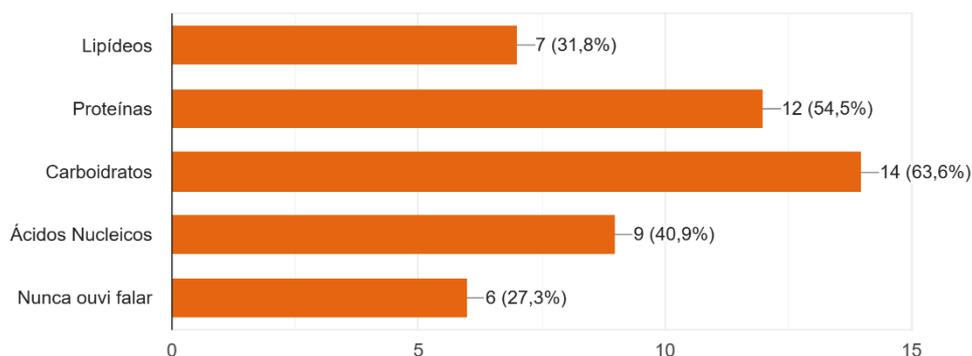
CATEGORIAS EMERGENTES	UNIDADES DE SENTIDO
a) Experiência acrescentadora	<i>Foi algo bem educacional, para que eu conseguisse aumentar a minha capacidade de aprendizagem. (A3)</i> <i>As biomoléculas, foram apresentadas para mim como algo primordial para os seres vivos. (A22)</i>
b) Experiência superficial	<i>Foi uma experiência rasa! Lembro de ler algo sobre, mas não prestei muita atenção. (A1)</i> <i>Não lembro da maioria, apenas do conceito do assunto que é basicamente o estudo das moléculas. (A6)</i>
c) Experiência inexistente ou esquecida	<i>Nunca ouvir falar sobre o assunto. (A7)</i> <i>Eu não me recordo. (A15)</i>

Fonte: Os autores (2023).

Percebe-se que, mediante relato do aluno A1, alguns estudantes não costumam voltar sua atenção para o assunto que está sendo ministrado pelo professor em sala, isso pode se dar quando o mesmo não explora estratégias didático-pedagógicas diversificadas e/ou inovadoras durante a aula.

Na terceira questão, os alunos foram indagados sobre os tipos de biomoléculas que eles já tinham ouvido falar ou conheciam previamente, em que era possível assinalar mais de uma alternativa. Ao analisar o gráfico das respostas (Figura 2), nota-se que as biomoléculas mais conhecidas entre o grupo são carboidratos e proteínas.

Figura 2: Gráfico das biomoléculas mais conhecidas entre os alunos.



Fonte: Os autores (2023).

Ainda no contexto da questão três, os discentes foram solicitados a explicar as biomoléculas que assinalaram. A partir da análise das respostas, foram construídas as categorias seguintes:

Quadro 3: Descrição sobre Biomoléculas.

CATEGORIAS EMERGENTES	UNIDADES DE SENTIDO
a) Descrição breve e sucinta	<p><i>Proteínas: encontrando-se em carnes. Carboidratos: encontrando-se em frutas, cereais e tubérculos. Ácidos nucleicos: ajudam no controle metabólico. Lipídios: São gorduras. (A22)</i></p> <p><i>O carboidrato é conhecido como a molécula que auxilia no ganho de gordura e as proteínas no ganho de massa magra. (A17)</i></p>
b) Não soube descrever/explicar	<p><i>Já ouvi falar, mas não sei explicar. (A1)</i></p> <p><i>Não sei como explicar, mas me recordo o nome. (A4)</i></p>

Fonte: Os autores (2023).

Os alunos(as) A22 e A17 trouxeram explicações que se aproximam do conceito científico das biomoléculas assinaladas, enquanto A1 e A4 alegaram não conseguir explicar. Alguns alunos podem ter carências formativas com relação ao referido assunto, cabendo ao professor adotar estratégias pedagógicas adequadas para ajudá-los a superar suas dificuldades de aprendizagem. Os discentes foram questionados quanto a importância da aprendizagem de biomoléculas para a vida. Mediante análise das respostas, foram construídas as categorias com base na importância que deram:

Quadro 4: Importância das Biomoléculas.

CATEGORIAS EMERGENTES	UNIDADES DE SENTIDO
-----------------------	---------------------

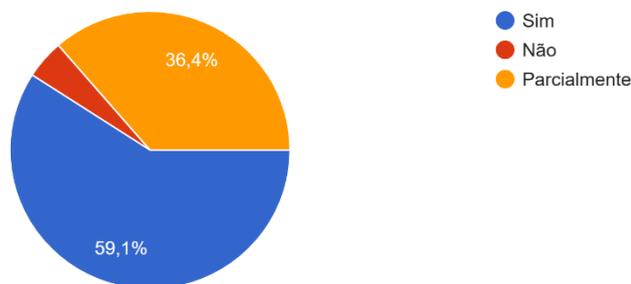
a) Funcionamento do organismo	<i>Ficar por dentro do que ocorre em nosso corpo. (A9)</i> <i>Ela auxilia no processo químico na minha vida. (A10)</i> <i>É importante para entendermos a matéria. (A6)</i>
b) Não soube descrever/explicar	<i>Até o momento nenhuma, já que não tive contato direto. (A1)</i> <i>Não me recordo o que é. (A15)</i>

Fonte: Os autores (2023).

Em linhas gerais, os alunos que se recordam do assunto e/ou já haviam estudado antes, atrelaram a importância da aprendizagem de biomoléculas ao bom funcionamento do organismo, porque essas desempenham papéis vitais em praticamente todos os processos biológicos que ocorrem no corpo humano e em outros organismos, tais como, fornecimento de energia, regulação de reações químicas e armazenamento de informações genéticas.

Por último, os alunos foram perguntados sobre seu desempenho quanto ao manuseio de ferramentas tecnológicas (computador, celular, tablet, entre outros), se possuíam facilidade para manipular tais instrumentos, conforme elucidado no gráfico a seguir (Figura 3):

Figura 3: Gráfico acerca da facilidade no manuseio de ferramentas tecnológicas.



Fonte: Os autores (2023).

Destacamos, com o fim de elucidar as respostas do gráfico acima, a fala do aluno A5, “Eu sempre estive em contato com objetos tecnológicos, logo tenho uma facilidade de manuseá-los”, o que reafirma o traquejo com a informatização em meio aos educandos, coadunando com o resultado do gráfico (Figura 3) em que cerca de 59% da turma afirma desembaraço com tais ferramentas.

Um estudo feito pela universidade de Guiana verificou se a integração da informática no ensino de biologia melhoraria o desempenho acadêmico dos alunos. O estudo foi realizado com duas turmas: à uma classe foi atribuído o grupo experimental e à outra classe foi designado o grupo controle. O grupo experimental foi ensinado sobre biologia a partir da tecnologia computacional, enquanto o grupo controle foi ensinado o mesmo tópico usando o método tradicional de ensino. Os resultados do estudo

mostraram que houve diferença significativa entre o desempenho acadêmico dos alunos de biologia expostos à informática e daqueles expostos ao método tradicional de ensino. Recomendou-se, portanto, que a informática fosse integrada ao ensino de biologia para melhorar o desempenho acadêmico dos alunos (Garraway-Lashley, 2014).

No contexto do campo de pesquisa em Educação em Ciências no Brasil, tem-se evitado trabalhar com grupo controle e grupo experimental, considerando o compromisso ético da área com a formação de todos os sujeitos imbricados com a pesquisa e a própria defesa por um estatuto teórico-metodológico próprio para as ciências humanas em relação às ciências naturais. Todavia, o artigo referido anteriormente, mostrou resultados positivos desejáveis de serem ampliados para a totalidade dos estudantes, ressalvadas às condições técnicas e estruturais necessárias aos espaços escolares que viabilizem esse trabalho.

Com relação a análise do **questionário final** aplicado após a oficina, contendo sete questões (abertas e fechadas) e intitulado “Biomoléculas - O que aprendi sobre elas?”, foi possível obter algumas informações, as quais estão descritas e interpretadas a seguir.

Na primeira questão do instrumento, os alunos foram questionados se conseguiriam explicar e descrever cada uma das quatro biomoléculas que estudamos. Das respostas obtidas, destacamos aqui a fala de A19, “Proteínas é um tipo de substância formada a partir de um conjunto de aminoácidos ligados entre si.”, além da fala de A17:

Lipídeos são "gorduras", uma ótima fonte de energia a longo prazo. Carboidratos são uma fonte de energia a curto prazo, formada por monossacarídeos. A proteína é formada por aminoácidos e ajuda na construção muscular e ajuda no sistema imunológico. O ácido nucléico inclui o DNA e o RNA (Aluno 17).

Com a análise da resposta do aluno é possível notar o avanço dos estudantes participantes na compreensão do assunto biomoléculas, agora apropriando-se de termos específicos do conteúdo, uma vez que os conceitos estão mais robustos do que os relatados no início da intervenção. A não descrição dos conceitos por parte de alguns alunos se deu devido à ausência dos mesmos na etapa “Desvendando os segredos das biomoléculas”, onde foi ministrada uma aula expositiva acerca do assunto. Tais estudantes necessitaram de se ausentar em virtude de um ensaio para uma futura gincana que aconteceria no colégio.

A segunda questão solicitava aos alunos que comentassem acerca da importância das biomoléculas para a vida, após termos estudado sobre elas. Ao analisar as respostas dos dez alunos que responderam ao pós-questionário, foram construídas as duas categorias descritas a seguir (Quadro 04), onde foram trazidas algumas falas representativas:

Quadro 5: Importância das biomoléculas após a oficina.

CATEGORIAS EMERGENTES	UNIDADES DE SENTIDO
-----------------------	---------------------

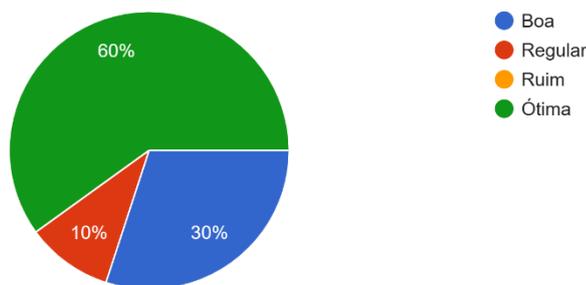
a) Manutenção do metabolismo	<p><i>A maior parte das coisas que consumimos são compostas por biomoléculas, elas são essenciais para a nossa vida, pois são fontes de energia que usamos para nos manter vivos. (A17)</i></p> <p><i>São responsáveis pela manutenção do metabolismo das células, que é a unidade básica da vida, também podem ser consumidas em medicamentos, alimentos, dentre outras, podem ser encontradas também em elementos inertes da natureza. (A3)</i></p>
b) Saúde Humana	<p><i>Sem elas não temos nutrientes necessários para viver e aí que acontece de ficarmos doentes. (A21)</i></p>

Fonte: Os autores (2023).

A partir da análise do Quadro 5 é possível estabelecer um comparativo com as falas presentes no Quadro 4, “Importância das Biomoléculas”, analisado no questionário pré-oficina. Após as oficinas as respostas apresentaram maior riqueza de detalhes e informações abordadas pelos alunos acerca da importância das biomoléculas, associando-as ao bom funcionamento do metabolismo e à saúde humana.

Os alunos puderam avaliar o momento formativo como um todo na terceira questão. Dos dez alunos que responderam ao questionário, seis (60%) consideraram a formação ótima, três (30%) consideraram boa e um (10%) considerou regular, conforme nos mostra a Figura 4.

Figura 4: Gráfico de avaliação do momento formativo pelos alunos.



Fonte: Os autores (2023).

Ainda nesse viés, os alunos comentaram acerca da resposta anterior, compartilhando como foi sua experiência com as oficinas desenvolvidas durante a formação. Todas as respostas foram positivas, algumas respostas reafirmaram a importância da utilização de estratégias didáticas em aulas de biologia, bem como ressaltaram o quanto a dinâmica da aula muda quando utilizamos ferramentas computacionais. Nesse ínterim, surgiram as seguintes categorias:

Quadro 6: Relatos de experiência dos alunos com relação às oficinas.

CATEGORIAS EMERGENTES	UNIDADES DE SENTIDO
-----------------------	---------------------

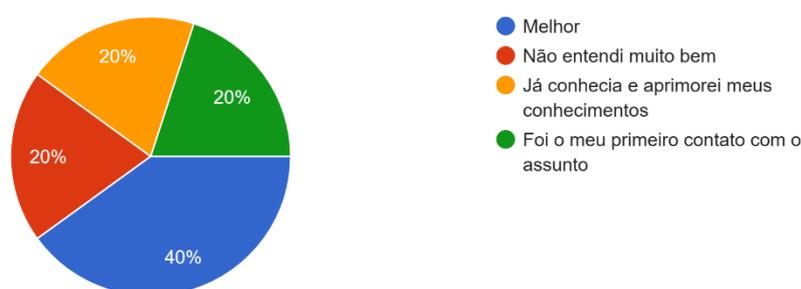
<p>a) Experiência positiva, pautada na abordagem do conteúdo.</p>	<p><i>Achei a explicação descontraída, uma forma mais fácil para entender o assunto, a prof. sabe dividir bem os assuntos e não deixar a aula chata, eu amei. (A19)</i> <i>Foi interessante, ela trouxe novas informações de uma forma prática e até divertida. (A17)</i></p>
<p>b) Experiência positiva, pautada especificamente na utilização de ferramentas computacionais.</p>	<p><i>Eu achei massa como é formada, os compostos das biomoléculas, quando a gente foi para a sala de informática observá-las. Nunca tinha visto antes, então foi bom. (A23)</i> <i>Foi incrível, a prof. ajudou demais a entender o assunto, foi tudo quando fomos até a sala de informática ver de perto como eles se comportam. (A12)</i></p>

Fonte: Os autores (2023).

Os resultados encontrados mostram que trabalhar o conteúdo de biomoléculas no ensino de ciências com recursos e estratégias computacionais não apenas facilita a compreensão dos conceitos biológicos e químicos, mas também prepara os estudantes para um mundo cada vez mais imerso na tecnologia. Ademais, o uso de softwares ou sites de modelagem molecular permite que os alunos visualizem essas estruturas de maneira mais clara e interativa, facilitando a compreensão.

Os alunos foram questionados, na quarta questão, sobre como consideram seus conhecimentos sobre as biomoléculas após as oficinas. Dos dez discentes, quatro assinalaram a opção “Melhor”, dois assinalaram a opção “Não entendi muito bem”, dois assinalaram a opção “Já conhecia e aprimorei meus conhecimentos” e dois assinalaram que “Foi o meu primeiro contato com o assunto” (Figura 5).

Figura 5: Gráfico de avaliação do conhecimento após as oficinas.



Fonte: Os autores (2023).

Ainda na quarta questão, os alunos tiveram um espaço onde dissertaram acerca do seu aprendizado com o assunto. Os relatos sobre o aprendizado foram categorizados conforme o Quadro 7:

Quadro 7: Relatos de aprendizado após a oficina.

CATEGORIAS EMERGENTES	UNIDADES DE SENTIDO
-----------------------	---------------------

a) Aprendizagem efetiva.	<i>Achei um assunto aparentemente difícil por ter muitas informações, mas gostei e consegui aprender, é uma mistura de química e biologia, adorei. (A14) Foi a primeira vez em que ouvi falar sobre biomoléculas e realmente entendi o que estava sendo dito. (A17)</i>
b) Aprendizagem pouco efetiva.	<i>Não sou boa em citologia. (A5) Não vi uma das aulas. (A8)</i>

Fonte: Os autores (2023).

Ao analisarmos a fala do aluno A14, refletimos acerca da importância da interdisciplinaridade na prática docente do professor de Biologia. Amorim et al. (2020) afirmam que a interdisciplinaridade é essencial para a articulação do fazer pedagógico e o processo de ensino e aprendizagem. A abordagem interdisciplinar permite que os alunos compreendam os fenômenos biológicos de maneira mais integrada, relacionando-os com conceitos de outras áreas, como a Química. Essa relação entre Biologia e Química é particularmente relevante em sala de aula, pois facilita a compreensão de processos bioquímicos, ao conectar a estrutura molecular e as reações químicas com as funções biológicas. Essa integração não só enriquece o aprendizado, mas também estimula o pensamento crítico e a capacidade dos alunos de aplicar o conhecimento em contextos variados, tornando o ensino de Biologia mais significativo e conectado à realidade social (Amorim et al., 2020).

Devido à ausência de alguns alunos no momento da aula expositiva, foi enviada uma aula em formato de vídeo do YouTube para os estudantes faltosos, entretanto é importante ressaltar que a mediação do professor em sala de aula sobre os conteúdos é fundamental, de forma que um vídeo gravado no YouTube não pode substituir a interação professor-aluno em sala de aula, o que pode ter gerado as unidades de sentido da categoria “Aprendizagem pouco efetiva” e que pode também ter contribuído para alguns estudantes não terem entendido muito bem o assunto, conforme expresso na figura 5.

A quinta questão solicitou que os alunos comentassem como foi a experiência de visualizar as biomoléculas através do computador. Alguns dos relatos estão elucidados no quadro 8, em categoria única:

Quadro 8: Relatos da experiência de visualização das biomoléculas através dos computadores.

CATEGORIAS EMERGENTES	UNIDADES DE SENTIDO
Experiência proveitosa e efetiva	<i>Extremamente perfeita. Fiquei fascinada. É muito perfeito. E depois que eu vi através do computador, eu tive uma ideia para a aula de química. (A19) Pra mim foi a melhor parte, quando temos esse momento mais interativo e com as</i>

	informações mais evidentes e claras eu particularmente absorvo mais o assunto. Foi muito interessante!! (A12) Foi muito diferente do que eu estou acostumada a ver, adorei foi um jeito muito bom de visualizar todas as informações. (A14)
--	--

Fonte: Os autores (2023).

Os comentários dos alunos, após a experiência de visualizar as biomoléculas através do computador, refletem a importância e o impacto positivo que as ferramentas computacionais podem ter no ensino de biologia. Os relatos demonstram que a visualização digital dessas estruturas biomoleculares despertou um interesse notável entre os estudantes, tornando o aprendizado mais interativo que facilitou a compreensão dos conceitos científicos.

A sexta questão foi assim formulada: “Você considera que o trabalho pedagógico com biomoléculas através do computador facilitou sua aprendizagem sobre o assunto? Explique.” Algumas das respostas selecionadas constam no quadro 9, em categoria única:

Quadro 9: Comentários acerca da visualização das biomoléculas.

CATEGORIAS EMERGENTES	UNIDADES DE SENTIDO
a) Aprendizagem facilitada com a utilização dos computadores.	Facilitou demais, pelo fato de não ficar naquela coisa só de livros, salas, ali no computador a gente praticamente teve contato, dava pra movimentar, realmente facilitou demais. (A3) Sim, é muito mais fácil a aprendizagem vendo, do que imaginando. E além do mais, gera um interesse maior em querer saber sobre o que estamos vendo. (A19)

Fonte: Os autores (2023).

O aluno A3 mencionou que o contato direto com as estruturas moleculares no computador permitiu uma experiência mais envolvente e interativa, afirmando que "realmente facilitou demais". Enquanto o aluno A19 enfatizou a importância de ver as estruturas em vez de apenas imaginar. Essas respostas estão em consonância com a discussão tecida por Rocha (1988) que destaca a retenção do conhecimento com base na maneira como ele é abordado. Nessa perspectiva, a utilização de recursos visuais, como a visualização computacional de biomoléculas, tende a aumentar significativamente a retenção de informações, visto que, de acordo com a autora, os alunos podem reter até 50% do que veem e ouvem simultaneamente.

Na sétima e última questão, os alunos puderam responder a indagação “O que você acha da utilização de ferramentas de informática nas aulas de biologia?”. Toda a turma assinalou a opção: “Muito Interessante”. O estudante A3 escreveu: “Acho que tem muita coisa na aula de biologia que devia ser com essas ferramentas, pelo fato do contato

direto, a sensação de saber como ela é, ter a possibilidade de movimentar, ver as ligações, é muito legal”.

A menção do aluno A3 às ligações entre as moléculas ressalta como as ferramentas de informática podem ajudar os alunos a compreenderem conceitos complexos que guardam relações com outras áreas do conhecimento como a Química. A opção "Muito Interessante", escolhida por toda a turma, indica um apoio à integração da tecnologia no ensino de biologia, o que pode contribuir para um ensino mais dinâmico, diversificado e inovador.

Ressalta-se que o conteúdo de biomoléculas apresenta uma série de conceitos científicos que não poderiam ser compreendidos sob o viés de uma única disciplina como a Biologia, senão pela articulação com diferentes áreas e contextos sociais. Nesse sentido, destaca-se que pode não ser suficiente possuir um currículo integrado na escola ou mesmo que esteja organizado no sentido de superar a fragmentação disciplinar se a comunidade escolar (pais, professores, estudantes, funcionários, coordenadores pedagógicos e diretores) não estiverem dispostos a pensar e agir interdisciplinarmente, algo que nos remete à noção de interdisciplinaridade como atitude de ousadia, como desejo de superar a racionalidade técnica e a compartimentalização do conhecimento nos mais diferentes contextos educacionais (Fazenda, 1999, 2012).

Considerações Finais

O objetivo desta pesquisa foi analisar as potencialidades da utilização de ferramentas computacionais para a visualização de biomoléculas no ensino de biologia no contexto do ensino médio. Percebemos que o trabalho desenvolvido trouxe contribuições efetivas para a aprendizagem de biomoléculas, uma vez que o uso de recursos de informática pode ajudar os alunos a compreender conceitos complexos que se relacionam a diferentes áreas do conhecimento. Além disso, a aprovação do processo formativo pelos sujeitos que responderam ao questionário, bem como o notório avanço na aprendizagem do conteúdo e de suas relações com a vida, indicam um apoio à integração da tecnologia no ensino de biologia, o que pode contribuir para um ensino mais dinâmico e significativo.

No entanto, o trabalho também elucidou lacunas e limitações, como a necessidade de manutenção das máquinas e a velocidade da internet, que são necessidades estruturais da escola, nem sempre sanadas pelo poder público. Apesar disso, acreditamos que o trabalho desenvolvido pode ser um ponto de partida para novas pesquisas, envolvendo a utilização de tecnologias ligadas à bioinformática, que ocorram ao longo de toda uma unidade, de maneira a tornar um processo contínuo, visando obter resultados mais duradouros.

Ressalta-se que o trabalho desenvolvido contribui para a área de Educação em Ciências ao mostrar como a utilização de ferramentas computacionais pode ser uma

estratégia metodológica necessária para o ensino de biologia na atualidade. O processo formativo desenvolvido não trabalhou apenas com conteúdos de biologia desprovidos de significado social, mas evidenciou para os estudantes as relações destes conteúdos com o contexto em que vivem, de maneira que o aprendizado de ciências envolveu a leitura crítica do mundo, tendo a ciência como um meio de compreensão e intervenção social. Além disso, o estudo pode colaborar para o campo repensar a forma como a tecnologia pode ser utilizada em sala de aula de maneira crítica, trazendo implicações para a prática pedagógica de forma mais ampla. Nesse sentido, acreditamos que a ressignificação do campo, no sentido de considerar as tecnologias no ensino de ciências, pode ajudar a tornar o processo de ensino e aprendizagem em ciências mais produtivo e exitoso, colaborando para a formação do pensamento crítico e, por conseguinte, para a análise e transformação da realidade em suas dimensões políticas, econômicas, sociais e ambientais.

É importante frisar que a finalidade maior do ensino de ciências é a formação sociopolítica dos sujeitos, uma vez que a ciência precisa ser compreendida como um meio para se chegar a propósitos sociais mais amplos. Ensinar ciências não deve ser um fim em si mesmo, mas sim uma forma de contribuir para que os alunos atuem como sujeitos de suas próprias histórias e possam agir como cidadãos capazes de compreender e atuar no mundo de forma crítica e consciente.

Referências

ALENCAR, Anderson Fernandes. O pensamento de Paulo Freire sobre a tecnologia: traçando novas perspectivas. In: **Anais do V Colóquio Internacional Paulo Freire**, Recife (PE) 2005, p. 1-13. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/16407780-O-pensamento-de-paulo-freire-sobre-a-tecnologia-tracando-novas-perspectivas.html>> Acesso em: 16 out. 2022.

AMORIM, Yarlila Santos; DANTAS, Débora de Menezes; ALVES, Ana Maria; OLIVEIRA, Francisco Cezar Alves; OLIVEIRA, Elaine Cristina Conceição; BEZERRA, Norma Suelly Freire. FIGUEIREDO, Francileide; TORRES, Cicero Gomes. Interdisciplinaridade no ensino de biologia: movimento articulador do fazer pedagógico e do processo de ensino e de aprendizagem. **Revista Interfaces: Saúde, Humanas e Tecnologia**, v. 8, n. 1, p. 409-416, 2020.

Biomodel UAH. Universidad de Alcalá. Disponível em: <https://biomodel.uah.es/en/model3/inicio.htm>. Acesso em: 26 de maio de 2023.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018.

CACHAPUZ, A.; GIL-PÉREZ, D.; CARVALHO, A.M.P.; PRAIA, J.; VILCHES, A. (orgs). **A Necessária Renovação do Ensino de Ciências**, São Paulo: Cortez, 2005.

CARLAN, Francele de Abreu. **O uso de ferramentas de informática e sua implicação em atividades didáticas experimentais para melhoria do ensino de biologia**. Tese (Mestrado em Ensino de Ciências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

CHIZZOTTI, Antonio. A pesquisa qualitativa em ciências humanas e sociais: evolução e desafios. **Revista portuguesa de educação**, v. 16, n. 2, p. 221-236, 2003.

CHUKWUDOZIE, Onyeka; DURU, Vincent; NDIRIBI, Charlotte; ABORODE, Abdullahi; OYEBANJI, Victor; EMIKPE, Benjamin. The relevance of bioinformatics applications in the discovery of vaccine candidates and potential drugs for COVID-19 treatment. **Bioinformatics and Biology Insights**, v. 15, p. 1-8, 2021.

DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André; PERNAMBUCO, Marta Maria. **Ensino de Ciências: fundamentos e métodos**. 5. ed. São Paulo: Cortez, 2018.

FAZENDA, Ivani. **Interdisciplinaridade: história, teoria e pesquisa**. 4.ed. Campinas: Papirus, 1999.

FAZENDA, Ivani Catarina Arantes. **Interdisciplinaridade: didática e prática de ensino**. 18ª. ed. São Paulo: Papirus Editora, 2012.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da Autonomia: Saberes necessários à prática educativa**. São Paulo: Paz e Terra (Coleção Leitura), 1996.

FREITAS, Anne Caroline de Oliveira. **Utilização de recursos visuais e audiovisuais como estratégia no ensino da biologia**. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas à distância) – Centro de Ciências da Saúde, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2013.

GARRAWAY-LASHLEY, Yassanne. Integrating computer technology in the teaching of Biology. **International Journal Of Biology Education**, v. 3, n. 2, p. 13-30, 2014.

GIL-PÉREZ, Daniel; CARRASCOSA, Jaime; DUMAS-CARRÉ, Andrée; FURIÓ MÁS, Carles; GALLEGO, Rômulo; GENÉ DUCK, Anna; GONZÁLEZ, Eduardo; GUIASOLA, Jenaro; MARTINEZ-TORREGROSA, Joaquín; CARVALHO, Ana Maria; SALINAS, Julia; TRICÁRICO, Hugo; VALDÉS, Pablo. Puede hablarse de consenso constructivista en la educación científica? **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 17, n. 3, p. 503-512, 1999.

JESUS, Adenilse Silva.; SOUTO, Daise Lago Pereira. Tendências de uso das tecnologias digitais no ensino de ciências. **Educação & Tecnologia**, v. 21, n. 1, p. 43-55, 2016.

JESUS, Gleicia Marques; COLLET, Sandra de Oliveira. **O uso dos recursos computacionais no ensino de biologia**. Curitiba, Secretaria de Educação do Estado do Paraná, 2012.

LUZ, Rodrigo; SANTANA, Uilian dos Santos; MORAIS, Rutiléa Mendes. Desafios e possibilidades para a Educação em Ciências em tempos de crise civilizatória: repensando os atuais caminhos. **Revista de Iniciação à Docência**, v. 8, p. 1-17, 2023.

MACHLUF, Yossy; YARDEN, Anat. Integrating bioinformatics into senior high school: design principles and implications. **Briefings in Bioinformatics**, v. 14, n. 5, p. 648-660, 2013.

MORAES, Isabelle Oliveira; CEZAR-DE-MELLO, Paula Fernandes Tavares. O que pensam os docentes sobre o uso da bioinformática no ensino de biologia. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 14, n. 2, p. 75-93, 2021.

MORAES, Roque. Uma tempestade de luz: a compreensão possibilitada pela análise textual discursiva. **Ciência & Educação** (Bauru), v. 9, p. 191-211, 2003.

ROCHA, M. N. Recursos visuais e audiovisuais no ensino – construção e exploração de materiais pedagógicos. Disponível em: http://www.cf-francisco-holanda.rcts.pt/accoes/2005/accao_7.htm. Acesso em: 20 de setembro de 2023.

ROSA, Rosane Teresinha Nascimento; LORETO, Élgion Lúcio Silva. Análise, através de mapas conceituais, da compreensão de alunos do ensino médio sobre a relação DNA-RNA-proteínas após o acesso ao genbank. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 18, n. 2, p. 385-405, 2013.

TEIXEIRA, Canabarro; BRANDÃO, Jorge Ramos. Software educacional: o difícil começo. **CINTED-UFRGS**, v.1, n. 1, fevereiro de 2003.

TEIXEIRA, Paulo Marcelo Marini; MEGID, Jorge. Uma proposta de tipologia para pesquisas de natureza interventiva. **Ciência & Educação** (Bauru), v. 23, p. 1055-1076, 2017.

Recebido: 18.05.2024
Aprovado: 10.09.2024
Publicado: 24.09.2024